TOBIAS HÜRTER

توبياس هورتر

عصر مكتبة الضبابيَّة

سنوات الفيزياء الساطعة والمظلمة

1945 - 1895

DAS ZEITALTER DER UNSCHÄRFE

ترجمة: محمد رمضان حسين

عصير الكتب

عصر الضبابيَّة

إدارة التوزيع

00201150636428

لمراسلة الدار:

email:P.bookjuice@yahoo.com

Web-site: www.aseeralkotb.com

- العنوان الأصلي:
  Das Zeitalter der Unschärfe:
  Die glänzenden und die dunklen Jahre der Physik (1895-1945)
- العنوان العربي:
  عصر الضبابية: سنوات الفيزياء الساطعة والمظلمة (1895-1945)
- طُبع بواسطة: Klett-Cotta
- حُقوق النشر: Copyright © Klett-Cotta, 2023
- حقوق الترجمة: محفوظة لدار عصير الكتب

- ترجمة: محمد رمضان حسين
- تنسيق داخلي: معتز حسنين علي
- الطبعة الأولى: يناير / 2024م
- رقم الإيداع: 4797/2023م
- الترقيم الدولي: 978-977-992-249-2

مكتبة
t.me/soramnqraa

TOBIAS HÜRTER

توبياس هورتر

مكتبة

عصر الضبابيَّة

سنوات الفيزياء الساطعة والمظلمة

1945 - 1895

DAS ZEITALTER DER UNSCHÄRFE

ترجمة: محمد رمضان حسين

عصير الكتب

إلى هربرت شميت.

المحتويات

مكتبة
t.me/soramnqraa

مقدمة 11

- باريس 1903 - التشققات الأولى 13
- برلين 1900 - محاولة يائسة 21
- برن 1905 - الموظف فاحص براءات الاختراع 31
- باريس 1906 - بيير كوري تحت العجلات 39
- برلين 1909 - نهاية السيجار الطائر 41
- براغ 1911 - ترك آينشتاين التحدُّث إلى الزهور 43
- كامبريدج 1911 - الدنماركي يكبر 45
- شمال الأطلسي 1912 - سقوط العصمة 53
- ميونخ 1913 - فنان يصل إلى ميونخ 55
- ميونخ 1914 - مع الذرَّة في جولة 57
- برلين 1915 - جيد في الفيزياء النظرية وسيئ في العلاقات 63
- ألمانيا 1916 - الحرب والسلام 69
- برلين 1917 - انهيار آينشتاين 71
- برلين 1918 - جائحة 73
- البحر الكاريبي 1919 - القمر يحجب الشمس 77
- ميونخ 1919 - شاب يقرأ أفلاطون 81

- برلين 1920 – لقاء السحاب 85
- جوتنجن 1922 – وجد الابن والده 91
- ميونخ 1923 – صاحب الإنجاز الكبير يجتاز الاختبار بصعوبة 103
- كوبنهاجن 1923 – بور وآينشتاين يركبان الترام 111
- كوبنهاجن 1924 – محاولة أخيرة 113
- باريس 1924 – أمير يجعل الذرات تدوي 119
- هِلجولاند 1925 – اتساع البحر وضآلة الذرات 127
- كامبريدج 1925 – العبقرية الصامتة 137
- لايدن 1925 – النبي والإلكترونات الدوارة 141
- أروسا 1925 – صحوة جنسية متأخرة 145
- كوبنهاجن 1926 – موجات وجسيمات 151
- برلين 1926 – زيارة أنصاف الآلهة 155
- برلين 1926 – حفلة بلانك 165
- جوتنجن 1926 – تلاشي الواقع 169
- ميونخ 1926 – صراع على النفوذ 177
- كوبنهاجن 1926 – تماثيل رخامية منحوتة بدقة تتساقط من السماء 185
- كوبنهاجن 1926 – لعبة بسكاكين حادة 191
- كوبنهاجن 1927 – العالم يصبح ضبابيًّا 197
- كومو 1927 – البروفة النهائية 207
- بروكسل 1927 – الجدل الكبير 211
- برلين 1930 – ألمانيا تزدهر، وآينشتاين مريض 231
- بروكسل 1930 – الجولة الثانية في كوبنهاجن 235
- زيورخ 1931 – حلم باولي 247
- كوبنهاجن 1932 – د. فاوست في كوبنهاجن 263
- برلين 1933 – فرَّ البعضُ والبعضُ بقيَ 269
- أمستردام 1933 – نهاية حزينة 279
- أكسفورد 1935 – القطة غير موجودة 283

- برينستون 1935 - آينشتاين يُعيد التركيز إلى العالم 291
- جارميش 1936 - الثلج المتسخ 297
- موسكو 1937 - على الجانب الآخر 301
- برلين 1938 - انشطار النواة 307
- المحيط الأطلسي 1939 - الأخبار المروعة 315
- كوبنهاجن 1941 - الاغتراب 321
- برلين 1942 - لا قنبلة لهتلر 325
- ستوكهولم 1943 - الهروب 329
- برينستون 1943 - ضعف آينشتاين 333
- إنجلترا 1945 - قوة الانفجار 337

الخاتمة 345

قائمة المراجع 347

مقدمة

تخيَّل أنك ذات يوم تكتشف أن العالم الذي تعيش فيه يعمل بشكلٍ مختلفٍ تمامًا عمَّا كنتَ تعتقد سابقًا. البيوت والشوارع والأشجار والغيوم ليست سوى خلفياتٍ تُحركها قوى لم تكن لديهم أدنى فكرة عنها.

هذا بالضبط ما حدث للفيزيائيين منذ مائة عامٍ. كان عليهم أن يدركوا أنه وراء المفاهيم والنظريات التي رأوا من خلالها العالم، كانت توجد حقيقة أعمق بدَت غريبة عليهم لدرجة أن الخلاف اندلع حول إمكانية التحدُّث عن «الواقع» أساسًا.

كيف دخل الفيزيائيون في هذا الموقف وكيف عانوا من ذلك تلك هي قصة هذا الكتاب. في النهاية، سيكون العالم مختلفًا؛ لن يدركه الفيزيائيون[1] من جديد فحسب، بل سيُغيرونه أيضًا بعمق.

---

(1) لأسباب تتعلق بسهولة القراءة، استخدمت الاسم المذكر العام (فيزيائي، كيميائي، عالم رياضيات، عالم...) في كل المحتوى؛ هذا يعني ويتضمن الأشخاص من كلا الجنسين. [المؤلف]

باريس 1903
التشققات الأولى

باريس، في أمسية صيفية بشهر يونيو 1903. حديقة في بوليفارد كيلرمان في الدائرة 13. يسقط الضوء من النوافذ على العشب، وينفتح الباب، وتُسمع أصواتٌ سعيدةٌ، ثم تظهر مجموعةٌ صغيرةٌ على الممرات المرصوفة بالحصى، وسطهم امرأة ترتدي ثوبًا أسود، الفيزيائية ماري كوري، 36 عامًا. وجهها المتوتر غالبًا ما يكون مرتاحًا وسعيدًا. قد دُعيت إلى حفل تخرجها.

ماري في ذروة حياتها المهنية. كانت أول امرأة في فرنسا تحصل على درجة الدكتوراه في العلوم الطبيعية بامتياز، وهي أول امرأة تُرشَّح لجائزة نوبل على الإطلاق.

إلى جانب ماري، زوجها بيير يشعر بالفخر. وهي مُحاطة بأختها الكبرى برونيا ومشرفها جابرييل ليبمان وزملائها جان بيرين وبول لانجفين والعديد من طلابها. يحتفل الفيزيائي النيوزيلندي إرنست رذرفورد، وهو يقضي شهر العسل حاليًّا مع زوجته ماري أخيرًا، فقد كان حفل الزفاف قبل ثلاث سنوات. رذرفورد وماري كوري متنافسان، كلاهما يبحث في بنية الذرة ويعارض الآخر بشدة. لكن تلك المسألة يجب أن تبقى بعيدة الليلة. اليوم احتفالٌ.

بدا الطريق الذي أدى إلى هذه الأمسية السعيدة لماري بعيدًا عن العاصمة الفرنسية، في وارسو في ستينيات القرن التاسع عشر. تنقسم بولندا بين القوى العظمى في بروسيا وروسيا والنمسا، وارسو تحت دكتاتورية القيصر الروسي. لا يُسمح لأي شخص أن يهتف باسم وطنه «بولندا» بصوت عالٍ.

ولدت هناك ماريا سكلودوفسكا في 7 نوفمبر 1867، كانت الأخيرة من بين خمسة أطفال لاثنين من المعلمين. موقف الأسرة مُوجه ضد المحتلين. يبذل الأب قصارى جهده لتربية بناته على التفكير باستقلالية. عندما كانت مانيا -كما تدعى ماريا في المنزل- تبلغ من العمر أربع سنوات، عُزلت الأم المُصابة بالسل عن أطفالها. لا تريد أن تصيبهم، وتموت بعد صراع طويل مع المرض الذي لا يزال مُستعصيًا حينها.

لقد احتاجت مانيا إلى أكثر من عشر سنوات لتستعيد بريقها مدى الحياة. في البداية، لجأت إلى الدراسة، ودفنت نفسها بين الكتب، وظلت تكافح وتصل إلى المركز الأول في مدرسة «جمنازيوم» الإمبراطورية. في سن الخامسة عشرة، عانت انهيارًا عصبيًّا من الضغط الذي كانت تمارسه على نفسها. يرسلها والدها العازب إلى الريف للاسترخاء. تمكنت هناك من ترك كتبها واكتشاف الموسيقى والاحتفال والمغازلة والرقص طوال الليل. بدأت الدراسة في جامعة بولندية نائية تقبل النساء، وتتفوق على جميع زملائها بإنجازاتها. من أجل دعم أختها برونيا، التي تكبرها بعامين، والتي ستذهب إلى باريس لدراسة الطب، فإنها تعمل مربية لدى عائلة تمتلك مصنعَ بنجر السكر بالقرب من وارسو، وتقع في حب ابن العائلة، كازيمير طالب الرياضيات البالغ من العمر 23 عامًا. ينزعج الأب من العلاقة. يقاوم كازيمير بخجل في البداية، ولكن يرضخ بعد سنوات من الرفض، بقيت مانيا هناك وحيدة ومهجورة، بقلب متألم للغاية، مليء بالغضب من الرجال: «إذا كانوا لا يريدون الزواج بفتيات صغيرات فقيرات، فدعوهن يذهبن إلى الجحيم!».

مكتبة
t.me/soramnqraa

حصلت ماري كوري على جائزة نوبل مرتين في الفيزياء عام 1903 وفي الكيمياء عام 1911؛ صورتها هنا عندما شوهدت في مَعملها في باريس عام 1917.

Madame Curie (AKG5440550; © akg-images / Science Source)

في عام 1891، تبعت مانيا شقيقتها إلى باريس. تزوجت برونيا منذ ذلك الحين من كازيمير تحديدًا دون سائر الناس. إنه طبيب، وهي طبيبة، وكلاهما مشبع بالمُثل الشيوعية. يفتتحان عيادة في شقتهما ويُعالجان المرضى المحتاجين مجانًا. الكثير من الصخب والضجيج بالنسبة إلى مانيا، التي صارت تُسمِّي نفسها الآن ماري. تنتقل إلى العُلِيَّة حيث تدفن نفسها حرفيًّا؛ في ليالي الشتاء الباردة تحت جميع الملابس التي تمتلكها. لتوفير المال، نادرًا ما تحمل دلوًا من الفحم إلى الطابق العلوي ولا تعيش سوى على الشاي والفواكه والخبز والشوكولاتة، لا يهم؛ فهي حرة في باريس في مطلع القرن العشرين، لا تتمتع النساء بأي شيء سوى المساواة. يمكن أن تكون «الطالبة» طالبة ومحبة لزميل. لكن ينبغي للمرأة أن تدرس دون عناء، وتقوم ماري بذلك بشغف. تُفضِّل قضاء أيامها في قاعات المحاضرات والمختبرات والمكتبات، ولياليها مع كتبها، والاستماع إلى الأسطورة هنري بوانكاريه. مرة أخرى تفرط في ذلك وتنهار في المكتبة. تأخذها برونيا إلى منزلها وتطعم ماري المرهقة، التي تعاني سوءَ التغذية، اللحم والبطاطا حتى تستعيد قوتها. تندفع على الفور إلى مطالعة كتبها وتحصل مرة أخرى على المركز الأول على صفها في الاختبارات النهائية.

وماذا بعد؟ يُسمح للنساء بالدراسة، لكن كباحثات، لا يحب الكثير من الرجال وجودهن بجانبهم. ماري محظوظة لتلقِّيها منحة من شأنها أن تساعدها في البحث عن الخصائص المغناطيسية لأنواع مختلفة من الفولاذ. عندما لم تستطع التوافق مع معدات المختبر، نصحها أحد معارفها باللجوء للخبير في المغناطيسية؛ بيير كوري، 35 عامًا، يبدو أصغر سنًّا، خجول وحذر. يوضح لها كيفية استخدام أجهزة قياس الكهرباء، بعد معاناة طوَّر هذه الأجهزة بنفسه. تتخلى ماري عن قرارها عدم الوقوع في الحب مرة أخرى بعد البؤس مع كازيمير؛ تزوجت بيير.

لكن مغناطيسية الفولاذ لا تناسب طموح ماري، توجد أشياء أكثر إثارة لاستكشافها. اكتشف فيلهلم كونراد رونتجن في فورتسبورج بالمصادفة الأشعة السينية الغامضة، الأشعة السينية، عندما تتألق من خلال يده، التي يحملها أمام أنبوب الإلكترون. في يوم رأس السنة الميلادية 1896، أرسل صورًا للخطوط العظمية ليد زوجته، بما في ذلك خاتم الزواج، إلى زملائه. لم يرَ أحدٌ شيئًا كهذا من قبل. تثير صور الأشعة السينية ضجة علمية واجتماعية.

في العام نفسه اكتشف هنري بيكريل في باريس -مرة أخرى عن طريق المصادفة- نوعًا من الإشعاع يسميه رايون يورانيك، لأنها تنبعث من اليورانيوم الذي يضعه في درجٍ به لوحة فوتوغرافية. لكن هذا كل ما يكتشفه بيكريل بشأن هذه الأشعة. لا يستطيع أن يشرح كيف نشأت. إنه يشك ويأمل أن يكون لها علاقة بالفسفور، وهو تأثير درسه هو وأسلافه على مدى أجيال. تُسبب أشعته ضجة أقل بكثير مما تسببه أشعة رونتجن، وتتضاءل صورها الباهتة بجوار الأشعة السينية المطبوعة على الصفحات الأولى للصحف وتُعرض في المعارض.

لكن ماري كوري مفتونة باكتشاف بيكريل. أدركت أن تجارب بيكريل القليلة لم تنتهِ بأي حال من الأحوال، وطوَّرت طريقة جديدة لقياس أشعة اليورانيوم، بِناءً على مقاييس بيير الكهربائية. وتتجرأ على مناقضة بيكريل العظيم. وتطلق على الأشعة اسم «الإشعاع النشط»، بدلًا من «اليورانيك» لأنها مقتنعة أنها لا تأتي فقط من عنصر اليورانيوم. لإثبات ذلك، شرعت في اكتشاف عناصر مشعة جديدة وستكتشف عنصرين في السنوات القليلة المقبلة: البولونيوم والراديوم.

علاوة على ذلك، تدَّعِي ماري كوري أن «إشعاع اليورانيوم غير المفهوم هو خاصية للذرة»، كما كتبت في عام 1898، وهو استفزاز بالنظر إلى حالة المعرفة العلمية في ذلك الوقت. لا يفهم الباحثون الذرات على الإطلاق. لديك فقط الكثير منهم. هناك ذرات الكيميائيين، لبنات بناء المادة غير القابلة للتجزئة وغير القابلة للتغيير، والتي في التفاعلات الكيميائية تنفصل عن صلاتها وتُعيد الاتصال مع بعضها بعضًا. هناك أيضًا، مؤخرًا، ذرات الفيزيائيين، التي تطلق من خلال الفراغ مثل كرات البلياردو الصغيرة وتتصادم لتوليد الضغط والحرارة في الغازات. هناك ذرات الفلاسفة، لَبِنات البناء الخالدة للعالم منذ زمن ديموقريطس. ومع ذلك، لا توجد علاقة نظرية بين هذه الذرات المختلفة. إلا أنها تُسمَّى «الذرات». والآن تدَّعِي ماري كوري أن شيئًا ما يحدث داخل هذه الذرات.

كيف يعقل ذلك؟ كيف يمكن لآلية إشعاع الذرات أن تعمل إشعاعيًّا؟ على ما يبدو، كما تظهر التجارب، لا تتأثر بالعمليات الكيميائية، بالضوء ودرجة الحرارة، بالمجالات الكهربائية والمغناطيسية. ثم ما الذي يطلقها؟ لدى ماري كوري شك رهيب؛ لا شيء. تبدأ العملية التي يتم فيها إنشاء الإشعاع تلقائيًّا.

في ورقة بحثية للمؤتمر الدولي للفيزيائيين في معرض باريس العالمي عام 1900، كتبت جملة تنذر بالسوء: «عفوية الإشعاع هي لغز، وهو موضوع يثير دهشة عميقة». يحدث الإشعاع من تلقاء نفسه، دون سبب. بهذا، تهز كوري أسس الفيزياء، مبدأ السببية. بل إنها تفكر في رفض قانون الحفاظ على الطاقة، وهو المبدأ الصارم للفيزياء القائل بأن الطاقة لا تُفنى ولا تُستحدث من العدم. الرجل الذي يُلقي الضوء على أحجية كوري هو الفيزيائي النيوزيلندي إرنست رذرفورد. طور «نظرية التحويل» للنشاط الإشعاعي؛ عندما تصدر ذرة نشاطًا إشعاعيًّا، فإنها تتغير من عنصر كيميائي إلى آخر. هذا يهز عقيدة أخرى للعلم. يعتبر هذا التحويل مستحيلًا، وهو وسيلة للتحايل على الكيميائيين والدجالين. حتى ماري كوري قاومت نظرية رذرفورد لفترة طويلة، لكن في النهاية كان الاثنان على صواب، كوري عن العفوية، رذرفورد حول التحول. إنها الفيزياء القديمة التي يجب أن تنتهي.

أنشأت أسرة كوري مختبرهم في حظيرة بفناء مدرسة الهندسة «المدرسة العليا للفيزياء والكيمياء الصناعية» بالحي اللاتيني، الحي الأكاديمي بالعاصمة الفرنسية. تصفر الريح عبر الشقوق، والأرضية دائمًا رطبة. قبل ذلك، شرَّح الطلاب الجثث هناك، حتى ضاق بهم المكان. الآن، أفسحت طاولات التشريح المجال أمام أجهزة غريبة؛ قوارير زجاجية، وأسلاك كهرباء ومضخات تفريغ، ومقاييس، ومناشير وبطاريات، وموقد غاز وبوتقات. عاين الكيميائي الألماني البلطيقي فيلهلم أوستفالد مختبر عائلة كوري ووصفه باعتباره «تقاطعًا بين قبو بطاطس وحظيرة» عندما سُمح له بزيارته بناءً على «طلب عاجل». «لو لم أشاهد الجهاز الكيميائي على طاولة العمل، لكنت اعتقدتُ أنها مزحة». هنا، في أجواء مطبخ خيميائي، تقوم عائلة كوري ببعض أهم الاكتشافات في القرن العشرين. لم يعلموا أنهم سيضعون الأساس لرؤية جديدة للعالم المادي في سقيفتهم البائسة.

يريد آل كوري في حظيرتهم إنتاج مادة اعتقد العديد من أقرانهم أنها كانت «خزعبلات» حتى وقت قريب؛ الراديوم النقي. لكنهم ليسوا سحرة، يجب أن يأتي الراديوم من مكان ما، فهُم بحاجة إلى مادة خام. في تجارب مطولة، عثرت ماري على معدن مُشع يُسمى بتشبلند أو يورانينيت. إنهم يحتاجون إلى أطنان منه، لكنه غير متوفر في باريس وليس لدى عائلة كوري المال. سأل بيير في جميع أنحاء أوروبا واكتشف أنه في منجم خام بمنطقة يواشيمستال،

في أعماق الغابة البوهيمية، والتي تأتي منها أيضًا معادن عملات «تالر»، حيث تتراكم هناك كميات كبيرة من اليورانينيت. يمكنه إقناع مدير المنجم بإعطائه عشرة أطنان منها. موَّل النقل البارون إدموند جيمس دي روتشيلد، وهو ثري جدًّا من خلال الأعمال المصرفية لوالده، وهو نفسه مهتم بالفنون والعلوم والخيول أكثر من التجارة المالية.

عندما استقر جبل اليورانينيت في الفناء أمام الثكنات في ربيع عام 1899، رفعت ماري حفنة من «الغبار البني الممزوج بإبر الصنوبر» على وجهها وصاحت «الآن يمكننا أن نبدأ».

إنه عمل شاق حرفيًّا؛ تحمل ماري الدلاء الثقيلة، وتصب السوائل، وتحرك البوتقات الفقاعية بقضبان حديدية. يجب غسل اليورانينيت بالأملاح الحمضية والقلوية ومئات الهكتوليترات من الماء. من أجل الاستخراج، طوَّر آل كوري تقنية تُسمى «التجزئة». غلي المادة مرارًا وتكرارًا، تركها تبرد وتتبلور. تتبلور العناصر الخفيفة بسرعة أكبر من العناصر الثقيلة، مما يسمح للزوجين كوري بتجميع الراديوم تدريجيًّا بهذه الطريقة. يتطلب الأمر قياسات دقيقة والكثير من الصبر، ولكن على الرغم من الكدح الشاق، كلاهما سعيد. في مسيرتهما الليلية من المختبر إلى المنزل، يتخيلان الشكل الذي قد يبدو عليه الراديوم النقي. أصبح خليط الراديوم أكثر نقاءً من قبل، وأصبح التوهج الذي يخترق القوارير الزجاجية إلى المختبر ليلًا أقوى من أي وقت مضى. في صيف عام 1902 وصلا أخيرًا إلى هدفهما وحملا في أيديهما بضعة أعشار جرام من الراديوم. تحدد ماري الوزن الذري للعنصر وتعطيه رقم 88 في الجدول الدوري.

شخص واحد فقط لم يكن سعيدًا؛ إيرين، ابنتهما، التي ولدت قبل عامين من بَدء عمل عائلة كوري في الحظيرة. بالكاد تستطيع رؤية أمها وأبيها، بمجرد عودة الوالدين إلى المنزل، يكونان مرهقيْن. يعتني الجد يوجين بإيرين، التي تظهر كل سمات الابنة التي تخشى الالتزام. عندما تغادر ماما ماري الغرفة، تمسك تنورتها وتبكي. ذات يوم سألت جدها عن سبب ندرة وجود أمها هناك. يأخذها الجد من يدها ويقودها إلى ثكنات المختبر. تشعر إيرين بالرعب من «هذا المكان البائس والحزين». ابنة أخرى تفتقد والدتها. بعد ثلاثة عقود، ستحصل إيرين جوليو كوري على جائزة نوبل، كثاني امرأة

في تاريخ الجائزة بعد والدتها، لأبحاثها في النشاط الإشعاعي. كذلك أيضًا أصبحت ابنتها هيلين عالمة فيزياء نووية.

في ذلك المساء من شهر يونيو في شارع كيليرمان، لم يكن لدى ماري كوري أي فكرة عن المأساة التي كانت على وشك أن تنزل على عائلتها. كانت ترتدي فستانًا جديدًا فصَّلته خصوصًا للاحتفال، مصنوع من قماش أسود، لا تظهر عليه بقع المختبر بشكل واضح. وليس منحنى عند بطنها المنتفخ. ماري حامل في شهرها الثالث. بعد بضعة أسابيع، ذهبت في جولة بالدراجة مع بيير. إنهما يحبان التجول في جميع أنحاء البلاد وكذلك قضيا شهر العسل بالدراجة. لكن حمل ماري الآن عمره خمسة أشهر ولم يعد جسدها قادرًا على تحمل مطبات الدراجة على الطرق الوعرة المليئة بالحصى. تعاني إجهاضًا. هربًا من الحزن، ألقت بنفسها في العمل، بشكل أعمق وأعمق، حتى تنهار مرة أخرى. لذلك لا يمكنها السفر إلى ستوكهولم لاستلام جائزة نوبل، التي حصلت عليها هي وبيير مع هنري بيكريل لاكتشاف النشاط الإشعاعي، ويمثلهما في ستوكهولم بالكامل بيكريل العبثي. يرتدي تنورة خضراء مطرزة بالذهب وميداليات على الصدر ويتدلى سيف على جانبه.

عندما خرجت ماري من باب الصالون في ذلك المساء الصيفي متعلقة بذراع بيير لحفل تخرجها، رفع الضيوف كؤوسهم نحوها. يخرج الزوجان بضع خطوات بعيدًا عن الضوء، كلٌّ منهما فقط للحظة. تحت السماء المرصعة بالنجوم، يمد بيير جيب سترته ويسحب قارورة زجاجية من بروميد الراديوم. يضيء اللمعان وجهيْهما، اللذين احمرَّا بسعادة من الكحول، بينما كان جلد أصابع بيير محترقًا ومتشققًا. هم نذير المرض الإشعاعي، الذي ستموت منه ماري يومًا ما، وهي أول فكرة عن تأثير المعرفة التي يتتبعانها.

برلين 1900
محاولة يائسة

يوم الأحد 7 أكتوبر 1900، يعد بأن يكون يومًا مملًّا. الزوجان ماكس وماري بلانك سيستضيفان الزوجيْن هاينريش وماري روبنز جيرانهما في الحي لتناول الشاي بعد الظهر في شقتهما، إنهما من الطبقة العليا في برلين من جرونفالد. روبنز أستاذ الفيزياء التجريبية بجامعة برلين، وأستاذ بلانك في الفيزياء النظرية. مما يزعج النساء، أنه لا يسع الرجال سوى التحدث عن عملهم. يتحدث روبنز عن قياساته الأخيرة في مختبر «معهد الرايخ الفني للفيزياء»، حول حقيقة أن الموجات التي سجلها هو وزملاؤه تتعارض مع جميع الصيغ التي عرفوها حتى الآن. يتعلق الأمر بطول الموجة وكثافة الطاقة والخطية والتناسب. في رأس بلانك، فإن قطع اللغز الذي كان يدفعه عقليًّا ذهابًا وإيابًا لسنوات بدأت في تشكيل نمط جديد. في المساء، بعد وقت طويل من مغادرة الضيوف، يجلس على مكتبه ويدون على الورق ما دار في رأسه؛ صيغة الإشعاع التي تتوافق بدقة مع جميع بيانات القياس. الصيغة التي كان بلانك وكثيرون آخرون يبحثون عنها منذ سنوات. قرابة منتصف الليل، استيقظت زوجته ماري بلانك وهو يعزف على البيانو أغنية لودفيج فان بيتهوفن. إنها طريقته في التعبير عن فرحته. في الليلة نفسها كتب صيغته على بطاقة بريدية أرسلها إلى روبنز.

أعلن ماكس بلانك، 42 عامًا، لابنه إرفين البالغ من العمر سبع سنوات في نزهة صباحية عبر غابة جرونفالد: «لقد توصلت إلى اكتشاف لا يقل أهمية عن اكتشاف نيوتن». لم يكُن يبالغ.

بلانك ليس ثوريًّا بالفطرة. لكن على عكس ذلك، فهو مثال للموظف الحكومي البروسي، الذي يرتدي دائمًا بدلة داكنة لائقة، وقميصًا منشيًا ذا ياقة صلبة حولها ربطة عنق سوداء، وزوجين من نظارات الأنف لمنع قصر النظر. يسود الحذر رأسه الأصلع، ويظهر تقوس فوق عينين ثاقبتين. ينسب إلى نفسه «طبيعة مسالمة». يقول للطلاب: «إن نصيحتي دائمًا هي التفكير في كل خطوة مسبقًا، ولكن إذا شككت في تحملك المسؤولية، فلا تتحمل أي شيء». طريقته في التعامل مع الأفكار الجديدة هي أن تكون لهم وجهة نظر محافظة بشدة. يقول أحد الطلاب عن بلانك: «من غير المعقول أن يكون هذا الرجل هو من حرَّض على الثورة». ليس هذا فقط، لكن يجب أن يتعلم بشكل أفضل.

ولد ماكس كارل إرنست لودفيج بلانك عام 1858 في مدينة كيل التي كانت في ذلك الوقت تابعة لمملكة الدنمارك. هناك تقليد علمي طويل يمر عبر عائلته. كان جده لأبيه ووالد جده من علماء اللاهوت الموقرين، وكتب عمه جوتليب بلانك رجل القانون المدني، وحصل والده يوهان يوليوس فيلهلم بلانك، وهو أيضًا محامٍ، على وسام فارس من قبل الملك البافاري لودفيج الثاني في عام 1870، وأصبح من الآن فصاعدًا يحق له إضافة لقب الفارس إلى اسمه «ريتر فون بلانك». كل الوطنيين المطيعين يحترمون القانون الإلهي والزمني. ينمو ماكس ليصبح واحدًا منهم أيضًا.

عندما بلغ ماكس بلانك التاسعة، انتقلت العائلة إلى ميونخ، إلى شقة كبيرة في 33 شارع برينرشتراسه. تولى الأب كرسي قانون الإجراءات المدنية في جامعة لودفيج ماكسيميليان، وذهب الابن ماكس إلى السنة السادسة من مدرسة جمنازيوم ماكسيميليان، التي انتقلت للتو إلى مبنى الدير الجديد في 14 شارع لودفيجشتراسه.

لم يكن الأفضل من بين 65 طالبًا في فصله، لكنه منضبط. يحصل على الدرجة الأولى مباشرة في «السلوك الأخلاقي» و «الاجتهاد»، كما أنه يمتلك تلك الصفات المهمة في نظام المدرسة البروسي، والذي يهتم بمعالجة كميات كبيرة من المواد من خلال الحفظ. يعطي تقرير المدرسة لماكس فرصة

جيدة لأن يصبح «شيئًا لائقًا». إنه «محبوب أساتذته وزملائه، وعلى الرغم من كل طفولته، فإنه يتمتع بعقل واضح ومنطقي للغاية». ليست بارات البيرة في ميونخ هي التي تجذب الشاب بلانك، بل دور الأوبرا وقاعات الحفلات الموسيقية. عندما كان طفلًا، طوَّر نغمة موسيقية مثالية، وعزف على الكمان والبيانو، وغنى في جوقة الكنيسة، حيث لعب أيضًا أدوارًا نسائية كعازف منفرد بصوت سوبرانو. في قداس الأحد الذي يجلس فيه على الأرغن، ألَّف أيضًا الأغاني، وحتى أوبريت، «الحب في الغابة»، الذي يُعرض في مهرجان لجمعية الجوقة الأكاديمية.

بعد تخرُّجه في المدرسة الثانوية، التي اجتازها بسهولة وهو يبلغ من العمر 16 عامًا، فكر في أن يصبح عازف بيانو في الحفلة الموسيقية. لكن عندما يسأل أستاذًا عن احتمالات دراسة الموسيقى، يحصل على إجابة قاسية: «إذا كنت تطلب النصيحة، ادرس شيئًا آخر!». هل تفضل أن تكون باحثًا كلاسيكيًّا؟ ماكس متردد. أرسله والده إلى أستاذ الفيزياء، فيليب فون يولي، الذي يبذل قصارى جهده لثني خريج المدرسة الثانوية عن دراسة الفيزياء. وصف الفيزياء له بأنها «علم متطور للغاية وشبه كامل النضج، والآن بعد أن توج باكتشاف مبدأ الحفاظ على الطاقة، من المحتمل أن يتخذ شكله النهائي المستقر قريبًا. ربما لا تزال هناك بقعة أو فقاعة صغيرة يجب فحصها أو تصنيفها في زاوية أو أخرى، لكن النظام ككل آمن إلى حد ما، والفيزياء النظرية تقترب بشكل ملحوظ من درجة الكمال التي كانت تتمتع بها الهندسة لقرون».

يولي ليس وحده في هذا الموقف. ببزوغ فجر القرن العشرين، كان الفيزيائيون واثقين من أنهم سيتمكنون قريبًا من إكمال تخصصهم. أعلن الفيزيائي الأمريكي ألبرت ميكلسون في عام 1899: «لقد اكتُشِفت جميع القوانين والحقائق الرئيسة للفيزياء»، وقد ثبت الآن بقوة أن احتمال أن تحل محلها الاكتشافات الجديدة بعيد للغاية. سيتم العثور على اكتشافاتنا المستقبلية في الخانة العشرية السادسة.

حذر جيمس كليرك ماكسويل، مخترع الديناميكا الكهربائية الكلاسيكية، من مثل هذا التراخي منذ عام 1871؛ ستكون تلك ثوابت فيزيائية تقريبية، والشيء الوحيد المتبقي لرجال العلم هو أخذ هذه القياسات إلى خانة عشرية أخرى. «وأكد ماكسويل أن المكافأة الحقيقية لـ «عمل القياس الدقيق» لم

تكن دقة أكبر، ولكن «اكتشاف مجالات بحثية جديدة» و «تطوير أفكار علمية جديدة». كان يجب أن يكون بالضبط كما تنبأ ماكسويل.

ليس لدى يولي أي فكرة أن هذا الخطأ التاريخي هو الذي سيُكسِبه مكانًا متواضعًا في تاريخ الفيزياء، ولا أن الشخص الجالس أمامه بلانك البالغ من العمر 16 عامًا هو الذي سيكشف خطأه. بلانك ليس لديه فكرة عن هذا أيضًا. قياس وحساب عدد قليل من الأرقام بعد الفاصلة العشرية لا يبدو سيئًا للغاية بالنسبة لآذان بلانك. على أي حال، لا يزال الأمر واعدًا أكثر من إجابة أستاذ الموسيقى. في الفصل الشتوي 1874/75 التحق بالرياضيات والعلوم الطبيعية.

في جامعة ميونخ، يواجه بلانك الملل الذي أخبره عنه فيليب فون يولي. تتضمن مشاريع بحث يولي التحديد الأكثر دقة للثقل النوعي للأمونيا السائلة -حتى وقتها- باستخدام ميزان زنبركي عصامي واختبار قانون نيوتن للجاذبية باستخدام كرة رصاص تزن 5775.2 كجم وقطرها متر واحد تقريبًا، أي شيء عدا الثورية.

مكث بلانك في كلية الفيزياء في ميونخ مدة ثلاث سنوات، ثم شعر بالملل هناك وانتقل إلى برلين، معقل الفيزياء، حيث درَّس هناك النجميْن جوستاف كيرشهوف وهِرمان فون هِلمهولتس.

بعد هزيمة فرنسا في حرب 1870-1871 وظهور ألمانيا الموحدة، أصبحت برلين عاصمة دولة جديدة قوية في أوروبا. لا يزال الفرنسيون هم مَن يدفعون التعويضات التي تجعل من الممكن إنشاء مدينة عند التقاء نهرَي هافل وشبري يمكنها التنافس مع باريس ولندن. من عام 1871 إلى عام 1900، نما عدد السكان من 865000 إلى أكثر من مليونَي نسمة، مما جعل برلين ثالث أكبر مدينة في أوروبا. يأتي العديد من المهاجرين من الشرق، معظمهم من اليهود الفارين من مذابح روسيا القيصرية.

مع الطموح لتحويل برلين إلى عاصمة أوروبية، نشأت أيضًا الرغبة في جعل جامعة برلين الأفضل في القارة. أحضروا هِرمان فون هِلمهولتس، الفيزيائي الأكثر احترامًا في البلاد، من هايدلبرج. هِلمهولتس جراح متعدد الثقافات من الطراز القديم وعالم فيزيولوجيا مشهور. بفضل اختراعه لمنظار العين، طوَّر فهمنا لوظيفة العضو البصري البشري.

قلة من العلماء الآخرين في ذلك الوقت كان لديهم أفق واسع مثل هِلمهولتس. عرف العالِم البالغ من العمر 50 عامًا ما يستحق. تفاوض على راتب أعلى عدة مرات من المعتاد وأعطى معهده الجديد الرائع للفيزياء، الذي كان لا يزال قيد الإنشاء عندما وصل بلانك إلى برلين في عام 1877 ومقره في المبنى الرئيسي للجامعة، وهو قصر سابق يُدعى (أونتر دِن ليندن)، مقابل الأوبرا. المحاضرات الأولى بالنسبة لبلانك كانت أشبه بالخروج من غرفة ضيقة إلى قاعة واسعة.

لكن حتى القاعة يمكن أن تكون مملة. يقرأ كيرشهوف محاضراته من كتاب المحاضرة، ويجدها بلانك «جافة ورتيبة»، بينما كان هِلمهولتس مُهيئًا بشكل سيئ، ويقدمها بتردد ويكرر خطأ تقديره. يتحول بلانك، الذي كان طالبًا طموحًا في المدرسة الثانوية، إلى الدراسة الذاتية ويقرأ كتابات رودولف كلاوزيوس حول نظرية الحرارة والقصور الحراري، المقياس الفيزيائي الجديد للاضطراب- خطوة أولى نحو الثورة.

في العشرين من عمره، اجتاز بلانك امتحانات الفيزياء والرياضيات. بعد مرور عام، قدم أطروحته حول القانون الثاني لنظرية الحرارة الميكانيكية. بعد عام آخر، أطروحته التأهيلية حول حالات توازن الأجسام المتناحرة عند درجات حرارة مختلفة. يجتاز الامتحانات بتقدير «امتياز» و «جيد جدًا». يبدو أن هناك مهنة جامعية مثالية تنتظره في المستقبل القريب.

أصبح بلانك محاضرًا خاصًا في جامعة لودفيج ماكسيميليان في ميونخ وما زال يعيش مع والديه، حيث ينعم بـ «أجمل حياة يمكن تخيُّلها وأكثرها راحة». انتهى ذلك عندما حصل على الأستاذية في كيل. أصبح الراتب السنوي البالغ 2000 مارك يكفي لتكوين أسرته الخاصة، والآن كل ما يحتاجه هو زوجة مناسبة. يتزوج بلانك من ماري ميرك، شقيقة زميلته في الدراسة، التي تنحدر من عائلة مصرفية ثرية. أنجب الزوجان ثلاثة أطفال في غضون عامين.

يعمل ماكس بلانك على ترسيخ نفسه كـ «رب أسرة»، وتصبح الأمور جادة مرة أخرى. تُوفي جوستاف كيرشهوف، الذي كان مريضًا فترة طويلة، في برلين، وأصبح كرسي الفيزياء الرياضية في جامعة فريدريش فيلهلم شاغرًا. تبحث لجنة التعيينات عن مرشح «يتمتع بسلطة علمية موثوق بها في سن الرشد». استُبعد كلٌ من لودفيج بولتسمان، مخترع الميكانيكا الإحصائية،

وهاينريش هِرتس، مكتشف الموجات الكهرومغناطيسية. ماكس بلانك هو الخيار الثالث. لكنه يبلغ من العمر 30 عامًا فقط، فهل هو ناضج بما يكفي لواحد من أهم الكراسي في البلاد؟ يشك البعض في لجان الفيزيائيين في برلين، حيث يبلغ متوسط العمر في الغالب 60 عامًا تقريبًا. بعد شفاعة مُعلمه السابق الآخر، هيرمان فون هِلمهولتس، حصل بلانك على الوظيفة، ولكن في البداية فقط كأستاذ مُشارِك.

لذلك يتعين على بلانك أن يثبت نفسه. يجلس الآن على كرسي مُعلمه، جنبًا إلى جنب مع أستاذه الآخر هيرمان فون هِلمهولتس، ويتعامل مع المَهمة غير المكتملة التي تركت كيرشهوف؛ مشكلة الجسم الأسود.

لقد عرف الخزافون والحدادون منذ قرون أن جميع الأشياء الساخنة، بغض النظر عن المادة، تتوهج بسلسلة من الألوان المميزة مع ارتفاع درجة حرارتها. عندما تضع قضيبًا حديديًّا في النار، فإنه سيتوهج أولًا باللون الأحمر الداكن الخافت الذي يتحول إلى لون أحمر كرزي فاتح مع زيادة سخونة الحديد، ثم يتحول إلى اللون الأصفر ثم يصبح أكثر بياضًا وأخف وزنًا مع زيادة الحرارة، حتى يتشوب تدريجيًّا بلون مائل إلى الزرقة. يظل هذا التسلسل المميز للألوان دائمًا كما هو، في السماء كما هو الحال على الأرض، من أحمر الفحم المشتعل عبر أصفر الشمس إلى اللون الأزرق والأبيض للفولاذ المصهور.

قاسَ الفيزيائيون التجريبيون أطيافَ الإشعاع المنبعث مرارًا وتكرارًا. مع موازين الحرارة والألواح الضوئية المحسّنة، اكتشفوا أن لوحة الألوان تمتد إلى ما وراء العالم المرئي، إلى الأشعة تحت الحمراء على الطرف الأكثر برودة والأشعة فوق البنفسجية على الطرف الأكثر سخونة. لقد شقوا طريقهم للأمام، خانة عشرية تلو الأخرى.

بحثوا عن صيغة تصف العلاقة بين درجة الحرارة وطيف الألوان بشكل صحيح؛ هذه هي مشكلة الجسم الأسود. يطلق عليه هذا لأنه يتعلق بالأجسام التي تمتص كل الإشعاع الوارد. في عام 1859، قام الفيزيائي جوستاف كيرشهوف، الذي كان حينها أستاذًا في هايدلبرج وخبيرًا في التحليل الطيفي للمياه المعدنية، بصياغة مشكلة الجسم الأسود علميًّا. لكنه فشل وغيره من المُنظِّرين مرارًا وتكرارًا في العثور على صيغة الجسم الأسود. اكتشف فيلهلم فيين صيغةً تُعيد إنتاج الجزء عالي التردد من الأطياف بشكل معقول، ويطور

جيمس جينس صيغةً للأطوال الموجية الكبيرة. لكن كلتا الصيغتين تفشل في الطرف الآخر من الطيف. إنها ليست المشكلة الوحيدة التي تهمُّ الفيزيائيين. فقد اكتُشِفت للتو الأشعة السينية والنشاط الإشعاعي والإلكترونات، واحتدم الجدل حول وجود الذرات. فبالمقارنة مع ذلك، تبدو مشكلة الجسم الأسود تافهة، ولكن هذا هو بالضبط سبب عدم حصول نجوم الفيزياء البارزين على أي راحة.

هذه ليست مجرد دعابة عقلية، ولكنها مسألة ذات أهمية وطنية. في الإمبراطورية الألمانية، التي أُعلن تأسيسها فقط في عام 1871، كان من المأمول أن يمنح حل مشكلة الجسم الأسود صناعة الإضاءة المحلية ميزة تنافسية على كلٍّ من بريطانيا العظمى والولايات المتحدة الأمريكية. من وجهة نظر مادية، الخيوط ليست أكثر من قضبان معدنية متوهجة. في يناير 1880، حصل توماس إديسون على براءة اختراعه للمصباح المتوهج الذي يتفوق على مصابيح الغاز المستخدمة آنذاك، وتبع ذلك صراعٌ عالميٌّ للسيطرة على سوق الإضاءة. حاولت الشركات الألمانية تطوير مصابيح كهربائية أكثر كفاءة من منافسيها الأمريكيين والبريطانيين.

في السباق على الريادة في الهندسة الكهربائية، كانت الإمبراطورية الألمانية الشابة تعمل بشكل جيد. اخترع فِرنر فون سيمنز الدينامو. في عام 1887، أسست حكومة الرايخ، بدعم من شركة سيمنز، «معهد الرايخ الفني للفيزياء» في ضواحي برلين، مع برنامج لدراسة إشعاع الجسم الأسود حتى تكون المصابيح الألمانية هي الأفضل في العالم.

أخيرًا، في عام 1896، يعتقد فريدريش باشن، المحاضر الخاص في الجامعة التقنية في هانوفر، أنه وجد صيغة الجسم الأسود. لكنَّ منافسيه في معهد الرايخ يدحضونه بطرق قياس أكثر تطورًا. مختبر فيزياء الإشعاع الخاص بهم هو الأفضل تجهيزًا في العالم، مليء بالعباءات والملفات النحاسية ومقاييس الحرارة والضوء والطيف والضغط بمؤشرات كبيرة، يتم اجتيازها بواسطة أحزمة الكابلات الثقيلة، وفي الوسط أسطوانة مجوفة معزولة مسخنة بالغاز والسائل؛ الجسم الأسود.

عندما أصبح ماكس بلانك خليفة كيرشهوف في جامعة برلين، كان عليه أن يثبت أن أحذية كيرشهوف ليست فضفاضة عليه. يجب أن يثبت نفسه في العملية الأكاديمية واسعة النطاق لجامعة العاصمة، ويرعى مئات الطلاب،

ويجري الاختبارات، ويكتب التقارير، ويحضر الاجتماعات. إنه يحافظ على محاضراته جافة وغير ملهمة كما تعلم من سلفه. تشتكي طالبة تُدعى ليزه مايتنر من أن محاضراته «على الرغم من وضوحها الاستثنائي، فهي غير شخصية إلى حد ما، وتقريبًا رصينة»، يقول أحد الطلاب: «بلانك ليس سعيدًا أيضًا».

من عام 1894 فصاعدًا، كرَّس بلانك كل وقته للبحث في مشكلة الجسم الأسود، والتي تركها كيرشهوف دون حل. إنه مفتون بحقيقة أن «إشعاع التجويف الأسود» يدور حول «شيء مطلق»، وبما أن «البحث عن المطلق بدا لي دائمًا أجمل مَهمة بحثية، فقد شرعت في العمل عليه بحماسٍ». يهاجم مشكلة الجسم الأسود كمُنَظِّر بحت؛ بالورق والقلم وعقله. ولكن بعد أن كتب أخيرًا الصيغة التي كان يبحث عنها ليلة الأحد تلك، واجه التحدي التالي؛ لم يفهم اكتشافه الخاص. عندما استيقظ بعد أسبوعين، في 19 أكتوبر، في ندوة الجمعة للجمعية الفيزيائية في «منزل ماجنوس» على ضفاف نهر شبري بعد محاضرة لفردیناند کورلباوم، لم يكن لديه الكثير ليقوله عن الصيغة نفسها.

الجزء الصعب من العمل لا يزال ينتظر بلانك. يجب عليه تفسير وتبرير الصيغة التي خمنها. لا يريد الفيزيائيون معرفة ما هو صواب فحسب، بل يريدون أيضًا أن يفهموا سبب صحته. في الأسابيع التي أعقبت اكتشافه، حاول بلانك استخدام الحجج الفيزيائية لاشتقاق الصيغة التي لحسن الحظ عثر عليها. إنه فيزيائي من المدرسة القديمة لا يؤمن بالأشياء الجديدة مثل الفيزياء الإحصائية لودفيج بولتسمان ولا يؤمن بالذرات. لكنه لا يستطيع أن يفهم صيغته الخاصة من حيث فكره الكلاسيكي. ماذا يعني ذلك الثابت الغامض المسمى h، والذي كتبه باستخفاف على الورق في تلك الليلة؟ إنها صغيرة، هذه h، هي فقط 0,000000000000000000000000000655 (رقم يسبقه 26 صفرًا بعد الفاصلة العشرية). لكن لا يمكن دفعها إلى الصفر.

في «محاولة يائسة»، يقرر بلانك أن الجسم الأسود مُكوَّن من ذرات. استخدم بالفعل نفس أساليب بولتسمان الإحصائية، التي يرفضها، وبالتالي يصل إلى صيغته، ولكن أيضًا إلى ذلك الاستنتاج الغريب «أن الطاقة مجبرة منذ البداية على البقاء معًا في كوانتات معينة». الذرات الأولى، والآن «الكميات» أيضًا. يأمل بلانك أن يختفي هذا الشبح قريبًا، لكن صيغته ستبقى. إنه يعتبر الكوانتا «افتراضًا شكليًّا بحتًا، ولم أفكر كثيرًا فيه، فقط أنه كان عليَّ تحقيق

نتيجة إيجابية في جميع الظروف». مجرد خدعة حسابية. لا شيء من شأنه أن يطرد النظرة للعالم خارج المفصل. ليس بعد.

في 14 ديسمبر 1894، الساعة الخامسة بعد الظهر، ألقى بلانك مرة أخرى محاضرة في ندوة يوم الجمعة بعنوان: «حول نظرية قانون توزيع الطاقة في الطيف الطبيعي». يجلس أمامه على المقاعد الخشبية العلماء التجريبيون روبنز ولومر وبرينجشيم. «أيها السادة!» يحييهم بلانك ثم يتحدث بجمل معقدة: «منذ عدة أسابيع كان لي شرف لفت انتباهكم إلى الصيغة الجديدة التي بدت لي مناسبة، وهي قانون توزيع الطاقة المشعة على جميع المجالات الطبيعية. الطيف، رأيي في فائدة الصيغة، كما أوضحت في ذلك الوقت، لم يكن يعتمد فقط على الاتفاق الجيد الظاهر بين الأرقام القليلة التي تمكنت من إيصالها إليكم في ذلك الوقت ونتائج القياس التي حصلنا عليها حتى الآن (في غضون ذلك، قدم السيدان روبنز وكورلباوم تأكيدًا مباشرًا للموجات الطويلة جدًّا)، ولكن بشكل أساسي على البناء البسيط للشكل وتحديدًا على حقيقة أنه يعطي تعبيرًا لوغاريتميًّا لاعتماد قصور حراري رنان متذبذب أحادي اللون مشع على طاقة اهتزازه، والذي يميل على أي حال إلى إثارة احتمال وجود تفسير عام بدت واعدة أكثر من أي صيغة أخرى مقترحة حتى الآن، بصرف النظر عن صيغة فيين، التي -رغم ذلك- لم تؤكدها الحقائق». لقد أعلن بالفعل عن الصيغة، والآن يمكنه تبريرها. سرعان ما وصل إلى الخطوة الرئيسة: «ومع ذلك، فإننا نعتبر -وهذه هي النقطة الأكثر أهمية في الحساب بأكمله- الطاقة مُكوَّنة من عدد محدد جدًّا من الأجزاء المتساوية المحدودة ونستخدم الثابت الطبيعي $h = 6.55 \times 10^{-27}$ إرج». الكم موجود في العالم ولا أحد يلاحظه. أصوات تصفيق حار من المقاعد الخشبية.

لا يشك بلانك ولا مستمعوه في أن علماء الفيزياء اللاحقين سوف يطلقون بعد ظهر ذلك اليوم «ساعة ميلاد فيزياء الكم». لسنوات حاول بلانك، كما فعل فيزيائيون آخرون مثل اللورد رايلي وجيمس جينس في إنجلترا وهيندريك أنطون لورينتز في لايدن، التخلص من الكوانتم. يؤمنون بالاستمرارية، في الأثير. إنهم يؤمنون بنيوتن وماكسويل. كل هذا سوف يسقط، وستبقى فيزياء الكم.

برن 1905
الموظف فاحص براءات الاختراع

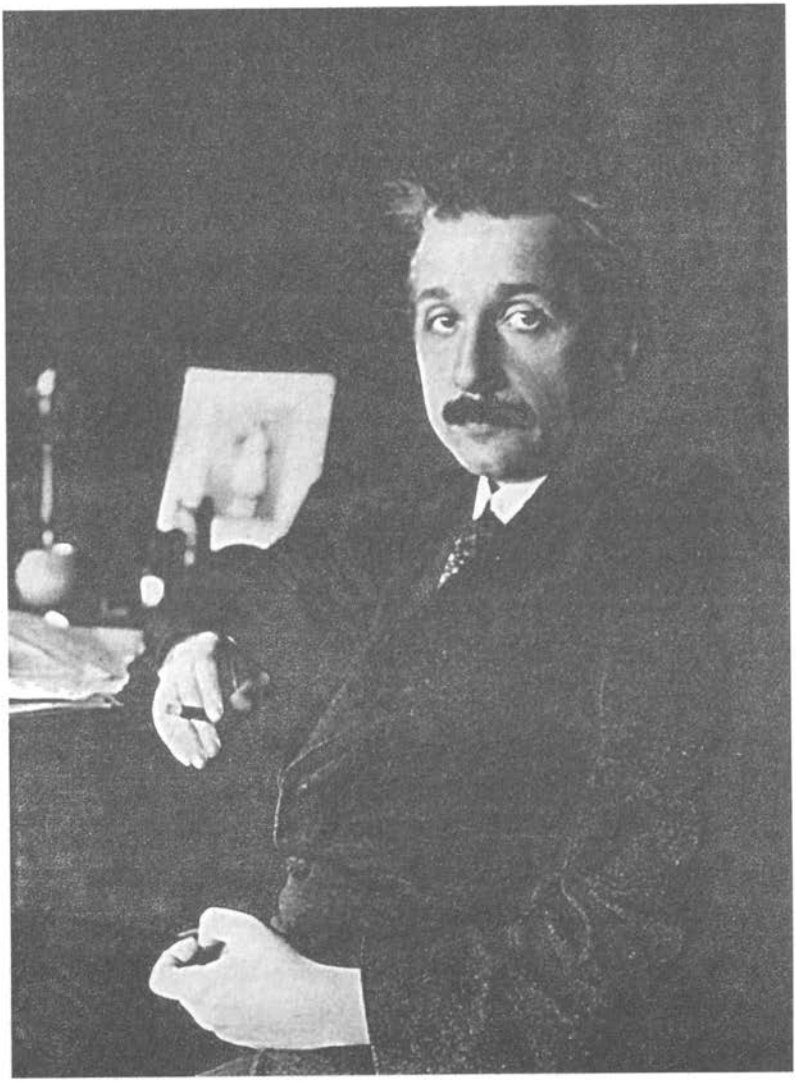
برن، الجمعة، 17 مارس 1905. ستدق ساعة برج تسيتجلوجه الثامنة قريبًا. يسارع شاب يرتدي بدلة منقوشة إلى أسفل الدرج الضيق شديد الانحدار من الطابق الثاني من مبنى كرامجسه 49 وفوق الأحجار المرصوفة بالحصى عبر الأروقة. يحمل في يده مظروفًا. قد يتساءل بعض المارة عن النعال البالية ذات اللون الأخضر والمطرزة بالزهور على قدميه. لا ينتبه الشاب لمظهرهم. عليه أن يذهب إلى مكتب البريد على وجه السرعة. محتويات المظروف في يده ستُغير العالم. اسمه ألبرت آينشتاين.

كان آينشتاين قد بلغ من العمر 26 عامًا قبل ثلاثة أيام وأصبح أبًا قبل عشرة أشهر. يعيش في الطابق العلوي في شقة من غرفتين مع زوجته ميليفا وابنهما هانز ألبرت.

في مكتب براءات الاختراع، يشغل آينشتاين منصبَ «فاحص من الدرجة الثالثة». ليست وظيفة أحلامه، لكنه سعيد بحصوله عليها أصلًا. رسوب في الدكتوراه، لا يوجد منصب مساعد في الجامعة، ولادة مليئة بالمضاعفات، إجراءات موعد مطولة في مكتب براءات الاختراع. يتعين على آينشتاين تغطية نفقاته كمدرس خاص حتى يتمكن من رعاية زوجته وأطفاله ودفع الإيجار. يُدرِّس الفيزياء والرياضيات للمهندسين والمعماريين والطلاب، يكتب أحد طلابه، وهو سويسري فرنسي، في دفتر ملاحظاته: «تبدو جمجمته القصيرة

واسعة للغاية. لون البشرة بني فاتح باهت. ينبت شارب أسود رفيع فوق الفم الكبير. الأنف له شكل أجنحة نسر طفيفة. تتألق العينان البنيتان للغاية بعمق ونعومة. الصوت مثير للاهتمام، مثل نغمة التشيلو المهتزة. يتحدث آينشتاين الفرنسية بشكل صحيح مع لكنة أجنبية طفيفة». بالإضافة إلى ذلك، يحضر آينشتاين محاضرات في علم الأمراض في جامعة برن، محاضرات الفيزياء يجدها مُملة للغاية. يحاول إثبات نفسه كمحاضر خاص، لكن الجامعة ترفض طلبه للتأهيل. إن إنجازاته لا تكفي لإعفائه من كتابة رسالة تأهيلية وهو غير حاصل على شهادة الدكتوراه، يُسمِّي آينشتاين الجامعة بـ «زريبة الخنازير». «لن أدرس هناك». لذا فشلت المحاولة الأولى ليصبح «أستاذًا عظيمًا».

بشكل عام، سارت السنوات القليلة الماضية بشكل سيئ لآينشتاين. عندما التحق بمعهد الفنون التطبيقية في زيورخ في عام 1896 عن عمر يناهز 17 عامًا، بعد أن فشل في امتحان القبول في المحاولة الأولى واضطر إلى السير في الطريق عبر الشهادة الثانوية السويسرية، أفلست شركة والده. يقيم آينشتاين دون دعم مالي في أكبر وأغنى مدينة في سويسرا، في مدينة البنوك ورجال الأعمال. يساعد الأقارب الإيطاليون بـ 100 فرنك شهريًا. لا يستفيد من شهادته في الفيزياء. في «التدريب الفيزيائي للمبتدئين» ينال توبيخًا ودرجات سيئة، وغالبًا ما يتغيب دون عُذرٍ لأنه يفضل دراسة كلاسيكيات الكهرومغناطيسية في المنزل: جيمس كليرك ماكسويل وهاينريش هيرتز. بالإضافة إلى الأعمال الجديدة لودفيج بولتزمان وهيرمان فون هيلمهولتز وإرنست ماخ.



ألبرت آينشتاين، سنة 1921 في مكتبه ببرلين.

Albert Einstein (AKG81628; © akg-images)

آينشتاين، الفيزيائي القادم من فيينا، مأخوذ بماخ تحديدًا. يقول ماخ، لا يوجد سوى ما يمكنك ملاحظته. يجب أن تستند المفاهيم الفيزيائية مثل السرعة والقوة والطاقة إلى الخبرة الحسية. إن مفاهيم الفضاء المطلق والوقت المطلق، التي كانت معتقدات منذ نيوتن والافتراضات المسبقة خارج الحواس للتجربة الحسية منذ كانط، هي جزء من الخردة الميتافيزيقية التي يرغب ماخ في التخلص منها. لا يوجد وقت مطلق. لا يوجد سوى أيدي وأجراس زيتجلوج.

عندما سُئِل عن وجود الذرات، يميل ماخ إلى الإجابة: «انظر بنفسك؟» يفترض أن الإجابة يجب أن تكون «لا». ولكن هذا على وشك أن يتغير. يتضح وجود الذرات في «أشعة اليورانيوم» التي لاحظها ودرسها هنري بيكريل وآل كوري، وآينشتاين ليس من النوع الذي ينكر ما يراه.

استسلم آينشتاين لكونه «طالبًا متوسط المستوى» واجتاز الامتحان النهائي رابعًا من بين خمسة مرشحين. عيَّن أستاذ الفيزياء هاينريش فريدريش فيبر جميع الخريجين كمساعدين، كلهم باستثناء آينشتاين. فشلت محاولتان للدكتوراه لأن الأساتذة «رفضوا» عمل آينشتاين. أطلق عليها آينشتاين نفسه فيما بعد «أعمالي الأولى عديمة القيمة».

صديقة آينشتاين، الصربية ميليفا ماريتش، هي واحدة من أوائل النساء اللائي درسن الفيزياء. رسبت في الامتحان النهائي، وحملت بطفل من آينشتاين، ورسبت مرة أخرى، وأنجبت ابنتها ليسيرل. تُخفي ميليفا وألبرت ابنتهما عن الأصدقاء والأقارب وتتخلى عنها للتبني دون أن يرى الأب ابنته. رحل آينشتاين إلى برن. ثم تبعته ميليفا، تزوج الاثنان، ضد رغبة والدة آينشتاين. لم يكن بالضبط ما يُطلق عليه وقتها «الظروف الملائمة».

عندما حصل آينشتاين أخيرًا على الوظيفة في مكتب براءات الاختراع، شعر بأمان مالي معقول. إن «الراتب الجيد» البالغ 3500 فرنك في السنة يكفي لحياة عائلية من الطبقة المتوسطة. كل صباح يوم عمل في الساعة الثامنة صباحًا، يجب أن يظهر في مكتب البريد والتليغراف لفحص براءات الاختراع لمدة ثماني ساعات. بعد ذلك، يعطي درسًا خاصًّا واحدًا على الأقل وعليه في البداية أن يأخذ تدريبًا خاصًّا من رئيس القسم نفسه، نظرًا إلى أنه لا يمتلك سوى القليل من المعرفة بالهندسة الميكانيكية والرسومات الفنية.

لن يراه أحدٌ مخطئًا إذا ركز آينشتاين، المنعزل عن مراكز الأبحاث الفيزيائية، على مهنة الخدمة المدنية السويسرية. لكن آينشتاين يتألق على الهامش الأكاديمي. إنه يحتاج إلى الاقتراب من المؤسسة الفيزيائية للحصول على أفكاره الخاصة، ومع ذلك فهو ليس العبقري الوحيد، وليست «العربة المنفردة» التي يتمنى أن يجد نفسه فيها. منذ الوقت الذي أمضياه معًا في زيورخ، كانت ميليفا ذكية ومُتحدثة ومُفكِّرة مُشاركة، وكانت أفكارها وأفكار آينشتاين أحيانًا لا تنفصلان تقريبًا.

في دائرة ضيقة من الأصدقاء تسمى «أكاديمية أوليمبيا»، ناقش آينشتاين الفيزياء والفلسفة وتحدث معهم دون الحاجة إلى القلق بشأن اتفاقيات المجتمع العلمي. يوقع الدعوات لحضور الاجتماعات، حيث لا يتسامح «ألبرت ريتر فون شتايسباين» مع الغياب دون عذر. صار لديه موطئ قدم ممتاز.

«جمعية أبحاث الطبيعة في برن» التي تقام كل أسبوعين في غرفة النادي بفندق «شتورشن». أجرى الأساتذة الفخريون ومعلمو المدارس الثانوية والأطباء والصيادلة مناقشاتٍ علميةً هناك، وفي 5 ديسمبر 1903 ألقى آينشتاين محاضرة حول «نظرية الموجات الكهرومغناطيسية». في وقت لاحق سوف يطلق عليها «نظرية النسبية». يقول آينشتاين: «هذا العمل نظري فقط». ثم تتحول الجمعية إلى موضوع بيطري.

عندما قرأ آينشتاين منشور ماكس بلانك عام 1900 حول مشكلة الجسم الأسود، كان أول من أدرك أهمية هذا الاكتشاف؛ «كان الأمر أشبه بسحب الأرض من تحتك دون وجود أرضية صلبة للوقوف عليها». إذا كان الضوء مُكوَّنًا من «كوانتا»، كما يقترح عمل بلانك، فكيف يمكننا أن نثق بنظرية ماكسويل لموجات الضوء؟ قرر آينشتاين أن يغامر بالدخول إلى منطقة غير مؤكدة مستندًا إلى كلام بلانك.

لأكثر من نصف قرن، منذ جيمس كليرك ماكسويل، كان الضوء ظاهرة موجية. على عكس حدسه الفيزيائي، بينما كان يكافح مع مشكلة الجسم الأسود، توصل بلانك إلى استنتاج مفاده أن الطاقة يتم امتصاصها وانبعاثها في مجموعات. لا تتدفق الطاقة بشكل متساوٍ، ولكنها تُنطلق أو تُمتَص في وحدات أصغر ومحددة للغاية (كوانتا). لكنه، مثل جميع الفيزيائيين الآخرين، تمسك بالاعتقاد بأن الإشعاع الكهرومغناطيسي يتكون من موجات متذبذبة باستمرار. أي شيء آخر؟ يجب أن تنشأ كتل الطاقة المزعجة بطريقة ما عندما

يتفاعل الإشعاع والمادة مع بعضهما بعضًا. الروح الثورية التي افتقدها بلانك اشتعلت في آينشتاين. الضوء، في الواقع كل الإشعاع الكهرومغناطيسي، لا يتكون من موجات، كما يدعي آينشتاين، ولكن من كوانتا شبيهة بالجسيمات.

هذا البيان الجريء مكتوب في المخطوطة الموجودة داخل المظروف الذي حمله آينشتاين إلى مكتب البريد في 17 مارس 1905 في طريقه إلى العمل. الغلاف موجه إلى محرري مجلة «حوليات الفيزياء»، أهم مجلة فيزياء في العالم. المخطوطة بعنوان: «وجهة نظر إرشادية تتعلق بإنتاج الضوء». يدرك آينشتاين أن اقتراحه أكثر راديكالية من اقتراح بلانك. النظر إلى الضوء على أنه تيار من الجسيمات يحد من الهرطقة المثارة حوله.

على مدار الأعوام العشرين القادمة، لن يؤمن أحدٌ تقريبًا باستثناء آينشتاين بالكوانتا الخفيفة. إنه يعلم منذ البداية أنها ستكون معركة شاقة. بكلمة «الكشف عن مجريات الأمور»، يعترف بأنه لا يعتبر «وجهة نظره» نظرية موضوعة بدقة، بل مجرد فرضية عمل، وأداة لفهم سلوك الضوء المحير بشكل أفضل. وهكذا يسهل آينشتاين على زملائه إدراك وجهة نظره وقبولها. إنه دليل لنظرية جديدة للضوء. لكن حتى هذا كثير جدًّا بالنسبة لزملائه في هذا المجال، الذين لا يستطيعون التفكير بشكل مختلف في الضوء عما علمهم ماكسويل التفكير فيه. أنت بحاجة إلى عقودٍ لمتابعة آينشتاين في الأبعاد التي انطلق فيها منذ عام 1905 في مكتبه.

وهذه مجرد بداية لما قام به فاحص براءات الاختراع من الدرجة الثالثة في برن. الدرجة المتوقعة من علماء الفيزياء في ذلك العام 1905. في مايو، وصلت رسالة من آينشتاين مع صديقه كونراد هابيشت، الذي انتقل من برن إلى جراوبوندن قبل بضعة أشهر لتعليم الرياضيات في مدرسة قروية. من الواضح أن الرسالة كُتِبت على عجل، بيد مرتعشة عليها بقع حبر وشطب. لم يكلف آينشتاين عناء مواعدته. يبدأ ببعض الإهانات، واصفًا هابيشت بـ «الحوت المتجمد» و «قطعة روح جافة ضائعة» يشعر بها «سبعين بالمائة غضب وثلاثين بالمائة شفقة». هذه هي الطريقة التي يعبر بها آينشتاين عن عاطفته. إنه يفتقد هابيشت، فهو يغيب عن الاجتماعات المشتركة لأكاديمية أوليمبيا.

ثم وعد آينشتاين بإرسال أربعة أبحاث لصديقه يأمل أن تظهر في وقت لاحق من ذلك العام. الأول يتعلق بالكوانتا الخفيفة. والثاني أطروحته

للدكتوراه، والتي يصف فيها طريقة جديدة لقياس حجم الذرات. والبحث الثالث، يشرح آينشتاين الحركة البراونية: الرقص المتشنج للجسيمات مثل حبوب اللقاح في السائل الذي حير العلماء لمدة ثمانية عقود. يكتب آينشتاين: «البحث الرابع متاح من حيث المفهوم، وهو ديناميكا كهربائية للأجسام المتحركة باستخدام تعديل لنظرية المكان والزمان.» وكفيزيائي بعد العمل، تابع آينشتاين ما اقترحه إرنست ماخ، والمكان والزمان اخترعهما حديثًا. ماكس بلانك، بمراجعة عمل حوليات الفيزياء، أعطى النظرية ما سيصبح اللقب الثاني لآينشتاين؛ «نظرية النسبية».

لكن ليست نظرية النسبية هي التي يسميها «ثورية جدًّا» في رسالته إلى هابيشت، ولكن نظريته عن الكوانتا الخفيفة. إنها المرة الوحيدة التي يصف فيها أحدٌ أعماله بهذه الكلمة: «ثوري». الخبير بلانك، الذي لا يزال يعتبر الكوانتا التي ابتكرها بنفسه أداة حسابية مؤقتة، لا يتفق على الإطلاق مع نظرية جسيمات الضوء لآينشتاين. لكنه يوافق على طباعتها. يتساءل بلانك من هو هذا الفيزيائي الهاوي من برن الذي ابتكر فجأة كل هذه النظريات العظيمة والجريئة.

البحث الذي أدرجه آينشتاين في رسالته إلى هابيشت وحده كان من السهل أن يكون كافيًا لتأمين مكان له في تاريخ العلم إلى الأبد. ينتجه آينشتاين في أوقات فراغه في غضون بضعة أشهر. لم يحدث من قبل مثل هذا التدفق الإبداعي لدى أحد العلماء. ثم يكتب بحثًا خامسًا لم يذكره في رسالته إلى هابيشت، يشتق فيه الصيغة $E = mc^2$.

في يناير 1906، حصل آينشتاين على درجة الدكتوراه من جامعة زيورخ، حيث قام مكتب براءات الاختراع في برن بترقيته إلى «فاحص براءات اختراع من الدرجة الثانية»، على حد تعبيره. يزيد راتبه السنوي إلى 3800 فرنك. في أوائل عام 1907 كتب آينشتاين في رسالة إلى صديق: «أنا على ما يرام؛ أنا بقايا حبر سويسري فاخر براتب لائق. بالإضافة إلى ذلك، أمارس هواية ركوب الخيل الرياضية القديمة، وأعزف على الكمان، كلاهما ضمن الحدود الضيقة التي سمح لي بها وقت ابني البالغ من العمر عامين لمثل هذه الأشياء غير الضرورية».

باريس 1906
بيير كوري تحت العجلات

أصبحت ماري وبيير كوري منذ ذلك الحين من النجوم. تنشر الصحف في الوطن قصصًا عن «الشاعرة في مختبر الفيزياء». وفي الوقت نفسه، تتزايد الإثارة المحيطة بالراديوم إلى الضجيج العالمي. يقال إن الراديوم يعالج السرطان وينظف الأسنان ويغذي الرغبة الجنسية. في حفلات موسيقى الراديوم العليا، تومض تأثيرات ضوء الراديوم، في النوادي الليلية تظهر الراقصات المطلية بطلاء الراديوم. تنتشر مصانع الراديوم في جميع أنحاء العالم، وتتقاتل على إمدادات البتشبلند. يشرب صانع الفولاذ الأمريكي والرياضي إيبين بايرز زجاجة من ماء الراديوم كل يوم ليحافظ على نشاطه ويموت متألمًا من سرطان الفك. مكتبة سُر مَن قرأ

كما بحث آل كوري في التأثيرات الفسيولوجية للراديوم. يضعون كبسولات مطاطية مع ملح الراديوم على جلدهم ويسجلون ما يفعله الإشعاع بجلدهم. يزداد الاحمرار أولًا، ثم البثور والقروح. في إحدى التجارب، ترك بيير عينة مشعة ضعيفة نوعًا ما على ذراعه مدة عشر ساعات. استغرق الجرح أربعة أشهر للشفاء. تظهر على ماري وبيير الأعراض الأولى لما سيثبت لاحقًا أنه مرض الإشعاع. يتشقق جلد يديها ويلتهب. يعاني بيير صعوبةَ النوم، آلام عظامه سيئة للغاية. يحبس النشاط الإشعاعي في الملابس التي يرتدونها،

في الورق الذي يكتبون عليه. بعد أكثر من مائة عام، لا يزال هذا يجعل عداد جيجر يدق.

ذات يوم في عام 1906، بعد مشادة مع ماري، غادر بيير المنزل. غاضبًا ومتألمًا، يتجول في الشوارع. عند تقاطع مزدحم في شارع دوفين، وقع تحت حصان وعربة، وهشمت العجلة الخلفية جمجمته فمات. هذه فاجعة كبيرة للغاية لماري، فهي تتحرك بالقرب من قبره. منذ ذلك الحين لم تُرَ مبتسمة في أي صورة لها. بعد عامين من وفاة بيير، حصلت على منصب أستاذ كرسي في الفيزياء وأصبحت أول امرأة تدرس في جامعة السوربون. في عام 1911 حصلت على جائزة نوبل مرة أخرى، هذه المرة في الكيمياء، لإنتاج الراديوم. لا توجد حفلة هذه المرة.

برلين 1909
نهاية السيجار الطائر

برلين، صيف 1909. عشرات الآلاف من سكان برلين يتدفقون على ساحة عرض الجيش البروسي في تمبلهوفر فيلد. يسافرون بالدراجة والمترو سيرًا على الأقدام. إنه الوقت الذي تحرك فيه التكنولوجيا الناسَ.

وسط الحشد، بالكاد يلاحظ الكثير منهم وجود برج خشبي على شكل هرم ببنائه الغريب. لا ترى الآلة الطائرة التي فككها أورفيل رايت في أمريكا، معبأة في صناديق، وشحنها إلى أوروبا على متن سفينة وأعيد تجميعها في برلين. أطلق رايت المُجسم الخشبي في الهواء بآلته، وفي سبتمبر 1909، وسط هتافات مدوية لسكان برلين، حقق رقمًا قياسيًّا عالميًّا للارتفاع بلغ 172 مترًا فوق سطح الأرض.

كان أورفيل رايت أيضًا من بين الحضور قبل أيام قليلة. وقف بجانب القيصر على المدرج لتفقد الطائرة الألمانية؛ منطاد زبلين. كان الكونت زبلين نفسه خلف عجلة سيجاره العملاق. لقد طار أعلى وأبعد من رايت، لكن المنطاد يبدو بطيئًا وضخمًا بجانب آلات الطيران المزركشة للأخوين رايت. خفض الكونت قوسه ببطء نحو المدرج لتحية الإمبراطور. صفق رايت بأدب. صار منطاد زبلين من الماضي. بينما ستصبح طائرة رايت هي المستقبل. الحرب العالمية القادمة ستُخاض في الجو.

براغ 1911
ترك آينشتاين التحدُّث إلى الزهور

أبريل 1911. يستعد ألبرت آينشتاين لدراسته في الجامعة الألمانية في براغ. لقد انتقل للتو إلى هنا من زيورخ. تحت نافذته توجد حديقة جميلة بها أشجار قديمة. يتفاجأ آينشتاين من أن النساء فقط يذهبن للنزهة في الصباح والرجال فقط في فترة ما بعد الظهر. في النهاية، علم أن الحديقة هي جزء مما يُسمى «اللجوء المجنون» في ذلك الوقت. يقول آينشتاين لزواره: «ترى ذلك الجزء من الأشخاص المجانين الذين لا يتعاملون مع نظرية الكم». تهدد نظرية الكم بأن تصل حتى إلى عقله. تزعجه الطبيعة المزدوجة للضوء والكوانتا التي جلبها هو نفسه إلى العالم. هل هم حقًّا موجودون؟ توقف عن القلق بشأنه. بعد إلقاء محاضرة حول «نظرية الإشعاع والكوانتا» في مؤتمر سولفاي الأول في نوفمبر 1911، قرَّر وضعَ حدٍّ للجنون الكمي ووجَّه انتباهه إلى قضايا أخرى ذات آثار جانبية أكثر اعتدالًا. عليه الابتعاد عن براغ القاتمة. بناءً على توصية عالم الرياضيات الفرنسي هنري بوانكاريه، الذي توصل إلى معادلات نظرية النسبية الخاصة بشكل مستقل عنه، يعرض عليه المعهد الفيدرالي السويسري للتكنولوجيا في زيورخ درجة الأستاذية. في يوليو 1912، عاد أستاذًا إلى الجامعة التي كانت قد رفضت تعيينه ذات مرة في منصب مساعد.

لكن مرة أخرى لم يبق طويلًا. بعد عام واحد فقط، استقبل آينشتاين الفيزيائييْن ماكس بلانك وفالتر نِرنست في محطة القطار في زيورخ. يعرف سبب زيارتهما، يريدان استقدامه إلى العاصمة الألمانية. لكنه لا يعرف حتى الآن بالضبط ما الذي سيقدمانه له. أخبره بلانك أن 12000 مارك في السنة، الحد الأقصى لراتب الأساتذة البروسيين، بالإضافة إلى الراتب الفخري لأكاديمية العلوم البروسية، 900 مارك. أعجب آينشتاين. لكنه يتردد، ولديه عروض أخرى ويطلب يومًا للتفكير في الأمر. بينما يقوم بلانك ونِرنست برحلة إلى جبل ريجي بالتلفريك، يفكر آينشتاين في عرضهما. ويعلن أنه إذا قبل، فسيعرفان متى يعودان مِن لون الأزهار. الأحمر يعني نعم، والأبيض يعني لا. عندما رأيا آينشتاين مرة أخرى، كان يحمل باقة زهور حمراء.

كامبريدج 1911
الدنماركي يكبر

سبتمبر 1911. وصل شاب دنماركي، لم يبلغ من العمر 26 عامًا، إلى جامعة كامبريدج الإنجليزية. تغلفه هالة حزن، بنظرته الخجولة تحت حاجبيْه الكثيفيْن المتدلِّييْن وزاويتَي فمه المتدلِّيتيْن. عندما يفكر مليًّا، تتدلى ذراعاه الكبيرتان على جسده وتتراخى ملامحه. ثم يبدو أنه «أحمق»، كما يقول أحد الزملاء. وهذا ما يبدو عليه عندما يتحدث بجُمل بطيئة ومدروسة.

لكن المظاهر خادعة. يتمتع بور بقوة هائلة، جسديًّا وعقليًّا. في الشتاء يتزلج ويتزحلق، وفي الصيف يلعب كرة القدم، تلك الرياضة الجديدة التي تغزو القارة من إنجلترا. بور حارس مرمى في نادي كرة القدم الأكاديمي بالدنمارك Akademisk Boldklub، الذي أسسه والده. وهو مِن ألمع علماء جيله. عليه فقط أن يثبت ذلك، للعالم ولنفسه.

بدأت مسيرة بور العلمية بداية سيئة. لقد كتب للتو أطروحته حول التوصيل الكهربائي في المعادن. لقد افترض أن الإلكترونات تحمل الشحنة عبر المعدن و «تنطلق» في طريقها دون عوائق، مثل الذرات في الغاز. ومع ذلك، لم يعمل هذا النموذج جيدًا. لا يزال يدرس ليتحصل على الدكتوراه. لا أحد في الدنمارك يعرف ما يكفي عن الإلكترونات ليناقشه.

يوجد شك في أن هناك خطأً ما في فكرة القرن التاسع عشر عن الإلكترونات ككرات بلياردو صغيرة مشحونة. سافر إلى كامبريدج للدراسة مع أستاذ الإلكترونات؛ جوزيف جون طومسون، 55 عامًا، رئيس مختبر كافنديش الشهير الذي أسسه جيمس كليرك ماكسويل وأستاذ في كلية ترينيتي حيث كان يدرس إسحاق نيوتن. كان طومسون هو مَن اكتشف الإلكترون قبل 15 عامًا. ربما يستطيع طومسون مساعدة الشاب الدنماركي في نشر أطروحته في مجلة محترمة.

الهدف النهائي لبور هو معرفة كيفية عمل الذرة. حتى الآن، لم يعرف العلماء عن الذرات أكثر مما هو موجود. سيكون بور في المكان المناسب في كامبريدج، لأن طومسون لديه الهدف نفسه. لو لم تكن الآداب الإنجليزية كذلك.

طومسون مدير مختبر مرموق، ولكن سمعته سيئة بسبب حماقته في التجارب ومهارات التعامل مع الآخرين. بعد وقت قصير من وصوله، تجرأ بور على الإشارة إلى عدد قليل من الأخطاء وعدم الدقة في كتابه «توصيل الكهرباء عبر الغازات» إلى طومسون العظيم، والذي قال إنه يمكن تصحيحه بسهولة. يقولها بمرح وود، ولكن بلغة إنجليزية قاسية، لكنه سرعان ما أدرك الزلة التي ارتكبها للتو. يصر على أنه لم يرد تصحيح عمل طومسون، إنه يريد فقط أن يتعلم، لكن التأكيدات تأتي بعد فوات الأوان. يشعر طومسون بالإهانة، ويشعر بور بخيبة أمل لأن طومسون غير مهتم بمعرفة أن حساباته خاطئة.

بعد ذلك بقليل، يترك بور مخطوطة لطومسون لإطلاعه عليها. بعد أيام قليلة، يرى أن طومسون لم يلمس المخطوطة ويواجهه بشأنها. هذا أيضًا لا يتماشى مع العرف. يخبر طومسون بور أنه من المستحيل على شاب مثله أن يعرف الكثير عن الإلكترونات كما يعرفها.

خسر بور بسبب اللغة الإنجليزية القاسية، من الآن فصاعدًا صار طومسون يغير طريقه في الشارع بمجرد أن يرى بور قادمًا. في العشاء معًا على الطاولات الطويلة في قاعة الطعام في كلية ترينيتي، لا أحد يريد الجلوس بجانب الدنماركي ذي المظهر الحزين. لقد مرت أسابيع قبل أن يتحدث إليه أحدٌ مرة أخرى. «مثيرة جدًا للاهتمام»، أطلق بور على إقامته في كامبريدج «عديمة الجدوى تمامًا». ويدافع عن فرضيات علمية مشكوك فيها. «مثيرة جدًا

للاهتمام»- كامبريدج أيضًا راهنت مع بور. على الأقل لديه الآن الوقت لقراءة روايات تشارلز ديكنز الطويلة، وتتحسن لغته الإنجليزية البائسة بسرعة.

في فبراير 1911، فجع الشاب الدنماركي ذو النظرة الحزينة بخبر وفاة والده عن عمر يناهز 54 عامًا: كريستيان بور، عالم فيسيولوجي محترم أجرى أبحاثًا حول تبادل الغازات في الرئتين عند التنفس. تعرف نيلز على العلم في مختبر والده. بور وحيد في حزنه، يفتقد خطيبته مارجريت نورلوند، أخت صديق قديم. التقيا قبل عام، في نادي «إكليبتيكا» في كوبنهاجن، وبعد ذلك بوقت قصير قررا الزواج في أقرب وقت ممكن. يكتب نيلز رسائل شوق إلى مارجريت، واحدة على الأقل كل يوم. في إحداها، اقتبس نيلز قصيدة كتبها جوته:

مكتبة
t.me/soramnqraa

عالم فسيح وحياة رحبة،
سنوات طويلة، وجهاد صادق،
دائمًا ما نبحث عنه ونشيّده،
لم يُغلق، وغالبًا ما يُشيّد،
شيخ محفوظ بأمانة،
يدرك بمحبة من جديد،
بعقل صافٍ وأغراض نقية؛
حسنًا، ربما تكون قد قطعت شوطًا طويلًا.

على العشاء، يلتقي نيلز بور الوحيد رجلًا يبلغ من العمر 40 عامًا بشعر أشيب، وشارب ولهجة غريبة؛ إرنست رذرفورد هو ابن مزارع اسكتلندي هاجر إلى نيوزيلندا، وهو أستاذ في مانشستر، وفاز بجائزة نوبل في الكيمياء، وأفضل علماء الفيزياء التجريبية في العالم. صوت جهور، يشتم به بصوت عالٍ عند فشل التجربة. شخص مباشر، بور يحب ذلك. درس رذرفورد أيضًا على يد طومسون، وهو الآن في سباق مع معلمه السابق؛ مَن الذي سيكتشف أولًا كيفية بناء الذرات؟

يدرك بور أن مانشستر هي المكان المناسب له وليس كامبريدج. يعرف رذرفورد عن الذرات أكثر من طومسون، وهو يقوم بالتجارب الأكثر إثارة. بدلًا من الموقف البريطاني المتشدد، يعامل بور بلطف وتشجيع. قال بور لاحقًا عن رذرفورد: «لقد كان بمنزلة الأب الثاني لي تقريبًا»، حيث أطلق على رابع أبنائه الستة اسم «إرنست».

في مارس 1912، تمكن بور أخيرًا من الانتقال من كامبريدج إلى مانشستر، مصممًا على تعلم كيفية تجربة النشاط الإشعاعي. ومع ذلك، حتى في مانشستر لم يصبح عالمًا تجريبيًّا أفضل، فهو ليس «عديم الفائدة تمامًا» ولكنه عديم الفائدة إلى حد كبير.

النشاط الإشعاعي هو مفتاح تكوين الذرات. يشارك رذرفورد هذه القناعة مع منافسته المرموقة ماري كوري، التي عادة ما يحب المناقشة معها. قبل بضع سنوات، أوضح رذرفورد في مختبر كافنديش هوية إشعاع ألفا. يتكون من جسيمات أثقل بكثير من الإلكترونات ولها شحنة معاكسة ومرتفعة الشحن. عندما التقط رذرفورد وجايجر جسيمات ألفا هذه وقاموا بتحييدها كهربائيًّا، أدركوا أنها كانت ذرات هيليوم. لذلك عند تحلل ألفا، تتحول الذرة الكبيرة إلى ذرة أصغر عن طريق إخراج قطعة تشبه ذرة أخف من الهيليوم. لكن لا أحد يعرف بالضبط ما هي الذرة.

توصل رذرفورد إلى فكرة أن جسيمات ألفا يمكن استخدامها كمقذوفات. يمكنك إطلاقها على أشياء أخرى لمعرفة ما تصنع هذه الأشياء. جنبًا إلى جنب مع جايجر، يقذف رقائق ذهبية رفيعة بجزيئات ألفا من مصدر مشع. يبدو أكثر إثارة مما هو عليه. يترك رذرفورد مساعديه للجلوس لساعات في المختبر المظلم، في انتظار اتساع حدقة أعينهم بما يكفي لعدِّ الومضات الدقيقة التي تنتج عندما تصطدم جسيمات ألفا بشاشة فسفورية.

إنهم يتعجبون مما يلاحظونه. تتطاير معظم جسيمات ألفا عبر رقائق الذهب كما لو لم تكن موجودة. البعض يغير الاتجاه ببضع درجات، مثل طلقات رعاة البقر. ما فاجأ الفيزيائيين هو أن بعض جسيمات ألفا لم تمر عبر الرقاقة. يطيرون عائدين في الاتجاه الذي أتوا منه. يقول رذرفورد لاحقًا: «إنه أكثر حدث لا يُصدق في حياتي، لا يُصدق عندما تطلق قنبلة يدوية ثقيلة على منديل، وترتد وتضربك». يدرك رذرفورد أن جسيمات ألفا لا بد أنها ارتدت من شيء أثقل منها. ويخلص إلى أن الذرات لها «نوى» صغيرة كثيفة تتركز

فيها كل كتلتها تقريبًا. ما تبقى من الذرة فارغ إلى حد كبير. يحب رذرفورد مقارنة نواة الذرة بـ «بعوضة في قاعة حفلات».

الفكرة صحيحة، لكن رذرفورد لا يزال يفتقر إلى الحجة المناسبة لذلك. لا يزال طومسون يؤمن إيمانًا راسخًا بنموذجه لـ «بودنج البرقوق»، والذي وفقًا له تندمج الإلكترونات في الذرات في كتلة موزعة بالتساوي مثل الزبيب في كعكة. لا يملك رذرفورد الوسائل لتغيير رأيه. هو فيزيائي تطبيقي. لكنه أخرق مع الصيغ والنظريات مثل طومسون في التجارب.

يدعى أحد مساعدي رذرفورد تشارلز داروين، حفيد عالم الأحياء التطوري العظيم، والمُنظِّر الوحيد في مجموعة رذرفورد. عندما يصل نيلز بور إلى مانشستر، يحاول داروين أن يفهم نظريًّا ملاحظات رذرفورد. يشتبه داروين في أن معظم جسيمات ألفا تصبح متشابكة في تشابك الإلكترونات مع رقائق الذهب وتفقد طاقتها في هذه العملية. بشكل استثنائي فقط، يصطدم جسيم ألفا بإحدى هذه النوى المفترضة ويعود إلى الوراء. بهذه الطريقة، يريد داروين معرفة كيفية بناء الذرات. يتخيل الإلكترونات تدور بشكل غير منظم في حجم الذرة.

إنها لا تعمل. عندما عدَّل داروين نموذجه لفهم كيفية تعلق جسيمات ألفا بمواد مختلفة، يترتب على ذلك هراء. حجم الذرات خاطئ. يرى بور هذا الهراء ويتذكر أطروحة الدكتوراه الخاصة به. إنه يشك في أن السبب هو نفسه في كلتا الحالتين؛ لا تتمتع الإلكترونات بقدر من حرية الحركة كما افترض هو نفسه وداروين. هم متصلون بالنواة. يلعب بور بصور مختلفة. يعتقد أن الإلكترونات كرات صغيرة تتأرجح صعودًا وهبوطًا على زنبركات. كالأجرام التي تدور حول لب ذراتها مثل الشمس. إنها مجرد لعبة ذهنية، لكن بور متأكد من شيء واحد؛ يجب أن تتحرك الإلكترونات. وإلا فإن الذرة سوف تنهار. من ناحية أخرى، عندما تكون في حالة حركة، يجب أن تصدر إشعاعات كهرومغناطيسية وتتوقف تدريجيًّا. هذه هي المفارقة!

ثم اتخذ بور خطوة جريئة. من أجل تثبيت ذراته، قرر أن الإلكترونات يجب ألا تتحرك في الذرة بأي طاقة عشوائية. تتغير طاقتهم فقط في قطع ثابتة؛ دائمًا فقط بواسطة «الكوانتم». ما الذي يجعله يعتقد ذلك؟ يبقى سره. ربما يعيد التاريخ نفسه ويقوم بور بنفس «الفعل اليائس» الذي قام به ماكس بلانك ذات مرة في سياق مختلف تمامًا. يعرف بور الحيلة التي استخدمها

بلانك في ابتكار صيغته الإشعاعية منذ أحد عشر عامًا، وهو يعرف كوانتا آينشتاين الخفيفة. يعترف بصراحة أنه لا يستطيع تفسير اقتراحه، تمامًا كما لم يستطع بلانك تفسيره. لا تزال فكرة كوانتا الطاقة تحوم في الهواء، ولا تزال محاطة بهالة من الغموض.

لكنها تعمل؛ يستطيع بور الآن فهم مناورات الكبح لجزيئات ألفا بشكل أفضل. يكتب على عجل مسودة ورقة بحثية، وبعد ثلاثة أشهر فقط في مانشستر، يهرع إلى موطنه للزواج من مارجريت. في يوم الخميس، الأول من أغسطس عام 1912، تزوجا في مدينة سلاجيلس مسقط رأس مارجريت في جزيرة زيلندا، ليس في الكنيسة الرائعة التي تعود إلى العصور الوسطى، ولكن في مبنى البلدية. بور، الذي لا يؤمن بالرب، يرفض الزواج الديني. رئيس بلدية سلاجيلس في إجازة، لذلك تقدمت مارجريت ونيلز إلى قائد الشرطة لتبادل العهود. الحفل يستمر دقيقتين.

بور سعيد لأنه لم يعد مضطرًّا إلى الكتابة بيده. يجد صعوبة في الكتابة والتفكير في الوقت نفسه، يفضل التحدث كثيرًا. من الآن فصاعدًا، يملي العديد من أعماله على زوجته الموهوبة لغويًّا مارجريت، التي تصحح لغته الإنجليزية الخرقاء. في الأصل أرادت أن تصبح معلمة لغة فرنسية، والآن ستكون سكرتيرته. تبدأ عملها في شهر العسل. يسافر الزوجان إلى كامبريدج ومانشستر، حيث يعرض نيلز لمارجريت مكان عمله. وفي مانشستر يُسلِّمان إرنست رذرفورد الورقة البحثية التي حل فيها نيلز الذرات. فينبهر رذرفورد.

ستظهر الأشهر القليلة المقبلة مدى ثراء النموذج الذري الذي وضعه بور. بواسطته يمكنه حل اللغز الذي حاول الفيزيائيون عبثًا حله على مدى عقود؛ الخطوط الطيفية للهيدروجين. مدة قرن من الزمان، لاحظوا أن ضوء الشمس، عند تقسيمه إلى ألوان قوس قزح باستخدام منشور، يتقاطع مع مئات الخطوط السوداء، وقد طوروا صيغًا معقدة لوصف أنماط الخطوط. أصبح تحليل الخطوط الطيفية فرعًا من فروع العلم في حد ذاته، لكن لا أحد لديه أي فكرة عن كيفية تشكل هذه الخطوط.

من خلال نموذجه الذري، يستطيع بور الآن شرح الخطوط الطيفية بشكل عرضي تقريبًا. وكما تربط الجاذبية الكواكب بالشمس، فإن التجاذب الكهربائي يبقي الإلكترونات في مداراتها. وعلى عكس الكواكب، يمكن للإلكترونات أن تقفز إلى مدارات أعلى أو أدنى، ولكن فقط إذا كانت الطاقة

التي تكتسبها أو تفقدها في أثناء القيام بذلك تفي بحالة الكم. على يد بور، يصبح علم الخطوط الطيفية علم قفزات الإلكترون.

تفسير الخطوط الطيفية للهيدروجين جيد، لكن ربما مجرد ضربة حظ. أذهل بور المتشككين بتنبؤ مذهل بشأن الهيليوم، العنصر الثاني في الجدول الدوري وهو نادر على الأرض ولكنه مُكوِّن رئيسي للشمس. اكتشف لأول مرة في خطوط طيف الشمس. يأتي اسمها من اليونانية هيليوس، «الشمس». في جمر النار الشمسية، يمكن لذرة الهيليوم أن تفقد أحد إلكترونيْها. يمكن للإلكترون الآخر القفز من مسار إلى آخر، كما هو الحال في ذرة الهيدروجين. يتوقع بور من نموذجه أن الترددات في طيف الهيليوم تختلف بمعامل 4 عن تلك الموجودة في طيف الهيدروجين. يقوم عالم تطبيقي بريطاني بإجراء قياسات دقيقة في مختبره ويصل إلى عامل قدره 4.0016. ويخلص إلى أن نموذج بور لا بد وأن يكون خاطئًا.

لكن يرد بور بسرعة. ببساطة، افترض أن كتلة الإلكترون صغيرة مقارنة بكتلة النواة الذرية. بالتعويض عن الكتل المعروفة في صيغته، يحسب العامل 4.00163. مستوى لا يمكن بلوغه حتى الآن من الاتفاق بين النظرية والتجربة، حدث مثير! تنتشر الكلمات بسرعة حول أن الشاب الدنماركي قد حقق اكتشافًا رائعًا.

هذه هي الطريقة التي أسس بها نيلز بور الفيزياء الذرية. يُجيب نموذجه عن أسئلة طويلة الأمد، لكنه يثير أيضًا أسئلة جديدة. كيف يقرر الإلكترون ما إذا كان يقفز وفي أي مدار يقفز؟ مرة أخرى، يبدو أن الأحداث في العالم الكمي تأخذ مسارها تلقائيًّا، ومرة أخرى يبدو أن مبدأ السبب والنتيجة معلق. «هذا الشيء المتعلق بالسببية يزعجني كثيرًا أيضًا»، كتبها ألبرت آينشتاين إلى ماكس بورن بعد بضع سنوات، بعد لغز القفزات الكمية غير المسببة الذي لم يُحل بعد. آينشتاين ليس وحده في قلقه. يتلاعب الفيزيائيون بحماس مع ذرة بور وهم يعلمون سرًّا أن شيئًا ما خطأ.

يرى بور نفسه أيضًا أن نموذجه لا يمكن أن يكون هو الحقيقة الكاملة. ولا حتى النصف، كما يعتقد. لكنه سبيل نحو الحقيقة، وهذا ما كان يبحث عنه لأنه يفكر مثل المحقق. يحب القصص البوليسية التي يلتهمها. في رحلاتهم، يحمل آل بور معهم في بعض الأحيان حقيبة مليئة بالقصص البوليسية. يعرف نيلز بور أن المشتبه به الأول ليس القاتل أبدًا.

شمال الأطلسي 1912
سقوط العصمة

في 10 أبريل 1912، تفاخرت السفينة البخارية العملاقة تايتانيك، في جميع أنحاء العالم باعتبارها غير قابلة للغرق، وغادرت ميناء ساوثهامبتون في رحلتها الأولى وحددت مسارها إلى نيويورك. على بعد آلاف الأميال في منطقة البحر الكاريبي، كان الطقس دافئًا بشكل غير عادي هذا الربيع، مما يغذي تيار الخليج. تنجرف مئات الجبال الجليدية جنوبًا من المحيط المتجمد الشمالي على المياه الباردة لتيار لابرادور. عندما يلتقي كلا النهرين، يتشكَّل حاجزٌ من الجبال الجليدية يمر عبره طريق تيتانيك. ليلة 15 أبريل مليئة بالنجوم فوق شمال المحيط الأطلسي. تصبح السبيكة المعدنية التي يصنع منها بدن تيتانيك هشة في الماء البارد وتتحرك السفينة على طول جبل جليدي يحمله تيار لابرادور من نهر جليدي في غرب جرينلاند. قطع الجليد عدة ثقوب في بدن السفينة على الجانب الأيمن تحت خط الماء. في دراما مدتها ثلاث ساعات، تغرق تيتانيك، ومعها الإيمان بعصمة العلم والتكنولوجيا. نجا 711 فقط من أصل 2201 راكب وطاقم.

لا يتعين على الفيزيائي الإيطالي غوليلمو ماركوني، مخترع التلغراف اللاسلكي والحائز جائزةَ نوبل، التنافس مع الركاب الآخرين على أماكن في قوارب النجاة. لقد رفض الدعوة لأخذ عائلته في الرحلة الأولى مجانًا لأن جدول

أعماله مزدحم وكان متعجلًا للوصول إلى نيويورك. لذلك قبل ثلاثة أيام، كان قد انطلق عبر المحيط الأطلسي على متن باخرة أخرى. سعيد الحظ.

ومع ذلك، يلعب ماركوني دورًا رئيسًا في هذه الدراما. بنى نظام راديو، وكان اثنان من مشغلي الراديو على متن السفينة، جاك فيليبس وهارولد براید، موظَّفان في شركته، يُرسِلان الاستغاثات وموقع تيتانيك إلى السفن الأخرى، ويستمران في الاتصال اللاسلكي حتى بعد أن يعفيهما القبطان من واجبهما حتى تتدفق المياه إلى غرفة الراديو. نجا براید، وغرق فيليبس. يقول مدير عام مكتب البريد البريطاني[1] في وقت لاحق: «أولئك الذين أُنقذوا، يعود الفضل لرجل واحد، السيد ماركوني واختراعه الرائع». نظرية الموجات الكهرومغناطيسية تنقذ الأرواح. مَن يجرؤ على التقليل من شأنها؟

(1) هربرت صموئيل، مدير عام مكتب البريد البريطاني أبريل 1912. [المترجم]

ميونخ 1913
فنان يصل إلى ميونخ

في الأيام التي قدَّم فيها نيلز بور الورقة البحثية الأولى التي تصف نموذجه الذري إلى المجلة الفلسفية[1]، هرب أدولف هتلر، وهو رسام، ورودولف هويسلر، وهو رجل أعمال عاطل عن العمل، عاشا معًا في مهجع للرجال في فيينا، هربا من النمسا بالقطار إلى ميونخ لتجنب الجيش والخدمة العسكرية. يجوبان المدينة بحثًا عن مكان للإقامة. لافتة مُعلقة على محل خياط في شلايسهايمر شتراسه: «غرفة صغيرة للإيجار». يقرع هتلر الباب فتفتح زوجة الخياط آنا بوب وتُريه الغرفة في الطابق الثالث. يوافق هتلر على الفور. مقابل إيجار ثلاثة ماركات في الأسبوع، يعيش هتلر وهويسلر مع بوب. يرسم هتلر لوحة مائية كل يوم، وأحيانًا لوحتين. مناظر المدينة التي يبيعها للسياح في الحانات في المساء. ليس لديه أي اتصال مع المشهد الفني المفعم بالحيوية للمدينة ولا يستقبل أي زوار. يقرأ في الليل الكتيبات السياسية. عندما نصحته زوجة الخياط بالابتعاد عن الكتب السياسية ورسم المزيد من اللوحات، أجاب: «عزيزتي السيدة بوب، هل تعرفين ما نحتاجه وما لا نحتاجه في الحياة؟».

(1) المجلة الفلسفية هي واحدة من أقدم المجلات العلمية المنشورة باللغة الإنجليزية. أسسها ألكسندر تيلوش عام 1798؛ وفي عام 1822 أصبح ريتشارد تايلور محررًا مشتركًا ونُشرت باستمرار من قبل تايلور وفرانسيس منذ ذلك الحين. [المترجم]

في غضون ذلك، بدأ البحث عن الهاربين من الخدمة العسكرية في النمسا-المجر. في 22 أغسطس 1913، وضعت شرطة فيينا مذكرة مطلوبين: «أدولف هتلر، آخر إقامة في هيرينهايم، مِلدمان شتراسه، مكان وجوده الحالي لا يزال غير معروف، ولا تزال التحقيقات جارية».

في 17 أغسطس، عين الإمبراطور فرانز يوزف وريثه للعرش، الأرشيدوق فرانز فرديناند، «مفتشًا عامًّا للقوات المسلحة بأكملها» وبالتالي وسع سلطاته. يطالب الخصم الكبير لوريث العرش، الكونت فرانز كونراد فون هوتزيندورف، رئيس هيئة الأركان العامة، بحرب وقائية ضد صربيا والجبل الأسود. يرفض فرانز فرديناند. السلام لا يزال سائدًا.

ميونخ 1914
مع الذرَّة في جولة

في يوليو 1914، ذهب نيلز بور في جولة مرة أخرى، مع أبحاثه عن الذرَّة، دون زوجته. رحلته تذهب إلى جوتنجن وميونخ. جوتنجن هي معقل الرياضيات البحتة والفيزياء الرياضية؛ كارل فريدريش جاوس، يشار إليه أحيانًا باسم برينسبس ماتيماتيكوروم[1]، عمل هناك في القرن التاسع عشر. ومع ذلك، لم يحدث الكثير في جوتنجن منذ زمن جاوس، والشهرة بدأت بالفعل في الانهيار. المدينة التقليدية ليست مكانًا سهلًا لبور. بعد أن وصلت أخبار نموذجه الذري إلى جوتنجن، تلوح به من قبل السلطات. النموذج «جريء» و «غامض» بالنسبة لهم. لذا فإن بور الآن موجود شخصيًّا ليقدمها، بصوت ناعم وبطء في الإملاء، بلغة ألمانية غير ملائمة. وعلى الأقل أحرز تقدمًا بسيطًا؛ لم تعد ردود الفعل سلبية بالإجماع. ألفريد لاندي، مساعد عالم الرياضيات دافيد هيلبرت، يسمي النموذج «هراء». ماكس بورن، الذي أصبح للتو أستاذًا وجد أن النموذج غير مفهوم تمامًا عندما رآه على الورق، يحكم بشكل أكثر تساهلًا بعد الاستماع إلى بور: «يبدو هذا الفيزيائي الدنماركي مثل عبقري حقيقي، يجب أن يكون هناك شيء ما».

(1) برينسبس ماتيماتيكوروم عبارة لاتينية تعني أعظم عالم رياضيات منذ العصور القديمة. [المترجم]

في ميونخ كان الوضع أيسر لبور. المدير هناك أرنولد زومرفِلد، البالغ من العمر 64 عامًا، أستاذ الفيزياء النظرية برقبة وشارب يشبه الفرسان. على الرغم من أنه أمضى عددًا من السنوات في جوتنجن، فإن زومرفِلد احتفظ بعقله المتسائل وفضول الشباب. إنه أحد أوائل العلماء الذين دعموا نظرية النسبية الخاصة لآينشتاين، بينما كان علماء الفيزياء الآخرون من جيله مترددين في إعادة تفسير المكان والزمان. عندما حصل تداول لكلمة ذرة بور، كتب إلى بور أنه بينما كان متشككًا إلى حد ما، فإن القدرة التنبؤية للنموذج كانت «بلا شك إنجازًا عظيمًا». في ميونخ، استقبل زومرفِلد الضيف الدنماركي بطريقة ودية وشجع طلابه على دراسة الفيزياء الذرية الجديدة.

بين عامي 1912 و1914، أجرى الفيزيائيان الألمان جيمس فرانك وجوستاف هيرتز تجارب تصادم مع الإلكترونات، والتي سُجلت في التاريخ باسم تجربة فرانك هيرتز. في المصباح الزجاجي، يسرعان الإلكترونات بمجال كهربائي ويتركانها تطير عبر سحابة من بخار الزئبق. يقيسان مقدار الطاقة التي تفقدها الإلكترونات في تصادمها مع ذرات الزئبق. في مايو 1914، كان ألبرت آينشتاين من أوائل الذين أدركوا أن قياسات فرانك وهيرتز أكدت فرضية الكم وبالتالي دعمت نموذج بور الذري.

لكن في تلك الأشهر، حدثٌ واحدٌ أزاح الفيزياء إلى الوراء تمامًا. في 28 يونيو 1914، أطلق القوميون الصرب النار على ابن شقيق الإمبراطور ووريث العرش النمساوي المجري فرانز فرديناند وزوجته صوفي. كان حزن عمه الإمبراطور فرانز يوزف الأول محدودًا، فهو طالما اعتبر فرانز فرديناند غير لائق لمنصب الإمبراطور، وهو ما ظهر بالفعل عندما قرر الزواج بسبب الحب. صوفي، وهي وصيفة سابقة لإحدى النبيلات، كانت من وجهة نظر الإمبراطور أدنى من مرتبة وريث العرش لدرجة أنه سمح بالزواج فقط بعد مقاومة طويلة، ولكن بشرط ألا تصبح صوفي «الإمبراطورة المستقبلية»، ولكن مجرد «زوجة للإمبراطور القادم»، وأن نسل الزوجين يحملون لقب الأم ولا يطالبون بالعرش. بعد وفاة صاحب الخصوصية فرانز فرديناند، خلفه حفيد الإمبراطور كارل في منصب وريث العرش، وكان يفكر بشكل أكثر تقليدية.

محاولة اغتيال فرانز فرديناند لم تمر دون عقاب، وتتقدم النمسا لمهاجمة صربيا. ونتيجة لذلك، اضطربت شبكة المعاهدات الحكومية الدولية التي تحافظ على توازن أوروبا، حيث قامت دولة تلو الأخرى بتعبئة قواتها. أزمة

يوليو تجتاح القارة. واجهت القوى المركزية حول الرايخ الألماني والنمسا والمجر تحالفًا ثلاثيًّا لبريطانيا العظمى وفرنسا وروسيا، والذي سرعان ما انضمت إليه إيطاليا.

في يوليو 1914، سافر نيلز بور وشقيقه الأصغر هارالد من ميونخ إلى تيرول للتنزه في الجبال. في الصحف التي يمكنهما الحصول عليها، يقرآن بشكل متزايد تقارير مزعجة عن حرب وشيكة. يسارع جميع المسافرين إلى العودة لأوطانهم، ويدرك الأخوان بور أيضًا أن الوقت الحالي ليس وقتًا مناسبًا للتنزه لمسافات طويلة. قبل نصف ساعة من إعلان ألمانيا الحرب على روسيا، عبرا الحدود عائدين إلى ألمانيا. في قطار مزدحم للغاية لدرجة أنه تعين عليهما قضاء الليل واقفين في الممر، يسافران من ميونخ إلى برلين، حيث يحيط بهما الحماس الجارف للحرب. يتذكر نيلز بور في وقت لاحق: «كان هناك هذا الحماس اللامحدود، وكان هناك هتاف وصراخ بأنهم ذاهبون للحرب مرة أخرى. هذا الحماس شائع في ألمانيا عندما يتعلق الأمر بشيء عسكري». يأخذان القطار إلى فارنيموندە، حيث يذهب آخر اتصال بالعبارة إلى الدنمارك المحايدة والآمنة.

فجأة أوقفت الحرب ظهور بور لأول مرة في الفيزياء الألمانية. لقد عاد إلى كوبنهاجن، حيث ليس لديه مختبره الخاص ولا يجد وقتًا للبحث. بدلًا من ذلك، عليه أن يدرِّس الفيزياء لطلاب الطب، ويكتب على السبورة مرة أخرى بنفسه، وهو الأمر الذي يجد صعوبة فيه. لا تستطيع مارجريت تصديق هذا في قاعة المحاضرات.

الحرب تجعل الحكومة الدنماركية لا تستمع إلى طلب بور بإنشاء معهد للفيزياء النظرية. يقبل بامتنان دعوة من رذرفورد للعودة إلى مانشستر. إنها تقريبًا عودة للوطن بالنسبة لبور، الذي يعامل رذرفورد «تقريبًا مثل الأب الثاني» بعد وفاة والده.

لكن في هذه الأثناء قد تغير الكثير، لم يعد شيء كما كان قبل ثلاث سنوات. يبدو مختبر رذرفورد مهجورًا. كثير من الباحثين اختفوا في الحرب. جيمس تشادويك، الذي كان في برلين في منحة دراسية في بداية الحرب، أصبح الآن سجينًا طوال مدة الحرب. قُتل هنري موزلي، أحد أكثر طلاب رذرفورد موهبة، برصاص قناص في معركة جاليبولي بين الإمبراطوريتين البريطانية والعثمانية. هانز جايجر، الذي سُمي على اسمه عداد جايجر وأجرى تجارب

التشتت لرذرفورد، هو ضابط في المدفعية الألمانية ويستعد لحرب غاز في «جاستروب». في فرنسا، بَنَت ماري كوري وابنتها إيرين محطاتٍ متنقلةً للأشعة السينية للجنود.

حتى رذرفورد لا يملك الوقت الكافي للتفكير في الذرات. طوَّر نظام سونار (جهاز سبر بالصدى) ضد الغواصات الألمانية التي تهاجم السفن الحربية البريطانية والسفن التجارية. بور وحيد مرة أخرى. الحرب ليست وقتًا مناسبًا لمن يحاول فهم العالم.

يصادف بور العزلة بقسوة. طوال حياته، كانت طريقته في البحث والفهم من خلال المناقشة، في لقاءات غير رسمية مستمرة مع زملائه. يعتمد على الحوار مع العلماء الآخرين، ويفكر بصوت عالٍ، ويطرح الأفكار ويصححها، ويقفز ذهابًا وإيابًا، واستطرادات، ووقفات، وفترات طويلة. يبدأ وقت سعيد ولكنه ضئيل من الناحية العلمية له ولزوجته المتزوجة حديثًا. تشعر مارجريت في مانشستر كأنها في منزلها. قد لا تكون المدينة الصناعية ساحرة مثل كامبريدج، لكنها تعتقد أن الناس أكثر ودًّا.

على الرغم من الحرب، لم يتوقف النشاط الأكاديمي. في ميونخ، المنعزلة تمامًا عن الفيزياء الدولية، ألقى زومرفِلد نظرة شاملة على ذرة بور. تُتَداول المقالات والمجلات المتخصصة بطرق غامضة بين الدول المعادية. حتى عندما تحارب الدول بعضها بعضًا، لا تزال الأفكار قادرة على الانتقال. ويمكن لبور أيضًا أن يلهم علماء فيزيائيين آخرين خارج الخنادق.

في مانشستر، توصل بور إلى فكرة أن الإلكترونات يمكن أن تنتقل ليس فقط في دوائر ولكن أيضًا في مدارات إهليلجية حول نواة ذراتها. قد يكون هذا تفسيرًا لحقيقة أن الخطوط الطيفية للهيدروجين تنقسم أحيانًا إلى عدة خطوط دقيقة. لكن عندما يحاول حساب هذه الفكرة، يتعثر.

بالنسبة لعالم فيزياء من الطراز العالمي، بور عالم رياضيات سيئ بشكل ملحوظ. ما يلفت النظر للوهلة الأولى في مقالاته البحثية هو قلة المعادلات. بدلًا من ذلك، يبدأ بالمفاهيم والافتراضات العامة، ويتعهد بمزيد من التأملات الفلسفية، ويحافظ على الاستنتاجات الكمية والشكلية. في معظم حياته المهنية، وظف عددًا من المعاونين الموهوبين رياضيًّا لتحويل رؤيته الفيزيائية غير العادية إلى براهين شكلية. تساهم طريقة العمل هذه

في تكوين الهالة الغامضة التي تتطور تدريجيًّا حول بور. لديه عين جيدة لا تضاهى ويدرك على الفور أين تكمن الأسئلة والمشكلات الحاسمة وكيف يمكن العثور على إجابة. لكنه غالبًا ما يكون غير قادر على إيجاد الإجابة بنفسه. بعد عدة سنوات، يتذكر فِرنر هايزنبرج محادثة «أكد فيها بور لي أنه لم يصمم النماذج الذرية المعقدة باستخدام الميكانيكا الكلاسيكية؛ لقد جاءوا إليه بشكل حدسي، بناءً على تجربته، وليس الصور».

وهكذا فإن بور غير قادر على العمل بشكل كامل على فكرته عن المدارات الإهليلجية. ينشر فقط رسمًا تخطيطيًّا لاقتراحه، والذي يجد طريقه بطريقة ما إلى ميونخ وينتهي به المطاف في أيدي المنجز والمبدع أرنولد زومرفِلد. تلقى تعليمه بأفضل الأعراف الألمانية، بارعًا في المنهجية الرياضية وتطبيقها على المسائل الميكانيكية والكهرومغناطيسية، زومرفِلد هو الرجل المناسب لاتخاذ الخطوة التالية.

إذا كان بور هو كوبرنيكوس الذرة، فإن زومرفِلد هو كِبلر. إنه يعمل على تحديد التفاصيل الدقيقة الميكانيكية للنظام الكوكبي المصغر والكمِّي ويجد حجة مقنعة لحقيقة أن المدارات الإهليلجية للإلكترونات تقتصر أيضًا على قيم معينة. إن إهليلجية المدار، مثل ارتفاعه، تنقسم إلى كوانتا. يمكن أن يستخدم زومرفِلد مثل هذه الحيل لكشف أنماط الخطوط الطيفية.

يتحمس بور لرؤية ثمرة نموذجه الذري. كتب إلى زومرفِلد: «لا أعتقد أنني قرأت أي شيء بمتعة أكثر من عملك الجميل». بدأ الفيزيائيون في الحديث عن ذرة بور-زومرفِلد، التي ربما تكون أول إنجاز عالمي حقيقي للعلم. الجوهر يأتي من النيوزيلندي رذرفورد، مبدأ البناء من الدنماركي بور، الذي التقى رذرفورد في إنجلترا، وتأتي التفاصيل الدقيقة من ألمانيا من زومرفِلد. لكنه أيضًا مزيج جريء من الفيزياء القديمة والجديدة، من الميكانيكا الكلاسيكية والكم، مثمر ولكنه ربما يكون خاطئًا، كما يرى بور نفسه.

في عام 1916 عاد إلى كوبنهاجن، هذه المرة ليبقى. لم يعد الطالب الخجول الذي كان عليه من قبل. استسلمت الدولة الدنماركية لحثه المستمر، والجامعة التي حضر فيها ذات مرة محاضرات تمهيدية تمنحه كرسيه الخاص، وكذلك معهده الخاص. في البداية، كان يتألف من مكتب صغير فقط شاركه بور مع مساعده الأول، الهولندي هندريك كرامرز. في عام 1919 أضيف مكتب ثالث لسكرتيرته. لكن بور لديه خطط أكبر. يجمع المال لبناء

معهده الخاص في شارع بلِجدامسفيج الصغير في كوبنهاجن. في عام 1921، فُتِحت الأبواب المزدوجة الكبيرة للمبنى المكون من ثلاثة طوابق، وكُتب أعلاه بأحرف كبيرة؛ «المعهد الجامعي للفيزياء النظرية». على يمين الرواق الكبير توجد قاعة، بالإضافة إلى مكتبة وكافيتريا.

خلال سنوات الحرب، تجول العديد من الفيزيائيين في العالم بحثًا عن مكان آمن وهادئ. يجده بور في الوطن. وهو الآن أحد أساتذة الفيزياء النظرية القلائل في العالم، وسرعان ما سيصبح أحد المشاهير في الدنمارك. في العشرينيات من القرن الماضي، قام أكثر من 60 مُنظِّرًا بزيارة معهد بور ومكثوا هناك فترة طويلة. يبقى الكثير لسنوات. يأتون من جميع أنحاء العالم؛ من الولايات المتحدة الأمريكية، ومن الاتحاد السوفيتي، ومن اليابان. معظمهم من الشباب. يعتني بور شخصيًّا بتمويل إقاماتهم. لقد أسس نوعًا جديدًا من التعاون يتجاوز الفيزياء. لا يعمل الفيزيائيون معًا فحسب، بل يعيشون معًا ويأكلون معًا ويلعبون كرة القدم معًا. بور يتزلج معهم، ويتنزه معهم، ويذهب معهم إلى السينما. يحب مشاهدة الأفلام الغربية.

عندما يسافر الفيزيائي الهولندي الشاب هندريك كازيمير إلى كوبنهاجن للتعلم من بور، يتحقق والد كازيمير مما إذا كان بور مشهورًا حقًّا على المستوى الوطني من خلال توجيه رسالة إلى العنوان التالي: «كازيمير، عن طريق نيلز بور، الدنمارك». تصل الرسالة قبل وصول ولده. يطمئن الأب. ابنه في أيد أمينة.

لم يصبح بور متحدثًا لبقًا بعد. في محاضراته، يتلعثم ويتعثر، يقفز من فكرة إلى أخرى: «أه، و، و، و... لكن...» بالنسبة له، المحاضرة لا تعني شرح شيءٍ سبق أن فكر فيه، إنها تعني فقط التفكير بصوت عالٍ.

برلين 1915
جيد في الفيزياء النظرية وسيئ في العلاقات

زيورخ، فبراير 1914. يشك ألبرت آينشتاين، 34 عامًا، في أن فترة من الاضطراب تنتظره، سواء في التفكير أو في الحياة. يكتب إلى ابنة عمه وعشيقته إلسا لوفينتال، 38 عامًا، في برلين: «لا أستطيع الكتابة لأنني مشغول حقًّا بأشياء كبيرة. ليلًا ونهارًا كنت أفكر في تعميق الأمور التي وجدتها تدريجيًّا في العامين الماضيين، والتي تمثل تقدمًا غير مسبوق في المسائل الأساسية للفيزياء». بعد بضعة أيام، يتابع: «يعاني ابني الصغير السعال الديكي والتهاب الأذن الوسطى والإنفلونزا والضعف الشديد. يطلب الطبيب نقله إلى الجنوب لفترة من الوقت حالما تسمح حالته بذلك. هذا له نقاطه الجيدة. لأن ميتسا يجب أن تذهب، وسأكون وحدي في برلين لفترة من الوقت». ميتسا، تلك هي زوجته ميليفا. زواج آينشتاين في حالة سيئة. يقول ألبرت لعشيقته: «أنا أعامل زوجتي كموظفة لا يمكن فصلها».

في 29 مارس 1914، يوم الأحد الممطر، وصل آينشتاين إلى برلين بالقطار. لا يمكنك أن تعرف من وجهه أنه قادم إلى العاصمة الألمانية ليبقى. يسافر نهارًا، ويهبط على رصيف محطة القطار حاملًا حقيبة الكمان في يده ونظرية نصف منتهية في رأسه. سيُطلق عليها لاحقًا «نظرية النسبية العامة» وستجعل مُنشِئها أشهر عالِم في العالَم.

ومع ذلك، فإن مجد المستقبل مجرد حلم. يعد في الأوساط العلمية كوبرنيكوس القادم، لكن لا يعرفه أي شخص آخر. منذ فترة طويلة عمل ماكس بلانك وفريتس هابر، على جلب آينشتاين إلى برلين، وهما من الأشخاص الأقوياء في الأكاديمية البروسية للعلوم. على عكس ما كان عليه الحال في زيورخ، يجب أن يتمتع بالحرية الكاملة لإجراء البحوث في برلين. مسموح له بالتدريس في الجامعة، لكن ليس عليه ذلك. يتطلع آينشتاين إلى أن يكون «كشخص أكاديمي دون أي التزامات، مثل مومياء حية». بادئ ذي بدء، لديه أسبوعان للاستمتاع مع إلسا. ثم جاءت ميليفا إلى برلين مع ابنيها.

مع أول تعيين آينشتاين في برلين التقى ليوبولد كوبل، رجل الأعمال والمصرفي المؤثر. تدعم مؤسسته جمعية القيصر فيلهلم لتقدم العلوم التي تأسست حديثًا، وتحارب الديمقراطية الاجتماعية وتدفع راتب آينشتاين. يريد كوبل تمويل إنشاء معهد القيصر فيلهلم للفيزياء، بإدارة آينشتاين. لكن سيستغرق ذلك بعض الوقت. في الوقت الحالي، أنشأ هابر لآينشتاين مكتبًا في منزله في معهد القيصر فيلهلم للكيمياء الفيزيائية والكهربية في حي دالِم الهادئ. هناك يجد آينشتاين ما يحتاجه بالضبط؛ الراحة، لأنه لا يعمل على أقل من الإطاحة بميكانيكا نيوتن.

كان آينشتاين يستعد لهذا الانقلاب منذ سنوات. في خريف عام 1907 أدرك «أنه يمكن معالجة جميع القوانين الطبيعية في إطار نظرية النسبية الخاصة، باستثناء قانون الجاذبية». استغرق الأمر منه بعض الوقت لفهم أسباب ذلك حتى حقق يومًا ما «التقدم» عندما جلس على مكتبه في مكتب براءات الاختراع في برن وترك أفكاره تسرح. تخيل آينشتاين رجلًا يسقط من سطح منزل. في السقوط الحر، لا يشعر بثقله، فهو عديم الوزن في مجال جاذبية الأرض. قادته هذه التجربة الفكرية إلى نظريته في الجاذبية.

يذكرنا بوميض الإلهام الذي كان يشاهده إسحاق نيوتن البالغ من العمر 23 عامًا عندما كان جالسًا في حديقة والديه عام 1666 ورأى تفاحة تسقط من شجرة، وتوصل إلى أن القوة التي تسحب التفاحة لأسفل يجب أن تكون مماثلة لإبقاء القمر في مداره حول الأرض. مع آينشتاين، يسقط الراصد نفسه، لكن مع نيوتن تسقط التفاحة فقط.

عمل آينشتاين لسنوات على وضع المعرفة من تجربته الفكرية في شكل صيغ. تقريبًا لا شيء يخرج من هذا، فقط الإشاعة القائلة بأن آينشتاين يقوم بشيء كبير.

يفضل ماكس بلانك أن يدعمه آينشتاين في تطوير نظرية الكم، أو حتى أفضل؛ في التخلص من الكوانتا. ينصح آينشتاين بعدم مواصلة ثورته عن الجاذبية لأنه لن ينجو من اللوم على أي حال.

يتنبأ بلانك لآينشتاين قائلًا: «وإذا نجحت في ذلك، فلن يصدقك أحدٌ».

ويسأل بلانك المحافظ: «لماذا تسعى نحو نظرية جديدة للجاذبية بينما لدينا نظرية مُجرَّبة ومختبرة؟».

آينشتاين يعرف السبب. حتى لو كانت قوانين الجاذبية لنيوتن تتوافق مع الواقع المرئي حتى الآن، فإنها تتعارض مع مبدأ نظريته الخاصة في النسبية، والتي بموجبها لا يمكن لأي تأثير أن ينتشر أسرع من سرعة الضوء. في نظرية نيوتن، تعمل القوى بين الأجسام دون تأخير زمني على أي مسافة، أي بسرعة لا متناهية. يريد آينشتاين أن يفهم الجاذبية كمجال، تمامًا كما تُفهم الكهرباء والمغناطيسية. يتخيل أن الأرض تخلق مجالًا جاذبيًّا، مشابهًا لمجال كهربائي أو مغناطيسي، ومن ثم يعمل هذا المجال على التفاح والأشخاص والكواكب. إلا أن الجاذبية، على عكس القوى الكهرومغناطيسية، دائمًا ما تكون جذابة، ولا تثير الاشمئزاز، مما يعقد الأمور.

خطرت لآينشتاين الفكرة الأساسية منذ عام 1907 في مكتب براءات الاختراع في برن. في السقوط الحر، يوازن القصور الذاتي للجسم الساقط بالضبط التسارع الناتج عن الجاذبية. على العكس من ذلك، فإن التسارع هو نفس الشعور بالجاذبية، على سبيل المثال في السيارة. الكتلة بالقصور الذاتي تساوي الكتلة الثقيلة؛ لقد عمل آينشتاين على «مبدأ التكافؤ» هذا منذ سنوات وقد قطع شوطًا طويلًا بالفعل عندما هبط على رصيف محطة القطار في برلين.

حسب آينشتاين، أن أشعة الضوء في الفضاء تمر عبر الأجرام السماوية، أكثر تشتتًا مما تتنبأ به نظرية نيوتن. لذلك يمكن لأي شخص يقيس انحراف الضوء بدقة أن يتحقق مما إذا كان آينشتاين أصح من نيوتن. يحاول آينشتاين

ذلك من خلال تقييم لوحات التصوير القديمة لكسوف الشمس. عندما يحجب القمر الشمس، تصبح النجوم المجاورة لها مرئية. لكن التسجيلات سيئة.

يوفر الكسوف الكلي للشمس في 14 أغسطس 1914، والذي يمكن رصده في شمال كندا وشمال أوروبا وأجزاء من آسيا، فرصة أفضل للنجاح. انطلق عالم الفلك إرفين فرويندليش، وهو أحد العلماء القلائل الذين أخذوا نظرية آينشتاين على محمل الجد، إلى روسيا في أبريل مع جميع أنواع المعدات. ولكن بعد ذلك اندلعت الحرب وبدلًا من تصوير كسوف الشمس، انتهى الأمر بفرويندليش في الأسر الروسي.

في هذه الأثناء، ينهار زواج آينشتاين. أصبحت نبرة ألبرت تجاه ميليفا أكثر شوفينية: «تأكدي من أنني أحصل على ثلاث وجبات في غرفتي معدة بشكل مناسب»، يوجهها كتابيًّا. «أنت تتخلى عن كل العلاقات الشخصية معي. يجب عليك أن تتوقف على الفور عن أي خطاب موجه إليَّ إذا طلبت ذلك». تستخدم زوجته اللغة الاستبدادية التي يحتقرها حتى في بروسيا.

في نهاية يوليو 1914، انفصل ألبرت وميليفا. عادت إلى زيورخ مع أبنائها، وانتقل إلى شقة صغيرة في فيلمرسدورف. يكتب ألبرت إلى حبيبته إلسا: «لا يُسمح لي بزيارتك. يجب أن نقوم بأشياء مقدسة جدًّا في هذا الوقت». إنه على بعد ربع ساعة فقط سيرًا على الأقدام بين إلسا وشقته الجديدة.

وصل آينشتاين لتوه إلى برلين، والآن بعد أن أصبحت العاصمة الألمانية مستعرة بالقومية والحماس للحرب، فهو من بين كل الناس، ينفر من النزعات العسكرية لدرجة أنه تخلى عن جنسيته الألمانية وعاش في سويسرا لسنوات، أولًا كشخص عديم الجنسية، ثم كمواطن سويسري، فيما بين هاتين المرحلتين استخدم جواز سفر نمساوي. الآن عاد إلى وطنه، عاد إلى الغربة. إنه موظف بروسي.

كتب آينشتاين إلى صديقه باول إرنفست: «لقد بدأ جنون غير معقول في أوروبا الآن. في أوقات كهذه حين أرى ما ننتمي إليه مجرد سلالة حزينة من الماشية أغفو بلا شيء سوى مزيج من الشعور بالشفقة والاشمئزاز». إنه يدعو إلى تأسيس عصبة الأمم والانضمام إلى عصبة الوطن الجديد، التي تسعى جاهدة من أجل السلام من خلال التفاهم والإصلاحات الديمقراطية.

لكن بموقفه ضد الحرب، أصبح آينشتاين وحيدًا. ينضم العديد من زملائه إلى الصحوة القومية. حتى صديقته ليزه مايتنر، الفيزيائية النمساوية، قالت مندهشة بعد أمسية جمعتهما معًا في عام 1916: «عزف آينشتاين على الكمان وفي الوقت نفسه عبَّر عن مثل هذه الآراء السياسية والحربية الساذجة والغريبة». دعا ماكس بلانك طلابه إلى الخنادق لمحاربة «بؤر الخداع الزاحفة». يتطوع فالتر نِرنست، 50 عامًا، للعمل كسائق سيارة إسعاف. يستخدم فريتس هابر مهاراته الكيميائية الفائقة لتطوير عوامل الحرب ويصبح العقل المدبر وراء الاستعدادات لحرب الغاز. بينما كان هابر يستعد لأول هجوم بالغاز على الجبهة الغربية، كان آينشتاين يدرِّس الرياضيات لهيرمان ابن هابر البالغ من العمر اثني عشر عامًا. وخلال الهجوم انسكب 150 طنًا من غاز الكلور على الجنود العزل في المواقع الفرنسية وقتل 1500 منهم. بعد الهجوم بوقت قصير، أطلقت زوجة هابر النار على نفسها بمسدس خدمته، لكن هابر يواصل تطوير أسلحة الغاز ويكرس معهده بالكامل مع أكثر من 1500 موظف لهذا المشروع.

كان بلانك ونِرنست ورونتجن وفيين من بين الـ 93 موقعًا على بيان «إلى عالم الثقافة!»، الذي ظهر في 14 أكتوبر 1914 في الصحف اليومية الألمانية الكبرى وغيرها في الخارج. يحتج الموقعون أدناه على «الأكاذيب والافتراءات التي يسعى بها أعداؤنا لتلطيخ قضية ألمانيا النقية في الصراع الصعب من أجل البقاء المفروض عليها». إنهم ينكرون أن ألمانيا هي المسؤولة عن الحرب وأنها انتهكت حياد بلجيكا - كما يعترف حتى المستشار الألماني. كتبوا أيضًا: «نعتقد! نعتقد أننا سنخوض هذه المعركة حتى النهاية كشعب متحضر يعد إرث جوته، وبيتهوفن، وكانط إرثًا مقدسًا تمامًا مثل موقدهم وأرضهم». كان آينشتاين يتمنى ألا يشارك راعيه بلانك في مثل هذه النغمات. واشتكى في رسالة قائلًا: «حتى العلماء في مختلف البلدان يتصرفون كما لو أن مخهم قد بُتر منذ ثمانية أشهر».

في نظر العديد من زملائه، يخوض آينشتاين معركة مضاعفة ميؤوس منها؛ ضد الحرب، من أجل نظرية جديدة عن الجاذبية. بالإضافة إلى ذلك، لديه منافس خطر؛ دافيد هيلبرت، عالم الرياضيات الأسطوري من جوتنجن، يعمل أيضًا على نظرية جديدة للجاذبية. يقول هيلبرت: «الفيزياء صعبة للغاية بالنسبة للفيزيائيين». استفزازًا للفيزيائي آينشتاين.

يتحمس آينشتاين أولًا، ثم يتحول إلى جنون إبداعي. استفسر بتكتم من زملائه عن تقدم بحث هيلبرت. قد يكون هيلبرت هو أفضل عالم رياضيات، لكن آينشتاين لديه خيال فيزيائي متفوق. وهو يتخيل مجال الجاذبية باعتباره نتاجًا لانحناء بنية الزمكان، والذي يقارنه بـ «قطعة قماش تحوم (في حالة سكون) في الهواء». تنحني الأجسام في الزمكان مثل الكرات التي تغوص في قماش مشدود. يجب الآن وضع هذه الفكرة في شكل صيغ ومعادلات، والتي تدفع آينشتاين إلى أقصى حدود قدراته الرياضية. العبقرية لا تتقدم بومضات الإلهام، ولكن بالجهد والاجتهاد والمثابرة. يجمع معادلات مجاله شيئًا فشيئًا، ويقدم نسخة من نظريته في جلسة بالأكاديمية، والتي امتدحها بطريقة غير متواضعة: «لا يكاد أي شخص يدركها حقًا أن يفلت من سحر هذه النظرية». بالفعل في الاجتماع التالي، بعد أسبوع، فاجأ أعضاء الأكاديمية بنسخة مطولة. بعد أسبوع آخر، أحضر معه اكتشافًا مذهلًا؛ كان قادرًا من خلال نظريته، على تفسير المدار الملتوي الغامض لكوكب عطارد، الكوكب الأقرب إلى الشمس، ما يسمى «الحضيض الشمسي[1]». تلميح؛ آينشتاين يسير على الطريق الصحيح. بعد أسبوع، في الاجتماع في 25 نوفمبر 1915، أضاف آينشتاين تعديلات أخيرة إلى معادلاته الميدانية. انتهى من النظرية بعد ثماني سنوات من العمل الجاد. يقول: «بهذا تكمل أخيرًا النظرية النسبية العامة كهيكل منطقي». ولم يذكر مساهمة هيلبرت.

قدم دافيد هيلبرت معادلاته للنشر قبل ذلك بخمسة أيام، في 20 نوفمبر 1915، لكن عمله ظهر لاحقًا. تعادل... يطلب آينشتاين من هيلبرت المصالحة: «لقد كان هناك شعور سيئ بيننا، ولا أريد تحليل أسباب ذلك. أفكر فيك مرة أخرى بلطف لا ينضب وأطلب منك تجربة الشيء نفسه معي. إنه لأمر مؤسف موضوعيًّا عندما لا يسعد رجلان حقيقيان شقا طريقهما للخروج من هذا العالم المتهالك». يقبل هيلبرت عرض السلام، لكنه يصر طوال حياته على تأليفه لمعادلات الجاذبية.

---

(1) الحضيض الشمسي هو أقرب نقطة للكوكب من الشمس، ويتسارع الكوكب في أثناء اقترابه من نقطة الحضيض، ويبدأ بعدها بالتباطؤ. [المترجم]

ألمانيا 1916
الحرب والسلام

عام 1916، العام الثالث للحرب. شقاق غير مرئي يمر عبر ألمانيا، ويقسم العائلات والأصدقاء. جرب الفيزيائيان فريدريش باشن وأوتو لومر ذات مرة الانسجام في المختبر البصري لمعهد الرايخ الفيزيائي التقني. انتهى هذا. لومر مليء بالحماس للحرب، ويتمنى باشن السلام.

من بين الفيزيائيين، يبرز فيلهلم فيين ويوهانس شتارك وفيليب لينارد على وجه الخصوص كمتعصبين قوميين. يكتب فيين بيانًا «لمحاربة التأثير الإنجليزي في الفيزياء». في أغسطس 1914، نشر لينارد كتيبًا عن «إنجلترا وألمانيا في وقت الحرب العظمى» كتب فيه: «إذا استطعنا القضاء على إنجلترا بالكامل، فلن أعتبر ذلك خطيئة ضد الحضارة. بعيدًا، إذن، مع كل الاحترام الواجب لما يُسمى بثقافة إنجلترا. لا تخشوا من قبور شكسبير ونيوتن وفاراداي!»، لينارد ليس وحده في هذا. إنه يعبر عن رأي العديد من الأساتذة الألمان.

البروفيسور الألماني المولد ألبرت آينشتاين يفكر بشكل مختلف. نشر مقالًا في «كتاب تذكاري للوطن الأم» بعنوان «بلد جوته 1914-1916»، نشرته دار برلينر جوته بوند. يجمع المجلد الكثيف مساهمات باول فون هيندنبورج وفالتر راتِناو وريكاردا هوخ وزيجموند فرويد وآخرين. بما في ذلك الكثير من الضجيج القومي والهتاف العسكري. فقط قلة من الناس

يعبرون عن قلقهم بحذر، مثل الكاتبة المسرحية إلسا برنشتاين تحت اسمها المستعار إرنست روزمر: «خلق الله الموت، خلق الإنسان القتل». يصبح آينشتاين أكثر وضوحًا: «يمكنك طرح التساؤل على نفسك؛ لماذا، في أوقات السلم، عندما يقوم المجتمع القومي بقمع كل أشكال الصراع الذكوري تقريبًا، لماذا لا يفقد الناس الصفات والدوافع التي تمكنهم من ارتكاب جرائم قتل جماعية في أثناء الحرب؟ يبدو لي أن هذا هو التصرف. عندما أنظر إلى عقل بورجوازي طبيعي طيب، أرى غرفة مريحة مضاءة بشكل معتدل. في أحد أركانه توجد خزانة معدة بعناية، يفخر بها سيد المنزل، ويشار إليها دائمًا بصوت عالٍ؛ مكتوب عليها بأحرف كبيرة كلمة (الوطنية). لكن فتح هذه الخزانة عادة ما يكون أمرًا مستهجنًا. نعم، لا يكاد سيد المنزل يعرف، أو ربما لا يعرف على الإطلاق، أن خزانته تحتوي على الدعائم الأخلاقية لكراهية الحيوانات والقتل الجماعي، والتي يقوم بعد ذلك بإخراجها طواعية في حالة الحرب من أجل استخدامها. لن تجد يا عزيزي القارئ هذه الخزانة في غرفتي الصغيرة، وسأكون سعيدًا إذا كنت تفكر في أنه سيكون أفضل أن تضع في تلك الزاوية من غرفتك الصغيرة بيانو أو خزانة كتب صغيرة بدلًا عن قطعة الأثاث التي تجدها مقبولة فقط لأنك كنت معتادًا عليها منذ الصغر».

فيزيائيون آخرون يفتحون خزانة الوطنية بحماس. في عام 1919، استمع فيليب لينارد إلى أول خطابات (حزب العمال الاشتراكي الوطني الألماني[1]) للزعماء أنطون دريكسلر، وأدولف هتلر. في فبراير 1920 حضر «أول مناسبة جماهيرية للحزب» وكان متحمسًا. في عام 1926، سافر لينارد لحضور حفل في هايلبرون للتعرف على هتلر شخصيًّا. في عام 1928 زاره هتلر في شقته في هايدلبرج، بالنسبة للينارد كانت هذه أحد أكثر الأحداث التي لا تُنسى في حياته.

(1) حزب العمال الاشتراكي الوطني الألماني أو الحزب النازي الألماني NSDAP، كان حزبًا سياسيًّا يمينيًّا متطرفًا في ألمانيا بين عامي 1920 و1945، وكان الحزب الوريث لحزب العمال الألماني الذي نشأ عام 1919 وحُل عام 1920. [المترجم]

برلين 1917
انهيار آينشتاين

العمل الذهني الشاق، ونمط حياة العزوبية، وكآبة الحرب استنزفت صحة ألبرت آينشتاين. في فبراير 1917 أصيب بآلام شديدة في المعدة، وقد شُخِّص بالفشل الكبدي. تدهورت حالته بشكل مطرد خلال الشهرين التاليين، وفقد 25 كيلوجرامًا من وزنه. إنها بداية سلسلة من الأمراض ستصيبه لسنوات قادمة، تضمنت الصفراء وحصى المرارة وقرحة الاثني عشر التي ستهدد حياته عند مخرج المعدة. حتى إنه لم يبلغ من العمر 38 عامًا، وأصبح قلقًا للغاية بشأن «بدنه المروع». وصف له الطبيب «علاجًا جيدًا ونظامًا غذائيًّا صارمًا». قال هذا سهل. بروسيا تتضور جوعًا. بعد فشل موسم الحصاد وشتاء الجوع[1]، أصبح هناك نقص في البطاطس. هناك خبز بديل مصنوع من الدم ونشارة الخشب، ومربى بديلة مصنوعة من البنجر، وزبدة بديلة مصنوعة من شحم البقر، وقهوة بديلة مصنوعة من الكستناء، وتوابل بديلة مصنوعة من الرماد، والعديد من البدائل بشكل عام؛ صابون بديل مصنوع من رمل طيني، وملابس بديلة مصنوعة من الورق، أصبحت ألمانيا دولة بديلة. تنصح السلطات باستخدام الغربان المقلية كبديل للدجاج. ينتهي الأمر

(1) شتاء الجوع المعروف أيضًا باسم شتاء اللفت، اسم يشير إلى مجاعة في الرايخ الألماني في شتاء 1916/1917 خلال الحرب العالمية الأولى، بسبب المشكلات الاقتصادية في زمن الحرب والحصار البحري البريطاني في بحر الشمال. [المترجم]

بالقطط والجرذان والخيول إلى تغذية القطعان الفقيرة. في عام 1915، أحصت البلاد 88000 حالة وفاة بسبب الجوع، وفي العام التالي كان هناك بالفعل 120000 حالة.

ومع ذلك، مقارنة بالعديد من سكان برلين الآخرين، لا يزال آينشتاين في حالة جيدة. يرسل له أقاربه السويسريون طرودًا غذائية. تعتني به إلسا. في صيف عام 1918، اصطحب «حريمه القليلات»، المكونات من إلسا وبناتها، إلى قرية الصيد «آرنشووب» على بحر البلطيق للاسترخاء. لا يعمل هناك، ولا يجري مكالمات هاتفية، ولا يقرأ جريدة، فقط يستلقي في الشمس، أو يمشي حافي القدمين على الشاطئ ببطء. تتوقف الهجمات المؤلمة ويمكنه استئناف عمله في الجامعة في الفصل الشتوي لعام 1918/1919. بينما يلقي محاضرته الصباحية يوم السبت حول نظرية النسبية، سرعان ما يضطر آينشتاين إلى إلغائها «بسبب الثورة». في 3 أكتوبر 1918، أرسلت حكومة الرايخ طلب سلام إلى الرئيس الأمريكي وودرو ويلسون. تطالب بإرساء الديمقراطية في ألمانيا.

السلام والديمقراطية؛ بُشْرتان سارَّتان لآينشتاين. وصدمتان لكثير من الألمان الذين اعتقدوا أنهم كانوا المنتصرين حتى النهاية. لقد أصبح الجيش منهكًا للغاية ومستنزفًا. في 4 نوفمبر، تمرد البحارة في كيل. تطورت انتفاضتهم إلى ثورة انتشرت في جميع أنحاء ألمانيا ووصلت برلين في 9 نوفمبر. تشكلت مجالس العمال والجنود ودعوا إلى إضراب عام. أمام مبنى الرايخستاج، متظاهرون يطالبون بوقف فوري للحرب. أعلنت الجمهورية يوم السبت عندما ألغيت ندوة آينشتاين، وفي الليلة التالية يتنازل الإمبراطور عن العرش ويهرب إلى هولندا. يرسل آينشتاين بطاقات بريدية مبتهجة إلى أقاربه في سويسرا: «لقد حدث لنا شيء عظيم! قُضِي تمامًا على النزعة العسكرية وحماقة المجلس الاستشاري».

جنبًا إلى جنب مع ماكس بورن وعالم النفس ماكس فيرتهايمر، يركب ألبرت آينشتاين الترام إلى الرايخستاج وفي جيبه مخطوطة خطاب موجه إلى «الرفاق». تعرف عليه الثوار المسلحون أمام الرايخستاج وسمحوا له بالمرور إلى رئيس الرايخ المُعلن حديثًا فريدريش إيبرت. يرتب آينشتاين لإطلاق سراح عميد الجامعة، الذي سجن من قبل المجالس الطلابية الثورية. لا يصل خطابه.

برلين 1918
جائحة

مقاطعة هاسكل في ولاية كانساس الأمريكية منطقة ذات كثافة سكانية منخفضة، اجتاحت العواصف الرملية سهلها القاحل، حيث يعيش معظم المزارعين، وكثير منهم يربي الدجاج. في فبراير 1918، استُدعِي الطبيب لورينج مينر للقيام بعدد كبير غير عادي من الزيارات المنزلية. ينتقل من مزرعة إلى أخرى لعلاج الأشخاص الذين تظهر عليهم فجأة أعراض الإنفلونزا الحادة؛ السعال والحمى وخشخشة في الرئتين. يتساءل الدكتور مينر متعجبًا؛ العديد من المرضى شباب ويتمتعون بصحة جيدة حتى الآن. هذا ليس وباء الإنفلونزا المعتاد. يرسل مينر تنبيهًا إلى الخدمة الصحية ولكنه لا يتلقى ردًّا.

في مارس، بينما بدأ الجيش الألماني هجومه الربيعي على فرنسا في الجانب الآخر من المحيط الأطلسي، وصل وباء الإنفلونزا إلى قاعدة هاسكل العسكرية. يصاب الطاهي الذي يقدم الطعام للمجندين الذين يستعدون لخوض الحرب في أوروبا بالمرض. يبحر المجندون عبر المحيط الأطلسي في سفن ضيقة، ثم يرقدون في الخنادق في ظروف صحية بائسة، في الوحل، في التراب، في البرد، في الرطوبة، مع الحشرات والجرذان. إن أجهزتهم المناعية غير مهيأة لمواجهة فيروس الإنفلونزا الطافرة، والذي سيخصصه علماء الأحياء في المستقبل لنوع H1N1 يصاب عدة آلاف من الجنود بالعدوى كل يوم، ويموت عُشرهم. ينتهي الأمر ببعضهم في الأسر الألماني. هذه هي

الطريقة التي يصل بها الفيروس إلى الجبهة الأخرى. وسرعان ما أوقف 900 ألف جندي ألماني عن العمل. ليس هناك الكثير الذي يمكن أن يفعله الأطباء العسكريون في كلا الجانبين.

في أواخر فصل الربيع، يوم 27 مايو 1918، أُعلن عن الفيروس لأول مرة في الصحف. أفادت وكالة الأنباء الإسبانية فابرا عن ظهور «مرض غريب ذي طابع وبائي» في مدريد. أصيب أيضًا الملك ألفونسو الثالث عشر. هكذا أطلق على الفيروس اسم «الإنفلونزا الإسبانية» رغم أنه لم يأتِ من إسبانيا. الصحف الإسبانية فقط هي التي تكتب بصراحة عن الوباء، لأن إسبانيا لا تشارك في الحرب ولا توجد دعاية للحرب ولا رقابة عسكرية.

ينتشر الفيروس في جميع أنحاء العالم بأسماء مختلفة. يسميها البريطانيون «الحمى الفلمنكية»؛ حيث أصيب جنودهم بالعدوى. يطلق عليه البولنديون «المرض البلشفي» والألمان يسمونه «النزلة الخاطفة» بسبب التطور السريع للمرض. يتحدث الإسبان عن المرض «البرتغالي» والسنغال عن «البرازيلي». كتبت صحيفة نيويورك تايمز عن «الإنفلونزا الألمانية» لأنها تصيب الألمان بشكل أساسي. لعب كل شخص لعبة إلقاء اللوم على غيره.

الجنود في إجازة عادوا للوطن ينقلون الفيروس إلى الرايخ الألماني، حيث يواجه السكان الجوع والإحباط. لا تزال الموجة الأولى خفيفة، ومعظم المصابين ينجون من المرض. من ناحية أخرى، فإن الموجة الثانية في الخريف تضرب الإمبراطورية، التي ستصبح قريبًا جمهورية، يزداد الأمر صعوبة. مئات الآلاف يصابون بالمرض في غضون بضعة أشهر. 400000 شخص يموتون، في برلين وحدها هناك أكثر من 50000 قتيل. في جميع أنحاء العالم، يموت 50 مليون شخص بسبب فيروس الإنفلونزا هذا، أي ضعف عدد وفيات الحرب العالمية الأولى.

لا يشعر أحد بالأمان. توفي الفيلسوف والخبير الاقتصادي ماكس فيبر في ميونخ، والرسام إيجون شيلي في فيينا. يصاب الكاتب فرانتس كافكا في براغ بالإنفلونزا لأسابيع، وزاد من ضعفه مرض السل الرئوي، لكنه نجا.

الإنفلونزا، والمجاعات، والحرب الشاقة على جبهتين، كلها أمور كثيرة على ألمانيا. في 11 نوفمبر 1918، وقَّع المندوبون الفرنسيون والألمان الهدنة في غابة كومبيين، على بعد 90 كيلومترًا شمال شرق باريس. وفجأة

حلَّ هدوء شديد في ساحات القتال بعد أكثر من أربع سنوات من إطلاق النار. جاء الاستسلام بمنزلة صدمة لكثير من الألمان. لم يعلموا إلا قليلًا أن الرايخسفير[1] كان في موقع دفاعي. ألم يبلغوا عن مكاسب على الجبهة الغربية في الصيف؟ يقول المارشال باول فون هيندنبورج الجملة المؤسفة: «طعن الجيش الألماني من الخلف».

في نوفمبر 1918 حدثت ثورة شيوعية في بافاريا. أصبح كورت أيسنر رئيسًا للوزراء، وعزل الملك وأعلن دولة بافاريا الحرة. في برلين، أعلنت روزا لوكسمبورج وكارل ليبكنشت عن جمهورية اشتراكية. في بداية عام 1919، قُتلت لوكسمبورج وليبكنشت وأيسنر. تتبع الثورة محاولة ثورة مضادة. فشل انقلاب كاب اليميني في مارس 1920. في منطقة الرور، انتفض العمال، في البداية لدرء الانقلاب وأخيرًا للاستيلاء على السلطة بأنفسهم. أطفال يرشقون الحجارة ويطلقون النار. تستخدم قوات الفرايكوربس[2] والرايخفير القوة لسحق الانتفاضة. إعدامات بمحاكمات عاجلة وإطلاق نار جماعي. كل مَن كان مسلحًا عند القبض عليه يعدم حتى لو كان مصابًا.

في يونيو 1922، قُتل فالتر راتِناو. أمرت حكومة بادن بإغلاق الجامعات. لكن في هايدلبرج، رفض فيليب لينارد رفع العلم في نصف الصاري وإلغاء فترة تدريبه. لا يستحق اليهودي الميت الإفراج عن تلميذه. بدأت الإجراءات التأديبية ضد لينارد وسرعان ما توقفت.

تواجه الشرطة الألمانية صعوبة في الحفاظ على النظام، حيث وضع الحلفاء حدودًا عسكرية وشرطية للألمان في معاهدة فرساي. كانوا يخشون أن يتحول ضابط الشرطة المسلح إلى جندي بسرعة.

لقد فقد الكثير من الناس حول العالم أحباءهم وأصدقاءهم وأقاربهم بسبب الحرب والجوع والإنفلونزا. اهتز إيمان البعض بالتقدم من خلال العلم والتكنولوجيا. بدلًا من ذلك، تزدهر الروحانية والخرافات. يتوق الأرامل

---

(1) شكَّل الرايخسفير التنظيم العسكري لألمانيا من عام 1919 حتى عام 1935، عندما دمج مع الفيرماخت الجديد. [المترجم]

(2) فرايكوربس الوحدات التطوعية الألمانية التي كانت موجودة من القرن الثامن عشر إلى أوائل القرن العشرين، والتي كان أفرادها يقاتلون بفعالية كمرتزقة، بغض النظر عن جنسياتهم الخاصة. [المترجم]

والأيتام والآباء الذين فقدوا أطفالهم إلى الاتصال بالموتى. اثنان من أبرز دعاة الروحانية هما الإنجليز السير آرثر كونان دويل، مخترع شخصية المحقق شيرلوك هولمز، والسير أوليفر لودج، الفيزيائي الذي يدرس موجات الراديو. قُتل نجل لودج بشظية في بلجيكا. أصيب نجل دويل بجروح بالغة في فرنسا وتوفي بسبب الالتهاب الرئوي. بعد الوباء والحرب، سافر الرجلان عبر إنجلترا والولايات المتحدة لتعليم الناس كيفية الاتصال بالآخرة والتحدث إلى الموتى. يقول دويل، إنها كانت «أعلى لحظة في تجربتي الروحية»، عندما سمع من ابنه خلال جلسة في عام 1919.

يدرك العلماء التواضع. كتبت صحيفة نيويورك تايمز: «لقد فشل العلم في حمايتنا». لا يمكن أن تكون هناك معرفة دون شك[1]، سيكون هذا هو المبدأ الأساسي لنظرية الفيزياء العظيمة التالية.

(1) يُعد مبدأ الشك أو عدم اليقين من أهم المبادئ في نظرية الكم بعد أن صاغه العالم الألماني هايزنبرج عام 1927، وينص هذا المبدأ على أنه لا يمكن تحديد خاصيتين مُقاستيْن من خواص جملة كمومية إلا ضمن حدود معينة من الدقة، أي أن تحديد أحد الخاصيتين بدقة متناهية (ذات عدم تأكد ضئيل) يستتبع عدم تأكد كبير في قياس الخاصية الأخرى، ويشيع تطبيق هذا المبدأ بكثرة على خاصيتَي تحديد الموضع والسرعة لجسيم أوّلي. فهذا المبدأ معناه أن الإنسان ليس قادرًا على معرفة كل شيء بدقة 100%. ولا يمكنه قياس كل شيء بدقة 100%، إنما هناك قدر لا يعرفه ولا يستطيع قياسه. وهذه الحقيقة الطبيعية تخضع لمعادلة يتحكم فيها h ثابت بلانك. [المترجم]

البحر الكاريبي 1919
القمر يحجب الشمس

فُسِخ الزواج بين ألبرت وميليفا آينشتاين أمام محكمة مقاطعة زيورخ في 14 فبراير 1919 بسبب «عدم التوافق الطبيعي» بعد الضغط على ألبرت مدةَ خمس سنوات، ومقاومة ميليفا، وعرض ألبرت مدفوعات نفقة كبيرة. وعدها بكامل مبلغ جائزة نوبل. على الرغم من أنه لم يحصل عليها بعد، فإن آينشتاين متأكد من أنه سيحصل عليها قريبًا. في 2 يونيو تزوج من ابنة عمه إلسا لوفينتال، يبلغ من العمر 40 عامًا، وهي أكبر بثلاث سنوات. في غضون ذلك، بدأ أيضًا شيئًا ما مع ابنة إلسا، التي تسميه «الأب ألبرت» – وهو أمر آخر، وليس الأخير، من شؤون آينشتاين التي لا تُحصى.

ليست لدى إلسا أي فكرة عن أحداث الأشهر القليلة المقبلة التي ستُغير حياة الزوجين الجُدد. سيكتسب آينشتاين شهرة عالمية.

في فبراير 1919، بعد فترة وجيزة من طلاق ألبرت وميليفا آينشتاين، أرسلت الجمعية الملكية البريطانية بعثتيْن، إحداهما إلى قرية سوبرال في شمال البرازيل والأخرى إلى جزيرة برينسيبي قبالة ساحل غينيا الإسبانية. سيُتابعون الكسوف الكُلي للشمس يوم 29 مايو. حسب علماء الفلك أنه يمكن رصد الكسوف بشكل جيد من هذه الأماكن. آرثر إدينجتون، رئيس المشروع، يجلس مع قومه في مزرعة جوز الهند في برينسيبي صباح يوم 29 مايو 1919. كانت السماء تمطر بغزارة في ذلك اليوم، وحوالي الظهيرة فقط،

خلال فترة الظلام، تتفكك الغيوم تدريجيًا. يمكن للباحثين على الأقل التقاط صورتين صالحتين للاستخدام، وتمكن الزملاء في سوبرال من التقاط ثماني صور. بالعودة إلى إنجلترا، استخدم إدينجتون لوحات التصوير لقياس مدى قوة الشمس، التي يحجبها القمر، في انحراف ضوء النجوم المارة. بالضبط كما تنبأ آينشتاين من خلال نظريته في الجاذبية، كما وجد.

أصبح آينشتاين نجمًا عالميًّا بين عشية وضحاها. جوزيف جون طومسون، رئيس الجمعية الملكية، أخبر صحيفة إنجليزية أن نظرية النسبية تفتح «قارة جديدة كاملة من الأفكار العلمية الجديدة». احتفلوا بآينشتاين أيضًا في ألمانيا ما بعد الحرب، حيث ظهرت مقالات عنه ونظرية النسبية في كل مكان. تصنفه صحيفة برلين المصورة مع كوبرنيكوس وكِبلر ونيوتن. نشرت صحيفة التايمز في لندن عناوين: «ثورة في العلوم/ نظرية جديدة للعالم/ أفكار نيوتن التي أطيح بها». دعا مسرح بالاديوم لندن آينشتاين للعرض المنوَّع واستضافته مدةَ ثلاثة أسابيع، لكنه رفض الدعوة. شابة تسقط مغشيًا عليها أمام آينشتاين. «كل شيء نسبي» صارت شعارًا للثقافة الشعبية، في العشرينيات الصاعدة، للأمركة.

لكن الاحتفاء ممزوج بنقد ودود وخبيث. قال طومسون لصحفي إنه لم ينجح أحد حتى الآن في شرح ماهية نظرية آينشتاين بلغة مفهومة.

إن الشعور العميق بعدم الأمان الذي نشأ في أوروبا خلال الحرب العالمية الأولى نتيجة للموت الجماعي، وأكاذيب الدعاية، والبؤس الاجتماعي، واختفاء أساليب الحياة التقليدية، يتركز في نظرية النسبية. تتشكل حركة مضادة؛ القومية، «الفيزياء الألمانية». ممثلوها، وعلى رأسهم فيليب لينارد الحائز جائزة نوبل، يرفضون الفيزياء النظرية الحديثة باعتبارها «يهودية» ويحلمون بعلم «آري». يجسد آينشتاين، اليهودي والمُنظِّر والمسالم، كل ما يعارضونه.

في المحاضرات التي يُلقيها آينشتاين في ألمانيا، هناك دائمًا أعمال شغب. عندما فتح محاضراته مجانًا للاجئين اليهود من أوروبا الشرقية، قام الطلاب المُعادين للسامية بأعمال شغب خلال محاضراته. وصرخ أحدهم «سأقطع حلق ذلك اليهودي القذر». يتلقى آينشتاين رسائل تهديدات بالقتل.

لكنه لم يثنِ. جعلته الأعمال المعادية للسامية، على دراية بأصوله اليهودية، وهو لم يهتم بأصله في السابق. في العشرينيات من القرن الماضي، أجرى

اتصالات أولية مع المنظمات الصهيونية، على الرغم من أنه لم يشاركها جميع أهدافها؛ لم يكن إنشاء دولة قومية يهودية مصدرَ قلق له قط. إنه يدعو إلى صهيونية ثقافية. يجب أن تصبح فلسطين، في ظل التعايش السلمي مع العرب، ملاذًا آمنًا لليهود المضطهدين، ورمزًا، تساعد اليهود في الشتات على اكتساب المزيد من الثقة بالنفس. شارك آينشتاين في تأسيس الجامعة العبرية في القدس، التي تأسست عام 1925. في عام 1929 دعا إلى حق المرأة في الإجهاض، وعدم المعاقبة على المثلية الجنسية، وعدم التكتم فيما يتعلق بالتربية الجنسية. فقط لو عامل نساءه بشكل أفضل.

ميونخ 1919
شاب يقرأ أفلاطون

ميونخ، ربيع عام 1919. بينما كان آرثر إدينجتون ينتظر كسوف الشمس في منطقة البحر الكاريبي، يتقدم المُحارب المخضرم في الحرب العالمية الثانية فرانتس ريتر فون إيب في ميونخ مع فرايكوربس فون فورتمبيرج لتحطيم الجمهورية السوفيتية. وأعلن في بافاريا بعد مقتل رئيس الوزراء الاشتراكي كورت إيسنر برصاص أحد النبلاء في 21 فبراير وهو في طريقه لإعلان استقالته.

ليست ميونخ وحدها، بل كانت ألمانيا كلها في حالة اضطراب. في يناير 1919، بعد الانتخابات الأولى، انسحبت الجمعية الوطنية من برلين إلى فايمار. خوفًا من الاضطرابات في العاصمة، يبحث النواب عن مكان هادئ وآمن لصياغة دستور. سوف يجدونه في فايمار، محل الإقامة السابق ليوهان فولفجانج فون جوته. وهناك أسسوا جمهورية فايمار.

تحاول الجمهورية الفتية الآن استعادة النظام في بافاريا. تطوق القوات الحكومية ميونخ. بينما يتردد صدى طلقات الرصاص في أنحاء المدينة ويتلاشى الدخان المتصاعد من الحواجز المحترقة في الشوارع، يرقد طالب في المدرسة الثانوية يبلغ من العمر 17 عامًا على سطح في مدينة شفابينج تحت أشعة الشمس الربيعية ويقرأ محاورة أفلاطون وتيماوس، المحاورة التي يدَّعِي فيها سقراط أن العالم كله رياضيات. اسمه فِرنر هايزنبرج.

وُلد فِرنر كارل هايزنبرج في فورتسبورج مدينة الجامعة الفرانكونية عام 1901، بعد عام ونصف من أخيه إرفين. ينحدر والده من عائلة من الحرفيين في فستفاليا، التي كانت تُسمَّى ذات مرة «هايسنبرج»، ثم «هايزنبرج» بعد خطأ إملائي في أثناء التسجيل. لقد شق أوجست هايزنبرج طريقه، حيث درَّس اللاتينية واليونانية في مدرسة الثانوية القديمة، لكنه يطمح إلى المزيد ويرغب في متابعة مهنة جامعية. بصفته مواطنًا مخلصًا لألمانيا تحت حكم بسمارك، فهو يجسد قيمها البروتستانتية؛ الاجتهاد والانضباط والاقتصاد والتأثير في التحكم والعقلانية وحب القراءة والحماس للموسيقى. يذهب آل هايزنبرج إلى الكنيسة أيام الأحد ليس لأنهم متدينون، ولكن بدافع الشعور بالواجب. وراء وجه الأب الصارم تُخفَى شخصية مُتقلبة تشعر بها الأسرة مرارًا وتكرارًا. يدق الأب إسفينًا بين الأبناء، الذين سيشتعل بينهم التنافس مدى الحياة. يتفوق إرفين على فِرنر في جميع المواد الدراسية والتخصصات الرياضية، باستثناء الرياضيات.

في عام 1910، استقبل الأب أوجست هايزنبرج دعوة إلى جامعة ميونخ. يذهب فِرنر إلى مدرسة ماكسيميليان الثانوية في جادة لودفيج شتراسه، المدرسة التي كان جده يديرها قبل بضع سنوات. الفرار من هذه العائلة ليس بالأمر السهل.

يبرع فِرنر في الرياضيات، وعندما كان تلميذًا في المدرسة، استمع إلى المحاضرات في الجامعة، وفي بعض الأحيان يحلُّ مَحلَّ مُدرس الرياضيات. عندما انتهت الحرب العالمية الأولى، كان فِرنر يستعد لامتحان الثانوية. في كتاب فيزياء، صُدم هايزنبرج بتمثيل الذرات على أنها كرات صغيرة من المادة تتصل وتنفصل عن بعضها عبر روابط الخطافات والعينين. لا يمكن أن يكون هذا صحيحًا. من الواضح أن الصورة نتاج خيال الرسام، وليست نتاج معرفة علمية. إذا كانت الذرات هي أصغر لَبِنات بناء المادة، فما هي مُكوِّنات الخطافات؟ هل كان أفلاطون محقًّا، هل الرياضيات هي التي تجمع العالم معًا؟ من ناحية أخرى، أليست هذه مجرد صورة لا أساس لها من الخبرة؟

تكبح الحرب ونهايتها طموح هايزنبرج لفترة. الآن يتعلق الأمر كله بالبقاء، على العلم أن ينتظر. يعمل هايزنبرج مُزارعًا في مزارع في ولاية بافاريا العليا. بعد قمع الجمهورية السوفيتية، تطوع للخدمة المساعدة ككشاف لجنود سلاح الفرسان وانضم إلى الكشافة القومية الجديدة التي تأسست حديثًا،

والتي كانت تبحث عن التجديد في الطبيعة بعد بؤس الحرب ثم اتصلت لاحقًا بالجيش الوطني. منظمات الشباب الاشتراكي. في أثناء رحلاته الطويلة عبر بحيرة شتارنبرجر ومنطقة فرنكفونيا، يتناقش مع أصدقائه عن الذرات والهندسة ونظرية آينشتاين النسبية.

يعرف هايزنبرج البالغ من العمر 18 عامًا ما يريد أن يكون؛ عالم رياضيات. بالنسبة له، هذا هو العلم الذي يُمكِّنه من فهم العالم. لقد أهدر ما يكفي من الوقت، والآن يريد أخيرًا البدء واجتياز الدراسات الأساسية بسرعة، لقد قام بالفعل بأشياء الأطفال عندما كان في المدرسة.

بناءً على طلب أوجست هايزنبرج، استقبل عالم الرياضيات في ميونخ فرديناند فون ليندمان ابنه للدردشة. ليندمان هو عالم الرياضيات الذي دخل التاريخ بإثباته استحالة تربيع الدائرة، رجل عجوز غاضب ذو لحية بيضاء وآراء بالية. تتمتع الرياضيات بامتياز خاص بالجمال، وأي شخص ينوي دراستها بجدية يجب أن يكون مشبعًا بهذه الحقيقة الأبدية.

تسير المحادثة في الاتجاه الخاطئ قبل حتى أن تبدأ. عندما يدخل هايزنبرج الخجول حجرة مكتب ليندمان القاتمة والعتيقة، لاحظ بعد فوات الأوان وجود كلب صغير أسود الشعر يجلس على المكتب ويحدق إليه. هايزنبرج مذهول، والكلب كذلك أيضًا. قدَّم هايزنبرج طلبه بتردد وسأل عما إذا كان بإمكان البروفيسور ليندمان قبوله في محاضراته الدراسية. ينبح الكلب في وجهه ولا يسمح لليندمان بتهدئته. يسأل ليندمان هايزنبرج عن الكتب التي درسها مؤخرًا. ينبح الكلب باستمرار. يحكي هايزنبرج عن الحماسة التي قرأ بها كتاب «الفضاء والوقت والمادة» لعالم الرياضيات والفيزيائي هرمان فييل حول نظرية النسبية العامة. كتاب فيزياء! أنهى ليندمان المحادثة «إذن أنت مدلل في الرياضيات». شاب يبلغ من العمر 18 عامًا لديه الجرأة على الحط من قدر الرياضيات من خلال تطبيقها على العالم المدرك لا يستحق في نظره أي تشجيع. يترك هايزنبرج الغرفة لنباح الكلب.

كان هذا حال هايزنبرج مع الرياضيات. استشار والده مرة أخرى وهو يشعر بخيبة أمل، فاقترح عليه تجربة الفيزياء الرياضية بدلًا من الرياضيات. مرة أخرى، استخدم الأب صِلاته ورتب لابنه زيارة أرنولد زومرفِلد، الذي استقبل هايزنبرج في مكتبه المغمور بالضوء. ينضح زومرفِلد بصرامة ضابط بروسي، فهو صغير ونحيل مع بطن بارز، وشارب عسكري بأطراف

ملتوية. لقد نشر للتو كتابًا بعنوان «التركيب الذري والخطوط الطيفية» والذي سيصبح قريبًا الكتاب المقدس للفيزياء الذرية الوليدة. يصيب زومرفِلد طلابه بحماسِه لهذا المجال. لا يجد هايزنبرج كلبًا معه، ولكنه يجد كل ما فاته من ليندمان؛ التقدير وحُسن النية.

برلين 1920
لقاء السحاب

برلين، 27 أبريل 1920. في الطريق من محطة القطار إلى الجامعة، تمتلئ معدة نيلز بور بمزيج غير مريح من الإثارة والترقب. تبدو شوارع العاصمة الألمانية كئيبة، والخيول هزيلة أمام عربات النقل. بين الحين والآخر تصطدم سيارة بخارية بالرصيف، ويتعثر معوقو الحرب بلا هدف عبر المدينة، على عكازات أو بأكمام ترفرف في الهواء خالية من الأذرع. النساء والأطفال يمسكون بالسجائر وأعواد الثقاب والجوارب للمارة. حولت مشقة فترة ما بعد الحرب الألمان إلى أمة من التجار. يمكن شم رائحة الفقر، فالجياع لا يغتسلون. إنها معجزة أن الفيزياء لا تزال تمارس في ألمانيا على الإطلاق. المجلات المتخصصة نادرة، والكتب باهظة الثمن بالنسبة للعديد من الباحثين.

ثم يواجه بور الرجلين اللذين ينتظرانه؛ ألبرت آينشتاين وماكس بلانك. كلاهما مختلف تمامًا في المظهر، لكنْ كلٌّ منهما ودود بطريقته الخاصة. يقف آينشتاين بجانب بلانك، الذي يمثل تجسيدًا للصحة والهيئة البروسية، بعينيه الكبيرتين وشعره المتشابك وسراويله القصيرة جدًّا.

كانت سنوات الحرب مصيرية ومؤلمة لماكس بلانك. مات ابنه في الجبهة وابنتاه التوأمتان عند الولادة. أصبح العلم له بديلًا عن الأسرة. أسس مع زملائه «جمعية الطوارئ للعلوم الألمانية»، التي تتلقى تمويلًا من الحكومة

ومن مجال الصناعة ومن الخارج وتوزعها على العلماء. كتب بلانك في مقال صحفي في عام 1919: «ما دام العلم الألماني قادرًا على التقدم مثل الآن، فمن غير المعقول إزالة ألمانيا من صفوف الدول الثقافية».

يدعو بلانك بور لاستضافته في منزله خلال أيام زيارته لبرلين، ويقبل بور الدعوة. سرعان ما يتحول الرجال الثلاثة إلى موضوع المحادثة الذي يربطهم؛ الفيزياء. تبدأ معدة بور في الاسترخاء أكثر فأكثر.

على عكس بعض الفيزيائيين الآخرين في أوروبا، فإن بور، وهو مواطن من دولة محايدة، لا يشعر بالاستياء من زملائه الألمان بعد الحرب. بدلًا من ذلك، يحاول إحياء العلاقات المحطمة في أسرع وقت ممكن. بينما كان الفيزيائيون الألمان لا يزالون ممنوعين من المشاركة في التجمعات الدولية، اتخذ بور الخطوة الأولى ودعا أرنولد زومرفِلد إلى كوبنهاجن. بعد فترة وجيزة، تلقى هو نفسه دعوة إلى برلين من ماكس بلانك.

جلب بور الزبدة وغيرها من محلات البقالة كهدية إلى شقة آينشتاين في هابرلاند شتراسه. لا بديل للزبدة. زبدة حقيقية! يشكره آينشتاين على «الهدية الرائعة من بلاد المحايدين، حيث لا يزال الحليب والعسل يتدفق». إلسا آينشتاين «تبتهج بمشاهدة مثل هذه الأطعمة الشهية».

ثم ينتقلون إلى العمل ويتحدثون عن الإشعاع والكم والإلكترونات والذرات. لا يجد بور وآينشتاين أي حلول، لكنهما يتفقان على ماهية الألغاز. لا نتمنى المزيد في الوقت الحالي في ظل هذه الحالة المرتبكة من المعرفة.

يقضي بور أيامه في برلين بالطريقة التي يحبها؛ يتحدث عن الفيزياء من الفجر حتى الغسق. تغيير مرحب به من واجباته كمدير للمعهد في كوبنهاجن. إنه يستمتع بشكل خاص بالغداء الذي يعده له علماء الفيزياء الأصغر سنًّا في الجامعة. ينظم له نزهة جيمس فرانك وجوستاف هِرتز وليزه مايتنر، وهم يعلمون أن بور يحب الخروج في الهواء الطلق. فريتس هابر، الكيميائي الحائز جائزة نوبل، أتاح منزله الريفي لهذا الغرض. تبرع ماكس بلانك بالطعام الذي لم يستطع الباحثون الشباب تحمله. تريد مايتنر وشركاؤها أن تكون النزهة «خالية من كبار الشخصيات»، فهم يفضلون أن يكون بور بمفرده. إنها فرصة لسؤاله عن محاضرته في الجمعية الفيزيائية، والتي تركتها تشعر بالاكتئاب وقلة الفهم. ولكن بعد ذلك، جلس هابر وآينشتاين

على بطانية النزهة، و «كبار الشخصيات» مرة أخرى هم من يتناقشون مع بور حول الموجات والجسيمات.

يفهم آينشتاين جيدًا ما يقوله بور، لكنه لا يتفق معه. مثل أي شخص آخر، لا يعتقد بور أن الكوانتا الخفيفة لآينشتاين موجودة بالفعل. مثل بلانك، توصل إلى حقيقة أن الإشعاع ينبعث ويمتص في حزم. لكن بور وبلانك يصران على أن الأمر في حد ذاته ليس كميًّا. إن الدليل على أن الضوء عبارة عن موجة أقوى من أن يؤمن بجزيئات الضوء. ماذا عن ظواهر التداخل التي يمكن اكتشافها في كل مختبر مدرسي؟ ماذا عن موجات الراديو التي يستخدمها العالم الآن للتواصل؟ لا، بور متأكد من أن الضوء والإشعاع الكهرومغناطيسي الآخر يتكون من موجات. وهذا لا يعني أنه من الجسيمات. قد يكون من المفيد أحيانًا التفكير فيها كحزم صغيرة. لكن هذا ليس أكثر من مجرد عمل مؤقت.

لكن في قاعة الجمعية الفيزيائية، لا يتعلق الأمر فقط بطبيعة الواقع، ولكن أيضًا بالمكانة. ألبرت آينشتاين جالس في القاعة. يأخذه بور في الاعتبار ويتجنب مسألة طبيعة الإشعاع. عمل آينشتاين في عام 1916 على الانبعاث التلقائي والمحفز للإشعاع وانتقالات الإلكترون بين مستويات الطاقة ترك انطباعًا عميقًا على بور. ذهب آينشتاين إلى أبعد من ذلك حيث علَّق وأظهر أن الذرات تتصرف بطريقة عشوائية ومحتملة.

لا يزال آينشتاين قلقًا من أنه لا يستطيع التنبؤ بتوقيت أو اتجاه الكميات الضوئية المنبعثة عندما ينخفض الإلكترون من مستوى طاقة إلى آخر. ومع ذلك، فهو واثق من إمكانية إصلاح هذا الانتهاك لمبدأ السببية. يناقضه بور الآن في محاضرته، بحجة أن التنبؤ الدقيق بالوقت والاتجاه مستحيل تمامًا. الرجلان اللذان يُقدِّر كلٌّ منهما الآخر كثيرًا يجدان نفسيهما في وضعيْن متعارضيْن. في الأيام التالية، حاول كلاهما إقناع الآخر بتغيير رأيه في أثناء التمشية معًا عبر شوارع برلين أو تناول الطعام في منزل آينشتاين.

لم يلتقِ ألبرت آينشتاين من قبل مع نيلز بور، الذي يصغره بست سنوات، لكنه كان يحظى باحترام كبير له منذ فترة طويلة؛ منذ أن قرأ أول عمل لبور حول بنية الذرات والخطوط الطيفية في عام 1913، حيث طبق بور ببراعة وبحزم «شروط الكم» المطعمة على ذرات نموذج رذرفورد الكوكبي. يقول آينشتاين: «بدا لي أن هذا الأساس المهتز والمتناقض كان كافيًا، لتمكين رجل لديه غريزة وحساسية بور الفريدة من اكتشاف القوانين الرئيسة للخطوط

الطيفية وقذائف الإلكترون للذرات، إلى جانب أهميتها في الكيمياء، لقد صدمتني باعتبارها معجزة، ولا تزال تبدو لي كمعجزة حتى اليوم. هذه هي أسمى موسيقى في عالم الفكر».

يغادر بور، ويترك وراءه آينشتاين المبتهج. كتب آينشتاين إلى بور بعد رحيله: «في كثير من الأحيان لم يمنحني شخص مثل هذه السعادة من خلال مجرد وجوده مثلك. أنا الآن أدرس أعمالك الرئيسة ويسعدني -عندما أكون عالقًا في مكان ما- أن أرى وجهك الطفولي الودود أمامي، يبتسم ويشرح». كتب إلى صديقه باول إرنفست في لايدن: «كان بور هنا، وأنا أحبه مثلك. إنه مثل طفل حساس يتجول في هذا العالم وهو مُنوَّم مغناطيسيًّا».

كان بور أيضًا مفتونًا بآينشتاين، فهو لا يدوِّن بشكل مُنمق إلا عندما يكتب مرة أخرى إلى آينشتاين بلُغة ألمانية خرقاء: «لقد كانت واحدة من أعظم التجارب التي مررت بها مقابلتك والتحدث معك، ولا أستطيع أن أقول كم أنا مُمتن لكل اللطف الذي أظهرته لي خلال زيارتي لبرلين. أنت لا تعرف مدى تطلعي للحصول على الفرصة التي طال انتظارها لسماع وجهات نظرك شخصيًّا حول القضايا التي كنت أتعامل معها. لا أريد أن أنسى أحاديثنا طوال الطريق من حي دالِم إلى منزلك».

عاد آينشتاين لزيارة بور في وقت مبكر من أغسطس وتوقف في كوبنهاجن في أثناء رحلة عودته من النرويج. في السنوات التالية، لن يكون الاثنان معًا بشكل متناغم أبدًا.

حتى لو لم يتعلم آينشتاين شيئًا جديدًا من بور، فقد تعلم منه: «كيف يشعر بشكل أساسي تجاه الأشياء العلمية». يعرف آينشتاين نوعين من الفيزيائيين: «المثبتون والمبدعون». يرى بور نفسه من المثبتين للمبادئ، أولئك الذين يحفرون أعمق، بعد المبدأ. بينما ماكس بورن وأرنولد زومرفِلد مبدعون، يؤلفون الصيغ، لكن لا يعنيهم التفكير الفلسفي. يكتب زومرفِلد لآينشتاين: «يمكنني فقط الترويج لتكنولوجيا الكم، لكن عليك أن تقوم بفلسفتك».

يُعجب آينشتاين ببور ليس بسبب نظريته الذرية فحسب، ولكن لأنه لم يبدع بنفسه فقط. بعد الانفجار المدوي لقوته الإبداعية في عام 1905، تُرك دون مهمة. كيف يمكنه تجاوز ما أنجزه، وبماذا يجب أن يهتم الآن؟ حسنًا، لا تزال هناك تلك الخطوط الطيفية الغامضة، لكن آينشتاين لم يرَ طريقة

لشرحها بالمعرفة التي كانت لدى الفيزيائيين في ذلك الوقت، لذلك تركها غير مفسرة. بدلًا من ذلك، عاد إلى نظريته النسبية واكتشف المعادلة $E=mc^2$. بعد بضع سنوات حاول مرة أخرى ويعتقد أنه وصل إلى هدفه تقريبًا، كتب إلى صديق يقول: «لدي آمال كبيرة في الوقت الحالي لحل مشكلة الإشعاع، دون كميات ضوئية. أشعر بالفضول حقًا لمعرفة كيف تسير الأمور». ويضيف عرضًا: «لا بد من الاستغناء عن مبدأ الطاقة في شكله الحالي». يأخذ آينشتاين مسألة الإشعاع على محمل الجد لدرجة أنه مستعد للتخلي عن قانون الحفاظ على الطاقة من أجلها. ولكن حتى بهذا الثمن لا يحصل على الحل. بعد أيام قليلة قال بخجل: «مرة أخرى لم أصل إلى شيء في حل مشكلة الإشعاع. لعب الشيطان عليَّ بمزحة سخيفة».

ثم يتولَّى بور ما فشل آينشتاين في فعله؛ يمكنه تفسير الخطوط الطيفية. بدا لآينشتاين كأنه «معجزة»، يتفاجأ آينشتاين ببور: «ينبغي أن يكون هذا عقلًا من الدرجة الأولى، شديد النقد وبعيد النظر، ومُلم بالصورة الكبيرة». في صيف عام 1916، منحه نموذج بور للذرة ما أسماه «فكرة رائعة» لوصف انبعاث وامتصاص الضوء في الذرة. قادته الفكرة إلى اشتقاق بسيط لمعادلة بلانك الإشعاعية، ليس فقط مجرد اشتقاق، ولكنه «الاشتقاق»، وفقًا لآينشتاين. وهو الآن متأكد من أن الكميات الخفيفة موجودة بالفعل.

لكن هذه المعرفة لها ثمنها. اشتق آينشتاين صيغة بلانك من ذرة بور، ولكن للقيام بذلك كان عليه أن يتخلى عن المبدأ السببي الصارم للفيزياء الكلاسيكية. إنه يعتبر ثلاث عمليات يمكن من خلالها للإلكترون في الذرة أن يقفز ذهابًا وإيابًا بين مستويات طاقة أقل وأعلى. في «الانبعاث التلقائي» يسقط ويصدر كمية من الضوء. على العكس من ذلك، يمكنه ابتلاع كمية من الضوء وبالتالي يقفز إلى المستوى الأعلى. في «الانبعاث المستحث»، يدفع كم من الضوء إلكترونًا نشطًا، والذي يقفز بعد ذلك إلى مستوى واحد ويصدر كمية أخرى من الضوء. هذه هي العملية التي ستشكل فيما بعد أساس الليزر؛ تضخيم الضوء عن طريق الانبعاث المُحفِّز.

الغريب في هذه التحولات هو أنها ليس لها سبب دائمًا. في بعض الأحيان تحدث بشكل عفوي. أو أنها لا تحدث على الرغم من وجود سبب لذلك. يمكن لآينشتاين فقط حساب الاحتمالات لها، على غرار ماري كوري للاضمحلال الإشعاعي. إنه قلق بشأن قانون السبب والنتيجة الذي كان يحكم الفيزياء

دائمًا. صرح أرسطو بالفعل: «كل ما يأتي إلى الوجود يأتي من خلال شيء ما، من شيء وكشيء معين». يمكن أن تأتي قفزات الإلكترون أيضًا من لا شيء.

بعد أربع سنوات، لا يزال آينشتاين قلقًا. كتب إلى ماكس بورن في يناير 1920: «هذا الشيء المتعلق بالسببية يزعجني كثيرًا أيضًا». يتعثر آينشتاين: «هل يمكن تسجيل امتصاص وانبعاث الضوء الكمومي بمعنى المتطلبات السببية الكاملة، أو هل يبقى الباقي الإحصائي؟ يجب أن أعترف أنني أفتقر إلى الشجاعة للاقتناع. لكنني متردد للغاية في التخلي عن السببية الكاملة». إنه يريد اقتحام فيزياء الكم الجديدة، لكنه لا يريد التخلي عن الفيزياء القديمة.

الآن، في عام 1920، وقع ألبرت آينشتاين في أزمة إبداعية أخرى، والتي من المحتمل أن تسمى اليوم «أزمة منتصف العمر». اكتشف الكميات الخفيفة، وابتكر نظريات النسبية الخاصة والعامة، ونجا من طلاق صعب، ونجا من الحرب، ومن سلسلة الأمراض الخَطِرة. بينما لا يزال يُطلِق على نفسه «الرجل القوي جدًّا»، إلا أنه لا يزال يتبع نظامًا غذائيًّا. في سن 41، يقيّم ويتساءل هل سيكون هناك المزيد في المستقبل أم أن هذا هو كل شيء.

في العامين التاليين لاجتماعاتهم في برلين وكوبنهاجن، استمر كل من بور وآينشتاين في الصراع مع الكوانتا، ولكن بشكل منفصل. يلتهم العمل كليهما. كتب آينشتاين إلى باول إرنفست في مارس 1922: «إنه لأمر جيد، أن لديَّ الكثير من الإلهاءات، وإلَّا فإن مشكلة الكم كانت ستأخذني إلى الجنون منذ فترة طويلة». في أبريل 1922، اشتكى بور في رسالة إلى أرنولد زومرفِلد: «في السنوات الأخيرة، شعرت كثيرًا بالوحدة الشديدة، تحت الانطباع بأن جهودي لتطوير مبادئ نظرية الكم بشكل منهجي بأفضل ما أستطيع قد استُقبلت بقليل من الفهم». لقد حان الوقت للشجار بين أكبر اثنين مرة أخرى.

جوتنجن 1922
وجد الابن والده

جوتنجن، ذات ظهيرة مشمسة في يونيو 1922. يسير رجلان، في حديث عميق، عبر نهر هاينبرج. التناقضات بين الاثنين مرئية من بعيد. يمشي أحدهما بخطوات نشطة، وعليه أن يبطئ مرارًا وتكرارًا حتى لا يندفع إلى الأمام. يتحرك الآخر كما لو أنه لن يضع قدمه أمام الأخرى دون تفكير.

الرجل الأكبر سنًّا في أواخر الثلاثينيات من عمره، وشعره قد بدأ بالفعل في الشيب، ويرتدي بدلة عادية، ويحافظ على رأسه منحنيًا، وله وجه جاد بجبهة عالية فوق عينيه المنتفختين. يمشي ببطء ويتحدث الألمانية بلكنة دنماركية قوية. قد يكون الآخر ابنه، وهو يزيد قليلًا على نصف عمره، 20 عامًا، ويبدو أصغر سنًّا بشعره الأشقر القصير وعينيه الزرقاوين اللامعتين ووجه تلميذ. من الواضح أنه معتاد المشي.

الطريقة التي يسير بها الاثنان معًا، يمكن أن يكونا أبًا وابنه أو صديقين قديمين، لكنهما يلتقيان اليوم للمرة الأولى.

نيلز بور، الشيخ الذي سيحصل على جائزة نوبل في الفيزياء بعد بضعة أشهر، موجود في جوتنجن لمشاركة معرفته بالذرات في سلسلة من المحاضرات.

زيارة بور لألمانيا ليست مسألة طبيعية في السنوات التي تلت الحرب العالمية الأولى. ظلت الدنمارك على الحياد في الحرب وهي الآن تتنازع مع ألمانيا حول مناطق شلسفيج على الحدود المشتركة بينهما. السفر في ألمانيا أمر صعب. الفحم نادر بسبب التعويضات. إذا كان هناك أي شيء، فهو سيئ. تتحرك القطارات ببطء، وتقف أحيانًا في العراء لساعات عندما ينفد الوقود.

لم يكن بور بحاجة إلى تحمل مشكلة القيام بذلك. لم يعد عليه أن يسافر للتعلم من الفيزيائيين الآخرين، بل على العكس من ذلك، فهم يأتون إليه الآن للتعلم. في 3 مارس 1921، افتتح المعهد الجامعي للفيزياء النظرية في كوبنهاجن، باختصار؛ معهد بور. انتقلت عائلة بور المتنامية إلى شقة من سبع غرف في الطابق الأرضي من المبنى الجديد في حديقة فلدباركن الجميلة. يعتبر معهد بور مكانًا هادئًا في أوروبا التي ابتليت بالأزمات والحروب.

هذه سنوات هزيلة لكنها هادئة نسبيًّا في ألمانيا. الناس يعانون من التعويضات والأزمة الاقتصادية العالمية. على الأقل، هذه ليست حربًا والتضخم سريع لدرجة أن الناس يضطرون إلى دفع عربات يد تحمل أموالهم لشراء الخبز والحليب. الغذاء يكفي فقط للبقاء على قيد الحياة. بعد أيام قليلة من الاجتماع بين بور وهايزنبرج، قُتل وزير الخارجية الألماني والصناعي والكاتب فالتر راتِناو برصاص طلاب من الجناح اليميني، وكان هذا نذير بالإرهاب القومي الاشتراكي.

فرنر هايزنبرج، طالب الفيزياء في ميونخ، لديه أيضًا ما يكفي لتجنب الجوع، ولكن ليس ما يكفي ليأكل ما يشبع كل يوم. على الرغم من أن عائلته هي واحدة من أغنى العائلات في ميونخ، فإنهم لا يستطيعون تحمل تكاليف سفر ابنهم الموهوب إلى جوتنجن. دفع مشرف هايزنبرج، أرنولد زومرفِلد، ثمن تذكرة القطار من أمواله الخاصة وتأكد من مقدرة هايزنبرج على البقاء مع الأصدقاء.

خلال هذا الوقت، تُعد رحلة بور إلى ألمانيا بيانًا سياسيًّا أيضًا. فهو، مثل آينشتاين، يحتقر النزعة العسكرية والسعي إلى السلطة في ألمانيا. لكنه عارض أيضًا محاولات بعض الزملاء لتهميش العلوم الألمانية دوليًّا. الانتقام لا يجلب السلام.

بعد فترة وجيزة من نهاية الحرب العالمية، أعاد بور إحياء اتصالاته في ألمانيا وعلى هذه الخلفية سافر إلى جوتنجن لإقامة «مهرجان بور». هذا ما سميت به دورة محاضرته في إشارة إلى مهرجان هاندل الذي يقام في المدينة في الوقت نفسه. جاء أكثر من مائة من علماء الفيزياء، كبارًا وصغارًا، ومُنظِّرين ومُجربين، من جميع أنحاء ألمانيا وأوروبا ليستمعوا من بور كيف تخيل بنية الذرة، ومن بينهم أوتو هان، وليزه مايتنر، وباول إرنفست، وهانس جايجر، وجوستاف هِرتز، وجورج فون هفسي وأوتو شترن.

يمكن أن يشرح بور ترتيب العناصر في الجدول الدوري عن طريق ترتيب الإلكترونات حول النواة. يتحدث عن «مدارات إلكترونية» تلتف حول اللب مثل قشرة البصلة. كل مدار له مساحة لعدد معين من الإلكترونات. يوضح بور أن العناصر التي لها نفس الخصائص الكيميائية لها نفس عدد الإلكترونات في المدار الخارجي لذراتها. أصبحت الكيمياء فيزياء.

وبذلك، يسلط بور الضوء على تناغم غير مسبوق للأرقام في الطبيعة. وفقًا لنموذجه، تقع الإلكترونات الأحد عشر لذرة الصوديوم واحدة فوق الأخرى في ثلاثة مدارات 2، 8، 1. في ذرة السيزيوم، يترتب 55 إلكترونًا في ستة مدارات: 2، 8، 18، 18، 8، 1. نظرًا إلى أن كلا العنصرين لهما إلكترون واحد في المدار الخارجي، فإن لهما خصائص كيميائية متشابهة. يتنبأ بور بكل هذا من خلال نظريته الذرية، وأكثر من ذلك. العنصر غير المعروف سابقًا بالرقم الذري 72 سوف يشبه عنصرَي الزركونيوم والتيتانيوم الموجودَيْن أعلاه في الجدول الدوري في العمود نفسه، وليس بجانب وتحت معادن «الأرض النادرة».

بعد وقت قصير من توقع بور الخصائص الكيميائية للعنصر في جوتنجن، أخافته الأخبار من فرنسا. قيل إن تجربة أجرتها مجموعة بحثية في باريس أظهرت أن العنصر رقم 72 ينتمي إلى العناصر الأرضية النادرة. بور غير مستقر. في البداية يشك في نتائجه ثم التجربة الفرنسية. يجري صديقه الكيميائي المجري جورج فون هفسي تجربة مضادة مع الفيزيائي ديرك كوستر في كوبنهاجن. ينتجان كمية أكبر من العنصر النقي 72 ويدحضان الفرنسيين؛ العنصر يشبه الزركونيوم، وليس الأتربة النادرة. بناءً على طلب مكتشفيه، سيُطلق عليه لاحقًا اسم «هافنيوم» - بعد الاسم اللاتيني لكوبنهاجن، مسقط رأس بور؛ هافنيا.

ليس كل من تجمع في قاعة جوتنجن متحمسًا لعمل بور الفني. أين الاشتقاقات، والصيغ، أين الرياضيات الشاقة؟ لكن الجميع معجب بأفكاره. بور سعيد. كتب بعد عودته إلى كوبنهاجن: «كانت إقامتي بأكملها في جوتنجن تجربة رائعة ومفيدة، ولا أستطيع أن أقول مدى سعادتي بكل الصداقة التي أظهرتها لي من جميع الجوانب». وأُسيء فهمه، هذا الشعور الذي استقر عليه في السنوات الأخيرة، قد خف إلى حد ما. إنه يبحث عن نظرية الكم وعلى وشك الكشف عن أعمق آليات العالم. وبالكاد يلاحظ أحد. لكن بور يحتاج إلى صدى ليصدر صوتًا، فهو ليس عبقريًّا مُكتفيًا ذاتيًّا مثل آينشتاين. تضايقه العزلة التي جلبتها الحرب العالمية الأولى لعلماء الفيزياء الأوروبيين، على الرغم من أنه كان قادرًا على قضاء وقت الحرب على الجانب الآمن من الحدود.

في صباح يوم من هذا الصيف، يلقي بور محاضرته الثالثة. المقاعد الأمامية للقاعة، التي يسقط عليها ضوء الصيف من خلال النوافذ الكبيرة، مخصصة لكبار الشخصيات في العلوم بجوتنجن.

يتعين على هايزنبرج الاستماع إلى تفسيرات بور من الخلف، حيث يصعب فهم الكلمات المنطوقة بهدوء. رغم قلة خبرته، تجرأ على رفع يده بعد محاضرة بور، والوقوف والتعبير عن شكوكه حول منطق بور. تلتف الرؤوس في القاعة الهادئة. سمع بور الشاب الألماني يقول: «هذا ليس صحيحًا، لقد قمت بالحسابات».

يتعلق الأمر بالخطوط الطيفية، وهو موضوع مفضل لعلماء الفيزياء النووية. إن تمرير الضوء الأبيض عبر أبخرة العناصر المختلفة ثم تفريغه بمنشور زجاجي يكشف عن خطوط سوداء مميزة. من نمط هذه الخطوط، يمكن للفيزيائيين تحديد العناصر التي ألقي الضوء عليها بشكل موثوق وواضح. لكن كيف تتشكل هذه الخطوط؟ يجب أن تكمن الإجابة في بنية الذرة، في اللغز الذي كان الفيزيائيون يحاولون حله.

يدَّعي بور الآن أنه يستطيع من خلال نموذجه الذري أن يفسر تقسيم الخطوط الطيفية في الحقول الكهربائية، وهو ما يُسمى بـ «تأثير شتارك التربيعي» الذي اكتشفه الفيزيائي الألماني يوهانس شتارك قبل بضع سنوات. اشرح، أو بالأحرى: فسرها. يحب بور ترك مثل هذا العمل الشاق لموظفيه، في هذه الحالة مُساعِده الهولندي هندريك كرامرز، الذي حسب تفاعل الذرات، كما تخيلها بور، مع الضوء في المجالات الكهربائية ونشر هذه الحسابات في

ورقة بحثية. يعرف هايزنبرج هذا العمل، وكان عليه أن يعمل من خلاله في ندوة زومرفِلد، واكتشف أخطاء فيه.

لا يمثل الحساب شيئًا لبور. إنه يدرك أن هايزنبرج كشف عن قضية حساسة ويرد عليها بعظمة. بعد المحاضرة، دعا هايزنبرج للتمشية في نزهة معًا.

عندما ينتقل الاثنان إلى هاينبرج، لا يضيع بور الوقت في الدردشة. لا ينبغي لأحد أن يأخذ نموذجه الذري، الذي يبلغ من العمر الآن تسع سنوات، على محمل الجد، كما يقول، ولكن يجب على المرء أن يأخذ على محمل الجد السؤال عن سبب استقرار الذرات ولماذا تظل ذرات العنصر متماثلة تمامًا وتبقى كما هي خلال جميع العمليات الكيميائية والعديد من العمليات الفيزيائية. يرى بور أنها معجزة، وغير مفهومة من وجهة نظر الفيزياء التقليدية. هناك حاجة إلى فيزياء جديدة.

لم يصدق هايزنبرج أذنيه. هل تساءل بور للتو عن نموذجه الذري؟ النموذج الذي يحسبه الفيزيائيون حول العالم، والذي يُدرَّس في الجامعات ويُعرض في المتاحف؟ في واقع الأمر. وليس هذا فقط، فبور لا يشكك في نموذجه فحسب، بل يشكك في إمكانية النماذج الوصفية للذرات بشكل عام. يقول بور إن تخيل الذرة على أنها نظام شمسي مُصغَّر قد يكون أمرًا جميلًا، لكن مثل هذه الصور هي تغييرات مؤقتة في أحسن الأحوال. وفي أسوأ الأحوال، يعطوننا شعورًا مخادعًا لفهم شيء لا نفهمه. هناك تساؤل حول كيفية بقاء الذرات مستقرة خلال جميع التصادمات والتفاعلات الكيميائية، ولماذا تتشابه ذرتان من العنصر نفسه تمامًا. لغز كامل من منظور الفيزياء الكلاسيكية. لا يمكن لأي نظام ذري صغير أن يظل مستقرًّا خلال جميع التصادمات والتفاعلات الكيميائية التي تخضع لها الذرات. لا يوجد نظام على الإطلاق، كما يعرفه الفيزيائيون، يمكنه فعل ذلك.

هايزنبرج، صاحب الإنجاز الكبير، الذي اعتاد من ندوة زومرفِلد في ميونخ أن يكون أول من يفهم كل شيء، يستمع باهتمام، ويتدخل فقط لسؤال بين الحين والآخر. وهو يقول إنه يود أن يعرف ما تعنيه نظرية الكم. وراء كل الحسابات، التنبؤ بالخطوط الطيفية والأرقام الكمومية؛ ماذا تقول نظرية الكم عن طبيعة الواقع المادي؟ ماذا تعني هذه الصيغ الغريبة؟

يجيب بور باستطراد فلسفي: «المعنى، هناك العديد من الطرق التي يمكن أن تعني بها اللغة شيئًا ما. إذا كانت ذرة واحدة من الغبار تتكون من مليارات ومليارات من الذرات، فكيف يمكن للمرء أن يتحدث بشكل هادف عن شيء صغير جدًّا؟». عندما يتعلق الأمر بالذرات، لا يمكننا استخدام لغتنا إلا كشعر. مثلما لا يهتم الشاعر بالحقائق بقدر اهتمامه بالصور البلاغية والروابط الذهنية، فإن نماذج فيزياء الكم لن تعمل إلا على التقاط أكبر قدر ممكن مما نعرفه عن الذرات بطرقنا غير الملائمة في التفكير والتعبير عن أنفسنا بشأنه. ما الذي يعطينا سببًا للأمل في أن التفكير الذي تطور لعالم البشر والأشجار والمنازل سينطبق أيضًا على عالم الذرات؟ يقول بور: «الصور التي نصنعها للذرات مستمدة من التجربة، أو -إذا جاز التعبير- لا تخمن من أي حسابات نظرية. آمل أن تصف هذه الصور بنية الذرات جيدًا، لكنها تصفها أيضًا بالقدر الذي تسمح به اللغة الوصفية للفيزياء الكلاسيكية. يجب أن نكون واضحين بشأن حقيقة أن اللغة هنا لا يمكن استخدامها إلا بطريقة مماثلة للشعر، والتي لا تتعلق بتقديم الحقائق بدقة، ولكن بإنشاء صور في وعي المستمع وخلق روابط ذهنية».

نظرة ثاقبة يصعب أخذها على محمل الجد بالنسبة لهايزنبرج. قبل بضعة عقود، جادل الفيزيائي القادم من فيينا لودفيج بولتسمان بشدة أن الذرات ليست مجرد تخيلات مجردة كانت تُعتبر منذ أيام علماء الذرة القدماء، وليست مجرد استعارات، بل أشياء ملموسة، أصغر من الكراسي التي نجلس عليها، ولكن بالقدر نفسه من الواقعية. انتحر بولتسمان عام 1906. ومما زاد من يأسه عدم قدرته على إقناع زملائه بوجود الذرات. بعد وفاته تقبل الأمر العديد من علماء الفيزياء الذرية.

والآن يدَّعي بور أن أصغر اللبنات الأساسية للعالم المادي ليست سوى طريقة للتكلم، استعارة جميلة ولكنها في النهاية غير كافية؟ جيدة كأساس، ولكن مع التطور لا تصلح كحجة نقاشية حول الذرات. لا ينكر بور وجود الذرات، لكنه يقول إن الفيزيائيين لا يمكنهم أن يأملوا في وصفها على ما هي عليه. ربما لا توجد «ماهية» للذرات. تتفكك أفكارنا التقليدية حول العالم المادي، وحول المادة، وحول الأشياء وأماكنها وحركاتها، على أصغر مقياس. لكن لدينا هذه البديهيات فقط، ومعها تعلَّمنا أن نفهم العالم. لا يمكننا رميهم في البحر ببساطة.

ما يشرحه بور بأسلوبه المتوازن يزعج هايزنبرج. حتى الآن، كانت الصيغ التي يناقشها مع معلمه زومرفِلد وزملائه الآخرين أدوات فقط لحسابه والتوصل إلى تنبؤات يمكن التحقق منها تجريبيًّا. الآن يتعلم كيف يستفسر عن طبيعة العالم الذي يصفونه. إنه يفكر في العودة إلى قراءة تيماوس قبل ثلاث سنوات على سطح شفابينج، عندما كانت القوات الحكومية البروسية تقاتل ثوار ميونخ. الفكرة أقرب من أي وقت مضى؛ كشف اللبنات الأساسية للعالم من خلال البحث عن الحقيقة والجمال.

يريد هايزنبرج أن يعرف من بور: «ماذا تعني نظرية الكم الآن؟ وأي نوع من العالم موجود وراء كل تلك الحسابات المعقدة، وخلف الخطوط الطيفية والأرقام الكمومية؟ وما هي الفيزياء الكامنة وراء الصيغ؟»، ليس لدى بور إجابة محددة، ناهيك بإجابة بسيطة. لا، لا يمكن أن تكون نماذج الذرة الكلاسيكية صحيحة. لكن لا، فهم ليسوا مخطئين تمامًا أيضًا. هم أفضل وسائل لدينا. الحيلة هي العثور على نماذج تلتقط أكبر قدر ممكن مما يمكن قوله عن الذرات. لن يكون نموذج واحد كافيًا، ستكون هناك حاجة إلى عدة نماذج تكمل بعضها بعضًا ولكنها تتعارض أيضًا مع بعضها بعضًا. يمكن اعتبار الإلكترون كجسيم وكموجة. كلاهما صحيح، لكن ليس بالكامل. يتصرف الإلكترون مثل الجسيم في بعض النواحي ومثل الموجة في جوانب أخرى. قد يتصارع حدسنا مع هذه الطبيعة المزدوجة للإلكترون. لكن هذا هو العالم.

يُحصِّن الفيزيائيان نفسيهما في مقهى رون قبل الصعود إلى قمة هاينبرج، التي يمتد منها المنظر إلى المدينة بأكملها. يسأل هايزنبرج: «هل الجوهر إذن غير قابل للوصول إلى الإدراك البشري؟». أجاب بور: «هل هناك أي فرصة لفهم الذرات بشكل صحيح؟». «ولكن في الوقت نفسه سوف نتعلم أولًا ما تعنيه كلمة (فهم)».

هذه الطريقة في الحديث عن الفيزياء جديدة على هايزنبرج. أرنولد زومرفِلد، الذي درس معه، هذا الأستاذ الصغير النحيل من ميونخ، وهو شخصية من زمن بروسيا القديمة له شارب وندوب على وجهه، مدرس ومعلم لعدد لا يُحصى من علماء الفيزياء من الجيل الجديد، أكد دائمًا أن علماء الفيزياء يحسبون ويجربون، ومع ذلك، يجب ترك التفكير للآخرين.

يتضح لهايزنبرج أن بور يفكر بشكل مختلف تمامًا عن جميع الفيزيائيين الآخرين تقريبًا المجتمعين في جوتنجن، معقل الفيزياء الرياضية. يوجد عدد كافٍ من الفنانين الحسابيين والمُجربين المهرة. تكمن قوة بور في مكان آخر؛ في الحدس. إنه يشعر ببنية العالم. لا يحسب الدنماركي، فهو يتفلسف، ويكافح في سبيل الكلمات كشاعر. وصفه لاحقًا بأنه «الشخص الوحيد الذي يفهم أي شيء عن الفيزياء بالمعنى الفلسفي».

بينما يلتفت هايزنبرج للصيغ، فإن بور يتابع الظواهر. يشعر هايزنبرج أن بور لا يكتسب معرفته من خلال الاستنتاج المنطقي أو حل المعادلات التفاضلية، بل عن طريق «العاطفة والحدس»، كما وصفها لاحقًا. «لقد استخدم الكلمات بحذر، وحذر أكثر بكثير مما اعتدنا عليه من زومرفِلد، وخلف كل جملة من الجمل المصاغة بعناية ظهرت سلسلة طويلة من الأفكار المرئية، فقط بدايتها كانت واضحة وضاعت نهايتها في شبه ظلام الموقف الفلسفي الذي أثار حماستي»، والآن يتحدث بور عن مشروع تفكيك الذرات. يتحدث عن ذلك على أنه عمل شاعر، وكأنه يحاول إيجاد الكلمات المناسبة لشيء لم يُقَل من قبل.

يبدو الأمر لهايزنبرج كأنه يتعرف على الفيزياء من جديد. خلال ثلاث ساعات من هذا المسير، كما يتذكر هايزنبرج لاحقًا، «كان تطوري العلمي الفعلي قد بدأ للتو». وتبدأ الصداقة بين نيلز بور وفرنر هايزنبرج، والتي ستنشأ منها بعض أهم الخطوات في صياغة النظرية الجديدة للكميات. سوف تستمر 19 سنة، ثم تتفكك.

عندما انطلق الاثنان من رون إلى قمة هاينبرج، كان بور قد أدرك منذ فترة طويلة موهبة هايزنبرج الاستثنائية. يحب تعطشه الذي لا يُمكن كبته نحو المعرفة. استفسر عن خطط هايزنبرج، ودعاه للحضور إلى كوبنهاجن من أجل إقامة بحثية، ووعده بمنحة دراسية. لم يكن هايزنبرج يتوقع مثل هذا الاعتراف. يُمكنه الذهاب إلى كوبنهاجن، إلى بور الكبير، والده العلمي! هذا الهدف له معنى خاص جدًّا بالنسبة له، لأن فولفجانج باولي، أكبر منافسيه، في طريقه أيضًا إلى كوبنهاجن.

فولفجانج باولي وفرنر هايزنبرج هما أكثر طلاب أرنولد زومرفِلد موهبة، وباولي، الذي يكبره بعام ونصف، كان دائمًا متقدمًا بخطوة على هايزنبرج. عندما بدأ هايزنبرج الدراسة، كان باولي يحضر بالفعل محاضرات زومرفِلد.

يصحح باولي واجبات هايزنبرج المنزلية نيابة عن زومرفِلد ويقدم له المشورة بشأن اختياره للمحاضرات والندوات. حصل باولي على درجة الدكتوراه بامتياز مع مرتبة الشرف في الخريف، لكن هايزنبرج اجتاز الامتحان بصعوبة. باولي، الذي أُعفي من الخدمة العسكرية بسبب قصور في القلب، بدأ للتو وظيفته الأولى في هامبورج. يعتبر الطفل المعجزة في الفيزياء الألمانية.

أصبح الاثنان متقاربين بدرجة كافية لدفع بعضهما بعضًا إلى أفضل حالاتهما، لكنهما مختلفان جدًّا ليصيرا صديقين. يحب باولي الاحتفال طوال الليل، يشرب، ويتشاجر، وينام طوال النهار. بينما يفضل هايزنبرج أن ينطلق في الطبيعة ويصعد الجبال في ندى الصباح الباكر. عادةً ما يحيي باولي هايزنبرج «صباح الخير، يا رسول الطبيعة». فيرد هايزنبرج فقط بعبارة «مساء الخير». لا يفوت باولي أي فرصة لوصف هايزنبرج بأنه «أحمق». يقول هايزنبرج لاحقًا: «لقد ساعدني ذلك كثيرًا». الآن ستُتاح له الفرصة ليسبق باولي ويتعلم شخصيًّا من المُعلم الكبير لنظرية الكم في كوبنهاجن. لكن لدى زومرفِلد العجوز خطط أخرى لهايزنبرج. يجب أن يتعلم أولًا من ماكس بورن في جوتنجن. كان باولي هناك في الفصل الشتوي السابق، ويسمح له الآن بالذهاب إلى بور في كوبنهاجن. يجب أن يتحلى هايزنبرج بالصبر مرة أخرى، لكنه لا يزال قادرًا على تجاوز باولي. في عام 1932، في سن الثلاثين، حصل على جائزة نوبل في الفيزياء، ولم ينَلْها باولي حتى عام 1945، عن عمر يناهز 45 عامًا.

ثمة شخص مفقود في مهرجان بور؛ ألبرت آينشتاين. إنه يخشى على حياته الآن. يزداد المناخ السياسي في ألمانيا حدة أكثر فأكثر. الصحف القومية تدعو علنًا إلى قتل الصناعي اليهودي فالتر راتِناو الذي كان وزيرًا للخارجية لبضعة أشهر. في 24 يونيو 1922، بعد يومين من مهرجان بور، قُتل راتِناو برصاص متطرفين يمينيين في وضح النهار بينما كان يقود سيارته من فِيلته في جرونفالد إلى الوزارة. إنها جريمة القتل السياسي رقم 354 التي يرتكبها متطرفون يمينيون منذ الحرب، ارتكب المتطرفون اليساريون 22 جريمة قتل منذ ذلك الحين. كان آينشتاين يعرف راتِناو جيدًا، فكلاهما غالبًا ما تناقشا في السياسة مع بعضهما بعضًا. إنه من بين أولئك الذين حذروا راتِناو من قبول مثل هذا المنصب الحكومي البارز ويخشى الآن أن ينتهي به الأمر كرقم

355 أو ما بعده. يعرف آينشتاين أنه أيضًا مدرج على قوائم فرق الاغتيالات الرجعية ويفعل ما نصح راتِناو بفعله عبثًا؛ انسحب، علق دروسه، ألغى جميع المحاضرات، أنهى عمله في «لجنة التعاون الفكري» التابعة لعصبة الأمم. كتب إلى جنيف: «بسبب الوضع هنا فمن الأفضل لليهود ممارسة ضبط النفس في جميع الأمور العامة». بل إنه يفكر في ترك منصبه في الأكاديمية البروسية للعلوم والعودة إلى كيل للعمل موظف فاحص براءات الاختراع. لم يعد مجرد عالم فيزياء، بل أصبح رمزًا للعلم الألماني ورمزًا حيًّا للهُوية اليهودية، مزيجٌ دقيق.

في هذا الموقف الصعب، تمكن آينشتاين على الأقل من قراءة أعمال بور، وهو مفتون: «هذا هو أعلى مستوى للموسيقى في عالم الفكر». في الواقع، هناك على الأقل قدر من الفن مثل العلم في عمل بور. لقد جمع أدلة من مجالات مختلفة -من التحليل الطيفي، ومن الكيمياء- ومن مدار تلو مدار، ومن ذرة تلو ذرة، ووضع الجدول الدوري بأكمله معًا كأحجية الصور المقطوعة الكبيرة. نقطة البداية هي اقتناعه بأنه على الرغم من أن قواعد الكم تنطبق في الصورة المصغرة للذرات، فإن كلَّ ما يتم استنتاجه منها يجب أن يتفق مع الملاحظات التي نجريها في الكون الكبير، والذي تحكمه الفيزياء الكلاسيكية. يسمي هذا الاعتقاد «مبدأ التطابق[1]». كل الأفكار حول العالم الذري التي لا تتوافق مع الفيزياء الكلاسيكية في الكون الكبير ممنوعة. بهذه الحيلة، يسد بور الفجوة بين عوالم الفيزياء الذرية والفيزياء الكلاسيكية التي تبدو غير قابلة للتوفيق. يعتبر البعض أن مبدأ التطابق هو «عصا سحرية لا تعمل خارج كوبنهاجن»، كما قال مساعد بور هندريك كرامرز لاحقًا. يلوح البعض بعصيهم عبثًا. يتعرف ألبرت آينشتاين على ساحر مثله.

وعلى الرغم من ذلك، لا يزال نيلز بور ينتظر أكبر تقدير لهذا العام؛ في أكتوبر، منحته لجنة نوبل جائزة نوبل في الفيزياء لأبحاثه في بنية الذرات. تنهال على مكتبه برقيات التهنئة واحدة تلو الأخرى. في وقت متقارب، قبله بعام حصل ألبرت آينشتاين على الجائزة نفسها، عام 1921، عن شرحه

(1) مبدأ التطابق في الفيزياء هو أن سلوك الأنظمة الموصوفة في نظرية الميكانيكا الكمية تطابق الفيزياء الأصلية في حدود الأعداد الكمية الكبيرة. وبعبارة أخرى لا بد أن تطابق الحسابات الكمية الحسابات الفيزيائية الأصلية، في المدارات والطاقات الكبيرة. [المترجم]

للتأثير الكهروضوئي. لكن آينشتاين لم يكن في المنزل عندما وصلت برقية ستوكهولم إلى شقته في برلين. كان هو وإلسا في طريقهما إلى جولة محاضرات انطلقا من مرسيليا إلى اليابان في 7 أكتوبر. فرصة مُرحَّب بها للهروب من الأجواء السامة في ألمانيا. لا يوجد اغتيال على السفن. يسعد آينشتاين أن يلاحظ أنه لا يوجد على متن الباخرة سوى متحدثي الإنجليزية واليابانية، «رفقة هادئة ورائعة». يمكن أن تكون أيام استرخاء، فقد جهز آينشتاين في حقيبته الكثير من الكتب وبعض الأبحاث، فقط إذا لم تكن معدته شديدة الحساسية تجاه البحر. تتوقف عائلة آينشتاين في كولومبو وسنغافورة وهونغ كونغ وشنغهاي. في بعض المواني يُستقبَلون بالنشيد الوطني الألماني، مما يجعل آينشتاين غير مرتاح ويذكره بالتشابك الذي أراد بالفعل الهروب منه. في 17 نوفمبر، نزل آينشتاين في مدينة كوبه وسافر بالقطار ذهابًا وإيابًا عبر مدن اليابان، بما في ذلك هيروشيما، المدينة التي ستُحوَّل بعد 23 عامًا إلى رماد بمساعدة صيغ آينشتاين. لم يعودوا إلى برلين حتى مارس 1923.

يقام حفل توزيع الجوائز في 10 ديسمبر 1922 دون آينشتاين في ستوكهولم الثلجية. لم يكن كل شيء على ما يرام لبور في ذلك اليوم. ينسى ورقة خطابه في غرفة الفندق وعليه أن يرتجل. لكن تبين أن الحادث كان ميزة، لأن أسلوب توصيله أكثر وضوحًا وتسلية مما اعتاد عليه بعض المستمعين، حتى تُحضَر ملاحظاته إليه من الفندق. بعد ذلك، لراحة الجمهور واستيائه، يعود مرة أخرى إلى نبرة القراءة المعتادة.

تسلم المبعوث الألماني رودولف نادولني الجائزة نيابة عن آينشتاين، بعد خلاف مع الدبلوماسيين السويسريين الذين يطالبون بآينشتاين عن دولتهم، حيث أرسلت أكاديمية برلين بالتلغراف إلى ستوكهولم: «آينشتاين مواطن في الرايخ الألماني». كما أن نادولني قال في المأدبة بعد رفع كأس: «أعرب عن فرحة شعبي بأن أحد أبنائه تمكن مرة أخرى من تحقيق النجاح للبشرية جمعاء». وبعد الجدل حول جنسية آينشتاين، يأمل نادولني «أن تشارك سويسرا، التي قدمت للباحث مسكنًا ومكانَ عملٍ لسنوات عديدة، في هذه البهجة».

تخلى آينشتاين عن جنسيته الألمانية في عام 1896 وقبل المواطنة السويسرية بعد خمس سنوات، ولكن عندما كان يعمل في الأكاديمية البروسية

للعلوم، أصبح موظفًا مدنيًّا ألمانيًّا وبالتالي أصبح مواطنًا ألمانيًّا تلقائيًّا مرة أخرى، دون حتى أن يعرف هو نفسه. لا يهتم بمثل هذه الأشياء. أشار ذات مرة إلى أن الانتماء إلى أمة له نفس أهمية عقد التأمين. تطلب ابنة زوجته إيلزه من لجنة نوبل إرسال ميداليته إلى السفارة السويسرية في برلين لأنه مواطن سويسري. اللجنة تحل المعضلة بإرسال السفير السويدي إلى ألمانيا لتقديم الميدالية لآينشتاين شخصيًّا.

مكتبة
t.me/soramnqraa

ميونخ 1923
صاحب الإنجاز الكبير يجتاز الاختبار بصعوبة

ميونخ، 1923. الفيزياء تكاد تكون غير مطروحة في هذا البلد، الذي يعاني بشكل كبير عقوبةَ دفع تعويضات الحرب. التضخم المفرط يضعف ألمانيا. الخوف من الشيوعية مُستشرٍ. يخشى الكثير من الناس أن الثورة البلشفية ستنتشر من روسيا إلى ألمانيا، وأن الفلاحين سيُطرَدون، وأصحاب المصانع سيُصادَرون. تعمل الحكومة الفرنسية على تزكية الروح القومية من خلال الإصرار على دفع تعويضات الحرب.

تناضل أول جمهورية ألمانية من أجل البقاء. فرصة لكل من يريد تدميرها. يحاول الفنان أدولف هتلر الاستيلاء على السلطة في ميونخ. في 8 نوفمبر 1923، انطلق في حفل تأبين بمناسبة نهاية الحرب العالمية الأولى. جنبًا إلى جنب مع إريش لودندورف، المحارب القديم في الحرب العالمية الثانية وزعيم المتطرفين اليمينيين، يسير نحو النصب التذكاري «فلد هرن هالي». يريدون الانتقال إلى برلين للإطاحة بنظام فايمار الفاسد. فشلت محاولة الانقلاب. هرب هرمان جورينج، البطل الطيار في الحرب العالمية الأولى، وسُجن هتلر، وبرِّئ لودندورف. من الآن فصاعدًا، سيكون هتلر ولودندورف معارضين. يصبح هتلر القائد.

نجا أرنولد زومرفِلد، الأستاذ في ميونخ، من الكآبة الألمانية وسافر إلى الولايات المتحدة في جولة محاضرات في شتاء 1922-1923 بدعوة من

العديد من الجامعات الأمريكية. إنه يقضي عامًا في جامعة ويسكونسن في ماديسون، ولا تتعلق مهمته بالخارج بالفيزياء فحسب، بل بالمال أيضًا. ليس من السهل حتى على أستاذ ألماني محترم البقاء على قيد الحياة في أوقات التضخم المفرط، وبالنسبة للدولارات التي يكسبها زومرفِلد في الولايات المتحدة، لا يزال بإمكانه شراء شيء ما في المستقبل. يضاف إلى ذلك امتياز القدرة على متابعة المجتمع العلمي الأمريكي المزدهر من قرب، وهو شرف نادر في وقت لا يزال العلماء الألمان منبوذين. يحرص زومرفِلد دائمًا على تجنب المناقشات السياسية.

في الأسابيع الأولى من عام 1923، سمع زومرفِلد عن اكتشاف قام به الفيزيائي التجريبي آرثر هولي كومبتون، الذي لم يكن قد تجاوز الثلاثين من عمره ولكنه كان رئيس قسم الفيزياء في جامعة واشنطن في سانت لويس بولاية ميسوري لمدة عامين. قاس كومبتون بدقة كيف تنحرف الإلكترونات في الذرات عن الأشعة السينية. تمامًا كما يتنبأ النموذج الكمي، يلاحظ، وبشكل مختلف تمامًا عما تنبأ به نموذج الموجة. يستخدم كومبتون الأشعة السينية لاستهداف عناصر مختلفة، الكربون وغيرها. ينطلق معظم الإشعاع مباشرة من خلال العينات. يهتم كومبتون بالإشعاع الثانوي الذي ينشأ من تشتت ضوء الأشعة السينية بواسطة الإلكترونات. هل الطول الموجي للضوء يتغير؟ نعم، اكتشف أن هذا مثل كرات البلياردو الصغيرة، الضوء والإلكترونات سوف تصطدم وتتطاير متباعدة.

في 21 يناير، كتب أرنولد زومرفِلد متحمسًا إلى نيلز بور للإشارة إلى «الشيء الأكثر إثارة للاهتمام الذي تعلمته علميًّا في أمريكا». على عكس كل الأدلة، أظهر كومبتون أن الأشعة السينية تنتقل ككوانتا في تجاربه. لا يزال زومرفِلد مترددًا بعض الشيء في أخذ قياسات كومبتون على أنها حقائق، لأنها لم تخضع بعد لعملية التحقق المعتادة في العلم. لن تظهر أعمال كومبتون إلا في مايو 1923 في مجلة فيزيكال ريفيو، أهم مجلة تقنية أمريكية، لكنها بالكاد تُقرَأ في أوروبا. لكن زومرفِلد مقتنع بالفعل بأن الفيزيائيين على وشك تلقِّي «درس أساسي جديد تمامًا». يكتب إلى بور: «بعد ذلك يجب إسقاط نظرية الموجة للأشعة السينية في النهاية». يعتقد زومرفِلد أنه «ربما يكون أهم اكتشاف يمكن تحقيقه في الوضع الحالي للفيزياء». إنها ضربة لبور.

يُعد هذا تأكيدًا لألبرت آينشتاين، كتب في مقال لصحيفة برلينر تاجبلات، الصحيفة الليبرالية اليسارية: «تثبت النتيجة الإيجابية لتجربة كومبتون أنه ليس فقط فيما يتعلق بنقل الطاقة، ولكن أيضًا فيما يتعلق بتأثير التأثير، يتصرف الإشعاع كما لو كان يتكون من مقذوفات طاقة منفصلة». قالها آينشتاين منذ سنوات؛ يجب أن يتكون الضوء من جزيئات. من ناحية أخرى؛ يجب أن يتكون الضوء من موجات، وقد عرف الفيزيائيون أنه منذ ماكسويل، يقوم المهندسون الكهربائيون ببناء أجهزة راديو وأجهزة راديو ثنائية الاتجاه بناءً على هذه المعرفة. هذا لا يمكن أن يكون صحيحًا. كتب آينشتاين: «إذن يوجد الآن نظريتان للضوء، كلاهما لا غنى عنه -وكما يجب أن نعترف اليوم، على الرغم من عشرين عامًا من الجهود الهائلة التي بذلها علماء الفيزياء النظرية- دون أي ارتباط منطقي». كلٌّ من نظرية الموجة ونظرية الكم للضوء صحيحة إلى حدٍّ ما. لا يمكن للكميات الضوئية أن تفسر ظاهرة موجات الضوء، مثل التداخل والحيود. لكن لا يمكن تفسير تأثير كومبتون والتأثير الكهروضوئي دون الكميات الخفيفة. للضوء وجهٌ مزدوج وموجةٌ وجسيمٌ. يجب أن يتعلم الفيزيائيون التعايش مع ذلك.

عندما عاد زومرفِلد من ماديسون في ربيع عام 1923، عاد هايزنبرج أيضًا إلى ميونخ من جوتنجن لإكمال الدكتوراه. اختار في أطروحته للدكتوراه موضوعًا من الديناميكا المائية، وهو تحليل نظري لتطور الاضطرابات في السوائل. موضوع قوي، لكنه بعيد كل البعد عن نظرية الكم التي تأسر هايزنبرج حاليًّا.

صلبة ومملة. ما لا يثير اهتمام هايزنبرج صاحب الإنجاز الكبير يسبب له صعوبات. على مضض، التحق بدورة معملية للمبتدئين، يُدرِّسها فيلهلم فيين، أستاذ الفيزياء التجريبية في ميونخ الذي يحمل الاسم نفسه لقانون فيين[1]. يعتبر فيين أستاذًا في إجراء التجارب، وقد مهدت قياساته الدقيقة للإشعاع الكهرومغناطيسي الطريق لفرضية الكم التي طرحها ماكس بلانك في عام 1900. لكن هايزنبرج غير مهتم بالعمل اليدوي والجامعة تفتقر إلى

(1) قانون فيين للإزاحة أو للإشعاع الحراري في الديناميكا الحرارية هو قانون صاغه العالم الفيزيائي الألماني فيلهلم فيين عن انزياح قمة توزيع طول موجة الأشعة الحرارية الصادرة من جسم أسود نحو أطوال موجة قصيرة مع ارتفاع درجة حرارة الجسم الأسود. [المترجم]

المرافق، وهو عذر مرحب به لهايزنبرج لإهمال التجارب التي قدمها له فيين والعودة إلى النظرية.

في عام 1923، كان من المقرر إجراء الاختبار الشفهي النهائي لهايزنبرج لنيل درجة الدكتوراه. الآن عليه أن يُظهر أنه على دراية جيدة بجميع الفيزياء، نظريًّا وعمليًّا، وليس فقط مجالات اهتمامه. إنها معركة، كل شيء يسير بسلاسة في الرياضيات والفيزياء النظرية وعلم الفلك. ثم يأتي الامتحان في الفيزياء التجريبية. فيلهلم فيين ليس لديه أي نية للتلويح ببساطة بالإنجاز الكبير لهايزنبرج. عندما سمع فيين في أثناء الامتحان عن مدى ضآلة تجربته مع هايزنبرج، بدأ في طرح الأسئلة عليه لاختبار معرفته بالإعدادات التجريبية. إنه يريد أن يسمع من هايزنبرج ما هي قوة التحليل لمقياس التداخل فابري-بيرو[1]، وهو أداة بصرية مكونة من مرآتين متعارضتين لقياس تردد موجات الضوء. مادة الامتحان الإجباري لهايزنبرج، والذي مر به فيين أيضًا في محاضراته الخاصة. لم يكن هايزنبرج سمع أو عرف الصيغة ويحاول الآن اشتقاقها في أثناء الامتحان تحت نظر فيين الصارم. لقد فشل. يسأله فيين عن قدرة المجهر التحليلية. هايزنبرج ليس لديه إجابة عن ذلك أيضًا. يسأله فيين عن قوة التلسكوب التحليلية، ومرة أخرى ليس لدى هايزنبرج أي فكرة. يسأله فيين كيف تعمل البطارية. هايزنبرج يجعل نفسه أحمق مرة أخرى.

يريد فيين أن يفشل هايزنبرج، لكن زومرفِلد يتدخل الآن. جادل زومرفِلد بأن هايزنبرج اجتاز الامتحان في الفيزياء النظرية ببراعة لدرجة أنه لا يمكن حرمانه من الدكتوراه. موقف دقيق؛ يريد زومرفِلد أن يجتاز طالبه المثالي الامتحانَ دون أن يتنصل من زميله. يجد الأساتذة حلًّا وسطًا. حصل هايزنبرج على اللقب، ولكن فقط من الدرجة الثالثة، وهو ثاني أسوأ لقب.

لا يدع هايزنبرج هذا العار يطأه. تمكن من تحويل إحباطه إلى شغف فيتعلم كل شيء عن المجاهر والتلسكوبات. سيظل قادرًا على استخدام هذه المعرفة استخدامًا جيدًا.

كان أرنولد زومرفِلد يود أن يحتفظ بالدكتور فِرنر هايزنبرج الملقب حديثًا في ميونخ، بينما يفضل ماكس بورن إعادته إلى جوتنجن. يتفاوضون

---

(1) مقياس فابري-بيرو صمم هذا الجهاز العالمان فابري وبيرو سنة 1899 لدراسة ظاهرة التداخل بين الحزم الضوئية المتعددة. [المترجم]

حول مستقبل هايزنبرج الأكاديمي. يقنع بورن زومرفِلد في رسالة طويلة أن هايزنبرج ينتمي إلى جوتنجن. وأشاد بموهبة هايزنبرج الاستثنائية وتواضعه وحماسه وروح الدعابة التي يتمتع بها وشعبيته بين علماء الفيزياء في جوتنجن. بعد اختباره الدقيق، يجب أن يتأهل هايزنبرج معه في جوتنجن ثم يظل محاضرًا خاصًّا. يقتنع زومرفِلد ويوافق على اقتراح بورن.

لذلك في سبتمبر 1923 عاد هايزنبرج إلى جوتنجن للتدريس مع بورن. يحاولان معًا حساب مدارات الإلكترونات في ذرة الهيليوم. في فصل الشتاء، ألقى بورن محاضرة بعنوان: «نظرية الاضطراب مع التطبيق على الفيزياء الذرية»، يصف فيها قفزات الإلكترونات في الذرات بطريقة جديدة تمامًا. القفزات هي الآن جزء من النظرية. يحصل بورن على التقدير، وكذلك تحصل القفزات الكمية في النظرية على الاهتمام، وبالتالي يضع الأساس لنظرية الكم الجديدة.

ماكس بورن ليس فيلسوفًا أو حدسيًّا مثل نيلز بور. لكنه يفهم ما يقوله بور ويمكن أن يترجمه إلى رياضيات. يقول بورن: «الرياضيات أذكى منَّا». سيكون بور عاجزًا دون عقل لامع مثل بورن. دون مفكر عميق مثل بور، لن تجد فطنة بورن أرضًا خصبة. بور مبدع، تندفع أفكاره منه، وهو يكافح من أجل وضعها في كلمات وصيغ. بورن هو المضاد لبور، متردد، غير آمن، منسي، يفتقر إلى التركيز، مريض. الرياضيات هي موطئ قدمه في العالم.

بينما بورن وهايزنبرج يكافحان بشأن مدارات الإلكترون في جوتنجن، تسير القوات الفرنسية في منطقة الرور. تأخرت ألمانيا في سداد مدفوعات تعويضات الحرب المنصوص عليها في معاهدة فرساي. لقد أضرب العمال في منطقة الرور، وليس لديهم طعام أو تدفئة، ومن المفترض أن يستخرجوا الفحم للفرنسيين. لكنهم بلا هوادة. تطبع الحكومة الألمانية النقود لدفع أجور العمال، مما يزيد من انخفاض المارك الألماني. في بداية الحرب تحصل على دولار أمريكي واحد مقابل أربعة مارك ألماني، وفي يوليو 1922 كان عليك دفع 493 مارگًا مقابل دولار واحد، وفي يناير 1923 كان بالفعل 17792 مارگًا، وفي نوفمبر 1923 كان 4.2 تريليون مارك.

يتعين على العديد من الأشخاص الوقوف في طوابير عدة مرات في الأسبوع ليحصلوا على أجورهم نقدًا -أكوام من النقود الورقية بملايين ومليارات الماركات- والاندفاع إلى الخبازين والجزارين ومحلات الألبان لتخزين أكبر

قدر ممكن من الطعام. غدًا سوف يساوي المال نصف ذلك. تناضل الطبقة البرجوازية الألمانية المستقرة من أجل البقاء. يكتب ماكس بورن: «بهذه الطريقة، فقدت الطبقة الوسطى بأكملها جزءًا كبيرًا من ممتلكاتها وأصبحت فريسة سهلة للمحرضين السياسيين».

لم تعد الجامعات تهتم بالعلم الآن. يشتري الطلاب البقالة عندما يكون لديهم المال ويتضورون جوعًا عندما لا يملكون. ألغيت محاضرات وخفضت رواتب الأساتذة والمساعدين.

يلجأ ماكس بورن إلى أبحاثه بقدر ما يسمح به الربو والتهاب الشعب الهوائية. لقد انسحب أكثر فأكثر من دائرة أصدقائه وزملائه، وعزف على البيانو بمفرده، وغالبًا ما كان يعمل حتى وقت متأخر من الليل. كتب إلى آينشتاين في أغسطس 1923 أنه «لا يتوق على الإطلاق إلى مستوى عالٍ من التركيز في الفيزياء»، إنه يفضل «العيش والعمل بهدوء من أجلي. من الغد سأتظاهر بأنني ميت وغير متاح. في الواقع، ليس لدي أي شيء خاص في ذهني. أنا، كعادتي، أفكر بلا أمل في نظرية الكم وأبحث عن وصفة لحساب الهيليوم والذرات الأخرى. لكن لا يمكنني أيضًا فعل ذلك».

في أغسطس 1923، أصبح جوستاف شترسمان مستشارًا. يغير السياسة النقدية، وينهي الطباعة غير المقيدة للنقود ويقدم عملة جديدة. تبلغ قيمة الرنتن مارك بضعة ملايين من الماركات القديمة. «لا يمكنك حل المشكلة عبر إعطاء المُتغير الحر اسمًا جديدًا»، ينتقد عالم الرياضيات في جوتنجن دافيد هيلبرت، الذي يعتبره البعض معصومًا من الخطأ. لكنه مخطئ هذه المرة. ليس الاسم جديدًا فحسب، بل إن الرنتن مارك مدعومًا بسندات الشركات. تتعافى الأسعار، ويزدهر الاقتصاد مرة أخرى، وكذلك العلم. ما تبقى هو عدم ثقة العديد من المواطنين الألمان تجاه الدولة الفتية. في ربيع عام 1923 كتب ماكس بورن إلى ألبرت آينشتاين: «يحزنني جنون الفرنسيين لأنه يُقوي القومية ويُضعف الجمهورية. أفكر كثيرًا في كيفية القيام بذلك لتجنيب ابني مصير الاضطرار إلى المشاركة في حرب انتقامية. لكنني كبيرٌ في السن للهجرة إلى أمريكا، وبجانب ذلك، فإن الوضع هناك به المزيد من جنون الحرب أكثر من هنا».

في هايدلبرج، اختتم فيليب ليناردِ محاضرات الفصل الشتوي 1924/1923 بترنيمة مدح للانقلابي أدولف هتلر، الذي كان في السجن.

وفي مايو 1924 نشر بيانًا بعنوان: «روح هتلر وعلمه»، الذي يصرح فيه بالتزامه بالاشتراكية القومية ويرى في هتلر ولودندورف تجسد «روح صاحب الحضارة» للباحثين «الآريين» مثل نيوتن وجاليليو وكِبلر. منذ وقت صلب المسيح إلى حرق جيوردانو برونو وسجن هتلر ولودندورف، «كان الشعب الآسيوي نفسه يعمل دائمًا في الخلفية» ضد هؤلاء «الذين يجلبون الحضارة».

كوبنهاجن 1923
بور وآينشتاين يركبان الترام

في عام 1922، حصل ألبرت آينشتاين على جائزة نوبل عام 1921، لكنه غاب عن حفل توزيع الجوائز. لم يكن حتى يوليو 1923 قد ألقى خطاب جائزة نوبل في ستوكهولم أمام جمهور من 2000 شخص، كان آينشتاين متأكدًا؛ أن معظمهم قد جاء لرؤيته، وليس لسماع ما سيقوله. لذلك شعر بالارتياح عند ركوبه للقطار الذي سيأخذه بعيدًا عن العاصمة السويدية، إلى الرجل الذي يعرف أنه سيستمع إلى كل كلمة له وأنه سوف يعارض الجميع تقريبًا. ينتظر نيلز بور آينشتاين على رصيف المحطة في كوبنهاجن. إنها المرة الأولى التي يرى فيها الاثنان بعضهما بعضًا منذ ثلاث سنوات. ثلاث سنوات حدث فيها الكثيرُ. انغمس الأستاذان على الفور في محادثة حول الفيزياء، متناسيْن كل شيء من حولهما، وصعدا شارديْن إلى الترام للذهاب إلى معهد بور. علِم بور بتجربة آرثر كومبتون الرائدة من أرنولد زومرفِلد في الولايات المتحدة. يعرف آينشتاين أيضًا تجربة الشاب الأمريكي. لم يعد وحيدًا في دفاعه عن الكميات الخفيفة، لكن بور ما زال يرفض الإيمان بها.

«آينشتاين، يجب أن ترى...». يصرُّ بور في لغته الألمانية ذات الصبغة الدنماركية.

«لا، لا...» يرد آينشتاين ويجادل ضد قفزات بور الكمومية. أجاب بور: «لكن، لكن...».

إنهما لا يهتمان بالمظهر المفاجئ للركاب الآخرين، ويفوتان محطتهما، ويذهبان إلى مسافة بعيدة جدًّا. يسأل آينشتاين: «أين نحن؟» بور لا يعرف. ينزلان، ويعودان، وتفوتهما المحطة مرة أخرى. سيتذكر بور الأمر لاحقًا بقوله: «ركبنا الترام ذهابًا وإيابًا عدة مرات، وقد اعتقد الناس أنه قد يظل مترددًا».

نيلز بور، عام 1930 في مكتبه في معهد الفيزياء النظرية بجامعة كوبنهاجن.

Niels Bohr (AKG1048109; © akg-images)

كوبنهاجن 1924
محاولة أخيرة

كان نيلز بور غاضبًا. فقد وضعه اكتشاف آرثر كومبتون في موقف دفاعي، لكن أصرَّ بور على اعتقاده؛ أن الضوء يتكون من موجات. لكنه لم يكن منزعجًا من كومبتون فحسب، فقد أتى مساعده الخاص، هندريك كرامرز، بفكرة الاصطدامات الكمومية نفسها قبل أشهر قليلة من كومبتون، وقدمها إلى بور بكل فخر وإثارة.

كرامرز من بين كل الناس، مساعده الأكثر ولاءً لسنوات. في عام 1916، ظهر كرامرز على باب بور، يحمل شهادة جامعية في الفيزياء ويملؤه الحماس لتعلُّم نظرية الكم الجديدة. اتضح أنه طالب موهوب، على الرغم من تشككه أحيانًا، ولكنْ له حسٌّ فكاهي آسر. يقول فولفجانج باولي: «بور كإله وكرامرز نَبيُّه». والآن يخون النبيُّ إلهَه بتقديم الدليل الحاسم لوجود الكميات الخفيفة. يقول بور: «لا شيء هناك». تحدث إلى كرامرز، وناشده أن فكرة الكميات الخفيفة لا مكان لها في الفيزياء، وأن كرامرز يجب ألا يعرض للخطر النظرية الكلاسيكية الناجحة للكهرومغناطيسية، التي يجب أن يكون تابعًا لها. يمكن أن يكون بور مقنعًا للغاية حتى لو تصرف بشكل غير منطقي.

ينصاع كرامرز. تحت ضغط بور، دفن ما وجده، ودمر ملاحظاته، وأصابه المرض من شدة الاكتئاب، حتى تعين عليه دخول المستشفى لبضعة أيام. لقد

أفسد بور عقله تمامًا. عندما ينشر كومبتون الاكتشاف الذي حققه هو نفسه بالفعل، فإنه صار يحاربها على الجبهة نفسها مع رئيسه.

يعرف بور أنهم محاربون وحيدون، لكنه لا يستسلم. ليس بعد. يقوم بور بمحاولة أخيرة لإنقاذ الموجات مع كرامرز والمُنظِّر الأمريكي جون سلاتر البالغ من العمر 22 عامًا، والذي يزور كوبنهاجن حاليًّا في أثناء جولته الأوروبية. مثل معظم الفيزيائيين الشباب، لا يخاف سلاتر من الكميات الخفيفة. إنه شاب وغير دوجماتي. لماذا لا يمكن للكميات والموجات أن تتعايش؟ لكنه في كوبنهاجن، معقل المقاومة الكمومية. كسبه بور وكرامرز كحليف. في غضون ثلاثة أسابيع يكتبون ورقة بحثية معًا؛ أسرع من أي ورقة بحثية أخرى في قائمة منشورات بور. يفكر بور بصوت عالٍ. يدون كرامرز الملاحظات بأفضل ما يستطيع. يقف سلاتر، يستمع، يتفاجأ، يُلقي بسؤالٍ أحيانًا.

نُشرت الورقة البحثية بالفعل في المجلة الفلسفية في يناير 1924. تحتوي على عبارات مميزة لأسلوب بور الغامض: «سنفترض أن ذرةً ما في حالة ثابتة معينة ستتواصل باستمرار مع الذرات الأخرى بواسطة آلية زمانية مكانية تُكافئ مجال الإشعاع الذي يتبع النظرية الكلاسيكية وسينشأ من مذبذبات توافقية افتراضية مقابلة للتحولات المحتملة المختلفة لحالات ثابتة أخرى». لا شيء سوى المصطلحات التي ليس لها معنى فيزيائي واضح: «افتراض»، «آلية زمنية مكانية»، «تواصل»، «مكافئ». يقول آينشتاين عن بور إنه «يعبر عن آرائه كطالب دائمًا، وليس كمؤمن بامتلاك الحقيقة المطلقة». يقصد بهذا مجاملته، لكنه يكشف أيضًا عن ضعفٍ في بور. نادرًا ما يسمح لنفسه بالتعلق بعبارة واحدة ويبدو دائمًا مراوغًا بعض الشيء.

من أجل وصف امتصاص وانبعاث الكميات الخفيفة في الذرات بشكل صحيح، فإن بور على استعداد للتخلي عن مبدأ الحفاظ على الطاقة والزخم. يريد خفض مرتبة المبدأ إلى مجرد إحصائيات؛ في بعض الأحيان يُحَافظ على الطاقة والزخم، وأحيانًا لا يحدث ذلك. لكن ألبرت آينشتاين، المدافع عن القوانين الطبيعية الثابتة، لا يتفق مع هذا. القانون هو القانون وليس القاعدة العامة. لكنه أيضًا ليس لديه اقتراح أفضل.

الفكرة الأساسية لبور هي التضحية بمبدأ الحفاظ على الطاقة والزخم للحفاظ على نظرية الموجة. هذا المبدأ، وهو حجر الزاوية في الفيزياء، هو

كذلك عنصر أساسي في حجة آرثر كومبتون للتأثير التي تحمل اسمه، والتي سلطت الآن الضوء بشكل واضح على نظرية الكم للضوء. إذا كان قانون حفظ الطاقة لا يتمسك بصرامة بالمقياس الذري كما هو الحال في العالم اليومي للفيزياء الكلاسيكية، فإن تأثير كومبتون لم يعد دليلًا قاطعًا على الكميات الخفيفة لآينشتاين.

يجادل علماء الفيزياء الثلاثة في كوبنهاجن بأن قانون الحفاظ على الطاقة لم يُختبر تجريبيًّا على المستوى الذري. يعتبرون أنه سؤالٌ مفتوحٌ حول ما إذا كان ينطبق على عمليات مثل الانبعاث التلقائي للكميات الخفيفة وإلى أي مدى. يفترض آينشتاين أن الطاقة والزخم محفوظان في كل تصادم بين الفوتون والإلكترون. يسأل بور «لماذا؟»، في مواجهة آينشتاين بافتراض أن الطاقة والزخم محفوظان فقط في الوسط الإحصائي.

لا يواجه بور وكرامرز وسلاتر نظرية التأثير المحسوبة بدقة لكومبتون بنموذج مبني بالكامل. إنهم يحددون نظرية واحدة محتملة من حيث النوعية البحتة، ولا تحتوي ورقتهم البحثية إلا على معادلة بسيطة للغاية. يكتبون عن مجال إشعاعي «افتراضي» جديد يحيط بالذرات، ويؤثر في امتصاصها وانبعاثها للضوء، وينقل الطاقة بينها. يعمل الحقل كمخزن للطاقة، بحيث لا تُحفظ الطاقة في كل تفاعل منفرد بين الضوء والإلكترون، ولكن على المدى الطويل تكون كذلك. من أين يأتي هذا المجال الإشعاعي الغامض؟ اخترعها بور وكرامرز وسلاتر.

للوهلة الأولى، يبدو اقتراح الثلاثة كأنه تحوُّل مفاجئ في الخلاف حول طبيعة الضوء. في الواقع، إنه فعل يأس يُظهر رفض بور الشديد لنظرية آينشتاين الكمومية للضوء. يودُّ بور معرفة رأي آينشتاين في الاقتراح، لكنه لا يملك الشجاعة لسؤاله مباشرةً، فيعهد بذلك إلى فولفجانج باولي. في سبتمبر 1924، تمكن باولي أخيرًا من مقابلة آينشتاين وسأله عن الاقتراح. يحكم آينشتاين على اقتراحهم بأنه: «مثير للاشمئزاز، مُقرف». يخبر باولي بور بصراحة كيف قام آينشتاين بتشريح الاقتراح، مستخدمًا كلمات مثل «مصطنع تمامًا»، «يتشبث بشيء غامض»، «صادم»، «لا توجد علاقة منطقية». ينضم باولي إلى آينشتاين في الشكوى من «الفيزياء الافتراضية».

هل ما يزال هذا فيزيائيًّا على الإطلاق عندما يُسمح للإلكترونات المشعة بالضوء بالقفز في الذرات مثل كرات الروليت؟ ليس كما يتخيل آينشتاين

الفيزياء. يكتب لماكس بورن: «إن فكرة أن إلكترونًا يتعرض لشعاع ويختار بإرادته اللحظة والاتجاه الذي يريد أن يقفز فيه أمرٌ لا أطيقه. إذا كان هناك شيء كهذا، فأنا أفضل أن أصبح صانع أحذية أو كاتبًا في كازينو على أن أكون فيزيائيًّا».

يشعر نيلز بور بأنه يقف عند مفترق طرق. إنها اللحظة التي يمكن أن يتحول فيها إصراره إلى عناد. اللحظة التي يمكن أن يصبح فيها بطلًا مأسويًّا، ينخرط في الدفاع عن نظرية غير مقبولة من القرن الماضي. لن يصل إلى ذلك الحد. بعد عام واحد فقط، ستُظهر التجارب التي أجراها كومبتون، الذي يعمل الآن في جامعة شيكاغو، وهانس جايجر وفالتر بوته في معهد الرايخ الفني للفيزياء في برلين، أن الطاقة والزخم يتم حفظهما في التصادمات بين الضوء والإلكترونات. كان آينشتاين على حق، وبور مخطئًا لكنه ليس ممن يصرون على التمسك بمواقفهم على حساب الحقيقة. يقترح أن «ندفن جهودنا الثورية بأشرف طريقة ممكنة». من الواضح أن الحقيقة حول الكوانتا تكمن أعمق مما يعتقده أحدٌ حتى الآن، آينشتاين أو نفسه أو أي شخص آخر، كما يشك بور. كتب: «يجب أن نستعد لحقيقة أن التعميم المطلوب للنظرية الكهروديناميكية الكلاسيكية يتطلب ثورة عميقة في الأفكار، التي استند إليها وصفنا للطبيعة حتى الآن».

تلاشى بريق مهرجان بور في جوتنجن. بعد تنبؤ بور المذهل بالخطوط الطيفية للهيدروجين والهيليوم المتأين، وصل نموذجه إلى حدوده بالنسبة لذرة الهيليوم مع إلكترونيْن. إلى أي مدارات يرحل الإلكترونان؟ لا يجد بور إجابة عن هذا السؤال ولا يمكن أن يساعده كرامرز أيضًا. يقول أرنولد زومرفِلد: «كل المحاولات التي بُذلت حتى الآن لحل مشكلة ذرة الهيليوم المحايدة باءت بالفشل».

وصلت فيزياء الكم إلى الحضيض. لا يرى أحدٌ النور في نهاية النفق، الجميع يرتجلون. ويشكو فِرنر هايزنبرج: «إنه لأمر مؤسف». كتب فولفجانج باولي: «أصبحت الفيزياء مرة أخرى مشوشة للغاية في الوقت الحالي، صار الأمر صعبًا للغاية بالنسبة لي، أتمنى لو كنت ممثلًا كوميديًّا سينمائيًّا أو شيئًا من هذا القبيل ولم يسبق لي أن سمعت بالفيزياء!»، ويذكر ماكس بورن: «في الوقت الحالي، هناك مؤشرات قليلة وغامضة بشأن طبيعة الانحرافات التي يجب أن تكون من ضمن القوانين الكلاسيكية لشرح الخصائص الذرية».

أمضى ماكس بورن ربيع عام 1924 في الفراش مصابًا بالربو، حيث تسببت حبوب اللقاح في تهيج القصبة الهوائية. يعاني زميله هايزنبرج أيضًا حُمَّى القش ويسافر إلى كوبنهاجن لزيارة نيلز بور لأول مرة.

عند وصول هايزنبرج كان بور مشغولًا للغاية، فهو أبٌ لخمسة أبناء ويدير منشأة بحثية سريعة النمو. رغب في التعرف إلى هايزنبرج بشكل أفضل، لكن هناك فرصة ضئيلة لإجراء محادثات هادئة في المعهد. لذلك يقترح على هايزنبرج أن يذهبا في نزهة عبر جزيرة زيلاند. يحزم الاثنان حقائبهما ويتجهان شمالًا إلى بلدية هلسينجور، حيث كانت توجد قلعة هاملت في يوم من الأيام، ثم على طول ساحل بحر البلطيق إلى كوبنهاجن. في غضون أيام قليلة قطعا أكثر من 150 كيلومترًا، تحدثا عن حياتيْهما وسياساتهما، عن قوة الصور والأفكار في الفيزياء النووية. بمجرد أن رأى هايزنبرج عمود تلغراف بعيدًا بجوار الطريق، التقط حجرًا، وألقاه نحو العمود ويصيبه رغم كل الصعاب. يغرق بور في التفكير ويقول: «إذا حاولت التصويب والتفكير في كيفية الرمي وطريقة تحريك ذراعك، فلن يكون لديك أدنى فرصة لضرب الهدف. لكن إذا تخيلت، على عكس كل الأسباب، أنك تستطيع أن تصيب الهدف، فهذا شيء مختلف، فمِن الواضح أنه يمكن أن يحدث بعد كل شيء». أحيانًا يكون الخيال أقوى من العقل. عندما عاد بور وهايزنبرج من جولتهما، تحدَّث بور إلى أحد طلابه عن حالة فيزياء الكم وقال: «الآن كلُّ شيء في يد هايزنبرج لإيجاد طريقة للخروج من المتاعب».

يقضي هايزنبرج أسبوعين مع بور. عاد متحمسًا بخبر اقتراح الثلاثي بور وكرامرز وسلاتر. ينزعج ماكس بورن، ولكن لأسباب مختلفة. إنه غير مرتاح لقرب هايزنبرج الجديد من بور. لقد حصل للتو على النجم الشاب لفيزياء الكم، هذا «الشخص العزيز والقيِّم والذكي للغاية، الذي أصبح عزيزًا عليَّ» من ميونخ، وهو الآن يخشى خسارته أمام كوبنهاجن. يطلب نيلز بور من ماكس بورن في رسالة أن يأتي إليه هايزنبرج، ولا يستطيع بورن رفض طلبه. إنه يعلم أن العيش والبحث أفضل تقريبًا في أي مكان خارج ألمانيا، وهو يخطط بالفعل لرحلة محاضرات إلى أمريكا. لا يزال ليس لديه فكرة أنه هو الذي سيكتشف القواعد الأساسية للروليت الإلكترونية بعد عودته من أمريكا.

باريس 1924
أمير يجعل الذرات تدوي

ذات يوم في ربيع عام 1924، حطَّ طردٌ يحمل علامة بريدية باريسية على مكتب ألبرت آينشتاين. صديق فرنسي يسأل آينشتاين عن رأيه في العمل المُرفَق. يفتح آينشتاين النص المطبوع ويقرأ العنوان الذي لا معنى له: «أبحاث في نظرية الكم». العمل ليس ضخمًا، وقراءته ليست عسيرة، ويتميز بنظريته النسبية. المؤلف، الذي ينوي الحصول على درجة الدكتوراه في عمله، غير معروف ويبلغ من العمر 31 عامًا، طالب دراسات عليا. لكن على الأقل دي بروي أمير حقيقي! بدأ آينشتاين بالقراءة وأصبح متحمسًا. اكتشف هذا الأمير منظورًا جديدًا لطبيعة المادة.

لم يتأخر الأمير لويس فيكتور بيير ريموند دي بروي في دراسته، لكن الالتزامات العائلية والحرب أخَّرت مسيرته العلمية. قادمًا من إحدى العائلات النبيلة الفرنسية العظيمة، نشأ وهو يتوقع أن يسير على خطى أسلافه. أتى آل دي بروي في الأصل من بيدمونت، حيث ميزوا أنفسهم كجنرالات ومؤسسي الأديرة منذ القرن الثاني عشر. لقد قدموا لقرون رجال الدولة والسياسيين والضباط لوطنهم الأم. أنتجوا العديد من القادة العسكريين والمؤرخين ورجال الدولة، بما في ذلك ثلاثة مارشالات من فرنسا ورئيسان للوزراء. منحهم ملك فرنسي لقب دوق، وكان إمبراطور الإمبراطورية الرومانية المقدسة للأمة الألمانية لقب أمير. وهكذا فإن لويس دوق فرنسي وأمير ألماني.

ولد لويس في دييب في 15 أغسطس 1892، وهو الأصغر بين أربعة أطفال على قيد الحياة. يعيش الأطفال في رفاهية ويتمتعون بجميع امتيازات النبلاء، حتى لو كان أبواهم يهتمان بهم قليلًا. بما يتناسب مع وضعهما، يُدرِّس لهم مدرسون خاصُّون في سكن العائلة. يدعو أحدهم الآخر بكلمة «حضرتك» في الأسرة، حتى بين الأشقاء. يقرأ لويس الصغير الصحف ثم يلقي خطابات للعائلة. في سن العاشرة يمكنه بالفعل تلاوة أسماء جميع وزراء الجمهورية الثالثة.

ليس هناك شك في أن لويس سيصبح ذات يوم رجل دولة، وربما عضوًا في البرلمان مثل والده. ربما حتى رئيس وزراء مثل جده. ولكن بعد ذلك، عندما كان لويس في الرابعة عشرة من عمره، مات والده. نشأ لويس على تنانير أخته الكبرى بولين، الكونتيسة دي بانج، التي تحبه وتعشقه. تصفه بأنه ولد لطيف، «مجعد مثل كلب البودل، بوجه صغير سعيد وعينين مرحتين». ملأ ابتهاجه و «روحه الصبيانية العالية» الغرف الباردة غير المضيافة في قلعة العائلة. تواصل: «كان يثرثر باستمرار على طاولة الطعام، وحتى عندما طُلب منه بصرامة أن يكون هادئًا، لم يستطع التحكم في لسانه، كانت تعليقاته لا تقاوم! في الوحدة التي نشأ فيها، قرأ كثيرًا وعاش في عالم خيالي. كانت لديه ذاكرة مذهلة ويمكنه أن يحفظ مشاهد كاملة من المسرح الكلاسيكي عن ظهر قلب بحماس لا ينضب. ولكن في أكثر المواقف غير المؤذية، كان يرتجف من الخوف؛ كان يخاف من الحمام، ويخاف من القطط والكلاب، وأحيانًا يصاب بالذعر من صوت حذاء والدنا على الدرج».

أصبح شقيقه الأكبر موريس والده البديل، لكنه بعيد عن طبيعته تمامًا. ذهب موريس إلى البحرية بدلًا من الجيش، حيث ساعد في تطوير نظام اتصالات لاسلكية للسفن وكتب مقالًا عن «الموجات اللاسلكية». بعد تأثره بالضجيج المحيط بالأشعة السينية في تسعينيات القرن التاسع عشر، قرر موريس على عكس رغبة والده أن يصبح عالِمًا. يعتني بشقيقه الأصغر بين الإشعاع والإلكترونات. في أحد مساكن العائلة في شارع شاتوبريان، أنشأ موريس مختبرًا استمر في النمو حتى احتل جزءًا كبيرًا من المبنى، مكتملًا بحمام الضيوف واسطبلات الخيول. تطن المُحوِّلات الآن هناك، والتي تؤدي منها الكابلات السميكة إلى أنابيب مفرغة لتوليد الأشعة السينية.

في أكتوبر 1911، سافر موريس إلى فندق متروبول في بروكسل، حيث عُقد مؤتمر سولفاي[1] الأول، وهو أهم اجتماع للعلماء في ذلك الوقت. هناك، ناقش مواطنوه ماري كوري وهنري بوانكاريه «نظرية الإشعاع والكوانتم» مع ماكس بلانك وألبرت آينشتاين وإرنست روذرفورد وأرنولد زومرفِلد وهندريك لورنتس. يتشرف موريس بتعيينه أمينًا للمؤتمر. يعتني بنصوص المناقشات، ويُجهزها للنشر ويُسلمها لأخيه لويس: 400 صفحة مليئة بالأفكار والحجج من أفضل علماء الفيزياء. تصبح القراءة نقطة تحوُّل في حياة لويس، ويتبع أخاه في طريق العلم، ويقرر «احتضان العلم، والعلم وحده»، يكرس نفسه بالكامل للعلم. يفسخ خطوبته من ابنة عائلة محترمة، ويلقي ببطاقات اللعب ولوح الشطرنج من غرفته، ويطرح كتب التاريخ عن رفوفه. يقلل من اتصالاته الاجتماعية إلى الحد الأدنى. يصبح العلم هو كل اهتماماته الآن.

لم تتعرف بولين على حبيبها مرة أخرى: «لقد رحل الأمير الصغير الذي أسعدني عندما كنت طفلة. يمضي الآن كل وقته منعزلًا في غرفته الصغيرة، ومنغمسًا في كتاب مدرسي للرياضيات ومقيدًا إلى الحياة اليومية التي لا تتزعزع ولا تتغير. وبسرعة مُخيفة تحول إلى زاهد يعيش حياة رهبانية لدرجة أن جفنه الأيسر، الذي كان دائمًا متدليًا قليلًا فوق عينه، أصبح الآن يغطيها بالكامل تقريبًا، مُشوِّهًا إياها، شعرت بالأسف، لأن أسلوبه البعيد والمخنث زاد من حدة الأمر».

في عام 1913، قبل اندلاع الحرب العالمية الأولى مباشرةً، التحق لويس دي بروي بتهور في سلاح المهندسين بالجيش لأداء خدمته العسكرية. خلال الحرب خدم في وحدة الاتصالات، والبرقيات اللاسلكية من برج إيفل، حافظ على المعدات المستخدمة لاعتراض الرسائل اللاسلكية للعدو. موقع مريح بشكل معقول لشاب في الحرب، بعيدًا عن الخنادق، لكنه اختبار صعب للويس غير البطل. في وقت لاحق سوف يشتكي من أنه بعد الحرب لم يعد رأسه يعمل كما كان من قبل.

---

(1) مؤتمرات سولفاي هي مؤتمرات علمية في الفيزياء والكيمياء تُعقد منذ عام 1911. في أوائل القرن العشرين، كانت هذه المجالس تجمع بين أبرز العلماء في ذلك الوقت، الشيء الذي سمح بتقدم مهم في ميكانيكا الكم. نُظمت هذه المؤتمرات تحت رعاية إرنست سولفاي، كيميائي وصناعي بلجيكي. [المترجم]

بعد الحرب، حافظ لويس دي بروي على علاقة واحدة فقط؛ مع الفنان الشاب جان باتيست فاسيك، رسام وجامع ما أسماه «الفن الوحشي». يجمع القصايد والمنحوتات والرسومات واللوحات للمرضى النفسيين. يعتقد جان باتيست أن أساطير المستقبل تنشأ من رؤاهم. يحب لويس التحدث إلى صديقه، ويحب الصمت الذي يتشاركان فيه، ويقع في حبه. ثم فجأة، ينتحر جان باتيست. لم يترك أي تفسير، فقط رسالة إلى «عزيزي لويس»، يطلب منه الاحتفاظ بمجموعته وتوسيعها. يوقف لويس دراساته الفيزيائية، ويكرس كل قوته ونصيبه من ميراث العائلة لتحقيق إرث صديقه، يزور المصحات العقلية في فرنسا وعبر أوروبا، وينظم معرضًا كبيرًا بعنوان «الجنون البشري». فعالية ناجحة مع الجمهور وفضيحة بين الأرستقراطيين. يقرأ لويس مقالًا في إحدى الصحف يسخر من لوحات صديقه، يتأثر بشدة ويحبس نفسه في غرفته لشهور. لم يمسَّ الطعام الذي أعادته أخته أمام الباب. تشتبه بولين في أن شقيقها يريد تجويع نفسه حتى الموت. تُنبِّه شقيقها موريس، الذي كسر قفل الباب واقتحم غرفة لويس مع خمسة خدم، حيث يتوقع أن يجد شقيقه المُهمَل مُدمرًا. ولكن وجد هناك لويس جالسًا، حسن التنظيم ومهندمًا، بنظرة صافية، وسيجارة بين شفتيه. سلَّم موريس كومة من الأوراق مكتوبة بالصيغ والمعادلات وقال: «أخبرني من فضلك إذا لم أفقد عقلي».

خلال الحرب، تعلَّم لويس قيمة النظرية الكلاسيكية للموجات الكهرومغناطيسية. إنه يعرف الفكرة المثيرة للجدل للكميات الخفيفة من أخيه. مثل العديد من العلماء الآخرين، وجد هذين المنظورين للضوء غير متوافقين. لكنه يقترب من هذا اللغز بطريقة لم يسبقه بها أحدٌ من قبله.

في نهاية عام 1923، ابتكر دي بروي فكرة بسيطة وجريئة «بعد فترة طويلة من التفكير الانفرادي». لقد قلب حجة آينشتاين للتأثير الكهروضوئي؛ إذا كان الضوء يمكن أن يتصرف مثل تيار من الجسيمات، فهل يمكن للجسيمات أيضًا أن تتصرف في بعض النواحي مثل الموجات؟

إنه استنتاج جديد وجريء وغير معروف. قد اعتبرت الجسيمات حتى الآن على أنها تكتلات مدمجة لا علاقة لها بالموجات.

يضع لويس دي بروي ببساطة معادلة آينشتاين $E=mc^2$ مع معادلة بلانك $E=hf$ وحَسِب الطول الموجي لكل جسيم متحرك، كلما زادت سرعة الجسيم. هل هذا أكثر من مجرد خدعة حسابية؟ هل هناك حقًا موجة على طول الموجة

حسب دي بروي؟ دي بروي لا يعرف. لقد حاول ذلك، وحقق نجاحًا مفاجئًا. بالنسبة للإلكترون الموجود في المدار الأعمق لنموذج بور للذرة، والذي لم يعد يؤمن به بور نفسه، فإنه يصل إلى طول موجي مثل طول محيط المدار تمامًا. بالنسبة للإلكترون في المدار الأعلى التالي، يكون المحيط المداري ضعف الطول الموجي. على المسار الثالث هناك ثلاثة أطوال موجية، إلخ. لا يمكن أن يكون ذلك مجرد مصادفة.

صنع دي بروي حلقة الذرات. مثل النغمات الأساسية ونغمات الكمان أو وتر الجيتار، فإن المدارات المسموح بها في ذرة بور هي بالضبط تلك التي يتناسب معها عدد صحيح مضاعف من الطول الموجي للإلكترون داخل المحيط المداري. ألا يوجد خلف الكميات أكثر من تناغم الموسيقى؟

نشر دي بروي فكرته في عمليْن طُبعا في نهاية عام 1923. لا أحد يلاحظ ذلك. يفكر أكثر في الأمور ويدافع عن أطروحته بثقة وثبات، لكنه غير قادر على إقناع المراجعين بأطروحته. تبدو فكرة موجات الإلكترون بالنسبة لهم بسيطة جدًّا من الناحية الحسابية ومن الناحية الفيزيائية من فراغ. لا يمكنهم دحض حسابات دي بروي، لكن قيمتها المادية بعيدة عنهم. حتى بول لانجفين، مشرف دي بروي، عاشق ماري كوري السابق، لا يعرف ماذا يفعل بالعمل. اعترف لزميل له: «يبدو الأمر بعيدًا بالنسبة لي». بعد كل شيء، يعتبر لانجفين أطروحة دي بروي مُهمةً بما يكفي لإرسالها إلى صديقه ألبرت آينشتاين لإصدار الحكم.

آينشتاين صامت، لأشهر. يتوتر لانجفين ويتساءل هل يعتقد آينشتاين أن العمل عديم القيمة لدرجة أنه لا يستحق حتى الرد؟ هذه المرة يكتب آينشتاين على الفور. فهو، صديق الأفكار البسيطة والجريئة، يجعلها مختصرة وواضحة: «بديع للغاية». يكتب آينشتاين أن دي بروي يسير على درب شيء كبير، لا يكاد أحد يراه حتى الآن. لقد «رفع زاوية من الغشاء الكبير. إنه أول شعاع ضوء خافت يسقط على هذه الألغاز الفيزيائية الأكثر إرهاقًا».

يستمع لانجفين لآينشتاين. في نوفمبر 1924، اجتمعت هيئة تدريس الفيزياء بجامعة باريس للاستماع إلى أطروحة الدكتوراه التي وضعها لويس دي بروي.

يرفع دي بروي صوته الأنفي الأرستقراطي ويبدأ في نطق عبارات شنيعة بنبرة مخيفة: «توجد معتقدات خاطئة في الفيزياء تُقدَّم حتى اليوم، وهي تمارس جاذبية قاتمة على خيالنا. لأكثر من قرن، قسمنا ظواهر العالم إلى عالمين؛ ذرات وجسيمات المادة الصلبة، وموجات الضوء غير المادية التي تنتشر عبر بحر الأثير الضوئي. لكن لا يجب علينا بعد الآن النظر إلى هذين النظامين بشكل منفصل، يجب علينا توحيدهما في نظرية واحدة، فقط مثل هذه النظرية يمكنها تفسير تفاعلاتهما المتعددة. لقد اتخذ زميلنا آينشتاين بالفعل الخطوة الأولى؛ منذ عشرين عامًا افترض أن الضوء ليس مجرد موجة، ولكنه يحتوي على جزيئات طاقة، وهذه الفوتونات، التي هي مجرد كميات من الطاقة، تنتقل مع موجات الضوء. شكك الكثيرون في صحة هذه الفكرة، بينما يُفضِّل البعض الآخر إغلاق أعينهم حتى لا يروا الطريق الجديد الذي يظهره لنا على الإطلاق. لأننا لا نخطئ، فالأمر يتعلق بثورة حقيقية. نحن نتحدث عن أثمن الأشياء الفيزيائية، الضوء، والضوء لا يسمح لنا فقط برؤية أشكال هذا العالم، بل يظهر لنا أيضًا النجوم التي تُزين الأذرع الحلزونية للمجرة والقلب الخفي للأشياء. لكن هذا الكائن ليس مفردًا، بل ذا شقيْن. يأتي الضوء بطريقتين مختلفتين. على هذا النحو، فإنه يتجاوز الفئات التي حاولنا تصنيف أشكالها التي لا تُحصى وتتجلى فيها الطبيعة. كموجة وكجسيم، يسكن الضوء نظامان، له هويتان، وهذان على عكس وجوه يانوس[1] برأسين. مثل الإله الروماني، فإنه يعبر عن الصفات المتناقضة بين المستمر والمشتت، والمنفصل والشيء نفسه. أولئك الذين ينكرون هذا الاعتراف يجادلون بأن مثل هذه العقيدة الجديدة هي استبعاد للعقل. لكني أقول لكم؛ كل أمر له هذه الازدواجية! ليس الضوء فقط هو الذي يخضع لمثل هذا الانقسام، ولكن كل ذرة خُلق بها الكون. توضح الرسالة التي تحملها بين يديك أنه لكل جسيم مادي -سواء كان إلكترونًا أو بروتونًا- هناك موجة مقابلة تنقله عبر الفضاء. أعلم أن الكثير من الناس سوف يشككون في حججي، التي لا أتردد في القول أنها نشأت من تأملاتي الانفرادية وحدها. أعترف بطابعهم الغريب وأقبل

(1) يانوس إله البوابات والمداخل والانتقالات والطرق والممرات والمخارج في الميثولوجيا الرومانية، هذا الإله له وجهان، ينظر بأحدهما إلى المستقبل وبالآخر إلى الماضي، وهو الإله التقليدي لشهر يناير وإليه ينسب أصل اسمه، ويُعد أيضًا مثيرًا وحاسمًا للنزاعات والحروب والسلام. [المترجم]

العقوبة التي قد تقع عليَّ إذا كنت مُخطئًا. لكني أخبركم اليوم بأعمق اقتناع بأن كل الأشياء يمكن أن توجد بطريقتين وأنه لا شيء متين كما يبدو. قد يذوب الحجر في يد الطفل الذي يصوبه على العصفور الأبكم فوق غصنه بين أصابعه مثل الماء».

يختتم دي بروي كلمته. يصبح الأساتذة في حيرة من أمرهم، فهم غير قادرين على العثور على الكلمات المناسبة لمناقشة أطروحاته. يغادر لويس دي بروي القاعة وهو حامل لدرجة الدكتوراه. سيحصل بعد خمس سنوات على جائزة نوبل لعمله.

أحب آينشتاين فكرة موجات المادة لدرجة أنه في المؤتمر التالي في سبتمبر 1924 في إنسبروك اقترح على زملائه في التجربة أن يبحثوا عن علامات ظاهرة الموجات في الحزم الجزيئية. من وجهة نظر آينشتاين، تُعد موجات المادة لدي بروي خطوة نحو استعادة النظام الكلاسيكي في الفيزياء الذي يقوضه نيلز بور حاليًا. ومع ذلك، بمدح؛ الآن جانبان من جوانب المادة، الموجات والجسيمات، يقفان جنبًا إلى جنب. كيف يكونان مرتبطين؟ هل هما مرتبطان مطلقًا؟ ليس لدى آينشتاين إجابة.

في أبريل 1925، أظهرت مصادفة أن دي بروي كان يسير على الطريق الصحيح بفكرته الجريئة. يدرس الفيزيائي كلينتون دافيسون، 34 عامًا، ما يحدث عندما يطلق إلكترونات على معادن مختلفة في مختبر شركة ويسترن إلكتريك في نيويورك. في أحد الأيام، انفجرت زجاجة من الهواء المسال، مما أدى إلى تحطيم الأنبوب المفرغ الذي يحتوي على عينة النيكل التي يوجه شعاع الإلكترون إليها. يصدأ النيكل في الهواء. ينقيه دافيسون عن طريق تسخينه، غير مدرك أنه يحول البلورات الصغيرة إلى بلورات أكبر، ينحني شعاع الإلكترون على شبكته. لا يستطيع دافيسون تفسير سبب حصوله الآن على نتائج قياس مختلفة تمامًا. يكتبها وينشرها ويتفاجأ عندما يشرح له زملاؤه ما قاسه؛ يمكن للإلكترونات أن تتصرف مثل الموجات. كان تخمين الأمير الفرنسي صحيحًا. بعد اثني عشر عامًا، حصل كلينتون دافيسون على جائزة نوبل لاكتشافه.

هِلجولاند 1925
اتساع البحر وضآلة الذرات

مايو 1925. الطبيعة في ازدهار كامل. يعاني فِرنر هايزنبرج، 24 عامًا، حساسيةَ العين، وتورمَ الوجه واحمراره، واحتقان الأنف، هذا ما يحدث لهايزنبرج بالإضافة إلى الصداع أيضًا في الوقت الحالي.

مثل العديد من الفيزيائيين، يتحير هايزنبرج من ميكانيكا مدارات الإلكترون في الذرات؛ كيف تقفز الإلكترونات ذهابًا وإيابًا بين مدارات مختلفة، وكيف أن هذه القفزات تترك خطوطًا يراها الفيزيائيون والكيميائيون باستخدام أطيافهم. الآن لديه فكرة عن كيفية تفسير هذه القفزة، وهي فكرة جريئة يعتقد أنها قد تقوده إلى نظرية جديدة للكميات. تتمثل العبقرية أحيانًا في التشكيك في ما هو واضح. على عكس زملائه، فإن هايزنبرج مستعد للتخلي عن القوانين التي تحكم طريقة تفكير العلماء منذ إسحاق نيوتن. ويشك في أن هذه القوانين تفقد صحتها داخل الذرة. إذا أراد معرفة ما الذي يجمع أصغر الجزيئات معًا في الأعماق، فسيتعين عليه البدء من نقطة الصفر.

لكن العبقرية تتطلب أيضًا عملًا مُضنيًا. لا تمثل الشكلية الرياضية[1] صعوبة كبيرة لهايزنبرج؛ يجب وصف موضع وسرعة الإلكترون على أنهما وظائف معادلة الموجة للذرة التي ينتمي إليها الإلكترون. ومع ذلك، بمجرد إدخال هذه الوظائف في معادلات الميكانيكا الكلاسيكية، ينشأ تشويش لا ينفصم. تتكاثر صفوف كاملة من الأرقام من الأعداد الفردية، وتصبح قواعد الجبر المعتادة صفحات من الصيغ. يبدأ هايزنبرج في التجربة، ويلعب بمتسلسلة فوريه[2]، ويتعثر، ويفقد صبره. كما أنه يعاني نوبةَ حُمَّى القش التي تصيب دماغه بالشلل.

حال هايزنبرج مثير للشفقة لدرجة أن رئيسه، ماكس بورن، يمنحه إجازة خاصة. يهرب من حبوب اللقاح ويستقل القطار الليلي إلى كوكسهافن في 7 يونيو، ثم العبَّارة إلى هِلجولاند للتعافي من هواء البحر. هِلجولاند، «الأرض المقدسة»؛ الجزيرة الألمانية الوحيدة في أعالي البحار، وهي أصغر من جزيرة تيرجارتن في برلين، على بعد 80 كيلومترًا من ساحل بحر الشمال الألماني. مناخها قاسٍ لدرجة أنه لا تتفتح أزهارها ولا تكاد تنمو الأشجار طويلًا. خلال الحرب العالمية الأولى، كانت هِلجولاند موقعًا عسكريًّا، وبعد الحرب أصبحت جزيرة لقضاء العطلات، يزورها السياح الذين يبحثون عن السلام وهواء

---

(1) الشكلية الرياضية هي وجهة النظر التي تنص على أن بيانات الرياضيات يمكن اعتبارها صيغًا حول عواقب التلاعب بالسلاسل باستخدام القواعد الراسخة. وفقًا للشكلية، فإن الحقائق المُعبر عنها في المنطق والرياضيات لا تتعلق بالأرقام أو المجموعات أو المثلثات أو أي موضوع آخر. تُعد العبارات الرياضية أشكالًا نحوية لا تحمل أشكالها ومواقعها أي معنى ما لم يُبرهن عليها. على عكس الحدسية، فإن حدود الشكلية أقل تحديدًا بسبب الأساليب الواسعة التي يمكن تصنيفها على أنها شكلية. إلى جانب المنطقانية والحدسية، تُعد الشكلية إحدى النظريات الرئيسة في فلسفة الرياضيات التي تطورت في أواخر القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين. كان دافيد هيلبرت من أبرز المدافعين عن الشكلية. للمزيد يمكن الرجوع لترجمتي لسيرة حياة دافيد هيلبرت في كتاب بعنوان: «سوف نعرف؛ كيف غير عالم رياضيات القرن العشرين» تأليف: جيورج فون فالفيتس. [المترجم]

(2) متسلسلة فوريه هي طريقة تتيح كتابة أي دالة رياضية دورية في شكل متسلسلة أو مجموع من دوال الجيب وجيب التمام مضروب بمعامل معين. يعزى اسمها إلى العالم الفرنسي جوزيف فوريه تقديرًا لأعماله الفذة في المتسلسلات المثلثية. [المترجم]

البحر المنعش. يجد هايزنبرج غرفة تشتبه صاحبتها عند رؤيته، أنه تعرض للضرب، وهو أمر شائع في ألمانيا بعد الحرب.

لم يكن لدى هايزنبرج الكثير من الأمتعة؛ بعض الملابس، وزوجان من أحذية المشي لمسافات طويلة، ونسخة من الديوان الغربي الشرقي لجوته، وحساباته حول مدارات الإلكترون. تقع غرفته في الطابق الثاني، على حافة جزيرة الصخرة الحمراء. يبقى مدة أسبوع ونصف، يجلس على الشرفة، يأخذ نفسًا عميقًا، ينظر إلى البحر، يمشي على الشاطئ، يسبح عبر الجزيرة المجاورة، يقرأ أبيات جوته، لا يتحدث إلى أي شخص، ويفكر ليلًا ونهارًا. هكذا يشعر هايزنبرج. لطالما وجد ملجأ في الطبيعة، في الجبال، في الغابات، في الماء. تدريجيًّا تهدأ أغشيته المخاطية ويصبح عقله جليًّا مرة أخرى. في جوتنجن، علق هايزنبرج بعمق في الفيزياء التقليدية؛ وهنا لديه رؤية حرة وخالية من العوائق للاتساع. إنه يفكر في الكلمات التي أراد متسلق الجبال نيلز بور ذات مرة أن يفتح بها عينيه، على سحر الأراضي الدنماركية: «عندما ننظر إلى ما وراء البحر، نعتقد أننا نمسك بجزء من اللانهاية». عزلة هِلجولاند، جعلته يفهم ما أراد بور قوله في ذلك الوقت؛ كم هي فكرة طفولية عن الذرة كنظام شمسي صغير، حيث تدور الإلكترونات حول النواة مثل دوران الكواكب حول النجم المركزي. يترك هايزنبرج الشمس تخمد، لتنتشر المدارات المرسومة بحدة للإلكترونات في صورة غيوم عديمة الشكل.

فِرنر هايزنبرج، صورة في شيكاغو (الولايات المتحدة الأمريكية) عام 1929.

Werner Heisenberg (AKG5431035; © akg-images / Science Source)

يجد هايزنبرج طريقة جديدة للتعامل مع لغز القفزات الكمية. شخص ما في مجموعة جوتنجن -ربما كان فولفجانج باولي- ادَّعَى ذات مرة أن هناك طريقة واحدة فقط لمعرفة ما يحدث داخل الذرة أو أي نظام صغير مشابه؛ ألا وهي القياس. يمكنك قياس الحالة الكمومية التي توجد فيها الذرة، ثم قياس حالة الذرة مرة أخرى. لكن ماذا يحدث بينهما؟ هل يعقل أن نسأل عن الوسط؟ نشأت الفكرة في مجموعة جوتنجن بأن الحقيقة الوحيدة التي يمكن أن يلتقطها القياس هي حقيقة القياس نفسه. لذلك يجب على النظرية الفيزيائية، أي التجريبية، أن تتحدث فقط عن الأشياء القابلة للقياس. الفيزياء هي ما يمكنك رؤيته، لا أكثر ولا أقل. كان هايزنبرج مترددًا في البداية في قبول هذه الفكرة، حيث ذكَّرته كثيرًا بالجدل الفلسفي القديم حول ما إذا كانت الشجرة التي تسقط في الغابة تصدر صوتًا حتى عندما لا يستمع إليها أحدٌ. لكنه مستعد الآن لتجربة المدى الذي تدعمه الفكرة لنظريته.

الفكرة «قدمت نفسها»، كتب هايزنبرج لاحقًا. لكنها تقدم نفسها له، وليس لأي شخص آخر، وهو يتخذ خطوة لا تقل جرأة عن تلك التي اتخذها آينشتاين عندما أعاد صياغة المفاهيم التي تبدو أبدية عن المكان والزمان في نظريته النسبية الخاصة.

لذلك بدأ هايزنبرج في وصف التحولات من حالة كمومية قابلة للملاحظة إلى حالة أخرى رياضيًّا، دون التحدث عن الوسط. عند القيام بذلك، عليه أن يتعامل مع نوع غريب من الأشياء الرياضية؛ جداول الأرقام. يصف كل جدول أرقام مثل هذا الانتقال. تتطور الأنظمة بضرب هذه الجداول معًا. يجب على هايزنبرج أن يعمل على كيفية عمل ذلك. إذا ضربت رقمين معًا، فستحصل على رقم واحد، وهذا واضح تمامًا. إذا ضربت جدولين من الأرقام معًا، فستحصل على مجموعة متشابكة من الأرقام التي يجب فرزها أولًا؛ ما المهم منها؟ وما الذي يمكن تجاهله؟ يجب على هايزنبرج أن يتعلم الضرب من جديد ويتأرجح بين الشعور بعظمة بصيرته الفيزيائية ويأس طالب رياضيات مُرهَق.

لكنه سرعان ما يجمع شتات نفسه ويصيغ شروطًا؛ الكميات الملحوظة فقط، ولا يوجد انتهاك لمبدأ حفظ الطاقة. خدعة تجعله يتقدم؛ إذا تركت اثنتين من هذه الانتقالات بين الحالات تتبع بعضهما بعضًا، فيجب أن ينتج عن ذلك دائمًا انتقال هادف. يستمر هايزنبرج في العبث، وسوء التقدير، وتصحيح أخطائه، وتلمُّس طريقه، يزداد هياجًا، ويصبح أكثر يقينًا أنه «ينظر من خلال

سطح الظواهر الذرية إلى أرضية عميقة من الجمال الداخلي الغريب». بمجرد أن حصل هايزنبرج على النتيجة الصحيحة، فإن كل شيء يتلاءم في مكانه، كما لو كان سحرًا في نظرية جديدة للميكانيكا؛ ميكانيكا الكم! قال هايزنبرج في وقت لاحق: «كدت أُصاب بالدوار من الفكرة، يجب أن أتحرى الآن هذه الثروة من البِنى الرياضية التي وضعتها الطبيعة أمامي هناك».

خمدت حُمَّى القش التي يعانيها، والآن تحرمه من النوم الحُمَّى الداخلية الجديدة. لكن هذه المرة لم تردعه. في إحدى الليالي نحو الساعة الثالثة صباحًا كانت النتيجة أمامه على الورق.

لا يسع هايزنبرج النوم من فرط الإثارة. كاد يذهل، يخرج في شفق الفجر، ويمشي إلى الطرف الجنوبي من الجزيرة ليصعد «الراهب»، وهو برج صخري وعر يبلغ ارتفاعه 55 مترًا. يصل هايزنبرج إلى القمة دون أن يصاب بأذى، ويشاهد الشمس تشرق ببطء وتنزل بأمان. إنه أصعب تسلق في تاريخ الفيزياء. رأس هايزنبرج هو المكان الوحيد الذي توجد فيه ميكانيكا الكم. لو سقط، لكانت قد ضاعت بشكل لا يمكن تعويضه.

في عزلته، حقق هايزنبرج أعظم اكتشافاته. لكنه لم يكن بمفرده. بالعودة إلى جوتنجن، ناقش فكرته مع ماكس بورن، الذي، لدهشته الكبيرة، قَبَلَها بحُسن نية. يجمع هايزنبرج ورقة بحثية على عجل ليُعلن فكرته للعالم، ويرسلها إلى مجلة للفيزياء ويشرع في رحلة صيفية قصيرة إلى لايدن وكامبريدج، حيث لم يذكر إنجازاته في محاضراته، ولكنه يناقشها على انفراد مع الزملاء. في هذه الورقة، يُلخص هايزنبرج بيانه عن ميكانيكا الكم في جملة واحدة: «في ضوء هذه الحالة، يبدو أنه من الأفضل التخلي تمامًا عن الأمل في ملاحظة الكميات التي لم تكن ملحوظة سابقًا (مثل الموقع، وفترة الدوران للإلكترون)، وفي الوقت نفسه للاعتراف بأن الاتفاق الجزئي لما يُسمَّى بالقواعد الكمومية مع الخبرة عشوائي إلى حدٍّ ما، ومحاولة تطوير ميكانيكا نظريةُ الكم مماثلة للميكانيكا الكلاسيكية، حيث تحدث فقط العلاقات بين الكميات القابلة للملاحظة.

في 19 يوليو 1925، بعد شهر من إلهام هايزنبرج في هِلجولاند، أخذ ماكس بورن القطار إلى هانوفر لحضور مؤتمر للجمعية الفيزيائية الألمانية. يراوده ديجا فو غريب.

ولد يجلس في مقصورته، يقرأ ويكتب ويفكر. لم ينم جيدًا، لكن يوجد سؤال واحد لا يزال يطارده؛ ما هي فكرة هايزنبرج التي تبدو مألوفة له؟ ثم يخطر بباله؛ إن ما جمعه هايزنبرج معًا ينتمي إلى فرع رياضي بعيد وغير مفيد تمامًا حتى الآن يُسمَّى جبر المصفوفة. فقط عدد قليل من علماء الرياضيات يعرفون مفهوم المصفوفات، ولا يوجد فيزيائي تقريبًا، باستثناء بورن. يتذكر أنه قرأ عنها منذ سنوات عندما كان لا يزال ينوي أن يصبح عالم رياضيات.

لذا أدرك بورن أن هناك بالفعل فرعًا للرياضيات يمكن أن يكون مفيدًا لميكانيكا الكم. في مرحلة ما، انضم إليه فولفجانج باولي، تلميذه السابق، في المقصورة. لقد جاء بالقطار من هامبورج. يتحمس بورن لاكتشافه ويتوق إلى شرحه لباولي. ومع ذلك فهو ليس متحمسًا ويرد: «أعلم أنك تحب الشكلية المرهقة والمعقدة. سوف تدمر أفكار هايزنبرج الفيزيائية بحساباتك غير المُجدية». ينزل بورن في هانوفر، مكتئبًا ومتعبًا من التفكير. تلميذه باسكوال جوردان، الذي جلس معه وباولي في المقصورة واستمع إلى المحادثة في صمت، موهبة في الرياضيات، يخاطبه بكلام متلعثم وعينين مضطربتين خلف نظارة سميكة: «أستاذي، أعرف شيئًا عن المصفوفات، هل يمكنني مساعدتك؟»، بدأ بورن وجوردان العمل معًا، مدركين أهمية حقيقة أن الترتيب مهم عند ضرب المصفوفات. اثنان في سبعة تفاحات يساوي سبعة أضعاف تفاحتين. لكن بالنسبة للمصفوفات، بشكل عام، (أ . ب) لا تساوي (ب . أ). يمكن العثور على هذا أيضًا في أول ورقة بحثية لهايزنبرج، ولكنها فقط خفية للغاية. بعد شهرين فقط من إرسال هايزنبرج ورقته بالبريد إلى مجلة الفيزياء، حذا بورن وجوردان حذوه. لقد صقلوا نظرية هايزنبرج فيما سيُعرف قريبًا باسم «ميكانيكا المصفوفة». لا علاقة له تقريبًا بميكانيكا العالم التي أنشأها إسحاق نيوتن قبل قرون. كتب هايزنبرج إلى باولي: «تهدف جهودي الضئيلة إلى تدمير مفهوم المسارات التي لا يمكن رصدها واستبدالها بشكل مناسب».

ثم عاد هايزنبرج من كامبريدج ومغامراته الصيفية مع الجوالة. قبل نهاية عام 1925، كتب هايزنبرج وبورن وجوردان ورقة بحثية ثالثة حول ميكانيكا المصفوفة، والتي اشتهرت بورقة من ثلاثة رجال. حيث استمروا في تحسين وتوسيع ميكانيكا المصفوفة.

يُغري غرور هايزنبرج القوي بالفعل أن حدسه الفيزيائي قاده إلى مسار واعد لم يكتشفه أحدٌ من قبل. لكنه يشارك صديقه باولي شكوكه أيضًا. إنه

لا يحب مصطلح «ميكانيكا المصفوفة» لأنه يشبه إلى حد كبير الرياضيات البحتة، الأمر الذي يبعد الكثير من الفيزيائيين.

يلوح في الأفق صراع بين المُعلم والطالب. لبقية حياته، كان بورن يحمل ضغينة لأن مساهماته وجوردان في ميكانيكا الكم لم يُقدرها أو حتى يتغاضى عنها أحدٌ. بعد كل شيء، كان أحد أعماله هو ظهور كلمة «ميكانيكا الكم» لأول مرة. نعم، يعترف، كان هايزنبرج «ذكيًّا للغاية» في ابتكار جبر المصفوفة دون أن يكون لديه أي فكرة عن المصفوفات. لكنه يجد صعوبة في الاعتراف بأن خطوة هايزنبرج الجريئة كانت حاسمة. هايزنبرج ليس شخصًا عديم الخبرة الرياضية وصدمته صاعقة المعرفة. إنه يمتلك شيئًا يفتقر إليه بورن؛ الحدس الفيزيائي العميق.

لا يستقبل مجتمع الفيزياء ميكانيكا المصفوفة بحماس. يجب أن يتقن معظم العلماء أولًا فرعًا جديدًا تمامًا من الرياضيات ثم يكافحون لفهم ما تعنيه هذه المصفوفات فيزيائيًّا. إنه أمر معقد للغاية. يؤكد علماء الفيزياء الرياضية أن النظرية قاطعة منطقيًّا وتحل العديد من الألغاز الرسمية لنظرية الكم. كل هذا جيد، وجميل ولكن لماذا تحتاجه؟

لا يزال فولفجانج باولي متشككًا. بعد وقت قصير من نشر مقال بورن وجوردان، كتب إلى زميلٍ له: «أعادت لي ميكانيكا هايزنبرج السعادة والأمل مرة أخرى. إنها لا تجلب لهم حل اللغز، لكنني أعتقد أنه من الممكن الآن المضي قُدمًا مرة أخرى. يجب علينا أن نحاول تحرير ميكانيكا هايزنبرج أكثر قليلًا من طوفان سعة الاطلاع في جوتنجن وإظهار جوهرها بشكل أفضل».

لا يتحمل هايزنبرج دائمًا استهزاء باولي بهدوء. يكتب له بغضب: «إنها حقًّا فوضى أنه لا يمكنك إيقاف التنمر. إن إساءة استخدامك المستمرة لكوبنهاجن وجوتنجن هي فضيحة صارخة. إذ أخبرتنا أننا حمير كبيرة لدرجة أننا لم نفعل شيئًا جديدًا فيزيائيًّا، فقد يكون هذا صحيحًا. ولكن بعد ذلك تكون أنت نفسك حمارًا كبيرًا لأنك لا تستطيع فعل ذلك أيضًا... (النقاط تعني لعنة مدتها دقيقتان تقريبًا!)».

هذا مناسب. يبدأ باولي العمل. في أقل من شهر، اشتق سلسلة بالمر[1] من الخطوط الطيفية لذرة الهيدروجين، كما فعل بور قبل ذلك بسنوات مع

(1) سلسلة بالمر هي إحدى مجموعات خطوط الطيف التي تميز ذرة الهيدروجين. لكل عنصر من العناصر مجموعة من الخطوط متتابعة من خطوط الطيف تميزه عن العناصر الأخرى، أي أن خطوط طيف العنصر هي بصمة تميز العنصر. [المترجم]

نموذجه الذري الأول. من خلال تمرينه الحسابي، يوضح باولي أن ميكانيكا المصفوفة ليست بِنية رياضية ولكنها أيضًا أداة مفيدة. ارتضى هايزنبرج بهذا. يلتفت إلى باولي: «لست بحاجة إلى إخبارك بمدى حماسي بشأن النظرية الجديدة للهيدروجين ومدى إعجابي بك لإخراجها بهذه السرعة».

لكن دليل باولي لم يجعل ميكانيكا المصفوفة أكثر قابلية للفهم. لا يزال معظم الفيزيائيين متأخرين بسبب الرياضيات المعقدة للغاية. إن التأكيد على أن الأمر لا يتعلق فقط بالرياضيات المتطورة، ولكن أيضًا بالفيزياء العميقة، يظل مسألة يقين بالنسبة لهم.

في صيف عام 1925، توجد محاولة أخرى لتحقيق نجاح كبير؛ قدم ألبرت آينشتاين مسودته لـ «نظرية المجال المتحد» إلى الأكاديمية في برلين. بعد أسبوع، تلقى رسالة من ماكس بورن في جوتنجن؛ كان هايزنبرج قد أكمل للتو عملًا «يبدو غامضًا للغاية، لكنه بالتأكيد صحيح وعميق». في ضربة عبقرية، صمم فِرنر هايزنبرج البالغ من العمر 24 عامًا نظرية كم جديدة- بداية مرحلة استمرت عامين من العمل المحموم، والتي انتهت بنظرية من شأنها أن تشكل فيزياء القرن العشرين بشكل لا مثيل له. يقرأ آينشتاين العمل ويرفض: «لقد باض هايزنبرج بيضة كمٍّ كبيرة. إنهم يؤمنون به في جوتنجن. لكني لست كذلك»، كتب إلى باول إرنفست في 20 سبتمبر 1925. وبهذا الكفر بقي حتى آخر حياته. هو، الذي روج بشكل حاسم لنظرية الكم «القديمة» حتى الأشهر الأولى من عام 1925، لم يعد يقدم أي مساهمة بناءة للنظرية «الجديدة». عام 1925 هو نهاية حقبة آينشتاين وبداية عهد هايزنبرج. لن تكتمل «نظرية المجال المتحد». مكتبة سُر مَن قرأ

في أبريل 1947، كدست البحرية البريطانية جميع الذخائر المتبقية من الحرب، وجميع القذائف والطوربيدات، في قبو خرساني تحت هِلجولاند؛ 7000 طن من المتفجرات. إنها تحاول نسف الجزيرة ومخابئها بأكبر انفجار غير نووي في التاريخ حتى تلك اللحظة. القوة المتفجرة نصف تلك الموجودة في قنبلة هيروشيما، لكن الجزيرة صامدة. انهار البرج الصخري الذي صعده هايزنبرج ورأسه يمتلئ بأفكار عن ميكانيكا الكم.

كامبريدج 1925
العبقرية الصامتة

كامبريدج، صيف عام 1925. ينتشر حديث هايزنبرج عن ميكانيكا الكم بين علماء الفيزياء. يتعجب الكثيرون من النظرية، والقليلون يفهمونها. إنهم خائفون من المصفوفات، تلك الوحوش الرياضية. لا يخشى الفيزيائي الشاب الصامت في كامبريدج. بالنسبة لبول ديراك، 23 عامًا، أصغر من هايزنبرج بثمانية أشهر، لا يوجد أيُّ شكل من أشكال الرياضيات معقدًا للغاية.

في يوليو 1925، بعد وقت قصير من عيد الغطاس في هِلجولاند، جاء فِرنر هايزنبرج لزيارة كامبريدج وألقى محاضرة هناك بعنوان مُبهم «مصطلح زيمان لعلم الحيوان والنبات» لا يزال مترددًا في الحديث عن اكتشافه بصراحة، لكنه يخبر زميله رالف فاولر عن ذلك. بالعودة إلى جوتنجن، أرسل فاولر أول ورقة بحثية له عن ميكانيكا الكم، وقدم فاولر العمل لطالبه الموهوب ديراك، الذي لم يقابل هايزنبرج عندما زار كامبريدج. يقرؤها ديراك. إنه واحد من القلائل الذين يفهمونها. علاوة على ذلك، فهو ينقلها إلى مستوى جديد.

يدرك ديراك ما رآه ماكس بورن وباسكوال جوردان أيضًا؛ أهمية عدم تبادلية المصفوفات في ميكانيكا الكم لهايزنبرج. بمفرده، غير مدرك لعمل جوتنجن، يعيد ديراك اختراع النظرية بأكملها، ويطور صيغته الرياضية الخاصة بميكانيكا الكم، على غرار بورن وجوردان ولكن على أساس مختلف. في ركن غامض من الميكانيكا الكلاسيكية، اكتشف عاملًا تفاضليًّا، مثل

المصفوفات، يُرضي قاعدة الضرب الخاصة بهايزنبرج. يستخدم مجموعة أنيقة من الأدوات الرياضية التي طورها الأيرلندي ويليام هاميلتون في القرن التاسع عشر. لا مزيد من المصفوفات! أو على الأقل لا شيء تقريبًا. تظهر العناصر التي تشبه المصفوفات أيضًا في حساباته التفاضلية والتكاملية، ولكن بشكل عرضي فقط.

أرسل بول ديراك الورقة التي كتب فيها نتائج عمله إلى جوتنجن، واندهش نجوم ميكانيكا الكم. ديراك؟ لم أسمع به، مَن هذا؟ لم يرَ أحدٌ مثل هذه البِنية الرياضية الجميلة، ومثل هذا المزيج الأنيق من الفيزياء الكلاسيكية وميكانيكا الكم. وصف ماكس بورن لاحقًا القراءة الأولى لورقة ديراك بأنها «واحدة من أعظم المفاجآت في حياتي. بدا المؤلف صغيرًا جدًّا، لكن كل شيء كان مثاليًّا ومثيرًا للإعجاب بطريقته الخاصة».

أُعجب هايزنبرج أيضًا بأطروحة ديراك. بعد وقت قصير من تلقِّي البراهين، كتب إلى ديراك خطابًا من صفحتين باللغة الألمانية جاء فيه: «قرأت باهتمام كبير عملك الرائع للغاية في ميكانيكا الكم. لا يمكن أن يكون هناك شك في أن جميع نتائجك صحيحة، بشرط أن نؤمن بنظرية المحاولة الجديدة على الإطلاق». حتى إن هايزنبرج يقر لديراك أن عمله «مكتوب في الواقع بشكل أفضل وأكثر تركيزًا من محاولاتنا هنا». ولكن بعد ذلك شعر ديراك بخيبة أمل: «آمل أن لا تكون منزعجًا من العثور على بعض نتائجك هنا حيث وصلنا إليها منذ فترة مضت». لدى ماكس بورن في جوتنجن وفولفجانج باولي في هامبورج بعض ما وصفه ديراك في ورقته البحثية، والتي اكتُشفت بالفعل. لكن ديراك تعامل مع خيبة الأمل، وكانت هذه الرسالة بمنزلة بداية صداقة طويلة بينه وبين هايزنبرج.

يبدو أن كل شيء يتحد تدريجيًّا. لكن الأمر لا يزال مربكًا. يمكن تلخيص ميكانيكا الكم في نظامين رياضيين مختلفين لكنهما مرتبطان على ما يبدو. لا عجب في تفضيل المصفوفات في جوتنجن. في دائرة كوبنهاجن حول نيلز بور، يفكر الناس أكثر في نسخة ديراك الأكثر أناقة، وكما اتضح، أكثر نفوذًا. خارج هذه الدوائر المختارة، ينظر الفيزيائيون إلى المصفوفات والمشغلين بيأس متزايد، متسائلين عما إذا ستظهر في يوم من الأيام صياغة يفهمونها لميكانيكا الكم.

بول ديراك رجل هادئ ذو مظهر غير ملحوظ. نحيف، متوسط الحجم. عريض الجبين، حاد، أنف وذقن مستقيمين، شارب رقيق، عينين ذكيتين وحالمتين. أكثر العلماء ذكاءً الذين يعملون على ميكانيكا الكم، ومن أغربهم. كما سيتضح لاحقًا، فهو يعاني أحدَ أشكال التوحد.

ولد بول أدريان موريس ديراك عام 1902 وعاش طفولة وصفها بنفسه بأنها «غير سعيدة». يكمن السبب في علاقته الصعبة بالأب.

ينبع صمت ديراك منذ طفولته. بول لديه أخ وأخت. والده سويسري، صارم للغاية ويطالب أطفاله بالانضباط المطلق. والدته من كورنوال. يصر الأب على التحدث بالفرنسية فقط مع أطفاله، وتصر الأم على اللغة الإنجليزية. لذلك، من المواقف اليومية أن يتكلم الشاب بول بالفرنسية مع والده والإنجليزية مع والدته وإخوته. يجلس الأب مع بول على طاولة الطعام ويتحدث بالفرنسية بينما يأكل باقي أفراد الأسرة في المطبخ. يقول ديراك لاحقًا: «منذ أن اكتشفت أنه لا يمكنني التعبير عن نفسي باللغة الفرنسية، وجدت أنه من الأفضل لي أن أبقى صامتًا». لدى الأسرة عدد قليل من الأصدقاء، ولا يستقبلون أو يزورون أي أحد، لذا فإن الشاب بول لديه فرصة ضئيلة لممارسة وتحسين لغته الإنجليزية. ففضل الصمت، الذي سيلازمه لبقية حياته.

يعتبر أشقاء ديراك أكاديميين محترمين، لكن سرعان ما يتفوق ديراك عليهم جميعًا. إنه يتعلم بشكل أسرع، ويتصدر فصله في جميع المواد العلمية والتقنية، حتى إنه يتفوق على المعلمين في الرياضيات والفيزياء ويقوم بواجبه المنزلي بنفسه.

لكن الطالب النجم لا يعرف تحديدًا ماذا يفعل بنفسه، لذلك يتبع شقيقه فليكس في المجال الذي اختاره والدهما لكليهما؛ الهندسة. عندما رأى أحد محاضريه أن ديراك يكافح من أجل التجارب في قبو الجامعة، نصحه قائلًا: «توقف عن العبث هنا! أنت عالم رياضيات موهوب. بدِّلها واحصل على شهادة في الرياضيات! يمكنك القيام بذلك في غضون عامين». يتبع بول ديراك النصيحة ويتحول إلى الرياضيات.

أصبح ديراك الآن مهندس وعالم رياضيات؛ قدماه تطآن الأرض، ورأسه يناطح السحاب. يطور حدسًا للروابط الفيزيائية وفي الوقت نفسه شعورًا غير عادي بالجمال الخالص للأفكار الرياضية. نعم، جمال الرياضيات،

يتحدث ديراك عنها كثيرًا. يرى الجمال في البِنى والبراهين الرياضية كما يراه الآخرون في اللوحات أو القصايد.

احتفل بول ديراك بعيد الغطاس في عام 1919 عندما تأكدت نظرية النسبية لآينشتاين من خلال الكسوف الكُلي للشمس. الآن هو يعرف ما يريد؛ أن يصبح فيزيائيًّا نظريًّا. وضع ترتيب الكون في معادلات رياضية. يعتقد اعتقادًا راسخًا أن الطبيعة لها بنية رياضية في جوهرها. يقول «ما هي المعادلات؟» عندما يكون الفيزيائيون الآخرون غامضين للغاية بشأن العالم.

التحق ديراك بكلية ترينيتي في كامبريدج في عام 1921، حيث يرأس هناك إرنست رذرفورد مختبر كافنديش. إنه عكس ديراك، صوته عالٍ ومباشر ومتواضع وغير متسامح مع المُنظِّرين، لكنه يتسامح مع ديراك. يأتي ديراك إلى المختبر أسبوعيًّا لتناول الشاي مع العلماء التجريبيين.

في كامبريدج، لا تزال سائدة فكرة الفيزياء كعلم مكتمل، وتستند إلى الركيزتين التوأمتين ميكانيكا نيوتن الكلاسيكية ونظرية ماكسويل للكهرباء والمغناطيسية. هناك أيضًا هذه النظرية الجديدة من ألمانيا؛ نظرية النسبية لآينشتاين. لا يزال الكثيرون في كامبريدج يعتقدون أنه يمكن استخدام هذه النظريات لوصف أو لحساب أي شيء.

ديراك «يقع في حب» نظرية النسبية الخاصة لآينشتاين، كما يقول. إنه يلعب بالعلاقات بين طاقة وكتلة وزخم الجسيم، ويريد أن يصف أصغر جسيمات الذرة، فيما يتعلق بسرعتها، موضوع نظرية النسبية الخاصة.

حتى في كامبريدج، ظل ديراك الرجل الخجول المتحفظ كما هو دائمًا. عندما يحاول شخصٌ ما على المائدة المرتفعة في كلية ترينيتي، بدء محادثة معه ويسأله عن المكان الذي يذهب إليه في الإجازة، فإنه لا يجيب بأي شيء. بعد ذلك بفترة يرد قائلًا: «لماذا تريد أن تعرف ذلك؟» ليس من باب الوقاحة، فهو فقط لا يفهم كيف يمكن لشخصٍ ما أن يهتم بمثل هذه الأشياء. يفتقر ديراك تمامًا إلى الإحساس بالمحادثات الصغيرة. يهتم بالذرات ونظرية النسبية الخاصة. لم يصل بعد إلى ذروته.

لايدن 1925
النبي والإلكترونات الدوارة

منتصف ديسمبر 1925. نيلز بور يؤيده، وألبرت آينشتاين يعارضه. لا يمكن أن تصمد معارضة أعظم علماء ميكانيكا الكم. دعا باول إرنفست، أستاذ الفيزياء النظرية في لايدن وصديق كلا العالِمين، بور وآينشتاين إلى منزله للتوسط في اتفاق.

عندما توقف قطار بور في هامبورج في طريقه إلى لايدن، كان فولفجانج باولي ينتظر هناك على الرصيف. يسأل باولي عن رأي بور في فكرة دوران الإلكترون. من أجل وصف بنية الذرات، أرجع باولي خاصية غريبة للإلكترونات، والتي يمكن أن يكون لها قيمتان فقط؛ ½ و -½. لا يستطيع تفسير ذلك، يمكنه فقط حسابه وحل المسألة التي كان المُنظِّرون يكافحون من أجل حلها لسنوات عديدة؛ الانقسام الدقيق للخطوط الطيفية للذرات في مجال مغناطيسي، يُسمى «تأثير زيمان الشاذ»[1].

غامر طالبان هولنديان في معهد إرنفست، وهما صموئيل جودشميت وجيورج أولنبك، بتفسير اكتشاف باولي؛ إنه دوران الإلكترونات، والذي يمكن أن يكون له اتجاهان، يسارًا ويمينًا. جودشميت وأولنبك يتحدثان عن

(1) تأثير زيمان هو ظاهرة انشقاق خطوط الطيف لمصدر تحت تأثير مجال مغناطيسي ثابت إلى عدة خطوط؛ أي أن تأثير زيمان يشق خطوط الطيف إلى خطوط متوازية عندما يوضع مصدر الضوء في مجال مغناطيسي شديد. وهو تأثير يرجع إلى العالِم الهولندي بيتر زيمان الذي اكتشف هذه الظاهرة في عام 1896. [المترجم]

«السبين». تفسير جريء. فيزيائيًّا، الإلكترون هو نقطة كتلة. لكن النقطة ليس لها امتداد، فلا يمكنها الدوران حول محورها. بالإضافة إلى ذلك، تعني القيمة ½ أنه بعد نصف دوران، إذا جاز التعبير، يشير الإلكترون مرة أخرى إلى الأمام. في بعض النواحي، يتوافق «الإلكترون الدوار» مع الدوران حول محوره (هايزنبرج)، وفي نواحٍ أخرى يتناقض مع كل مفهوم كلاسيكي.

حتى الباحثان، جودشميت وأولنبك، غير مرتاحين لتفسيرهما لدرجة أنهما يحاولان التخلص منه. أوقف باول إرنفست، رئيس المؤسسة، المحاولة: «كلاهما شاب بما يكفي ليتمكن من تحمل أعباء شيء غبي». تبقى الصورة أمام العالم؛ أن الإلكترونات تدور حول نفسها بطريقة غريبة. مثل معظم الصور بالنسبة للظواهر الكمومية، فهي وسيلة غير كافية. الدوران هو كمية في معادلات ميكانيكا الكم لا أحد لديه فكرة واضحة عنه.

قال بور لبولي في المحطة: «مثير للغاية». بمعنى آخر؛ مرفوض. أومأ باولي برأسه. هو أيضًا يرفض تفسير جودشميت وأولنبك.

يواصل بور رحلته. استقبله ألبرت آينشتاين وباول إرنفست، اللذان يرغبان أيضًا في سماع حكم بور بشأن نظرية الدوران، في محطة القطار في لايدن. يشرح لهما بور ما لديه ضدها. كيف يُفترض أن يتحرك الإلكترون في المجال الكهربائي القوي للنواة الذرية للحصول على ما يكفي من مجال مغناطيسي مطبق خارجيًّا لإنتاج البنية الدقيقة للخطوط الطيفية، وهو ما يظهر في تأثير زيمان الشاذ؟ يشرح له آينشتاين كيف يكون ذلك ممكنًا. لقد خمَّن بالفعل اعتراض بور وأوضحه بمساعدة نظريته النسبية. يتحول بور. يقول إن تفسير آينشتاين بمنزلة «وحي». وصار يعتقد الآن أن فكرة الدوران ستنقذ نموذجه الذري.

تدور الكواكب أيضًا على محاورها الخاصة في أثناء دورانها حول الشمس. إنها لحظة مُهمة من الاتفاق بين بور وآينشتاين. على الرغم من عدم اتفاقهما على ميكانيكا الكم، فإنهما اتفقا على دوران الإلكترونات.

في طريق العودة إلى كوبنهاجن، توقف قطار بور في جوتنجن. ينتظره فِرنر هايزنبرج وباسكوال جوردان على رصيف المحطة. أعلن بور لهما أن دوران الإلكترون يمثل تقدمًا كبيرًا. إنه يصدقه.

يواصل بور رحلته إلى برلين لحضور مؤتمر الجمعية الفيزيائية الألمانية في الذكرى الخامسة والعشرين للكميات. أيضًا حضر فولفجانج باولي من هامبورج. يسأل بور مرة أخرى عن الدوران، ولا يستغرب أن بور قد غيَّر رأيه وأصبح نبيًّا مُبشرًا بدوران الإلكترونات. يهز باولي رأسه. فهو يعتبر «العهد الجديد» لدوران الإلكترون «هرطقة» ويحذر بور من التمادي في التبشير به. يقول باولي: «أنا لا أحب ذلك!». لكن بور يحبها. هو النبي ومن يخالفه زنديق.

أروسا 1925
صحوة جنسية متأخرة

ديسمبر 1925. إرفين شرودنجر، عالم فيزياء من فيينا يعيش في زيورخ، يسافر إلى فيلا هِرفيج في جراوبوندن لقضاء عطلة عيد الميلاد. الهواء الجبلي، على ارتفاع 1850 مترًا فوق مستوى سطح البحر، يريح أولئك الذين يعانون مرضَ السل. لقد قضى هنا عيد الميلاد في العامين الماضيين، حيث كان في ذلك الوقت برفقة زوجته آني. هذه المرة ترافقه امرأة أخرى ليست زوجته، صديقة سابقة من فيينا. يمكن أن تتعايش آني مع ذلك، فهي لديها أيضًا عشاقها، من بينهم عالم الرياضيات هِرمان فييل، الذي ترافق زوجته أيضًا الفيزيائي باول شيرر، صديق فولفجانج باولي.

يكبر شرودنجر 15 عامًا عن المغامرين الشباب هايزنبرج وباولي و «الفيزيائيين الصغار» الآخرين الذين كانوا يعملون بشكل أساسي في جوتنجن وكوبنهاجن. ولد في فيينا عام 1887 لعائلة ثرية ولكن غير تقليدية من أصول إنجليزية ونمساوية. نشأ إرفين كطفل وحيد في السنوات الأخيرة من الإمبراطورية النمساوية المجرية، في شُقة رائعة بوسط فيينا، ترعاه النساء؛ والدته الحساسة وشقيقتاها وابن عمه ومجموعة من المربيات. شكلت هذه الفترة علاقات إرفين شرودنجر بالنساء طوال عمره. بالنسبة له، النساء كائنات تهتم باحتياجاته، في حين أن احتياجاتهن لا تهمه كثيرًا.

لدى عائلة شرودنجر ذوق قليل للموسيقى، لكنهم شغوفون جدًّا بالمسرح والإثارة في فيينا في نهاية القرن التاسع عشر. في المدرسة الثانوية، سرعان ما اشتهر إرفين بموهبته الاستثنائية وثقته بنفسه ومظهره الجميل وأخلاقه الساحرة والهادئة. شرودنجر من النوع المفضل للنساء. يتميز وجهه بملامح حادة وجميلة. لو لم يكن قصير النظر. يبدو أن عينيه تسبحان خارج العدسات السميكة المستديرة لنظارته.

في خريف عام 1906، بعد أسابيع قليلة من انتحار لودفيج بولتسمان، التحق شرودنجر بجامعة فيينا وفي عام 1910 حصل على الدكتوراه في «توصيل الكهرباء على سطح العوازل في الهواء الرطب». شهادة الدكتوراه تسميه «إرفينو» (الاسم اللاتيني لإرفين). حصل على أول وظيفة مدفوعة الأجر مع الفيزيائي التجريبي فرانتس إكسنر. أثارت محاضرة ألقاها ألبرت آينشتاين في فيينا عام 1913 حول «الوضع الحالي لمشكلة الجاذبية» اهتمام شرودنجر بالأسئلة الأساسية والعميقة للفيزياء؛ لغز الجاذبية، وخصائص الكون، وطبيعة المادة.

ثم اندلعت الحرب، وأصيب بشظية في رأسه فريتس هاسنورل، أهم مدرس لشرودنجر، وأمل الفيزياء النظرية في النمسا. شارك شرودنجر أيضًا في الحرب، في البداية كضابط في مدفعية الحصن، ثم كخبير أرصاد جوية. يسمع ويرى طلقات، ويعلق ميدالية على صدره. في عام 1916، كتب في مذكراته: «أعتقد أن الأمر يظل بطيئًا، ولا يمكن فعل أي شيء. مريع. غريب؛ لم أعد أسأل؛ متى تنتهي الحرب؟ لكن؛ هل ستمر؟ صبيانية، أليس كذلك؟ أملًا. هل 14 شهرًا فترة طويلة جدًّا؟ حتى إني في النهاية أشعرُ باليأس».

بعد الحرب، مر إرفين شرودنجر بمسيرة جامعية مرموقة ولكنها ليست استثنائية. ذهب إلى مدينة ييينا كمساعد لماكس فيين وإلى شتوتجارت وبريسلاو كأستاذ مشارك. في عام 1921 حصل أخيرًا على وظيفة بدوام كامل أستاذ في الفيزياء النظرية بجامعة زيورخ، والتي جلبت له ما يكفي من المال للزواج من خطيبته آنيماري بيرتل «آني». زوجته آني محبوبة وتعتني به، لكن هذا لا يمنعه من مواصلة سلسلة علاقاته الثابتة مع زوجات الأصدقاء بعد فترة وجيزة من زواجهم في شهر العسل. بعد سنوات قليلة، أصبح لديه ثلاثة أطفال من ثلاث سيدات، لم يكن أحدهم من زوجته.

لكنه يعتني بزوجته ومن أهم أهدافه توفير الأمن المالي لها في سن الشيخوخة. عند التفاوض بشأن وظيفته في زيورخ، كان يعلق أهمية كبيرة على استحقاقات التقاعد، التي ستنتقل إلى زوجته بعد وفاته.

الحياة أكثر متعة في سويسرا المحايدة منها في فيينا بعد الحرب. ناقش شرودنجر مع الفيزيائي بيتر دِباي وعالم الرياضيات هِرمان فييل، صديق كلٍّ من ألبرت آينشتاين وأرنولد زومرفِلد وفيلهلم فيين بالمراسلة، بحثًا في الديناميكا الحرارية للمواد الصلبة، والميكانيكا الإحصائية، ونظرية النسبية العامة، والذرات والأطياف، وقياس وإدراك الألوان. البحث الذي ينشره متماسك ولكنه غير مدهش.

يتعامل شرودنجر مع أكثر الأسئلة التي نوقشت حاليًّا في الفيزياء، لكنه يظل مرتبطًا بتفكيره التقليدي. إنه يشك في فكرة أن الإلكترونات في ذرة بور وزومرفِلد تقفز فجأة من مدار إلى آخر. وهو يعتقد أن هذا الافتقار إلى الانتقال لا ينتمي إلى الفيزياء، لأنه ينطوي على عدم القدرة على التنبؤ؛ تحدث أشياء دون أي سبب معروف. إنه الاعتراض نفسه الذي قدمه آينشتاين ضد بور.

عندما ظهرت الشائعات الأولى حول تفسير الأمير دي بروي لمسارات الإلكترون على أنها موجات مستقرة، وجدها شرودنجر أنها فكرة مألوفة. إنها عالقة ومجهولة للغاية ولم يتعرف عليها بنفسه، وهو أيضًا في إحدى نتائجه النظرية التي نشرها قبل عام.

دي بروي مُنَظِّر فاشل لكن لديه فكرة رائعة. شرودنجر أستاذ في الرياضيات. يأخذ فكرة دي بروي ليصنع منها نظرية.

في عام 1925، بينما كان هايزنبرج يعاني مع شكلياته الغريبة في هِلجولاند، كتب شرودنجر تقريرًا شرح فيه بالتفصيل موجات الإلكترون لِدِي بروي واقترح أيضًا أن الجسيمات ليست في الواقع جزيئات على الإطلاق، ولكنها «رغوة على موجة إشعاعية تشكل أرضية العالم». يسترشد بحسه الشعري، ويخلق صورته عن العالم المادي.

عندما تحدث إلى زميل له في زيورخ، كان يهتم بموجات الجسيمات. سأله: «إذا كانت الإلكترونات موجات، فما هي معادلتها الموجية؟ ما هي المادة التي تصنع هذه الموجات؟ كيف تبدو؟». ليس لدى شرودنجر إجابات

عن كل هذه الأسئلة. حسب دي بروي فقط الطول الموجي، ولا شيء أكثر من ذلك. إن موجاتها حتى الآن ليست سوى فكرة مجردة، دون جذور في الواقع المادي. يصمم شرودنجر على وضعها في صيغة تتخلص من القفزات الكمية التي حققها بور ومصفوفات هايزنبرج الضخمة هذه مرة واحدة وإلى الأبد. يكتب معادلة موجية لطيفة ولكنها خاطئة. تذهب إلى القمامة.

عندما ذهب شرودنجر إلى أروسا لقضاء عطلة عيد الميلاد عام 1925، كان مصممًا على العودة بالمعادلة الصحيحة. ربما يكون هواء الجبل هو ما يطلق مهاراته في التفكير، ولكن ربما يكون أيضًا الرفيق الغامض. الرياضيات صعبة، وللأسف لم يحزم شرودنجر كتاب في المعادلات التفاضلية. «لو كان بإمكاني الحصول على المزيد من كتب الرياضيات!» يبدأ مرة أخرى، ويتجاهل ببساطة التعقيدات مثل نظرية النسبية، وفي النهاية يجد ما كان يبحث عنه؛ معادلة موجية تضفي الطابع الشكلي على فكرة دي بروي. يطورها بنفسه تقريبًا؛ بعد عودته إلى زيورخ، يتعين على هِرمان فييل مساعدته في بعض التفاصيل الرياضية. سأله رئيسه عما إذا كان استمتع بالتزلج. يجيب شرودنجر أن «بعض الحسابات» شتته.

معادلة شرودنجر هي بناء أنيق. تصف حقلًا ينظمه نوعٌ من وظائف الطاقة يمثله عامل رياضي. عندما يطبقها شرودنجر على ذرة، فإنه ينتج عددًا من الحلول، يصف كلٌّ منها نمطًا ثابتًا للحقل؛ حالات طاقة الذرة. بمناورة رياضية ماهرة، استحضر شرودنجر القواعد الكمومية التي وضعها بور بشكل أخرق. مع معادلته، لا تبدو حالات الطاقة للذرة أكثر غموضًا من النغمات على وتر الكمان.

يحول شرودنجر القفزات الكمومية التي يجدها بعض الفيزيائيين مرعبةً للغاية، تلك التغيرات المفاجئة والمتقطعة في الحالة، إلى انتقالات سَلِسة من نمط موجة مستقرة إلى آخر. بين يديه، لم تعد الفيزياء الذرية خليطًا، لكنها أصبحت عملًا فنيًا. لم يشتق شرودنجر معادلته بمنطق بسيط، بل ألَّفها.

في يناير كتب أول أطروحة حول معادلته وقدمها إلى حوليات الفيزياء. تبدأ فترة إبداعية غير عادية، ويكتب أربع أوراق بحثية أخرى، كل شهر تقريبًا، حتى يونيو، حيث يشرح ميكانيكا الموجة الخاصة به.

يشعر الحرس القديم بالحماس. كتب أرنولد زومرفِلد أن الرسالة ضربته «كالصاعقة». كتب ألبرت آينشتاين إلى شرودنجر: «فكرة عملك تدل على عبقرية حقيقية!»، ويضيف بعد ذلك بقليل: «أنا مقتنع بأنك قد أحرزت تقدمًا حقيقيًّا في صياغتك للشرط الكمي، تمامًا كما أني مقتنع بأن طريقة هايزنبرج/بورن خاطئة». روبرت أوبنهايمر، الفيزيائي الأمريكي الموهوب الذي يدرس حاليًّا فيزياء الكم على يد ماكس بورن في جوتنجن، يقول متحمسًا: «هذه هي أجمل نظرية، ربما تكون واحدة من أكثر النظريات كمالًا ودقة وجمالًا التي ابتكرها الإنسان على الإطلاق».

وتنتبه أيضًا ميكانيكا الكم حول بور وهايزنبرج. كتب فولفجانج باولي من هامبورج إلى باسكوال جوردان في جوتنجن: «أعتقد أن هذا العمل من أهم ما كُتِب في الآونة الأخيرة. أقرؤه بعناية وبتوقير».

يبدو أن النظام الكلاسيكي قد تمت استعادته. تصبح معادلة شرودنجر جوهر فيزياء الكم الجديدة. يبلغ شرودنجر من العمر الآن 40 عامًا تقريبًا، ويبتكر «عمله الرائع في وقت حدوث صحوة جنسية متأخرة في حياته»، كما يعلق صديقه العزيز هِرمان فييل، عالم الرياضيات وعشيق زوجته. إنها واحدة من الانفجارات العديدة المثيرة في حياة شرودنجر، ولن تكون الأخيرة. لكنها التي أدت إلى اكتشافه الأكثر أهمية. كلا شرودنجر متحفظ بشأن السيدة المجهولة، التي ذهبت إلى أروسا مع إرفين. شرودنجر تقليدي في الفيزياء، وليس في الحياة.

في وقت مبكر من عام 1926، بدأ شرودنجر في تدريس الرياضيات للفتاتين إيتا وروزفيتا يونجر، المعروفتين باسم إيتي وفيتي. إنهما بنتَا أحد معارف زوجته آني، يبلغان 14 عامًا، شقيقتان توأمتان. مهددتان بالفشل في مدرسة الدير. ينقذهما شرودنجر من هذا، ويشرح لهما بحثه، ويتحدث إليهما عن الدين، ويكتب لهما قصايد شائنة، ويكون هناك «الكثير من المداعبة والعناق»، كما تروي إيتا لاحقًا. تشعر الفتاتان بالإطراء من انتباهه. يقع شرودنجر في حب إيتا. ينتظر حتى تبلغ من العمر 16 عامًا. ثم، خلال عطلة تزلج، دخل إلى غرفة إيتا في منتصف الليل واعترف لها بحبه. بدآ علاقة غرامية بعد فترة وجيزة من عيد ميلادها السابع عشر.

كوبنهاجن 1926
موجات وجسيمات

كوبنهاجن 1926. ينتقل هايزنبرج إلى شقة علوية صغيرة مريحة في معهد بور، بجدران مائلة وإطلالة على حديقة فلدباركن. يعيش بور مع عائلته في فيلا فخمة بجوار المعهد. يزور هايزنبرج عائلة بور كثيرًا لدرجة أنه يشعر وهو في الفيلا «كأنه في منزله».

بور مُنهَك. جُدِّد المعهد واتسع، مما كلفه قدرًا هائلًا من الطاقة. أصيب بإنفلونزا شديدة، واستغرق الأمر شهرين للتعافي منها. استغل هايزنبرج الوقت والهدوء وقبِل بور للعمل على الخطوط الطيفية للهيليوم بنظريته، وهو اختبار مهم للنظرية.

بمجرد أن يتعافى بور، تعود اللعبة القديمة من جديد. «بعد الساعة الثامنة أو التاسعة مساءً، يدخل بور إلى غرفتي ويقول (هايزنبرج، ما رأيك في هذه المسألة؟) ثم نتحدث ونتحدث، ونستمر في كثير من الأحيان حتى الساعة الثانية عشرة أو الواحدة صباحًا». في بعض الأحيان، يدعو بور هايزنبرج إلى الفيلا لإجراء محادثة محفزة تستمر حتى وقت متأخر من المساء، والتي في أثنائها تفرغ العديد من كؤوس النبيذ.

بالإضافة إلى ذلك، يتعين على هايزنبرج الوفاء بالتزاماته التعليمية. يحاضر مرتين في الأسبوع عن الفيزياء النظرية في الجامعة؛ باللغة

الدنماركية. في الرابعة والعشرين من عمره، يكاد يكون في سن مستمعيه. بعد المحاضرة الأولى، يقول أحد الطلاب: «من الصعب تصديق أنه ذكي جدًّا»، فهو يبدو «نجارًا مبتدئًا لامعًا». اعتاد هايزنبرج بسرعة كبيرة على إيقاع العمل في المعهد، وصاحبَ زملاءه وشاركهم في الرحلات البحرية وركوب الخيل والتمشية في عطلة نهاية الأسبوع. بعد زيارة شرودنجر في أكتوبر 1926، وجد وقتًا أقل لممارسة تلك الأنشطة الترفيهية التي كان يهتم بها جدًّا. يبقيه بور متعلقًا بخيط رفيع. يحتاج المعلم إلى الكلام.

لكن بور وهايزنبرج لا يتفقان على كيفية تفسير ميكانيكا الكم. يريد بور الوصول إلى جوهر الأشياء، فهو يبحث عن الوضوح؛ أين ينتهي الوضوح في الطريق إلى عالم الكم؟ ولماذا ينتهي؟ يريد بور التوفيق بين الوجه المزدوج للموجات والجسيمات مع النظرية وبالتالي حفظ مفاهيم الفيزياء القديمة للعصر الجديد.

لا يفهم هايزنبرج قلق بور. ما هي المشكلة؟ لدينا نظرية. يمكننا التوقع واختبارها في التجارب. تخبرنا النظرية بمعنى الموقع والسرعة. الأفكار الأخرى التي لدينا عنهم ليست ذات صلة.

تكاد تصيب ازدواجية الموجة والجسيم الفيزيائيين بالألم الجسدي. كتب ألبرت آينشتاين إلى باول إرنفست في أغسطس 1926: «أيتها الموجات، أيتها الكوانتا! كلا الأمرين ثابتٌ. لكن الشيطان يخرج منهما آية».

كان العالم لا يزال مستقرًّا في الفيزياء الكلاسيكية. كانت هناك موجات وجسيمات، لم يجتمع كلاهما هناك في الوقت نفسه. بينما في فيزياء الكم، تتظاهر الجسيمات أحيانًا بأنها موجات. أو العكس. في ميكانيكا الكم، بدأ هايزنبرج بالجسيمات. تخيل شرودنجر العالم كموجة هائلة. ثم تبين أن كلا النهجين متكافئ رياضيًّا. كيف يعقل ذلك؟ نقطتان مختلفتان جوهريًّا، ويبدو أنهما لا يمكن التوفيق بينهما، ثم الوصول إلى النتيجة نفسها. لم يساعد إثبات تكافؤ ميكانيكا المصفوفة وميكانيكا الموجات في حل ازدواجية الموجة والجسيم.

يبدو الأمر كما لو أن الإلكترونات أرادت عمدًا خداع باحثيها؛ فهي موجات طالما لا يلاحظها أحد، وبمجرد أن ينظر شخص ما، تصبح جزيئات. ما هي الآلية التي تقف وراءها، ما السبب، وما النتيجة؟ كلما زاد تفكير بور

وهايزنبرج في الأمر، قلَّ فهمهما له. يحاولان معًا الكشف عن جوهر التناقض، لكنهما بذلك يكشفان أيضًا التوترات التي تتصاعد بينهما. لديهما مقاربات غير متوافقة، لكن لا أحد يتقدم في نهجهما. كلاهما يفقد الصبر مع الآخر ويكاد يدفع بعضهما بعضًا إلى الجنون.

يريد هايزنبرج الإنصات إلى النظرية نفسها، إلى نظريته؛ ماذا تخبرنا عن طبيعة الواقع على المستوى الذري؟ لا بأس إذا كانت قفزات نوعية وانقطاعات. من الواضح بالنسبة له أن جانب الجسيم يسود في ازدواجية الموجة. يرفض إعطاء مساحة لأي شيء يذكره بموجات شرودنجر. بور أكثر انفتاحًا. على عكس هايزنبرج، فهو لا يركز على ميكانيكا المصفوفة. يريد أن يلعب بالفكرتين؛ الجسيمات والأمواج. لا تسحر بور الشكليات الرياضية. يفكر هايزنبرج دائمًا في الرياضيات، بينما يحاول بور استكشاف الفيزياء فيما وراء الرياضيات. إنه يبحث عن المعنى الفيزيائي لازدواجية الموجة والجسيم. بينما يبحث هايزنبرج عن وصف رياضي.

لذا يبحث بور عن طريقة لاستيعاب الموجات والجسيمات في وقت واحد وفي وصف كامل للعمليات الذرية. للتوفيق بين هاتين الفكرتين المتناقضتين؛ يرى بور هذا بأنه المفتاح الذي سيفتح الباب لتفسير ميكانيكا الكم.

برلين 1926
زيارة أنصاف الآلهة

برلين، أبريل 1926. ألبرت آينشتاين وماكس بلانك يراقبان المشهد من فوق جبل أوليمب الفيزياء. يقترب آينشتاين من سن الخمسين، وبلانك نحو السبعين، وكلاهما يتمتع بمكانة أنصاف الآلهة. إذا أحبَّا ذلك، فإنهما يدعوان أبطال الفيزياء الصغار للاستماع إلى مغامراتهما. الآن يتشرف فِرنر هايزنبرج، 24 عامًا، بالتحدث عن آخر إنجازاته في «معقل الفيزياء»، كما يُسمي برلين. ظاهريًّا، لا يزال هايزنبرج هو الشاب الذي كان يتجول في هاينبرج مع بور منذ أربع سنوات ويتأرجح بين الخجل والجرأة. لا يزال يتصارع مع هذه الكميات الغريبة. لكنه أصبح أقل تعثرًا. هو الذي اكتشف ميكانيكا الكم. ليس بلانك ولا آينشتاين. النظرية من صنعه.

نشأت طائفة حول آينشتاين. بشعره الأبيض المتشابك وعينيه المنبهتين وسرواله القصير جدًّا، صار يتعرف الناس عليه في الشارع. لقد أصبح أيقونة. الطريقة التي يفكر ويتحدث بها علميًّا تتغير بتغير حالته. يعلن الآلهة الحقيقة ولا يعطون أسبابًا. كتب ألبرت آينشتاين لماكس بورن: «ميكانيكا الكم جديرة بالاحترام، لكن صوتًا داخليًّا يخبرني أن هذا ليس هو يعقوب الحقيقي إطلاقًا. تقدم النظرية الكثير، لكن لا تقربنا كثيرًا من اللغز القديم. على أي حال، أنا مقتنع بأن الإله لا يلعب بالنرد».

عندما وقف فِرنر هايزنبرج البالغ من العمر 24 عامًا على السبورة في برلين في 28 أبريل 1926، كانت ملاحظاته منتشرة على المكتب أمامه، كان لديه كل أسباب التوتر. من المفترض أن يشرح ميكانيكا المصفوفة قبل ندوة فيزيائية مُهمة في جامعة برلين. كانت ميونخ وجوتنجن بمنزلة البروفات، برلين هي العرض الأول الفعلي. تتجول عينا هايزنبرج على الجمهور. ماكس فون لاوى وفالتر نِرنست وماكس بلانك وألبرت آينشتاين يجلسون في الصف الأمامي، أربعة فائزين بجائزة نوبل بجانب بعضهم بعضًا.

سمع هايزنبرج هذه الأسماء ونطقها عدة مرات. يلتقي اليوم لأول مرة بحامليها. إنه يعلم أنهم لم يعودوا شبابًا. لقد مر وقت طويل منذ إنجاز مآثرهم الخاصة. وكما قال لاحقًا: فإنه «يبذل جهدًا كبيرًا ليقدم بأوضح صورة ممكنة المفاهيم والأسس الرياضية للنظرية الجديدة، والتي كانت غير مألوفة لفيزياء ذلك الوقت».

اهتمام آينشتاين مثار بما يكفي للسماح لهايزنبرج بمناقشة متعمقة. عندما تفرق الجمهور بعد المحاضرة، اقترب من هايزنبرج ودعاه إلى منزله. يمشون معًا في شوارع المدينة إلى شقة آينشتاين. هذه التمشية مع نصف إله، وليس محاضرته، هي ما سيتذكره هايزنبرج من رحلته إلى برلين. أخيرًا التقى آينشتاين شخصيًّا. قبل أربع سنوات كان يأمل أن يلتقي بآينشتاين في مؤتمر الفيزياء في لايبتسيج، ولكن بعد ذلك فضل آينشتاين البقاء في المنزل بسبب اغتيال وزير الخارجية فالتر راتيناو، وهو نفسه لم يستطع الحضور لأنه تعرَّض للسرقة قبل فترة وجيزة.

في أثناء تمشيتهم في برلين في هذا اليوم الربيعي، يهيمن آينشتاين على المحادثة. يستفسر عن عائلة هايزنبرج وتعليمه وأبحاثه السابقة. ما زال لم ينطق بكلمة واحدة عن نظرية هايزنبرج الجديدة.

فقط عندما يصلون إلى الشقة في منزل رقم 5 بشارع هابرلاند شتراسه، في الطابق الثالث، ينتقل آينشتاين إلى الموضوعات الجادة. إنه يكره حقيقة أن هايزنبرج استبعد الموقع والسرعة عن جوهر الفيزياء في ميكانيكا المصفوفة الخاصة به واستبدل بها تركيبات رياضية مبهمة: «ما قلته لنا يبدو غير عادي للغاية». يخاطب هايزنبرج: «أنت تفترض أن هناك إلكترونات في الذرة، وأنا متأكد من أنك محق في ذلك. لكنك تريد التخلص من مسارات الإلكترونات في الذرة، على الرغم من أنه يمكنك رؤية مسارات الإلكترونات مباشرة في غرفة

سحابية[1]. هل يمكنك أن تشرح لي أسبابَ هذه الافتراضات الغريبة بمزيد من التفصيل؟».

هذه هي الفرصة التي كان هايزنبرج يأملها. فرصة للفوز بعميد فيزياء الكم البالغ من العمر 47 عامًا. لقد فعل ما أجبره الواقع على فعله. إنه لا يريد أن يبني نظريته على كميات مجهولة وربما غير معروفة، ولكن على ما يمكن أن يلاحظه الفيزيائيون بالفعل في الذرات. ويوضح: «لا يمكنك ملاحظة مدارات الإلكترونات في الذرة، ولكن من الإشعاع المنبعث من الذرة في أثناء عملية التفريغ، يمكنك على الفور استنتاج ترددات الاهتزاز والسعة المرتبطة بالإلكترونات في الذرة. تعتبر معرفة العدد الإجمالي للتذبذبات والسعات بديلًا عن معرفة مدارات الإلكترون في الفيزياء. ولكن بما أنه من المعقول تضمين نظرية تشمل فقط تلك الكميات القابلة للملاحظة، فقد بدا لي من الطبيعي أن أعرض هذه المجموعات فقط، إذا جاز التعبير، كممثلين لمدارات الإلكترون».

لا يعتقد آينشتاين أن هذا معقول على الإطلاق. يجيب: «لكنك لا تؤمن بجدية، أنه يمكن فقط تضمين الكميات القابلة للملاحظة في النظرية الفيزيائية».

نعم، هذا بالضبط هو ما يعتقده هايزنبرج. إنه يحاول أن يلعب دور آينشتاين مع نفسه. يجيب: «ظننت أنك من بين كل الناس جعلت هذه الفكرة أساس نظريتك النسبية؟ لقد أكدت أنه لا ينبغي التحدث عن الزمن المطلق، لأنه لا يمكن رصده. فقط مؤشرات الساعات، سواء في النظام المرجعي المتحرك أو الثابت، هي الحاسمة في تحديد الوقت».

يوافقه قائلًا: «ربما استخدمت هذه الفلسفة»، ثم يتمتم: «لكنه لا يزال محض هراء. أو يمكنني القول، بحذر أكبر، أنه قد تكون هناك قيمة إرشادية في تذكر ما نلاحظه. ولكن من وجهة نظر المبدأ، من الخطأ تمامًا أن نرغب

---

(1) الغرفة السحابية أو غرفة ويلسون السحابية في فيزياء الجسيمات هي جهاز لاكتشاف جسيمات الإشعاعات المؤينة. وتتكون الغرفة السحابية من غرفة صغيرة زجاجية تحتوي على بخار الماء حيث يكون بخار الماء فيها في درجة التشبع. وعندما يتفاعل جسيم ألفا أو بيتا مع جزيئات الوسط، تتأين الجزيئات على طول مسار الجسيم. [المترجم]

في بناء نظرية على الكميات القابلة للملاحظة فقط. لأنه في الواقع العكس. وحدها النظرية هي التي تقرر ما يمكن ملاحظته. كما ترى، الملاحظة بشكل عام هي عملية معقدة للغاية. تتسبب العملية التي يجب ملاحظتها في حدوث بعض التغيرات في جهاز القياس لدينا. نتيجة لذلك، تحدث عمليات أخرى في هذا الجهاز، والتي تسبب في النهاية الانطباع الحسي وتثبيت النتيجة في وعينا بطريقة ملتوية. وطوال الطريق من العملية إلى التثبيت في وعينا، علينا أن نعرف كيف تعمل الطبيعة، وعلينا أن نعرف قوانين الطبيعة عمليًّا على الأقل، إذا أردنا أن ندعي أننا لاحظنا شيئًا ما. فقط النظرية، أي معرفة قوانين الطبيعة، تسمح لنا باستنتاج العملية الأساسية من الانطباع الحسي. إذا ادعى أحد إمكانية ملاحظة شيء ما، فيجب عليه أن يقول بشكل أكثر دقة: على الرغم من أننا نستعد لصياغة قوانين جديدة للطبيعة لا تتفق مع القوانين السابقة، ما زلنا نشك في أن قوانين الطبيعة السابقة تعمل بدقة في الطريق من العملية التي يجب ملاحظتها إلى وعينا، بحيث يمكننا الاعتماد عليها وبالتالي التحدث عن الملاحظات. في نظرية النسبية، على سبيل المثال، يُفترض أن أشعة الضوء التي تنتقل من الساعة إلى عين الراصد تعمل بشكل كافٍ تمامًا كما نتوقع في النظام المرجعي المتحرك. ومن الواضح أنك تفترض من خلال نظريتك أن الآلية الكاملة للإشعاع الضوئي من الذرة المتذبذبة إلى الجهاز الطيفي أو إلى العين تعمل تمامًا كما يُفترض دائمًا، وبالتحديد وفقًا لقوانين ماكسويل. إذا لم يعد الأمر كذلك، فلن تكون قادرًا على رصد الكميات التي تسميها قابلة للملاحظة. لذا فإن ادعاءك بأنك تقدم الكميات التي يمكن ملاحظتها فقط هو في الحقيقة مجرد تخمين حول بعض خصائص النظرية التي تحاول صياغتها. تشك في أن نظريتك تترك الوصف السابق لعمليات الإشعاع كما هو في النقاط التي تهمك هنا. قد تكون محقًا في ذلك، لكنه ليس مؤكدًا بأي حال من الأحوال».

لم يتوقع هايزنبرج ذلك. كان يعتقد أن آينشتاين سيحالفه عندما يتعلق الأمر بالقدرة على الملاحظة. ووفقًا لجدال آينشتاين، فإن حجج هايزنبرج منطقية. لكن ألَّا تتعارض هذه الحجج أيضًا مع نظرية النسبية لآينشتاين؟ هل آينشتاين عدواني جدًّا ضد ميكانيكا الكم لدرجة أنه مستعد لإسقاط درتها البديعة؟ استدعى هايزنبرج حليفًا قديمًا لآينشتاين، الفيلسوف إرنست ماخ، إلى تعزيزه: «يقال إن فكرة أن النظرية هي في الواقع مجرد ملخص

لملاحظات تستند إلى مبدأ اقتصاد الفكر قد أتت من الفيزيائي والفيلسوف ماخ. ويقال مرارًا وتكرارًا أنك استخدمت بشكل حاسم فكرة ماخ في نظرية النسبية. لكن ما قلته للتو يبدو لي أنه يسير في الاتجاه المعاكس تمامًا. ما الذي يفترض بي أن أصدق، أو بالأحرى، ما رأيك في هذه النقطة؟».

في الواقع، عندما كان آينشتاين لا يزال مسؤولًا عن فحص براءات الاختراع في برن، درس أعمال الفيلسوف النمساوي إرنست ماخ. ذكر ماخ أن الهدف الجديد للعلم لم يكن الكشف عن جوهر الطبيعة، ولكن وصف الحقائق، أي البيانات التجريبية، بأكبر قدر ممكن من البساطة. يُعرَّف كل مفهوم علمي من خلال تعليمات حول كيفية قياسه. تحت تأثير فلسفة ماخ، بدأ آينشتاين هجومه على المفاهيم القديمة للزمان والمكان المطلقين. لكن ما لا يعرفه هايزنبرج على ما يبدو؛ أن آينشتاين قد رفض فلسفة ماخ لاحقًا، لأنها تتجاهل حقيقة وجود العالم حقًا: «إنها قصة طويلة للغاية، لكن يمكننا التحدث عنها باستفاضة. ربما يحتوي مفهوم ماخ عن اقتصاديات الفكر بالفعل على جزء من الحقيقة، لكني أجده مبتذلًا بعض الشيء. سأُدلِي أولًا ببعض الحجج لصالح ماخ. من الواضح أن تعاملاتنا مع العالم تتم عبر حواسنا. حتى عندما نتعلم التحدث والتفكير كأطفال صغار، فإننا نفعل ذلك من خلال إدراك إمكانية استخدام كلمة لتعيين انطباعات حسية معقدة للغاية ولكنها مرتبطة بطريقة ما، مثل كلمة (كرة). نتعلمها من البالغين ونشعر بالرضا عن قدرتنا على التواصل. لذلك يمكننا القول إن تشكيل الكلمة وبالتالي مفهوم (الكرة) أحد أعمال الاقتصاد الفكري من خلال السماح لنا بتلخيص الانطباعات الحسية المعقدة بطريقة بسيطة. لا يتطرق ماخ حتى إلى مسألة الظروف العقلية والجسدية التي يجب أن يعانيها الناس -الأطفال الصغار في هذا المثال- من أجل بدء عملية الفهم. وكما هو معروف، فإنه يعمل بشكل أسوأ عند الحيوانات. لكننا لسنا بحاجة إلى الحديث عن ذلك. يمضي ماخ الآن ليقول إن تشكيل النظريات العلمية -ربما نظريات معقدة للغاية- يتم بشكل أساسي بطريقة مماثلة. نحاول تصنيف الظواهر كوحدات، لتبسيطها حتى نتمكن، بمساعدة بعض المفاهيم، من فهم ما قد يكون مجموعة غنية جدًا من الظواهر؛ و(الفهم) ربما لا يعني شيئًا سوى القدرة على فهم تنوعها بهذه المفاهيم البسيطة. يبدو كل هذا معقولًا تمامًا، ولكن علينا أن نسأل كيف يُقصد هنا مبدأ الاقتصاد الفكري. هل هي مسألة اقتصاد نفسي أم منطقي، أم

بعبارة أخرى، هل هي الجانب الذاتي أم الموضوعي للظاهرة. إذا شكل الطفل مفهوم (الكرة)، فهل هذا مجرد تبسيط نفسي، حيث يُلخص الانطباعات الحسية المعقدة بواسطة هذا المفهوم، أم أن الكرة موجودة بالفعل؟ ربما يجيب ماخ، [العبارة التي تقول إن الكرة موجودة بالفعل لا تعني شيئًا أكثر من تأكيدها على الانطباعات الحسية سهلة التلخيص]، لكن ماخ مخطئ في هذا. أولًا، تحتوي جملة [الكرة موجودة بالفعل] أيضًا على الكثير من العبارات حول الانطباعات الحسية المحتملة التي قد تحدث في المستقبل. ما هو ممكن، وما هو متوقع، هو جزء مهم من واقعنا لا يجب نسيانه ببساطة بجانب الحقائق. وثانيًا، يجب تذكُّر أن الاستدلال من انطباعات الحس إلى الأفكار والأشياء هو إحدى المقدمات الأساسية لتفكيرنا؛ أنه إذا أردنا التحدث فقط عن انطباعات الحس، فسيتعين علينا أن نحرم أنفسنا من لغتنا وتفكيرنا. بعبارة أخرى، يتجاهل ماخ إلى حدٍّ ما حقيقة أن العالم حقيقي، وأن هناك شيئًا موضوعيًّا وراء انطباعاتنا الحسية. لا أريد أن أؤيد الواقعية الساذجة. أعلم أن هذه أسئلة صعبة للغاية، لكنني أجد مفهوم ماخ للملاحظة ساذجًا بعض الشيء. يتظاهر ماخ بأنه يعرف بالفعل ما تعنيه كلمة (ملاحظة)؛ ولأنه يعتقد أنه يستطيع تجنب القرار (الموضوعي أو الذاتي) في هذه المرحلة، فإن مفهومه عن البساطة يأخذ طابعًا تجاريًّا مشبوهًا؛ اقتصاد الفكر. هذا المصطلح شخصي للغاية. في الواقع، إن بساطة قوانين الطبيعة هي أيضًا حقيقة موضوعية، وسيكون من المهم تحقيق التوازن الصحيح بين الجانب الذاتي والجانب الموضوعي للبساطة في التكوين المفاهيمي الصحيح. هذا صعب جدًّا. لكن دعنا نعود إلى موضوع محاضرتك. لديَّ شك في أنك ستواجه لاحقًا صعوبات في نظريتك في المرحلة التي تحدثنا عنها للتو. أريد أن أوضح ذلك بمزيد من التفصيل. أنت تتصرف كما لو كان بإمكانك ترك كل شيء كما هو في جانب الملاحظة، أي أنه يمكنك ببساطة التحدث عما يلاحظه الفيزيائيون، الذين يتحدثون لغة الفيزياء الكلاسيكية القديمة. ولكن بعد ذلك عليك أيضًا أن تقول، في الغرفة السحابية، نلاحظ مسار الإلكترون عبر الغرفة. ومع ذلك، في رأيك، لا ينبغي أن يكون هناك مدارات للإلكترون في الذرة. من الواضح أن هذا هراء. ببساطة عن طريق تقليل الفضاء الذي يتحرك فيه الإلكترون، لا يمكن تجاوز مفهوم المدار».

الأمر متروك الآن لهايزنبرج للدفاع عن نظريته. إنه يحاول استيعاب آينشتاين قليلًا: «في الوقت الحالي لا نعرف حتى اللغة التي يمكننا استخدامها للتحدث عما يحدث في الذرة. لدينا بالفعل لغة الرياضيات، أي مخطط رياضي، يمكننا بمساعدته حساب الحالات الثابتة للذرة أو احتمالات الانتقال من حالة إلى أخرى. لكننا لا نعرف بعد -على الأقل بشكل عام- كيف ترتبط هذه اللغة باللغة العادية. بالطبع، أنت بحاجة إلى هذا الاتصال حتى تتمكن من تطبيق النظرية على التجارب على الإطلاق. لأننا نتحدث دائمًا عن التجارب باللغة المعتادة، أي باللغة السابقة للفيزياء الكلاسيكية. لذلك لا يمكنني القول إننا فهمنا ميكانيكا الكم حتى الآن. أفترض أن المخطط الرياضي جيد، لكن العلاقة مع اللغة العادية لم تثبت بعد. بمجرد أن يتحقق ذلك، يمكننا أن نأمل في الحديث عن مسار الإلكترون في الغرفة السحابية بطريقة لا تظهر فيها أي تناقضات داخلية. ربما يكون من السابق لأوانه حل معضلتك».

«حسنًا، أريد أن أقبل ذلك»، رضخ آينشتاين، «سنتمكن من الحديث عنها مرة أخرى في غضون سنوات قليلة. لكن ربما ينبغي أن أطرح سؤالًا آخر فيما يتعلق بعرضك التقديمي. نظرية الكم لها وجهان مختلفان للغاية. فمن ناحية، كما يؤكد بور دائمًا، فإنها تضمن استقرار الذرات؛ إنها تسمح لنفس الأشكال بالظهور مرارًا وتكرارًا. ومن ناحية أخرى، يصف عنصرًا غريبًا من الانقطاع، من عدم الاستمرارية في الطبيعة، والذي ندركه بوضوح شديد، على سبيل المثال، عندما نلاحظ ومضات من الضوء المنبثقة من مستحضر إشعاعي على شاشة فلورية في الظلام. هذان الجانبان مرتبطان بالطبع. في ميكانيكا الكم لأطروحتك يجب أن تتحدث عن هذين الجانبين، على سبيل المثال عندما تتحدث عن انبعاث الضوء من الذرات. يمكنك حساب قيم الطاقة المنفصلة للحالات الثابتة. يبدو أن نظريتك يمكن أن تفسر استقرار بعض الأشكال التي لا يمكن أن تندمج باستمرار مع بعضها بعضًا، ولكنها تختلف بمقادير محدودة والتي من الواضح أنه يمكن تشكيلها مرارًا وتكرارًا. لكن ماذا يحدث عندما ينبعث الضوء؟ أنت تعلم أنني حاولت تخيُّل أن الذرة تنخفض من قيمة طاقة ثابتة إلى أخرى، حيث إنها، فجأة، تشع فرق الطاقة كحزمة طاقة، ما يسمى بكمية الضوء. سيكون هذا مثالًا صارخًا بشكلٍ خاصٍّ على عنصر عدم الاستمرارية هذا. هل تعتقد أن هذه الفكرة صحيحة؟ هل يمكنك وصف الانتقال من حالة ثابتة إلى أخرى بمزيد من التفصيل؟».

هنا يجب أن يختبئ هايزنبرج خلف نيلز بور: «أعتقد أنني تعلمت من بور أنه لا يمكن التحدث عن مثل هذا الانتقال في المصطلحات السابقة، وأنه لا يمكن وصفه بأنه عملية في المكان والزمان. بالطبع، هذا لا يقول الكثير. في الواقع هذا فقط يعني، أنك لا تعرف أي شيء. لا أستطيع أن أقرر ما إذا كان ينبغي أن أصدق الكميات الخفيفة أم لا. من الواضح أن الإشعاع يحتوي على عنصر عدم الاستمرارية هذا الذي تمثله مع الكميات الضوئية. من ناحية أخرى، هناك أيضًا عنصر واضح من الاستمرارية يظهر في ظاهرة التداخل ويمكن وصفه بسهولة بنظرية موجات الضوء. لكن بالطبع أنت محق في السؤال عما إذا كان بإمكاننا تعلم أي شيء عن هذه الأسئلة الصعبة للغاية من ميكانيكا الكم الجديدة، والتي ما زلنا لا نفهمها حقًّا. أعتقد أنه علينا أن نأمل في ذلك على الأقل. يمكنني تخيُّل أنك ستحصل على معلومات مثيرة للاهتمام، على سبيل المثال، إذا نظرت إلى ذرة كانت في تبادل للطاقة مع ذرات أخرى في الجوار أو مع مجال الإشعاع. يمكن بعد ذلك السؤال عن تذبذب الطاقة في الذرة. إذا تغيرت الطاقة بشكل متقطع، كما تتوقع من مفهوم الكميات الضوئية، فإن التذبذب، أو بعبارة أكثر دقة رياضية، متوسط تذبذب المربع، سيكون أكبر مما لو كانت الطاقة تتغير باستمرار. أودُّ أن أصدق أن القيمة الأكبر ستأتي من ميكانيكا الكم، وأن عنصر عدم الاستمرارية سيظهر على الفور. ومن ناحية أخرى، يجب أيضًا التعرف على عنصر الاستمرارية الذي يصبح مرئيًّا في تجربة التداخل. ربما يتعين علينا التفكير في الانتقال من حالة ثابتة إلى أخرى على أنه مشابه للانتقال من مشهد إلى آخر في بعض الأفلام. لا يحدث الانتقال فجأة، لكن صورة واحدة تتلاشى تدريجيًّا، والأخرى تظهر ببطء وتصبح أقوى، بحيث تختلط الصورتان لبعض الوقت ولا تعرف أي واحدة هي المقصودة بالفعل. لذلك ربما توجد حالة وسيطة لا يعرف فيها المرء ما إذا كانت الذرة في الحالة العليا أم في الحالة الدنيا».

«لكن أفكارك الآن تتحرك في اتجاهٍ خَطِرٍ للغاية»، يحذر آينشتاين «أنت تتحدث فجأة عما نعرفه عن الطبيعة وليس عما تفعله الطبيعة حقًّا. ومع ذلك، في العلوم الطبيعية، لا يمكن أن يكون الأمر سوى توضيح ما تفعله الطبيعة حقًّا. من الممكن جدًّا أن نعرف أنا وأنت شيئًا مختلفًا عن الطبيعة. لكن مَن يجب أن يهتم؟ ربما أنا وأنت. لكن يمكن للآخرين أن يكونوا غير مبالين تمامًا.

حسنًا، إذا كانت نظريتك صحيحة، فسيتعين عليك يومًا ما أن تخبرني بما تفعله الذرة عندما تنتقل من حالة ثابتة إلى أخرى عن طريق إصدار الضوء».

يأمل هايزنبرج أن يكون قادرًا على قول ذلك يومًا ما، ويأمل أن يكتفي آينشتاين بذلك في الوقت الحالي فيجيب: «ربما، لكني أعتقد أنك تستخدم اللغة بقسوة شديدة. لكنني أعترف أن أي شيء يمكنني الإجابة عنه الآن له طابع العذر الواهن، لذلك دعنا ننتظر ونرى كيف تتطور النظرية الذرية».

لكن لا يكتفي آينشتاين بذلك. يتعمق أكثر: «لماذا تعتقد بقوة في نظريتك في حين أن العديد من الأسئلة الأساسية لا تزال دون إجابة تمامًا؟».

الإجابة ليست سهلة على هايزنبرج. لماذا ليست الأسئلة هي موطن قوته. إنه يتردد، يفكر، ثم يجيب: «أعتقد، مثلك، أن بساطة قوانين الطبيعة لها طابع موضوعي، وأنها ليست مجرد مسألة اقتصاد فكري. عندما تقودنا الطبيعة إلى أشكال رياضية ذات بساطة وجمال عظيمين -أعني بالأشكال أنظمة مغلقة من الافتراضات الأساسية والبديهيات وما شابه- إلى أشكال أخرى لم يفكر فيها أحدٌ بعد، فلا يمكننا ببساطة أن نفشل في الاعتقاد بأنها (صحيحة) كذلك، أي أنها تمثل سمة حقيقية من سمات الطبيعة. قد تكون هذه الأشكال تتعلق أيضًا بعلاقتنا بالطبيعة، وأن هناك أيضًا عنصرًا من عناصر الاقتصاد الفكري فيها. ولكن نظرًا إلى أننا لم نكن لنبتكر هذه الأشكال بمفردنا، نظرًا إلى أن الطبيعة قدمتها إلينا لأول مرة، فهي تنتمي أيضًا إلى الواقع نفسه، وليس فقط لأفكارنا حول الواقع. يمكنك أن تتهمني باستخدام معيار الحقيقة الجمالية هنا بالحديث عن البساطة والجمال. لكن يجب أن أعترف أن بساطة وجمال المخطط الرياضي الذي اقترحته الطبيعة لنا هنا مقنعان للغاية. يجب أن تكون قد جربت ذلك أيضًا، لدرجة أنك تقريبًا مندهش من بساطة واكتمال الروابط التي تتكشف عنها الطبيعة فجأة أمامك والتي لم تكن مستعدًا لها على الإطلاق. إن الشعور الذي ينتابك عند مثل هذا المنظر يختلف تمامًا عن الفرح الذي تشعر به عندما تعتقد أنك قد قدمت تحفة فنية (فيزيائية أو غير فيزيائية) بشكل جيد. لذلك آمل بالطبع أن تُحل الصعوبات التي نوقشت من قبل بطريقة أو بأخرى. علاوة على ذلك، فإن بساطة المخطط الرياضي هنا تعني أنه يجب أن تكون هناك إمكانية ابتكار العديد من التجارب حيث يمكن التنبؤ بالنتيجة بدقة كبيرة وفقًا للنظرية. عند إجراء التجارب وإعطاء النتيجة

المتوقعة، لا يمكن أن يكون هناك شك في أن النظرية في هذا المجال تمثل الطبيعة بشكل صحيح».

هذا يبدو كأنه مرافعة أكثر منه مناقشة. لكن آينشتاين أكثر تسامحًا. يجيب: «التحكم بالتجربة هو بالطبع شرط أساسي تافه لصحة النظرية. لكن لا يمكنك التحقق من كل شيء. لذا فإن ما قلته عن البساطة يثير اهتمامي أكثر. لكنني لن أدَّعي أبدًا أنني فهمت حقًا ما تعنيه بساطة قوانين الطبيعة».

آينشتاين مقتنع بأن العالم الموجود هناك حقيقي وأن الخيال البشري قادرٌ على فهم حتى الجوهر. لا يثق هايزنبرج بالفكرة خارج عالمنا اليومي. يجب أن تكون الأرقام صحيحة، يجب أن تكون الصيغ صحيحة. عندها فقط يمكننا التحدث عن الأفكار.

الآن وصلا إلى الأسئلة الفلسفية العميقة: ما هي الحقيقة العلمية؟ هل الجمال معيار لها؟ يستمر الاثنان في المناقشة لفترة، ثم يغير هايزنبرج الموضوع. إنه على مفترق طرق مهم. في غضون ثلاثة أيام سيعود إلى العمل في كوبنهاجن، وظيفته المزدوجة كمساعد لبور ومحاضر جامعي. يود بور منه أن يعود إلى كوبنهاجن. لكن جامعة لايبتسيج منحته للتو كرسيًّا، ومنصبًا دائمًا ومرموقًا، وهو شرف غير عادي لعالم شاب مثله. «إذن أين يجب أن نذهب، إلى كوبنهاجن أو إلى لايبتسيج؟» يسأل هايزنبرج آينشتاين للحصول على المشورة، «عُد إلى بور»، كما قال آينشتاين.

ثم قال هايزنبرج وداعًا. يشعر بخيبة أمل لأنه لم يقنع آينشتاين. بعد عام ونصف فقط سيلتقي الاثنان ويتناقشان مرة أخرى حول ميكانيكا الكم والواقع، ولكن بعد ذلك باستخدام حجج أقوى.

في اليوم التالي، أخبر هايزنبرج والديه في ميونخ أنه سيرفض عرض لايبتسيج. قال لنفسه إنه سيحصل لاحقًا على عروض أكثر. وإذا لم يكن الأمر كذلك، فأنا لا أستحق ذلك.

كتب آينشتاين إلى أرنولد زومرفِلد بعد وقت قصير من لقائه هايزنبرج: «من بين المحاولات الأخيرة لصياغة أعمق لقوانين الكم، فإنني أحب أفضل ما لدى شرودنجر. ولا يسعني إلا الإعجاب بنظريات هايزنبرج/ديراك، لكني أعتقد أنها لا تتمتع بسمعة جيدة في الواقع».

برلين 1926
حفلة بلانك

برلين، صيف 1926. كانت زيارة فِرنر هايزنبرج لآينشتاين وبلانك، أنصاف آلهة الفيزياء، مخيبة لآمالهما معًا. عادت بالنفع على بطل آخر، إرفين شرودنجر، الذي ينشر كثيرًا كأنه يقف على خط تجميع. أشار آينشتاين إلى بلانك يلفته لأعمال شرودنجر «حماس مبرر». يقول آينشتاين وهو يلقي نظرة جانبية على جبر المصفوفة لهايزنبرج: «لا يوجد مثل هذه الآلة الجهنمية، لكن الفكرة واضحة، وحتمية في التطبيق».

هناك شيء ملموس حول تخيل إلكترون في الذرة كموجة واقفة تفتقر إليها مصفوفات هايزنبرج. كيف يمكن أن تصف نظريتان مختلفتان تمامًا نفس الظواهر؟ حل شرودنجر نفسه الارتباك بسرعة مفاجئة. في ربيع عام 1926 اكتشف أن ميكانيكا الموجات وميكانيكا المصفوفة ليستا مختلفتين تمامًا. وراء واجهاتهم المتناقضة على ما يبدو نفس النظرية، يرتدون رياضيات مختلفة. يمكن استخدام موجات شرودنجر لحساب الأعداد التي تتبع جبر المصفوفة. بعد تعديل بسيط في جبر المصفوفة، يعطي معادلة شرودنجر. لم يكن شرودنجر هو الوحيد الذي توصل إلى هذا التكافؤ المذهل للنظريات، اكتشفه فولفجانج باولي أيضًا، ولم ينشره، لكنه أوضح الدليل فقط في رسالة إلى باسكوال جوردان.

إذن، لدى علماء فيزياء الكم الآن خيارٌ؛ موجات شرودنجر أو مصفوفات هايزنبرج. كثير من الفيزيائيين يميلون إلى الموجات، وهم يعرفونها مسبقًا. تظل المصفوفات غريبة عليهم وغير قابلة للاختراق. هل هناك طريقة واحدة «صحيحة» للحديث عن أصغر لبنات بناء في العالم، أم أنها مسألة ذوق وملاءمة؟

حان الوقت لمطالبة شرودنجر بزيارة برلين، بينما كان يقوم بالفعل بجولة في ألمانيا، للإعلان عن معادلته. في يوليو، وصل شرودنجر إلى العاصمة الألمانية بدعوة من بلانك. كان في شتوتجارت قبل أيام قليلة وسافر من برلين إلى بينا، حيث عمل هناك مساعدًا قبل خمس سنوات.

يستقبل بلانك شرودنجر في محطة القطار ويدعو الضيف إلى منزله الرصين والمفروش بأناقة في 21 فانجنهايم شتراسه بحي جرونفالد. لديه برنامج ممتلئ. في 16 يوليو، تحدث إلى الجمعية الفيزيائية الألمانية حول «أساسيات الذرات القائمة على نظرية الموجة». في اليوم التالي، ألقى محاضرة أخرى أكثر تخصصًا في حلقة أصغر في ندوة الفيزياء في الجامعة. كل عمداء فيزياء برلين حاضرون -آينشتاين، وبلانك، وفون لاو، ونِرنست- ويتبعون كلمات شرودنجر بموافقة. أخيرًا شخص يطور فيزياء الكم بالطريقة القديمة الجيدة، مع المفاهيم الكلاسيكية والرياضيات المثبتة. بعد المحاضرة، أقام بلانك حفلة لشرودنجر. يفكر ماكس بلانك، المتحمس للمحاضرة والمشمول بالكحول، في جعل إرفين شرودنجر خليفته العام المقبل، عندما يتقاعد.

ينخرط آينشتاين وشرودنجر في محادثات أعمق لأول مرة. أخيرًا، لأن شرودنجر شعر بالارتباط بآينشتاين فترة طويلة، منذ تلك المحاضرة في فيينا عام 1913، والتي فتح بها آينشتاين تفكير شرودنجر الشاب على ألغاز الفيزياء العظيمة. منذ ذلك الحين، كان الاثنان يكتبان لبعضهما بعضًا، ويرسلان أعمالهما لبعضهما بعضًا، حتى إنهما التقيا مرة واحدة لفترة وجيزة، في عام 1924 في اجتماع علماء الطبيعة في إنسبروك. يؤكد شرودنجر في كل فرصة على أن آينشتاين هو قدوته العظيمة.

يسعد آينشتاين، الذي لا يزال يتذكر بوضوح المناقشة المرهقة مع هايزنبرج، أنه يتعامل بشكل أفضل مع شرودنجر. يحبه، لم يكن لديه صلابة وتحفظ أهل الشمال التي وجدها آينشتاين مزعجة في هايزنبرج، الذي ولد في بافاريا، لكنه لا يزال يُسمى بـ «زواجروستين» أو «بريسن»؛ حيث تتشكل

لغته وأخلاقه من أصول والده الفيستفالية. بينما شرودنجر متعلم ومثقف وودود ويتسم بأخلاق رفيعة، ويتحدث لهجة فيينا الدافئة، الشريك المناسب لمحادثة جماعية.

يتفق آينشتاين وشرودنجر عندما يتعلق الموضوع بميكانيكا الكم. ميكانيكا الموجة هي النظرية الصحيحة والأجمل. لكن أوجه التشابه تتجاوز العلم. كلا الرجلين متزوج لأنهما يقدران رعاية الأسرة، لكنهما يجدان المتعة في مكان آخر.

لا تمنع الرفقة الروحية آينشتاين من كشف عيوب فيزياء شرودنجر. في العرض الذي قدمه إلى الجمعية الفيزيائية الألمانية، كرر شرودنجر أمله في أن تتحول الموجات التي تصفها معادلته إلى صور حقيقية للإلكترونات وأشياء أخرى، وليست جسيمات كما يتخيلها الآخرون، بل مجموعات متموجة من الكتلة والشحنة. يحب آينشتاين ذلك، لكنه يظل متحفظًا. لدى شرودنجر أمل، لكن ليس لديه حجة مقنعة. يمكن أن يكون مجرد تمني.

لا يعجب فِرنر هايزنبرج بنظرية شرودنجر على الإطلاق، كما أنه لا يتراجع عن رأيه أيضًا، كتب هايزنبرج إلى فولفجانج باولي: «كلما فكرت في الجزء الفيزيائي في نظرية شرودنجر، وجدت ذلك بغيضًا، لكن أعذر الهرطقة ولا تخبر أحدًا».

لم يقل آينشتاين ذلك بصراحة أمام شرودنجر، فهو يأمل أن يكون شرودنجر على حق وأن هايزنبرج مخطئ. لكنه يشك في أن الأمور لن تكون سهلة كما يتصور شرودنجر.

مكتبة
t.me/soramnqraa

جوتنجن 1926
تلاشي الواقع

ربيع عام 1926. مكث ماكس بورن في الولايات المتحدة مدةَ خمسة أشهر. لقد شهد القوة المدوية لشلالات نياجرا والأخدود العظيم في جراند كانيون: «فجأة هذا الصدع، هذا السقوط المجنون، وعر وممزق لا يمكن للخيال أن يتصوره». لقد كان يبحر على الجليد في بحيرة جورج، وزار أحياء ذوي الياقات الزرقاء الكئيبة في مدينة شيكاغو الفولاذية، وسافر أكثر من عشرة آلاف كيلومتر على خط السكة الحديد، وألقى محاضرات في أفضل الجامعات، وحصل على أموال طائلة. تعرض عليه عدة جامعات مناصب دائمة، لكن بورن يرفض، ويشعر بواجبه تجاه وطنه، وتُسهل جامعة جوتنجن القرار عليه من خلال تقديم زيادة في الراتب. يعود بورن إلى ألمانيا مرة أخرى في أبريل، في وضع صعب. كتب شخص ما كلمة «يهودي!» على هامش خطاب التوصية الذي كتبه له رئيسه. ذهب مساعده هايزنبرج إلى كوبنهاجن. لقد ولت سنوات التعاون المثمر.

لكنَّ هناك شيئًا لفت انتباه بورن؛ السلسلة غير العادية من الأطروحات حول ميكانيكا الموجات التي نشرها إرفين شرودنجر للتو على الملأ. يقرؤها بورن وهو «مندهش تمامًا». إنه رائد الرياضيات، يتعرف بمجرد بضع نظرات فقط على «القوة الرائعة والأناقة» للنظرية التي ابتكرها شرودنجر، «تفوق ميكانيكا الموجات كأداة رياضية». من أجل وصف ذرة الهيدروجين، أبسط الذرات، مع

ميكانيكا المصفوفة، احتاج مُنشِئها هايزنبرج، إلى مساعدة العبقري الرياضي فولفجانج باولي. كل شيء لعبة أطفال مع ميكانيكا الموجة.

بورن مندهش ومنزعج قليلًا. كان يمكن أن يكتشف ذلك بنفسه. لفت ألبرت آينشتاين انتباهه إلى أطروحة لويس دي بروي شديدة الانحدار حول موجات المادة منذ عام 1924. اعتقد بورن أنها كانت فكرة جيدة في ذلك الوقت. كتب إلى آينشتاين: «يمكن أن تكون تلك الأطروحة ذات أهمية كبيرة». لقد تكهن قليلًا حول موجات دي بروي، متلاعبًا بالصيغ. بعد ذلك، عندما كانت مهارات بورن الرياضية مطلوبة لترويض مصفوفات هايزنبرج الوحشية، نَحَّى عمل دي بروي جانبًا. عمل ماكس بورن في جوتنجن لسنوات عديدة، وفي جوتنجن يحسبون باستخدام المصفوفات.

على الرغم من أن بورن عاش في جوتنجن سنوات عديدة، لكنه ليس من مواطنيها. نشأ في بريسلاو، عاصمة مقاطعة سيليزيا البروسية. في البداية جذبته الرياضيات، وليست الفيزياء. عندما التحق بجامعة فروتسواف، نصحه والده جوستاف بورن، أستاذ علم الأجنة، بعدم التعجل في اختيار التخصص. يطيع الابن، ويحضر محاضرات في الكيمياء وعلم الحيوان والقانون والفلسفة والمنطق قبل أن يتحول إلى الرياضيات والفيزياء وعلم الفلك. تبع ذلك دراسات في هايدلبرج وزيورخ، حتى حصل أخيرًا على الدكتوراه في الرياضيات من جوتنجن في عام 1906.

بعد ذلك مباشرة تبدأ سنة خدمته العسكرية، والتي لا يتعين عليه إكمالها بسبب إصابته بالربو. أمضى نصف عام كباحث في دراسات ما بعد الدكتوراه بجامعة كامبريدج، حيث يدرس مع جوزيف جون طومسون، ويعود إلى منزله في بريسلاو لإجراء تجارب في المختبر. لم يكن العمل في المختبر شغفه الحقيقي، فهو يفتقر إلى المهارة والصبر اللازمين. إنه ليس تجريبيًّا جيدًا، ولا حتى كُفئًا.

لذا عاد بورن إلى الفيزياء النظرية وأصبح أستاذًا مشاركًا في كلية الرياضيات المشهورة عالميًّا بجامعة جوتنجن، حيث يتولى دافيد هيلبرت المسؤولية. يرى هيلبرت أن «الفيزياء صعبة للغاية حتى على الفيزيائيين أنفسهم». يجب أن يتولى علماء الرياضيات المهمة. أصبح بورن أستاذًا للفيزياء النظرية في برلين. بعد ذلك بوقت قصير، اندلعت الحرب العالمية الأولى، وجُنِّد بورن لأداء الخدمة العسكرية، أولًا كمشغل لاسلكي في سلاح

القوات الجوية، ثم كمطوِّر مدفعية. يتمركز بالقرب من برلين، وهو قريب بما يكفي لحضور ندوات جامعية ولعب الموسيقى مع ألبرت آينشتاين.

بعد الحرب، في ربيع عام 1919، اقترح ماكس فون لاو على بورن تبديل الوظائف. فون لاو أستاذ في جامعة فرانكفورت، وحصل على جائزة نوبل في عام 1914 لنظرية حيود الأشعة السينية على البلورات، لإثبات أن الأشعة السينية تتصرف مثل الموجات. لديه «رغبة قديمة ومتحمسة» للعمل مع ماكس بلانك في برلين، معلمه وقدوته. ينصح ألبرت آينشتاين بورن، فيتبع بورن نصيحته: «اقبله تمامًا». بعد عامين تقريبًا، اتخذ الخطوة التالية إلى جوتنجن لتولي إدارة معهد الفيزياء النظرية هناك. يتكون فقط من غرفة صغيرة ومساعد وسكرتير بدوام جزئي. يصمم بورن على توسعته حتى يتمكن من منافسة معهد زومرفِلد في ميونخ. بعد الكثير من التودد، تمكن من إحضار فولفجانج باولي وفِرنر هايزنبرج إلى جوتنجن، حيث أطلق معه ميكانيكا المصفوفة؛ أول نظرية لفيزياء ما بعد الكلاسيكية.

الآن، مع أطروحة شرودنجر المعروضة على الطاولة، عاد بورن إلى الموجات. إنه يرى قوة هذا المفهوم، لكنه لا يراه بشكل دوجماتي مثل شرودنجر. يذهب رفض بورن للجسيمات والقفزات الكمية بعيدًا. خلال عمله في مجموعة جوتنجن، اختبر مرارًا وتكرارًا مدى فائدة مفهوم الجسيمات في فهم الاصطدامات بين الذرات. تصطدم الجسيمات وليست الموجات، لديها مكان محدد، لا ينتشرون على الفضاء مثل الأمواج على سطح البركة. إن إيمان شرودنجر بالموجات لا يناسب العالم كما يظهر في تجارب علماء الفيزياء النووية.

يستخدم بورن ميكانيكا الموجة لحساب ما يحدث عندما يصطدم جسيمان ويجد شيئًا مذهلًا؛ تنتشر موجات الجسيمات المرتدة في الفضاء مثل موجات الماء في البركة. وفقًا لتفسير شرودنجر، فإن هذا يعني أن الجسيمات نفسها ضبابية في جميع الاتجاهات. ماذا يعني ذلك؟ يقتنع شرودنجر أيضًا بأن الجسيمات المتصادمة، حتى لو كانت قائمة على حركة الموجة، لا تزال جسيمات وليست خطوط ضباب. يجب أن تكون في مكان ما، في مكان معين، لا يمكنها الانتشار في الفضاء بطريقة غامضة.

يدعم شرودنجر تفسيره بحجة مشكوك فيها؛ فهو يوضح أن حزمة الموجة التي يصف بها جسيمًا يطير عبر الفضاء الفارغ متماسكة دائمًا. يبرر هذا الاستقرار من وجهة نظره استبدال الجسيمات التقليدية بحزم موجية.

لكن هذا الاستقرار استثناء وليس قاعدة. يمر ماكس بورن -الآلة الحاسبة الفائقة- بسيناريو أكثر تعقيدًا مع نظرية شرودنجر؛ يتصادم جسيمان، فيظهر شيء مختلف تمامًا بعد الاصطدام، تتفكك الحزم الموجية، وتنتشر في جميع الاتجاهات عبر الفضاء، مثل موجات على سطح بركة يسقط فيها حجر. إذا كان شرودنجر على حق، فإن الجسيمات نفسها سوف تتلاشى بعد الاصطدام. هذا لا يتوافق مع العالم كما نشاهده كل يوم. تتصادم الجسيمات دون أن تذوب.

في النهاية، إذا أردت للجسيمات أن تكون كتلًا من أمواج، فيجب أن تتوافق مع ما يراه الفيزيائيون وغيرهم من الناس ويقيسونه. هذا هو بالضبط ما يعنيه نيلز بور بمبدئه في التطابق؛ يجب تحويل الوصف الفيزيائي الكمي للتصادم إلى وصف كلاسيكي، ويجب أن يتناسب في النهاية مع الحدس اليومي الذي يمر به الناس عبر العالم. لا يمكن للجسيمات أن تنتشر عبر الفضاء. ينبغي أن يكون لديها مكانٌ محددٌ. بعد اصطدام جسيمين، يتطايران بعيدًا، ليس فقط في أي مكان، ولكن في اتجاهات محددة جيدًا. كما يمكن ملاحظته مع تأثير كومبتون. تعمل الجسيمات هنا، وليست الموجات، حتى لو كنت تحدق إليها فترةً طويلة.

يفكر بورن. ماذا حسب؟ يجد تفسيرًا أنيقًا. إن الموجات التي تنتشر من نقطة الاصطدام ليست هي الجسيمات الفعلية، بل هي احتمالاتها. عندما تضرب موجة من الجسيمات المرتدة عاليًا، فمن المرجح أن تنبثق. عندما تكون الموجة مسطحة تقل احتمالية العثور على الجسيم.

لذا تحول بورن من صيغ هايزنبرج إلى صيغ شرودنجر، ولكن ليس إلى تفسير شرودنجر. لا يزال مقتنعًا بأنه لا يمكن ببساطة إزالة الجسيمات. كما كتب في عمله حول ميكانيكا الموجات للعمليات المادية «ومع ذلك، من الضروري، إسقاط أفكار شرودنجر الفيزيائية تمامًا، والتي تهدف إلى إحياء نظرية الاستمرارية الكلاسيكية، واعتماد الشكليات فقط وملئها محتوى فيزيائي جديد».

كيف يتلاءم ذلك معًا؟ يدير ماكس بورن إنجاز العمل المتمثل في الاحتفاظ بكلٍّ من الجسيمات ومعادلة شرودنجر. تكمن الحيلة في إعادة تفسير الدالة الموجية. يعيد بورن تفسير الموجات، ولم يعد يفهمها على أنها الجسيمات نفسها، ولكن باعتبارها احتمالاتها. عندما تنخفض الموجة أكثر، يكون احتمال

الاصطدام بالجسيم أكبر. عندما يكون ضعيفًا، تقل احتمالية العثور على الجسيم. إذا كان بورن على حق، فإن معادلة شرودنجر تصف شيئًا جديدًا تمامًا؛ على سبيل المثال، بالنسبة للإلكترون، ليس توزيعه الكتلي أو توزيع الشحنة كما يتخيل شرودنجر، ولكن احتمالية العثور عليه هنا أو هناك.

لكن إعادة تفسير الدالة الموجية له ثمنه. لا يدرك بورن الموجات. يراها مجرد توزيعات احتماليات، تركيبات رياضية.

بورن، الآلة الحاسبة الفائقة، لا يأسى على الموجات. الشيء الرئيس هو أن النظرية تتوافق مع التجارب. خلال الفترة التي قضاها في الولايات المتحدة، كافح لوصف التصادمات الذرية باستخدام ميكانيكا المصفوفة المرهقة. بالعودة إلى ألمانيا، أنتج بسرعة مقالتين رائدتين حول هذا الموضوع بمساعدة ميكانيكا الموجات. وصلت الأولى المكونة من أربع صفحات فقط بعنوان «في ميكانيكا الكم لعمليات التصادم» إلى محرري مجلة الفيزياء في 25 يونيو 1926. كتب بورن فيها: «أنا نفسي أميل إلى التخلي عن الحتمية في العالم الذري». بعد عشرة أيام، نشر المساهمة الثانية الأكثر تفصيلًا وشمولًا في مجلة الفيزياء.

إرفين شرودنجر مرعوب. ينفي وجود الجسيمات. والآن يستخدم بورن نظريته لإنقاذ الجسيمات، وفي هذه العملية يزعزع المبدأ الأبدي للفيزياء، الحتمية. يريد شرودنجر استخدام دالته الموجية لوصف شيء مادي يمكن ملاحظته. شيء حقيقي مثل الأشجار والكراسي والكتب والأشخاص من حولنا. لا يتعلق الأمر بتوزيع الاحتمالات.

الكون كما تصوره إسحاق نيوتن كان جنة الحتمية. لا مصادفة في ذلك، مجرد جهل بالسبب والنتيجة. كل جسيم له موقع محدد وسرعة محددة في جميع الأوقات. تحدد القوى المؤثرة على الجسيم كيفية تغير الموقع والسرعة. ينطبق هذا أيضًا -من حيث المبدأ- على الغازات والسوائل التي تحتوي على عدد كبير من الجزيئات. في أثناء الممارسة العملية، لا يمكن التغاضي عن مثل هذه التجمعات الكبيرة من الجسيمات. لهذا السبب كان علماء الفيزياء مثل جيمس كليرك ماكسويل ولودفيج بولتسمان قادرين فقط على شرح خصائص الغازات بالاحتمالات والإحصاءات. كان الاحتمال نتيجة مؤسفة للجهل البشري في عالم حتمي تطور بدقة وفقًا لقوانين الطبيعة. إذا كان العقل البشري كبيرًا بما يكفي لمعرفة حالة الكون والقوى العاملة في

نقطة زمنية معينة، فيمكنه أيضًا حساب كل حالة مستقبلية. في الفيزياء الكلاسيكية، الحتمية والسببية -المبدأ القائل بأن كل تأثير له سبب- مرتبطان سرًّا. السببية تولد الحتمية.

كتب بورن في ورقته البحثية التي سجلها التاريخ كأساس لنظرية الاحتمالات: «هنا تنشأ مشكلة الحتمية برمتها، من وجهة نظر ميكانيكا الكم لدينا، لا توجد كمية تحدد سببيًّا تأثير الاصطدام في حالة فردية؛ ولكن حتى في التجربة لم نجد أي مؤشر على وجود خصائص داخلية للذرات تحدد نجاح تصادم معين. هل يجب أن نأمل لاحقًا في اكتشاف هذه الخصائص (مثل مراحل الحركة الذرية الداخلية) وتحديدها في حالات فردية؟ أم أننا نعتقد أن إجماع النظرية والخبرة في عدم القدرة على تحديد شروط للعملية السببية هو انسجام محدد مسبقًا على أساس عدم وجود مثل هذه الشروط؟ أنا نفسي أميل إلى التخلي عن الحتمية في العالم الذري».

لم يسمع بهذا أحدٌ من قبل. تساءل ماكس بورن بشكل غير رسمي عن ثلاثة قرون من العلم. الحتمية في قلب الفيزياء الكلاسيكية. ما هو الهدف من مبدأ السبب والنتيجة إذا لم يعد هناك طريق مستقيم يقود من السبب إلى النتيجة؟ كيف يجب أن تكون الفيزياء المعقولة ممكنة على الإطلاق إذا كان كل شيء مجرد احتمالية؟

عندما تصطدم كرتا بلياردو، يمكن أن ترتد في أي اتجاه تقريبًا. أيضًا، يمكن للإلكترون الذي يصطدم بذرة أن يرتد في أي اتجاه تقريبًا. لكن هناك فرق، كما يقول بورن، فحركات كرات البلياردو محددة بالفعل من قبل أن تصطدم، يمكن التنبؤ بها، لكن الوضع مختلف في الاصطدامات الذرية. لا تستطيع النظرية الفيزيائية الإجابة عن سؤال «كيف تتحرك الجسيمات بعد الاصطدام؟»، فقط سؤال: «ما مدى احتمالية وجود حالة حركة معينة بعد الاصطدام؟». من المستحيل التنبؤ بالمكان الذي سيذهب إليه الإلكترون بعد الاصطدام، لكن يمكن فقط حساب احتمال أن اتجاه حركته يقع ضمنَ نطاق زاوي مُعين. هذا ما قصده بورن عندما كتب أن صيغة شرودنجر «يجب أن تمتلئ بمحتوى فيزيائي جديد».

يقصد بـ «محتوى فيزيائي جديد» أن الدالة الموجية ليس لها حقيقة فيزيائية، ولكنها موجودة فقط في النطاق الفاصل بين الممكن، ووصف الاحتمالات المجردة، مثل الزوايا المحتملة التي يمكن أن يتشتت فيها

الإلكترون بعد الاصطدام بذرة. قيم الدالة الموجية هي أرقام مركبة، مربعاتها أعداد حقيقية. يدعي بورن أن هذه الأرقام الحقيقية تسكن في عالم الممكن.

تُمهد إعادة تفسير ماكس بورن للدالة الموجية الطريق لما سيطلق عليه «تفسير كوبنهاجن» لميكانيكا الكم. بعد ذلك بقليل، يفترض نيلز بور أن الجسم الدقيق مثل الإلكترون لا يوجد في أي مكان ما لم تتم ملاحظته أو قياسه. بين قياسين، يوجد فقط في هذا العالم البيني الشبحي للإمكانية التي تصفها الدالة الموجية. فقط عند القياس أو الملاحظة «تنهار» الدالة الموجية، وتصبح إحدى الحالات «المحتملة» للإلكترون حالتها «الفعلية»، وتنخفض احتمالات جميع الحالات الأخرى إلى الصفر.

لذا يعيد بورن تفسير دالة شرودنجر الموجية على أنها موجة احتمالية؛ تصبح الموجة الحقيقية موجة مجردة. كتب في مقالته الأولى: «من وجهة نظر ميكانيكا الكم لدينا، لا توجد كمية تحدد سببيًّا تأثير تصادم في حالة فردية». وبذلك، يتخلى عن الحتمية القديمة، لكنه يقيدها: «تتبع حركة الجسيمات قوانين الاحتمال، لكن الاحتمال نفسه ينتشر وفقًا لقانون السببية».

في الفترة ما بين المقال الأول والثاني، أدرك بورن حجم الثورة التي يحرض عليها. فهو لا يقوم «على الأرجح» بالفيزياء فحسب، بل يعيد تفسير الاحتمالية أيضًا. الاحتمال الذي حسبه ماكسويل وبولتسمان هو احتمال الجهل. إن «50/50 أنني نجحت في الامتحان» لا يعني أن الدرجة لا تزال تعتمد على المصادفة. لقد وضعت الدرجة بالفعل، لكنك لا تعرفها بعد. لا يمكن رفض «الاحتمالية الكمية» التي تصورها بورن بسهولة من خلال المزيد من المعرفة. إنه ينتمي إلى الواقع الذري. حقيقة أنه من المستحيل التنبؤ بما إذا كانت ذرة معينة في عينة مشعة على وشك التحلل عندما يكون مؤكدًا أن إحدى الذرات سوف تتحلل ليس بسبب نقص المعرفة، فهي ناتجة عن طبيعة قوانين الكم التي تحكم، يليها النشاط الإشعاعي.

كانت هناك حقيقة، ثم قام الفيزيائيون بحساب الاحتمال. الآن يأتي الاحتمال أولًا، ثم تظهر الحقيقة فيما بعد. تبدو حيلة صغيرة، لكنها قفزة هائلة في الفيزياء.

ولا يكاد يكترث أحد. يتسلل تفسير بورن إلى فيزياء الكم دون ضجة كبيرة. ويلاحظ بورن لاحقًا: «لقد اعتدنا على الاعتبارات الإحصائية بحيث لم

يكن مهمًّا للغاية التعمق في مستوى واحد». نعم، بالطبع، يقول علماء فيزياء الكم الآخرون، إن شرودنجر كان مخطئًا بشأن طبيعة موجاته، إنه يتعلق بالاحتمالات، لقد عرفنا ذلك دائمًا. يدعي هايزنبرج معرفته منذ البداية أنه كان يتعامل مع الاحتمالات. لكنه لم يدونها في أي مكان. غالبًا ما تشرح كتب ميكانيكا الكم نظرية الاحتمالات دون أن تنسبها إلى بورن، الأمر الذي أثار غضب بورن طوال حياته.

من ناحية أخرى، يشعر إرفين شرودنجر وألبرت آينشتاين بالغضب. يرفض شرودنجر بشدة ما فعله بورن في معادلته. يقول نافيًا: «إن مثل هذا الحدث الفردي عشوائي تمامًا، وغير محدد» (من رسالته إلى فيلهلم فيين بتاريخ 25 أغسطس 1926). يرفض شرودنجر أيضًا وجهة نظر بور القائلة بأن الوصف المكاني الزماني للعمليات الذرية مستحيل، أي دون مزيد من الرصد. منطقه أن «الفيزياء لا تتكون فقط من البحث الذري، فالعلم لا يتكون فقط من الفيزياء والحياة لا تتكون فقط من العلم. الغرض من البحث النووي هو ملاءمة تجربتنا فيه مع بقية تفكيرنا. كل ما تبقى من هذا التفكير، فيما يتعلق بالعالم الخارجي، يتحرك في المكان والزمان».

يقتنع شرودنجر بأنه إذا كان بورن على حق، فعندئذٍ سيعود القفز الكمي حتمًا وستكون السببية مهددة. كتب إلى بورن في نوفمبر 1926: «لست بحاجة إلى مدحك بجمال ووضوح تطورك الرياضي لمشكلة الاضطرابات، لكن لدي انطباع بأنك مع الآخرين الذين يشاركونك وجهة نظرك تذهبون أيضًا بعمق أن تكونوا تحت تأثير تلك المفاهيم (مثل الحالات الثابتة، والقفزات الكمية، وما إلى ذلك) التي توطَّنت في تفكيرنا على مدار الاثني عشر عامًا الماضية، من أجل تحقيق العدالة الكاملة لمحاولة الخروج من هذا النمط من التفكير مرة أخرى».

هذه هي النقطة التي يصبح فيها إرفين شرودنجر منشقًا. النظرية التي ساهم بأهم معادلة فيها لم تعد نظريته. احتفظ شرودنجر بتفسيره لميكانيكا الموجة وسعيه الجاد لتوضيح الظواهر الذرية طوال حياته. يقول: «لا أستطيع أن أتخيل إلكترونًا يقفز كالبرغوث».

ميونخ 1926
صراع على النفوذ

ألمانيا، 1926. ينتعش البلد، ويتباطأ التضخم المفرط، تُتداول المزيد من البضائع في المواني، وتُشيد قنوات للسفن ومحطات طاقة ومواني جديدة. لا يُستخدم كل الفحم المستخرج للتعويضات، حيث تعود قطارات السكك الحديدية الألمانية للعمل مرة أخرى دون توقف لساعات على المسار المفتوح. يشتري الألمان الأغنياء الفراء من باريس، ويشربون الشمبانيا من أروسا بسويسرا، ويقودون السيارات فوق تلال الركام في بافاريا العليا. تعود برلين للحياة أيضًا. أصبحت العاصمة الرمادية المغبرة للمهزومين في الحرب مدينة عالمية نابضة بالحياة. حتى السياح يعودون. يريد الأمريكيون أن يروا ما حل بأرض أسلافهم. يبحث الإنجليز عن المتعة دون حواجز اجتماعية. خلال النهار، تسود الفطنة البروسية القديمة، في المساء ترقص جوزفين بيكر في شارع كورفورستندام. تلبي النوادي الليلية في برلين كل الميول الجنسية، بينما تجرم المادة 175 من القانون الجنائي الأفعال الجنسية بين الرجال، فصارت عبارة «مولود في 17 مايو» رمزًا لرجل مثلي الجنس. هذه هي لغة المعايير المزدوجة.

الوضع السياسي في توازن غير مستقر. فشل انقلاب هتلر. تمرُّد الشيوعيين في ساكسونيا، والانفصاليين في منطقة راينلاند. تتشكك الحكومة

في ولاء الجيش. يخشى البعض من أن البلاد يمكن أن تنفصل، بينما يأمل البعض في ذلك.

يعود الفضل في الانتعاش بشكل أساسي إلى رجل واحد؛ جوستاف شترسمان، وزير الخارجية ذو العنق الممتلئ والبدلات غير الرسمية. طرح عملة جديدة مقاومة للتضخم مدعومة بسندات الحكومة والشركات؛ الرنتن مارك. أقنع زملاءه في الحكومة بقبول خطة الممول الأمريكي تشارلز داوز، والتي ستسمح لألمانيا بدفع تعويضات دون المزيد من الانهيار للاقتصاد.

بعد أقل من عقد على انتهاء الحرب العالمية الأولى، أصبحت ألمانيا في طريقها لتصبح ثاني أكبر دولة صناعية في العالم. معاهدات لوكارنو، الموقعة في لندن في الأول من ديسمبر 1925، مهدت الطريق لإعادة تأهيل ألمانيا، كما أنها تسمح للإمبراطورية بصناعة الطائرات وإعادة تشييد المطارات، وهو ما قد حرمته معاهدة فرساي؛ ليبدأ عصر زبلين. في عام 1926 قبلت عصبة الأمم ألمانيا. لم يعد العلماء الألمان خارجين عن القانون، فزملاؤهم من الدول الأخرى عادوا ليتحدثوا إليهم مرة أخرى. تعود اللغة الألمانية ثانية أهم لغة علمية في العالم.

بعد ظهر يوم 23 يوليو 1926، وهو يوم مشمس في صيف ممطر، يجري التفاوض بشأن مستقبل الفيزياء في ميونخ. سيتحدث الفيزيائي النمساوي إرفين شرودنجر، الذي سافر من زيورخ عبر شتوتجارت وبرلين وبينا وبامبرج، في قاعة ماكس بجامعة لودفيج ماكسيميليان حول «الأفكار الأساسية لميكانيكا الموجة».

حتى أشهر قليلة مضت، كان شرودنجر لا يزال دخيلًا علميًّا. تقع زيورخ بعيدًا عن المحطات الكبرى لفيزياء الكم مثل برلين وجوتنجن وميونخ. ولكن عندما انتشرت ميكانيكا الموجات كالنار في الهشيم بين علماء الفيزياء في ربيع وصيف عام 1926، أصبح شرودنجر رجلًا مشهورًا وأراد الجميع مناقشة نظريته معه شخصيًّا.

لذلك وافق إرفين شرودنجر على الفور عندما تلقى دعوة من أرنولد زومرفِلد وفيلهلم فيين لإلقاء محاضرتين في ميونخ. أُلقيت المحاضرة الأولى في 21 يوليو 1926 في «ندوة الأربعاء» لزومرفِلد، وقد تعامل معها شرودنجر بشكل روتيني وحظي بتصفيق ودود. كانت المحاضرة الثانية

بعنوان «أساسيات ميكانيكا الموجات» بعد يومين في جمعية المنطقة التابعة للجمعية الفيزيائية، أقل سلاسة، والسبب في ذلك هو فِرنر هايزنبرج. تضج القاعة بالأصوات. يزدحم الرجال وقليل من النساء بين صفوف الكراسي، ينظرون حولهم، يحيون بعضهم بعضًا، إيماءة، تلويح، مصافحة. يغمر ضوء الشمس الغرفة من خلال النوافذ الطويلة.

يحتل مشاهير العلم أماكنهم في الصفوف الأمامية، بياقات مُنشَّاة، وتنانير طويلة، وشعر مشمع؛ فيلهلم فيين، مدير معهد القياس الفيزيائي والقائم بأعمال رئيس الجامعة، وأرنولد زومرفِلد، رئيس معهد الفيزياء النظرية، قصير ونحيل، وله صوت حازم. يجلس الطلاب في الصفوف الخلفية، ومن بينهم الكيميائي الأمريكي الشاب لينوس بولينج، الذي جاء إلى أوروبا في أبريل في منحة جوجنهايم. يزيد عمر بولينج عشرة أشهر على عمر هايزنبرج، ولكن ليس بعيدًا عن مسيرة علمية مجيدة.

يدخل فِرنر هايزنبرج إلى الغرفة متأخرًا، بشعره الأشقر المتشابك، ووجه صارم وعينين صافيتين لامعتين. يبلغ من العمر 24 عامًا وهو بالفعل زعيم ميكانيكا الكم. لقد توصل إلى نظريته، التي أطلق عليها ببساطة وجراءة «ميكانيكا الكم»، قبل بضعة أشهر من تطوير شرودنجر لها. في الواقع، يجب أن يكون هو هناك وليس شرودنجر. كما هرع هايزنبرج عبر أوروبا من عطلة التنزه في النرويج للدفاع عن زعامته. لقد ذهب شمالًا هربًا من حُمى القش، وتسلق الجبال و «ركب عربة بخارية»، على حد تعبيره؛ ليُظهر لعلماء الفيزياء الكمومية الآخرين كيفية القيام بذلك بشكل صحيح. في الأسابيع السابقة، خيم بالقرب من بحيرة ميوسا، فكر في ميكانيكا الكم في الليالي الساطعة، واستخدمها لحساب الطيف الطويل والغامض لذرة الهيليوم، التي سافر من جودبراندسدال إلى سوجنيفجورد ووصل إلى ميونخ مليئًا بالثقة بالنفس. يبرز على وجهه اسمرار من الأيام الاسكندنافية الطويلة المشمسة.

ما لا تراه هو الخلافات بين الحاضرين. يحرص فيين وزومرفِلد على إعادة الفيزياء إلى النظام القديم، إلى حالة من شأنها أن تسعد إسحاق نيوتن وجيمس كليرك ماكسويل. فيزياء لا تجعل العالم قابلًا للحساب فحسب، بل تجعله حيًّا أيضًا، والذي لا يوفر الصيغ فقط، ولكن أيضًا رؤية العالم.

هذا هو الأمل الذي يضعه أساتذة الفيزياء القدامى في إرفين شرودنجر. ولهذا السبب دعاه فيين وزومرفِلد إلى ميونخ. الفيزياء التي يقومون بها

مهددة، وبالتحديد من قبل فِرنر هايزنبرج. ميكانيكا المصفوفة هي وحش الصيغ، تُمثل إهانة للحدس الفيزيائي. حتى المكان والحركة لا يحتفظان بمعناهما فيها. لقد استنتج ذلك من خلال إبعاد كل التصورات الأخرى عن أفكاره، في صراع طويل وعزلة. لقد طوَّر شكليات تثير العديد من الأسئلة الفلسفية وهي خرقاء وغريبة جدًّا لدرجة أنه لفهمها كان على معظم الفيزيائيين الخوض في تعلم فرع جديد من الرياضيات. لقد تركهم واقفين هناك مثل تلاميذ المدارس، ولم ينجح سوى عدد قليل منهم في اختراق صيغ هايزنبرج فكريًّا.

بعد بضعة أشهر من لقاء هايزنبرج، طوَّر شرودنجر ميكانيكا الموجة في أثناء إجازته الشتوية في أروسا. اكتشف طريقة بسيطة لوصف ما كان يحدث داخل الذرة، بنفس قوة تفسير هايزنبرج، ومع وعد بجعل هذه العمليات واضحة مثل الموجات على سطح البركة، بجانب الصيغ التي عرفها الفيزيائيون واستخدموها لعدة قرون.

يبدو الأمر كما لو أن شرودنجر أشعل ضوءًا في ظلمة العالم الكمي، فأصبح يمكن لعلماء الفيزياء الآن رؤية ما يتعاملون معه. تبشر ميكانيكا موجات شرودنجر بأن أصغر لبنات البناء في العالم ليست مطلقًا تلك الألغاز التي اعتقد بور وهايزنبرج وأصدقاؤهما أنها كذلك. بدلًا من ذلك، فهي (الذرة) تخضع لقوانين معروفة ومفهومة، كما تُدرَّس في محاضرات المبتدئين.

الصراع بين شرودنجر وهايزنبرج ليس في الرياضيات. نظرياتهم متكافئة شكليًّا، ويمكن تحويلها إلى بعضها بعضًا، كما أظهر إرفين شرودنجر نفس النتائج التي أظهرها فولفجانج باولي في هامبورج، وعرضها كارل إيكارت في كاليفورنيا. لا يتعلق الأمر بالصيغ، ولكن بالتفسير. يفهم شرودنجر الذرة على أنها نظام اهتزازي. يرسم صورة حية للعمليات الفيزيائية؛ بالضبط ما يعتبره هايزنبرج مستحيلًا. يحسب هايزنبرج لا يفهم. كانت خطوته الرئيسة نحو ميكانيكا المصفوفة هي بالتحديد وداع الفهم. والآن ينافسه شرودنجر مع ميكانيكا الموجة المفهومة بصعوبة.

يتعلق الأمر بـ «روح» الفيزياء، كما يسميها شرودنجر. يجب على الفيزياء أن تقرِّب العالم إلينا ولا تعزله كما تفعل مصفوفات هايزنبرج. يسعد شرودنجر بـ «النهج الإنساني لكل هذه الأشياء» بفضل موجاته السابحة بلطف. وهو يُسمي نظريته «الفيزيائية»، وبالتالي، ودون أن يقول ذلك، فإنه

وصف ضمني لنظرية هايزنبرج بأنها نظرية غير فيزيائية. يبغض هذا القفز من حالة إلى أخرى، كما تصفه مصفوفات هايزنبرج.

عبَّر عن مدى بغضه في مقالته المنشورة بمجلة حوليات الفيزياء في مايو 1926 والتي ظهرت تحت عنوان: «حول علاقة ميكانيكا الكم عند هايزنبرج وبورن وجوردان بنظريتي». يكتب فيها بصراحة غير مسبوقة أنه يشعر تجاه نظرية هايزنبرج «بنفور -كي لا أقول رفض- من الجبر وانعدام الوضوح».

الرفض متبادل تمامًا. كتب هايزنبرج إلى فولفجانج باولي: «ما يكتبه شرودنجر عن وضوح نظريته... أعتقد أنها مجرَّد هراء». يُسمي باولي تفسير شرودنجر «خرافة زيورخ المحلية»، وهو تعبير ينتشر بسرعة. شعر شرودنجر بالإهانة عندما سمعه. يعتذر باولي لـ «عزيزي شرودنجر» ويطلب منه «أن لا يراه على أنه عداء شخصي تجاهك، ولكنه تعبير عن الاقتناع الواقعي بأن الظواهر الكميَّة في الطبيعة تظهر مثل هذه الجوانب التي لا يمكن استيعابها بمصطلحات فيزياء الاستمرارية (فيزياء المجال) وحدها. عزيزي شرودنجر، لديك نظرية جميلة، لكن لا تلومني، فهي لا تتناسب مع عالمنا».

لا، حقًّا، لا شيء من هذا شخصي. لكن ماذا يعني ذلك بين الناس الذين هم علماء كبار؟ ليس لدى هايزنبرج وشرودنجر أي شيء شخصي تجاه بعضهما بعضًا. لكن علميًّا لديهما كل شيء. لقد واجه كلاهما نظرية الآخر منذ فترة طويلة. الآن، في ذلك اليوم من شهر يوليو وفي قاعة المحاضرات بشارع لودفيج شتراسه الرائع في ميونخ، يجتمعون شخصيًّا لأول مرة.

يتولى التقديم روبرت إمدن، عالم الفيزياء الفلكية السويسري. يحيي الحاضرين ويشكر شرودنجر على قدومه. يمشي شرودنجر إلى المنصة، صغير الحجم ونحيف، مرتديًا بدلة من الكتان وربطة عنق، لون جلده برونزي من إقامته الطويلة في الجبال للاستشفاء من مرض السل الذي عاناه طوال حياته وسيموت بسببه في يوم من الأيام.

يبدأ شرودنجر بلكنة أهل فيينا الرنانة المبهجة، يقدم المعادلة التي خلد بها اسمه. من أجمل وأغرب المعادلات التي تصورها العقل البشري. إنه يستخدمها لوصف حركات الإلكترونات في مجال قوة نواة الذرة بأناقة شديدة لدرجة أن بعض زملائه يصفونها أنها «متعالية».

سحرهم، حافظ شرودنجر على القوة الشكلية لميكانيكا الكم بينما يصف في الوقت نفسه عالمًا رغب علماء مدرسة الفيزياء القديمة في وجوده؛ عالم ينزلق بسلاسة وثبات وحيوية من حالة إلى أخرى، دون قفزات وانقطاعات.

إنه مقتنع بأن معادلته الموجية ليست بنية مجردة، بل هو يصف موجة حقيقية ملموسة. لكن ما الذي يتموج؟ ما هو ماء هذه الموجة؟ يتردد شرودنجر. ربما شيء مثل توزيع شحنة الإلكترون على الفضاء. يعتقد أن الإلكترون ليس في الواقع جسيمًا على الإطلاق، ولكنه موجة تبدو شبيهة بالجسيمات.

إرفين شرودنجر متحدث مثير للإعجاب وسرعان ما يحوز إعجاب من في القاعة. فيلهلم فيين، العالم التجريبي ورئيس الجامعة -وأول مَن أعلن له شرودنجر اكتشافه، ببطاقة بريدية أرسلها من أروسا في ديسمبر -1925 يسمع ما تمناه؛ فكك شرودنجر الذرة، كما يعتقد فيين، «وبصورة مرضية تقارب النظرية الكلاسيكية». يشعر فيين بالارتياح لأنه «لم يعد يحتمل الحالة الراهنة للنظرية». إنه مطمئن إلى أن «نظرية الكم ستعود الآن إلى أحضان النظرية الكلاسيكية» والفيزيائيون الشباب «لم يعد بإمكانهم أن ينخرطوا في مستنقع الانقطاعات الكمي أو نصف الكمي». نموذج بور للذرة، حيث تقفز الإلكترونات من مسار إلى آخر كأنها حالة من «التصوف الذرِّي». ميكانيكا مصفوفة هايزنبرج؛ وحش الصيغ، بعيدة كل البعد عن الواقع التجريبي الذي شعر فيه فيين بأنه موطنه. يعتقد فيين أن كلا التطورات مضللة في البحث، ويأمل أن تختفي مع اهتزازات شرودنجر.

أثار إرفين شرودنجر إعجاب الطالب الأمريكي لينوس بولينج بعمق بطريقته في توضيح عالم الكم لدرجة أنه تخلى عن جميع اهتماماته البحثية السابقة وقرر أن يحذو حذو شرودنجر. يغوص في ميكانيكا الموجة لأبعد مدى. بعد بضعة أشهر سيذهب إلى زيورخ للدراسة مع شرودنجر.

لكن لا يستطيع شرودنجر كسب كل المستمعين. «لا أعتقد بصحة آراء شرودنجر»، اعترف زومرفِلد بذلك بعد بضعة أيام في رسالة إلى باولي. وأشاد بميكانيكا موجات شرودنجر باعتبارها «ميكانيكا دقيقة رائعة» والتي، مع ذلك، «لا تحل الألغاز الكمومية الأساسية». بينما احتفظ زومرفِلد بمخاوفه لنفسه في قاعة المحاضرات. لا يريد ازدراء الضيف الذي دعاه.

أيضًا يستطيع هايزنبرج التراجع حتى آخر لحظة، في نهاية محاضرة شرودنجر الثانية. ثم، خلال المناقشة التي تلت ذلك، انفجر من شدة الإثارة. ميكانيكا الكم هي اختراعه، والآن يقف شرودنجر هناك باعتباره الرجل الذي سينقذ العالم منها؟ لا يمكنه ترك ذلك يحدث. إنها مدينته، نظريته، منطقته. ذهب إلى المدرسة هنا ودرس وحصل على الدكتوراه.

يقف هايزنبرج ويرتفع صوته. تتسلط كل الأعين عليه. يتحدث بقوة تجاه شرودنجر. كيف يمكن للذرات أن تتأرجح بسلاسة في حين أن الكثير من الأدلة التجريبية تظهر أنها لا تفعل ذلك؟ ألا تؤثر فيهم الصدمات المفاجئة؟ ماذا عن التأثير الكهروضوئي، اصطدام فرانك، تشتت كومبتون؟ لا شيء من هذا يمكن أن يفسر نظرية شرودنجر. حتى قانون بلانك للإشعاع لا يناسبه، كما يقول هايزنبرج. بالطبع لا يمكن ذلك، لا يمكن تفسير أيٍّ منها دون جسيمات، دون انقطاع، دون قفزات كمية، فقط دون الأشياء التي يريد شرودنجر محوها.

يقفز فيلهلم فيين الغاضب ويوبخ هايزنبرج. إنه يتفهم إثارة هايزنبرج لأن شرودنجر أنجز ميكانيكا المصفوفة، وأن القفزات الكمية وكل هذا الهراء قد انتهى الآن. سيجيب «البروفيسور شرودنجر» بالتأكيد على جميع الأسئلة المتبقية لاحقًا. لا يزال كلٌّ من فيين وهايزنبرج يتذكران جيدًا أنه قبل ثلاث سنوات أراد فيين إسقاط هايزنبرج في امتحان الدكتوراه الشفوي. وبفضل كلمة لطيفة من معلمه زومرفِلد، حصل هايزنبرج أخيرًا على درجة الدكتوراه. يرى فيين الآن أن الفرصة سانحة لإفشال هايزنبرج. «أيها الشاب، لا يزال عليك أن تتعلم الفيزياء»، هكذا قال لهايزنبرج وأشار إليه أن يجلس مرة أخرى. سيقول هايزنبرج لاحقًا: «لقد طردني تقريبًا من قاعة المحاضرات».

يتحدث شرودنجر بحذر أكبر بمجرد أن يسمح له فيين بالتحدث. اعترف هايزنبرج باعتراضات الميكانيكا الموجية، لكنه واثق من أنها ستتبدد قريبًا. لكن هايزنبرج لا يستسلم. يرى مشكلة أعمق. كيف يمكن أن تكون هذه الموجات «حقيقية» إذا لم نتمكن من رؤيتها؟ لماذا يجب أن تساعدنا الفطرة السليمة، المدربة على التعامل مع الكراسي والأشجار والأشخاص الآخرين، في العالم تحت الذري، الجزيئات الذرية؟ هذا العالم لا يشبه أي شيء نعرفه، كان هايزنبرج واثقًا من ذلك ووضع يقينه الكامل في كلماته. لا يمكن إضاءة النواة

المظلمة في أعماق العالم الفيزيائي بمعادلة موجية بسيطة، هذا مستبعد. وإلا فإن كل صراعه مع هذه الألغاز سيذهب سدى.

ليست هذه هي المباراة التي كان يأمل فيها هايزنبرج على ملعبه. لا يزال زومرفِلد صامتًا بأدب. يزداد تشكك المستمعين الآخرين أكثر كلما عارض هايزنبرج شرودنجر بقوة؛ لماذا يجب علينا التخلي عن الفطرة السليمة، الحدس الذي اختبر وجُرِّب منذ قرون، من أجل اختراق أصغر وحدة قياس للمادة؟ ربما يشعر هايزنبرج بالغيرة فقط، عندما يهدد أحد المنافسين بطرده من مكانه في التاريخ.

يتسلل هايزنبرج عائدًا إلى منزل والديه في هوهنتسولرنشتراسه. يشعر كأنه طُرد من ساحة المعركة قبل حتى أن تبدأ، وهو قلق «لرؤية أن العديد من الفيزيائيين قد قبلوا هذا التفسير لشرودنجر». حتى زومرفِلد، كما يشكو هايزنبرج، «لا يستطيع الإفلات من إقناع رياضيات شرودنجر». لا شيء ضد شرودنجر، لكن ليست هذه هي طريقة الوصول إلى الكميات. كتب إلى فولفجانج باولي، «بقدرٍ ما شرودنجر شخصًا لطيفًا، إلا أنني أجد فيزياءه غريبة جدًّا، عندما تسمعها، تشعر أنك أصغر بعشرين عامًا».

يحتاج هايزنبرج بضعة أيام ليجمع شتات نفسه. يخرج إحباطه من صدره في صورة رسائل مكتوبة. «قبل بضعة أيام، استمعت هنا إلى محاضرتين من شرودنجر، ومنذ ذلك الحين صرت مقتنعًا تمامًا بأن تفسير شرودنجر الفيزيائي لميكانيكا الكم غير صحيح»، أخبر بذلك زميله في جوتنجن باسكوال جوردان. لكن القناعة وحدها لن تكون كافية، فهو يعرف ذلك. شرودنجر ورياضياته أكثر أناقة وجاذبية.

يشعر نيلز بور بالقلق أيضًا عندما علم بالضجة التي ثارت بين مساعده وإرفين شرودنجر. قرر أن يجمع الخصوم معًا مرة أخرى ويدعو شرودنجر إلى كوبنهاجن حتى يتمكن من مشاركة «التفاصيل بشكل أعمق مع الدائرة الداخلية للعاملين في المعهد حول الأسئلة المفتوحة للنظرية الذرية، حيث ينتمي هايزنبرج إلى هؤلاء كما تعلم». يقبل شرودنجر الدعوة بامتنان. إنه يتطلع إلى أن يتمكن من التحدث إلى بور حول «الأسئلة الصعبة والملحة»، لكنه يذهب أولًا إلى جنوب تيرول مع زوجته آني لقضاء عطلة صيفية. يُنصح كذلك بالذهاب إلى بور. المشهد في ميونخ ما هو إلا بداية للدراما.

كوبنهاجن 1926
تماثيل رخامية منحوتة بدقة تتساقط من السماء

كامبريدج، سبتمبر 1926. ينطلق بول ديراك في رحلة. ميكانيكا الكم هي موضوع البحث الجديد الذي نوقش بشدة في القارة الأوروبية، ويود ديراك أيضًا أن يُدلي برأيه. يريد أن يشرح كيفية عمل الذرات ويشرع في جولة أوروبية للتعلم من النجوم البارزة في فيزياء الكم؛ نيلز بور في كوبنهاجن، وماكس بورن في جوتنجن، وباول إرنفست في لايدن.

تستغرق الرحلة عبر بحر الشمال 16 ساعة. بدأت عواصف الخريف، وأصيب ديراك بدوار البحر وقضى جزءًا كبيرًا من العبور وهو يتقيأ. لن يحدث هذا مطلقًا مرة أخرى؟ لا، يفكر ديراك بشكل مختلف. قرر الاستمرار في الإبحار عبر البحار العاصفة لشفاء نفسه من ضعف دوار البحر. يقول أحد زملائه عنه: «يمكن أن تتخيل ديراك أنه مثل غاندي، فهو لا يهتم بالبرد، والتعب، والتغذية، وما إلى ذلك». كما أن ديراك لا يدخن، ولا يقترب من الكحول. شرابه المفضل هو الماء، ويكفيه طبق حساء صغير في وجبة العشاء. يقول نيلز بور: «من بين جميع الفيزيائيين، يمتلك ديراك أنقى روح».

هذا النقاء هو القوة العلمية لديراك، لكنه يُمثل ضعفًا اجتماعيًّا. عندما يشرب بعض الفيزيائيين الشاي معًا، يضع فولفجانج باولي الكثير من

مكعبات السكر في فنجانه لدرجة أن زملاءه الجالسين يسخرون منه. فقط ديراك يبقى هادئًا وجادًّا. سأله الزملاء عن موقفه من مشكلة السكر. يفكر ديراك في الأمر ويقول: «أعتقد أن قطعة سكر تكفي البروفيسور باولي»، ويغيرون الموضوع، لكن بعد دقيقتين، يقول ديراك: «أعتقد أن قطعة سكر كافية لكلٍّ منهم»، وتستمر المحادثة. يُنهي ديراك سلسلة أفكاره وملاحظاته قائلًا: «أعتقد أن مكعبات السكر مصنوعة بحيث الواحدة منها كافية».

ديراك الآن مع بور لمدة أربعة أشهر. سيكون هناك الكثير للتحدث بشأنه، لكن ديراك متحفظ. يلاحظ بور ذلك: «يبدو أن ديراك يفهم الكثير في الفيزياء، لكنه لا ينطق بكلمة واحدة». يفكر ديراك كثيرًا في كوبنهاجن، لكنه يفضل أن يكون بمفرده. يقول بور إن ديراك هو «أغرب شخص» زار معهده في كوبنهاجن على الإطلاق.

على العكس من ذلك، فإن ديراك مندهش من بور. إنه معجب به وهو مندهش من مؤانسته وطريقته الغامضة في إلقاء المحاضرات. يقول ديراك: «استمع الناس باهتمام»، لكنه يشتكي من أن «حجج بور كانت في الغالب وصفيَّة، ولم أستطع حقًّا فهم الحقائق الكامنة وراءها. ما أردته هو عبارات يمكن التعويض عنها بالمعادلات، ونادرًا ما قدمت أعمال بور مثل هذه العبارات». كان بور سيصبح «شاعرًا جيدًا»، كما يعتقد ديراك، «لأنه من المفيد استخدام الكلمات بعشوائية في الشعر».

يتعجب ديراك من بور ويعجب به، لكنه لا يُظهر له إعجابه الشديد الذي اعتاده الدنماركي. هذه هي بالضبط الطريقة التي يربح بها الرجل الوحيد طويل القامة من إنجلترا احترام بور. يكافح بور لوضع إلهامه الفلسفي في كلمات. يسعى ديراك إلى الوضوح في الدقة المنطقية. يعبر عن نفسه فقط عندما يكون متأكدًا من كل تفاصيل كلماته. تكمن قوته في التقاط جوهر الطبيعة بالرياضيات الأنيقة. يعتمد بور على مثل هؤلاء الناس. ويحتاج ديراك إلى شخص مثل بور. إنه يعلم أن الصيغ وحدها لا تكفي. يحب أيضًا تفسيرها. يفضل ديراك ترك أسئلة التفسير للآخرين؛ بور، هايزنبرج، شرودنجر.

ينهي ديراك جزءًا كبيرًا من محادثاته في كوبنهاجن برد من ثلاثة كلمات: «نعم»، «لا»، «لا أعرف». يعيش حياة منتظمة للغاية، تقريبًا مثل إيمانويل كانط، يعمل على نظرياته خمسة أيام في الأسبوع، وأيام السبت في مشاريع فنية، ويوم الأحد تمشية لمسافات طويلة، الإيقاع نفسه كل أسبوع.

خلال دراسته الصغيرة، يغير بول ديراك عالم ميكانيكا الكم من خلال بحثين رائدين يكتبهما في غضون 12 أسبوعًا.

سيسمي لاحقًا بحثه الأول «عزيزي». منذ أن توصل شرودنجر إلى ميكانيكا الموجة، كان هناك إجماع عام على أن هناك نظريات كم عديدة. لكن يمكنها أن تكون واحدة فقط. في عمله المفضل، يثبت ديراك أن صياغات هايزنبرج وشرودنجر لميكانيكا الكم، والتي تبدو للوهلة الأولى مختلفة تمامًا، متكافئة وقابلة للتحويل إلى بعضها بعضًا. أظهر آخرون ذلك من قبل؛ شرودنجر نفسه، وباولي، وإيكارت. لكن ديراك يذهب خطوة أخرى إلى الأمام. يكتشف بنية رياضية تقوم عليها كلتا النظريتين لم يعثر عليها أحد من قبل. يسمي هذه البنية «نظرية التحويل». بل إنه بعيد عن المشهد الفيزيائي أكثر من مصفوفات هايزنبرج. لا يجد ديراك صعوبة في التجريد الرياضي. من خلال نظريته، يمكنه تبرير معادلة شرودنجر رياضيًّا، والتي أنشأها شرودنجر بشكل فني تقريبًا، وتحويل الخيال إلى حقيقة.

بعد بضعة أسابيع، في عمله الثاني، يفتح مجالًا جديدًا سيظل أحد أساسيات الفيزياء بعد قرن؛ «نظرية المجال الكمومي».

بعد إقامته في كوبنهاجن، انتقل ديراك إلى جوتنجن للعيش مع ماكس بورن وفِرنر هايزنبرج وباسكوال جوردان. يعيش مع روبرت أوبنهايمر، الأمريكي الموهوب والمتحدث والمروج الذاتي وطالب الدكتوراه لدى ماكس بورن، حيث استأجر من الباطن في فيلا عائلية في جوتنجن. على الرغم من أن الاثنين مختلفان تمامًا، فإن ديراك يصادق أوبنهايمر. يستيقظ ديراك في الصباح الباكر، ولا يذهب أوبنهايمر إلى الفراش إلا في الصباح الباكر. يحب ديراك الصيغ، بينما يحب أوبنهايمر القصايد. كما أنه يكتب بعضها بنفسه. يقول ديراك لأوبنهايمر: «لا أستطيع أن أتخيل كيف يمكنك العمل في الفيزياء وكتابة الشعر في الوقت نفسه». فيجيب: «في العلم، تقول ما لا يعرفه أحد، بكلمات يفهمها الجميع. وفي القصيدة، ينبغي لك استخدام الكلمات التي يعرفها الجميع لتقول ما لا يستطيع أحد فهمه». يتشاركون حماسهم للفيزياء. قال أوبنهايمر لاحقًا: «ربما كانت أكثر الأوقات إثارة في حياتي هي عندما وصل ديراك وأظهر لي البراهين على عمله في نظرية الكم للإشعاع». نادرًا ما يفهم أي فيزيائي نظرية المجال الكمومي لديراك، يرى أوبنهايمر أنها «جميلة للغاية».

يواجه الفيزيائيون الألمان أوقاتًا عصيبة مع ديراك، الذي يُعد غريب الأطوار. علماء رياضيات بارعون يجتمعون في جوتنجن، لكن تطبيق ديراك للرياضيات استثنائي حتى وفقًا لمعاييرهم، بخاصةٍ عندما يقترن بروح هندسية يحرص عليها بعض المنظرون هنا للغاية. هذه ليست الطريقة الألمانية لممارسة الفيزياء.

العلماء القلائل الذين يفهمون عمل ديراك يُكنون له احترامًا عميقًا. لا أحد غير فِرنر هايزنبرج (26 عامًا) مؤسس ميكانيكا الكم، يسجل ملاحظة نصف مازحة: «أعتقد أنني يجب أن أتخلى عن الفيزياء. جاء شاب إنجليزي، اسمه ديراك، ذكي للغاية، لا فائدة من منافسته».

كانت الفترة الإبداعية العظيمة لبول ديراك قد بدأت للتو. على مدى السنوات الثماني المقبلة، سيحقق اكتشافًا تلو الآخر، كل واحد أروع من السابق. وشبههم زميله فريمان دايسون بـ «التماثيل الرخامية المنحوتة بشكل معقد تتساقطت من السماء، واحدًا تلو الآخر. بدا قادرًا على استحضار القوانين الطبيعية من خلال التفكير الخالص، هذا النقاء هو الذي جعله فريدًا». مقارنة بديراك، يبدو علماء فيزياء الكم الآخرون مبتدئين. إنهم يخطئون في نظرياتهم، ويرتكبون المزيد من الأخطاء، وعليهم تصحيح أنفسهم، بينما نجح ديراك في أعماله على الفور.

في عام 1928 ابتكر معادلة جميلة لا تشوبها شائبة سُمِّيت باسمه؛ معادلة ديراك[1]. إنها: $(i\partial\!\!\!/ - m)\,\psi = 0$ باختصار، مثالي، إنها بمنزلة نصب تذكاري مناسب لمبتكرها الصامت، ربما أجمل معادلة في الفيزياء.

عندما دوَّنها ديراك على الورق، كانت الفيزياء تستند إلى ركيزتين: نظرية النسبية الخاصة لألبرت آينشتاين وميكانيكا الكم لإرفين شرودنجر. لكن لم يتمكن الفيزيائيون من التوفيق بين هذه الاكتشافات المتغيرة. فشل شرودنجر

(1) معادلة ديراك $(i\partial\!\!\!/ - m)\,\psi = 0$ هي معادلة موجية كمومية نسبية تُقدم وصفًا للجسيمات الأولية ذات عزم مغزلي مساوٍ لنصف عدد صحيح، وبالتالي فهي تدمج بين نظرية الكم ونظرية النسبية الخاصة حيث تطبق معادلات النسبية الخاصة على قوانين ميكانيكا الكم. وصفت بأنها المعادلة الأجمل في الفيزياء، لأنها تصف ظاهرة التشابك الكمي. [المترجم]

نفسه، بينما نجح بول ديراك. قام في معادلته بالتوفيق بين نظريات آينشتاين وشرودنجر.

إذا كانت هناك معادلة للعالم، فهذه هي. يستخدمها ديراك لوصف الإلكترون؛ الجسيم الذي يشكل سلوكه كل الكيمياء ويحدد كيف يدرك الناس العالم. عندما يسقط الضوء على عين الإنسان، فإنه يثير الإلكترونات في الأعصاب البصرية. تحكم معادلة ديراك هذه العملية. علاوة على ذلك، فإنه ينطبق أيضًا على اللبنات الأساسية للمادة التي اكتشفت منذ ذلك الحين، وصولًا إلى الكواركات والميونات.

بواسطة معادلته، يشرح ديراك أيضًا دوران الإلكترون، الذي افترضه فولفجانج باولي قبل عام من ذلك دون أن يتمكن من شرحه نظريًا. للقيام بذلك، يستخدم بنية مجردة من زاوية بعيدة من الرياضيات، والتي لم يعرفها في السابق سوى عدد قليل من علماء الجبر المنعزلين. سميت فيما بعد «سبينور».

عندما وصف ديراك الإلكترون في معادلته، لم يجد حلًا واحدًا فحسب، بل وجد حلين اثنين؛ أحدهما بطاقة موجبة، والآخر سالبة، ولكن بشحنة موجبة. ما الذي يفترض أن يكون، طاقة سالبة؟ يواصل ديراك الحسابات، لكنه لا يستطيع التخلص من الحل السلبي. هل صادف أنه وجد وصفًا للبروتون؟ أنها لا تتناسب. يبدو الأمر كما لو أن للإلكترون صورة معكوسة تم التغاضي عنها سابقًا، كما لو كانت هناك «ثقوب» في العالم تتصرف مثل الجسيمات المعروفة سابقًا، فقط مع الإشارة المعاكسة. اكتشف ديراك المادة المضادة، وهي المادة التي شكلت نصف الكون بعد وقت قصير من الانفجار العظيم. ببراهين رياضية يكتشف نصف العالم.

في البداية لا يريد أحد تصديقه. إنريكو فيرمي «يدين» ديراك على سخافة المادة المضادة في ندوة بعنوان «الضرب بالعصا» على أخمص قدميه. ولكن بعد سنوات قليلة فقط، يُكتشف البوزيترون تجريبيًا أيضًا، بالضبط مع الخصائص التي تنبأ بها ديراك، ويطلق فِرنر هايزنبرج على اكتشاف المادة المضادة «ربما أعظم القفزات التي حققتها الفيزياء في قرننا».

ومع ذلك، يذهب بول ديراك بعيدًا. بحجة طوبولوجية يتنبأ بوجود أحادي القطب المغناطيسي. حتى الآن، تقول القاعدة إن الأقطاب المغناطيسية

مزدوجة فقط. حيث يوجد قطب شمالي يوجد قطب جنوبي. مثل ورقة؛ لا يوجد وجه أمامي دون وجه خلفي. لكن في الطوبولوجيا، هناك شرائح مجردة من الورق تبدو وكأنها ورقة ذات وجهين عند النظر إليها عن قرب، ولكنها في الواقع لها وجه واحد فقط؛ شريط موبيوس[1]. الاحتكار المغناطيسي مثل شريط موبيوس مغناطيسي.

هناك علماء رياضيات لامعون، وهناك فيزيائيون ممتازون، وهناك بول ديراك، وهو في الوقت نفسه، عالم رياضيات ومهندس انطوائي، عبر بجرأة الخط من الجذر التربيعي للمتجه للتنبؤ بعالم المرآة بالكامل.

في عام 1932، تولى بول ديراك أرقى كرسي في العلوم؛ الكرسي اللوكاسي للرياضيات[2] في جامعة كامبريدج، الذي جلس عليه إسحاق نيوتن من قبل.

---

(1) شريط موبيوس هو سطح ذو وجه واحد، واحد فقط، وهو غير موجه (ما يعني أنه يمتلك مسارًا يجعل المنتقل عليه يعود إلى نقطة البداية بشكل عكس المرآة). كما يعتبر شريط موبيوس أيضًا سطحًا مسطرًا. اكتشف شريط موبيوس الرياضيان الألمانيان أوجست فرديناند موبيوس، ويوهان بنديكت ليستينج عام 1858. [المترجم]

(2) الكرسي اللوكاسي للرياضيات هو لقب أستاذية الرياضيات في جامعة كامبريدج بإنجلترا. تأسس اللقب عام 1663 على يد هنري لوكاس عضو البرلمان عن جامعة كامبريدج من عامي 1639-1640، وأصبح المنصب رسميًا بعد أن أقره تشارلز الثاني ملك إنجلترا في 18 يناير 1664. [المترجم]

كوبنهاجن 1926
لعبة بسكاكين حادة

في 1 أكتوبر 1926، وصل إرفين شرودنجر إلى كوبنهاجن بالقطار، وازدادت ثقته بنفسه بعد زيارته لأرنولد زومرفِلد في ميونخ وألبرت آينشتاين في برلين. ينتظر وصول شرودنجر على رصيف المحطة نيلز بور، البالغ من العمر 41 عامًا وصاحب الباع الكبير في فيزياء الكم. يلتقي الاثنان للمرة الأولى. ربما فات الأوان. قبل بضعة أشهر، كان من الممكن أن يتحالفا في الكفاح من أجل نظرية الموجة للظواهر الذرية. لكن ليس الآن. سقط يقين بور، بينما يظل شرودنجر وفيًّا للموجات. منذ أن أعاد ماكس بورن تفسير معادلته الموجية، انتقل شرودنجر من مؤيد لميكانيكا الكم إلى ناقد لها. يود بور أن يسمع من شرودنجر نفسه ما يجب عليه أن ينتقده.

يبقي بور على تبادل مجاملات قصيرة ويبدأ في استجواب لا هوادة فيه مع شرودنجر بينما لا يزال في المحطة. سوف يمر ثمانية أيام قبل أن يمنح بور ضيفه استراحة قصيرة. في الرابع من أكتوبر ألقى شرودنجر محاضرة حول ميكانيكا الموجة أمام «نادي الفيزياء» في معهده. ثم يأخذه بور مرة أخرى.

مارجريت ونيلز بور مضيفان متيقظان وودودان. وضعا شرودنجر في غرفة ضيوفهما حتى يتمكن إرفين ونيلز من قضاء أكبر وقت ممكن معًا. لكنه ليس لقاءً سلميًّا، أشبه بمبارزة علمية. يدافع شرودنجر عن «وجهة نظره

للصور الواضحة»، وينكر بور هذا الوضوح على وجه التحديد. يحاول مرارًا وتكرارًا زعزعة أسس وجهة نظر شرودنجر، لإثبات أنه كان مخطئًا. يراوغ شرودنجر ويتهرب. لا أحد يستسلم. يقول شرودنجر: «العلم لعبة، لكنه لعبة مع الواقع، لعبة بسكاكين حادة».

فِرنر هايزنبرج، الذي بدأ لتوه مساعدًا لبور، حاضر أيضًا. هايزنبرج أصغر من شرودنجر بأربع سنوات، لكنه دائمًا يسبقه بخطوة. هكذا كان الأمر مع نظرياتهم، وهكذا كان الأمر مع بلانك وآينشتاين في برلين، وأيضًا مع بور في كوبنهاجن. شرودنجر الأرنب، وهايزنبرج القنفذ[1].

لا يشارك هايزنبرج في الجدال بين الاثنين. لقد اشتبك مع شرودنجر قبل شهرين في ميونخ ولم ينتهِ الأمر على نحو جيد، لذلك فهو يشاهد ويستمع فقط. يسمع افتراض شرودنجر أنه لا يزال من الممكن تصور أن شخصًا ما يمكن أن يشتق صيغة إشعاع بلانك من عام 1900 دون استخدام الكوانتا. لا توجد فرصة، يجيب بور. تصمد الكوانتا.

بالكاد يتعرف هايزنبرج على رئيسه. بور، الذي كان دائمًا متفهمًا وودودًا، ظهر الآن على أنه «تقريبًا مثل متعصب لا يلين لم يكن مستعدًا لاتخاذ خطوة واحدة تجاه محاوره أو السماح حتى بأدنى قدر من اللبس».

اثنان من أهم الفيزيائيين في العالم يواجهان بعضهما بعضًا، لكن لا يستسلم أيٌّ منهما ولا يتراجع حتى مليمترًا. وراء الأحكام التي يلقونها بلا هوادة على بعضهم بعضًا، يشعر هايزنبرج بقناعة عميقة.

شرودنجر مقتنع تمامًا بأنه لا بد من وجود قوانين تتحرك بموجبها الإلكترونات. أي شيء بخلاف ذلك لن يكون فيزياء، سيكون انهيارًا للفيزياء. «يجب أن تفهم، يا بور، أن الفكرة الكاملة عن القفزات الكمية لا بد أن تؤدي إلى هراء. هناك يُزعم أن الإلكترون في الحالة الثابتة للذرة يدور بشكل دوري في بعض المدارات دون أن يشع. لا يوجد تفسير لماذا لا يجب أن يشع. وفقًا لنظرية ماكسويل، يجب أن يشع. ثم يجب أن يقفز الإلكترون من هذا المدار إلى آخر ويشع في هذه العملية. هل يجب أن يكون هذا الانتقال تدريجيًّا أم

(1) الأرنب والقنفذ حكاية شعبية ألمانية شهيرة دونها الأخوان جريم وهي تشبه حكاية السلحفاة التي تسبق الأرنب لكن في الحكاية الألمانية يتكرر السباق أكثر من سبعين مرة ودائمًا يسبق فيها القنفذ الأرنب. [المترجم]

مفاجئًا؟ إذا كان تدريجيًا، يجب أن يغير الإلكترون تدريجيًّا تردده المداري وطاقته. من غير المفهوم استمرار وجود ترددات حادة في الخطوط الطيفية. ولكن إذا حدث الانتقال فجأة، عبر قفزة، إذا جاز التعبير، فيمكننا أن نصل إلى العدد الصحيح من اهتزازات الضوء من خلال تطبيق أفكار آينشتاين عن الكوانتا الخفيفة، ولكن بعد ذلك يتعين علينا أن نسأل كيف يتحرك الإلكترون في أثناء القفزة. لماذا لا يصدر طيفًا مستمرًا كما تتطلب نظرية الظواهر الكهرومغناطيسية؟ وما هي القوانين التي تحكم حركته في أثناء القفز؟ لذا فإن فكرة القفزات الكمية برمتها يجب أن تكون مجرد هراء».

يتظاهر بور بالتنازل لكنه لا يتراجع مطلقًا: «نعم، أنت محق تمامًا فيما تقول. لكن هذا لا يثبت أن القفزات الكمية غير موجودة. إنه يثبت فقط أننا لا نستطيع تخيلها، مما يعني أن المصطلحات الوصفية التي نصف بها أحداث الحياة اليومية وتجارب الفيزياء السابقة ليست كافية لإظهار العمليات المتضمنة في القفزة الكمية. هذا ليس غريبًا، فعندما تفكر في أن العمليات التي نتعامل معها هنا لا يمكن أن تكون موضوعًا للتجربة المباشرة، وأننا لا نختبرها بشكل مباشر، لذلك لا نوائم مفاهيمنا وفقًا لذلك».

يشعر شرودنجر أن بور يريد إغراءه بالمياه العميقة للفلسفة ويعود للصفوف الخلفية: «لا أريد الدخول معك في مناقشة فلسفية حول تكوين المفهوم، من المفترض أن يكون هذا أمرًا يهتم به الفلاسفة لاحقًا؛ أريد فقط أن أعرف ما يحدث في الذرة. لا يهمني بأي لغة تتحدث عنها. إذا كانت هناك إلكترونات في الذرة، وهي جسيمات كما تخيلناها حتى الآن، فيجب عليها أيضًا أن تتحرك بطريقة ما. لا يهم في الوقت الحالي أن أصف طبيعة هذه الحركة بالضبط. ولكن في النهاية يجب أن تكون هناك إمكانية لمعرفة كيف تتصرف في حالة الاستقرار أو عند الانتقال من حالة إلى أخرى. يمكنك أن ترى بالفعل من الشكلية الرياضية لميكانيكا الموجة أو الكم أنه لا توجد إجابة معقولة على هذه الأسئلة. ومع ذلك، في اللحظة التي نكون فيها مستعدين لتغيير الصورة، لنقول إنه لا توجد إلكترونات كجسيمات، ولكن هناك موجات إلكترونية أو مادية، كل شيء يبدو مختلفًا. لم نعد نتساءل بعد ذلك عن الترددات الحادة للاهتزازات. يصبح انبعاث الضوء سهل الفهم تمامًا مثل انبعاث موجات الراديو من هوائي المرسل، وتختفي التناقضات التي بدت سابقًا عصية على الحل».

يجيب بور بهدوء وحزم: «لا، للأسف هذا غير صحيح. التناقضات لا تختفي، بل تُدفع إلى مكان آخر. على سبيل المثال، أنت تتحدث عن انبعاث الإشعاع من الذرة، أو بشكل عام عن تفاعل الذرة مع مجال الإشعاع المحيط بها، وتعتقد أنه بافتراض وجود موجات مادية وعدم وجود قفزات كمومية، فإن الصعوبات ستزال. لكن فكر فقط في التوازن الديناميكي الحراري بين الذرة ومجال الإشعاع، مثل اشتقاق آينشتاين لقانون إشعاع بلانك. من المهم لاشتقاق هذا القانون أن تأخذ طاقة الذرة قيمًا منفصلة وأحيانًا تتغير بشكل متقطع؛ القيم المنفصلة لترددات التذبذبات الطبيعية لا تساعد على الإطلاق. لا يمكنك أن تشكك بجدية في أسس نظرية الكم».

نعم، هذا بالضبط ما يريده شرودنجر: «بالطبع، أنا لا أدعي أن هذه الروابط مفهومة تمامًا. لكنك لا تزال تفتقر إلى تفسير فيزيائي مُرضٍ لميكانيكا الكم. لا أفهم لماذا لا نأمل في أن يؤدي تطبيق نظرية الحرارة على نظرية موجات المادة في النهاية أيضًا إلى تفسير جيد لصيغة بلانك، والتي، مع ذلك، ستبدو مختلفة نوعًا ما عن التفسيرات السابقة».

يرفض بور بعناد: «لا، لا ينبغي لأحد أن يأمل في ذلك. لقد عرفنا لمدة 25 عامًا ما تعنيه صيغة بلانك. وإلى جانب ذلك، فإننا نرى الانقطاعات، الطبيعة الشاذة للظواهر الذرية مباشرة جدًّا، على سبيل المثال على شاشة الوميض أو في الغرفة السحابية. نرى وميضًا من الضوء يظهر فجأة على الشاشة أو إلكترونًا يمر فجأة عبر الغرفة السحابية. لا يمكنك استبعاد هذه الأحداث الشاذة والتظاهر بأنها غير موجودة».

في إشارة إلى نفاد الصبر، رفع شرودنجر يديه: «إذا كنا سنستمر في هذه القفزة الكمية اللعينة، فأنا نادم للغاية لأنني أزعجت نفسي بنظرية الكم».

يعرف بور أنه فاز، فيُظهر لشرودنجر لهجة متسامحة: «لكن بقيتنا ممتنون جدًّا لأنك فعلت ذلك، لأن ميكانيكا الموجات، في وضوحها الرياضي وبساطتها، تمثل تقدمًا هائلًا على الشكل السابق لميكانيكا الكم».

يستمر على هذا النحو لعدة أيام، من الصباح الباكر حتى وقت متأخر من الليل. هذه هي طريقة بور المعتادة في ممارسة العلم، لكن شرودنجر يشعر أنه في استجواب لا مفر منه. بعد أيام خذلته قوته، التي ليست هي الأفضل على أي حال. تصيبه الإنفلونزا ويضطر إلى البقاء في سريره في

غرفة الضيوف عند بور. تزود السيدة بور شرودنجر بالشاي والكعك بينما يجلس زوجها على حافة السرير ويضغط عليه: «لكن يجب أن تدرك أن...» يحدق شرودنجر بعينين لامعتين محمومتين. لا يمكن لأي منهما إقناع الآخر. لا أحد لديه الكثير ليقدمه أكثر من يقينه بأنه على حق.

لا يتعلق الأمر بالحقائق التي يمكن توضيحها بالتجارب أو الحجج الرياضية. الحقائق معلنة، لكن يتعلق الأمر بتفسير تلك الحقائق. لدى كلا الفيزيائيين معتقدات عميقة الجذور، ولن يتخلى أي منهما عن جزء منها دون قتال. لا يترك أيٌّ منهما فرصة لإضعاف موقف الآخر تذهب هباء. لكن لا أحد لديه تفسير متماسك لميكانيكا الكم.

لذلك لا يوجد توافق في الآراء، وجهات النظر مختلفة للغاية. يرى شرودنجر فيزياء الكم على أنها استمرار سلس للفيزياء الكلاسيكية. يعتبر بور الانفصال عن الواقع الكلاسيكي أمرًا لا مفر منه. لا مجال للعودة إلى الأفكار القديمة، والحركات الثابتة، والمدارات غير المنقطعة. لن تختفي القفزات الكمية، سواء أحبها شرودنجر أم لا. يصبح غاضبًا أكثر فأكثر، وينفد صبره، ولا يجد إجابة لهجمات بور الهادئة والمتواصلة.

يعود شرودنجر منهكًا إلى قطار زيورخ ويشعر بالارتياح لتمكنه أخيرًا من الابتعاد عن ذلك الاستجواب. لقد أنهكه بور لكنه لم يقنعه. لا، لم يدحض بور «وجهة نظره بشأن الصور الواضحة»، لكن نعم، قد يكون عليه أن يعيد النظر في بعض التفاصيل. وهو يعترف بأنه «من المحتمل بصراحة أنه قد اجتاز طريقًا خاطئًا هنا أو هناك يجب التخلي عنه».

كتب شرودنجر رسالة طويلة إلى فيلهلم فيين يحكي عن مغامرته في كوبنهاجن. أولًا من الناحية الإيجابية: «كان من الجيد جدًّا التعرف على بور، الذي لم أقابله من قبل، في محيطه الخاص، وأن أكون قادرًا على التحدث معه لساعات حول الأشياء التي أصبحت الآن قريبة جدًّا من قلوبنا». وجد مضيفه «محبوبًا للغاية». «لن يحقق شخص آخر في المستقبل القريب مثل هذه النجاحات الخارجية والداخلية الهائلة، والذي يُبجل تقريبًا مثل أنصاف الآلهة في مجال عمله في جميع أنحاء العالم ويظل خجولًا تمامًا مثل مرشح لمنصب لاهوتي». ثم يتحول شرودنجر إلى «الموقف الحالي لبور تجاه مشكلة الذرة». «غريب حقًّا» هكذا يبدو له «إنه مقتنع تمامًا باستحالة الفهم بالمعنى العادي للكلمة. في الوقت نفسه، تتحول المناقشات دائمًا إلى أسئلة فلسفية، وسرعان

ما لم تعد تعرف ما إذا كنت تتبنى حقًّا وجهة النظر التي يعارضها وما إذا كان عليك حقًّا معارضة وجهة النظر التي يتبناها». يعترف شرودنجر. أن وجهة نظره أيضًا لم تتطور بعد بالكامل، لكنها تعارض تأكيد بور على أن «صور الموجة الواضحة عديمة الفائدة تمامًا مثل صور الجسيمات الواضحة». يلخص وجهة نظره على النحو التالي: «أعتقد أن قابلية فهم العمليات الطبيعية الخارجية هي بديهية. لا يمكن أن تتعارض التجارب مع بعضها بعضًا. إذا بدا الأمر كذلك، فإن أي روابط عقلية لا يمكن الدفاع عنها ببساطة. يبدو لي أنه من السابق لأوانه البحث عن هذه الأجزاء الأصعب في الأفكار الأكثر قابلية للتمسك بها حتى الآن، أعني في الأفكار العامة جدًّا للمكان والزمان والتفاعل بين نقاط الزمان والمكان، كل الأشياء التي لم تتغير في الواقع بشكل كبير من خلال نظرية النسبية العامة».

«ليس من السهل أن تكون متأكدًا تمامًا مما يعنيه بور»، يحدد شرودنجر كلامه: «ويرجع ذلك جزئيًّا إلى أنه غالبًا ما يتحدث لدقائق بطريقة خيالية تشبه الحلم وبصورة غير واضحة حقًّا، كما أنه يراعي مشاعر الآخرين». يعترف بور بأدب بإنجازات الخصم، لكنه يقول بصراحة: «إن اللعبة الموجية بأكملها يمكن أن تُسرق منه إذا كان المقصود منها ألا تكون أكثر من أداة حسابية مناسبة لحساب عناصر المصفوفة». لم يمنع الخلاف العلمي الخصوم من الإعجاب ببعضهم بعضًا. يختتم شرودنجر رسالته إلى فيين قائلًا: «على الرغم من كل هذه النقاط الخلافية، لكن العلاقة مع بور وهايزنبرج وبخاصةٍ الأخير، لم تكن مضطربة على الإطلاق، بل كانت رقيقة وودية، فقد كانوا لطيفين وطيبين معي ومهتمين بي ومنتبهين لي». مع بعد المسافة المكانية، وبعد أسابيع قليلة من النقاهة، خفت ذكرى المحنة والاستجواب.

في كوبنهاجن، يقوي التماسك وجود خصم مشترك. «نحن كوبنهاجنيون»، يطلق هايزنبرج هذه التسمية على نفسه وبور وزملائهما المتشابهين في التفكير. بعد نقاشاتهما مع شرودنجر، أصبح نيلز بور وفِرنر هايزنبرج «واثقين جدًّا» من أنهما «على المسار الصحيح» بحملتهما ضد التسليم بالواقع في فيزياء الكم؛ لا يمكن تفسير ما يحدث في الذرات بالمفاهيم التقليدية للموقع والحركة. لكنهما تذوَّقا أيضًا المعارك التي تنتظرهما.

كوبنهاجن 1927
العالم يصبح ضبابيًّا

كوبنهاجن، في خريف عام 1926. اختفى الابتهاج الذي شعر به هايزنبرج بعد زيارة شرودنجر. الآن هو الذي يتلقى أسئلة بور باستمرار. لا يمكنه التراجع. فقط درج من السلالم يفصل مكتب هايزنبرج عن مكتب بور. يمكن أن يظهر بور عند باب هايزنبرج في أي وقت، ويدخل مكتبه بغليونه ليبدأ أحد المونولوجات المخيفة.

يكافح نيلز بور وفِرنر هايزنبرج لإيجاد تفسير مشترك «كوبنهاجني» لميكانيكا الكم. يتفقان مع بعضهما بعضًا أحيانًا ويتصارعان ضد بعضهما بعضًا أحيانًا أخرى. الصيغ هناك ثابتة وقاطعة رياضيًّا. ولكن ماذا يقصدان عندما لا تنطبق المصطلحات القديمة مثل الموقع والسرعة؟ سرعان ما أدرك بور وهايزنبرج أنهما لا يتفقان كما اعتقدا.

يفضل هايزنبرج ترك أسئلة التفسير هذه وحدها. تتحدث النظرية عن نفسها، لكنه لا يريد أن يترك مسائل التفسير لبور أيضًا. إنها نظريته، اخترعها، ويحق له أن يُبدي رأيه في تفسيرها.

من ناحية أخرى، يعتبر بور هايزنبرج مفكرًا غير ناضج وحادًّا وخياليًّا وضحل فلسفيًّا. قد صيغت النظرية، والآن الحكمة مطلوبة. إذن هو بور، الرجل المناسب.

يقضي الرجلان ساعات في اليوم معًا، يلقيان المحاضرات، بور بطريقته العنيفة، بينما يحاول هايزنبرج المضطرب التدخل بشكل متزايد. في العديد من الأمسيات يواصلان الجدل من خلال نزهة عبر حديقة فلدباركن بجوار المعهد. حتى في شقته المفروشة بشكل جميل تحت السقف المنحدر لمعهد بور مع إطلالة على الأشجار في الحديقة، لم يترك هايزنبرج للراحة أبدًا. أحيانًا في وقت متأخر من الليل يكون نيلز بور أمام الباب وبيده زجاجة شيري لمناقشة تجربة فكرية للتوضيح أو التعليق على شيء قيل سابقًا. لا يعرف بور وقت الفراغ. ما ينبغي قوله يجب أن يقال على الفور.

يتفق الاثنان عندما يتعلق الأمر بإرفين شرودنجر. يصف شرودنجر الأنظمة الكميَّة بأنها موجات متدحرجة بلطف. يعتبر الجسيمات وقفزاتها سرابًا. إنهما يعتقدان أن شرودنجر قد سلك المسار الخطأ، بعد أن جذبه تفكير بالحنين إلى الماضي حول حقبة الفيزياء الكلاسيكية. ولكن الآن بعد أن أصبحت الطرق القديمة غير سالكة، يريد هايزنبرج تغيير الاتجاه بشكل جذري وبدء التفكير من الصفر. كما يعتقد أنه من أجل فهم الظواهر الكمومية، يتعين على الفيزيائيين تعلم لغة جديدة بالكامل.

يظن بور أن ادعاء هايزنبرج إعادة اختراع العالم الفيزيائي فيه مبالغة وطموح. الكميات المثبتة للميكانيكا الكلاسيكية -الموقع، السرعة، الطاقة- لا يمكن أن تُلغى ببساطة. نحن لا نعيش في عالم من المصفوفات والاحتمالات، ولكن نعيش في عالم فيه بشر وكراسي وبحيرات، حيث لكل الأشياء مكان ثابت، والأمواج موجات والجسيمات جزيئات، ومن خلال هذا العالم تستمر هذه المفاهيم في إرشادنا جيدًا. لا بد من وجود اتصال في مكان ما، وبطريقة أو بأخرى، يجب أن تتوافق قفزات العالم الكمي مع استمرارية العالم الكلاسيكي.

في مكان ما، وبشكل ما، يتساءل هايزنبرج؛ هل تأثر بور بالحزن الاسكندنافي. كأن الإحباط حالة مرغوبة. يبدو أن بور يعتقد بعدم إمكانية فهم ميكانيكا الكم من خلال الفيزياء الكلاسيكية، وفي الوقت نفسه يريد أن يبنيها على المفاهيم الكلاسيكية. كيف يمكن تحقيق ذلك دون تناقض؟ لكن يبدو أن بور يستمتع بالتناقض.

إذن أين تكمن المشكلة، يتساءل هايزنبرج. ميكانيكا الكم تسير بشكل جيد. توقعاتهما صحيحة دائمًا، بغض النظر عن عدد الخانات العشرية التي

يتحقق منها المُجرِّبون. ومع ذلك، تمكن بور مرارًا وتكرارًا من الكشف عن البقع المظلمة، ووضع إصبعه على الالتباسات المنطقية. يتذكر هايزنبرج لاحقًا: «أحيانًا، كان لديَّ انطباع بأن بور يحاول خداعي حقًّا. أتذكر أنني كنت أغضب قليلًا من ذلك في بعض الأحيان». إذا تمكن بور من خداعه بهذه السهولة، فربما يسيران بالفعل على أرض رخوة.

يسعى بور للحصول على الدعم من خلال ترك صورة الموجة والجسيم متساويتان. نعم، يتعارض كل منهما مع الآخر، لكنهما أيضًا يكملان بعضهما بعضًا ويؤديان معًا إلى صورة كاملة لما يحدث في الذرات.

يقاوم هايزنبرج هذا التفسير الخاطئ. لا يسع بور إلا أن يعتبر الحديث عن الموجات تنازلًا كبيرًا جدًّا لشرودنجر. لا يوجد ذكر للموجات في ميكانيكا الكم. يريد هايزنبرج «الإنصات إلى الرياضيات»، كما يقول بول ديراك. يعتقد هايزنبرج أن نظريته تفسر نفسها دون الحاجة إلى مزيد من الفلسفة. توفر ميكانيكا المصفوفة بالفعل تفسيرًا لبعض كمياتها؛ على سبيل المثال قيم المتوسط الزمني للطاقة، والعزم والزخم الكهربائي. يأمل هايزنبرج أن يستمر الأمر على هذا النحو لبقية الوقت، أن يتبع التفسير الصحيح «باستنتاج منطقي واضح» من الصيغ، دون مجال للنقاش.

عندما أعلن ماكس بورن عن تفسيره للاحتمالية في صيف عام 1926، لم يكن هايزنبرج سعيدًا. درس بورن التصادمات الذرية باستخدام ميكانيكا موجات شرودنجر وخمن أن دالة الموجة للإلكترون هي مقياس لاحتمال العثور على الإلكترون في موقع معين. «التفسير»، «التخمين»، هايزنبرج غير مرتاح لهذا. هل هناك مجال للشرح؟

مرت الأشهر، وبقي الخلاف قائمًا. في أثناء الوقت السابق لعيد الميلاد لعام 1926، كان هناك لغز واحد تحديدًا أقضَّ مضاجع بور وهايزنبرج خلال الأمسيات الطويلة؛ لغز آثار الغرفة السحابية.

الغرفة السحابية عبارة عن جهاز من الأزمنة القديمة للفيزياء الذرية، عندما كانت التجارب لا تزال عملًا يدويًّا. سمع عنه نيلز بور في عام 1911 عندما كان إرنست رذرفورد متحمسًا لاختراع الفيزيائي وعالم الأرصاد الجوية الاسكتلندي تشارلز ويلسون؛ صندوق مغلق وممتلئ بالهواء المشبع ببخار الماء. أراد ويلسون إنشاء غيوم اصطناعية لخلق ظاهرة الضوء في الغيوم

المضاءة بنور الشمس في المختبر، والتي تُسمى ظاهرة إكليل المجد[1]. قام بتمديد الهواء في الصندوق، مما أدى إلى تبريده وتكثف بخار الماء على جزيئات الغبار إلى قطرات صغيرة. عندما أزال ويلسون كل الغبار من الغرفة، كانت السحب لا تزال تتشكل في الداخل، من خلالها! التفسير الوحيد الذي يمكن أن يفكر فيه ويلسون هو أن الماء يتكثف على الأيونات في الهواء. عثر على الإشعاع الذي يجتاز الغرفة لتمزيق الإلكترونات من جزيئات الهواء، مما يؤدي إلى تأينها، تاركًا وراءها أثرًا من القطرات، على غرار طائرة نفاثة في السماء. قدم ويلسون للفيزيائيين أداة لمراقبة المسارات غير المرئية للجسيمات المشعة المنبعثة من المواد المشعة. الغرف السحابية هي سلف ضخم لأجهزة الكشف عن مسرعات الجسيمات اللاحقة.

في العشرينيات من القرن الماضي، كانت تقنية القياس لا تزال بعيدة جدًّا عن القدرة على اكتشاف الإلكترونات الفردية. لكن يمكن رؤية آثارها في الغرف السحابية، وهي مرئية بالعين المجردة، وفي الواقع تبدو مثل نفاثات الطائرات الصغيرة. كما يتوقع الفيزيائيون الكلاسيكيون.

لكن ليس فيزيائيي الكم في عشرينيات القرن الماضي، ولا فِرنر هايزنبرج وإرفين شرودنجر. مع ميكانيكا المصفوفة، يريد هايزنبرج إلغاء مسارات الجسيمات التقليدية في الذرات. في ميكانيكا موجات شرودنجر، انتشرت الإلكترونات عبر الفضاء بمرور الوقت. لكن في الغرفة السحابية، يبدو أنهم يقومون بعمل مسارات حادة. كيف يتوافق ذلك مع بعض؟

يتساءل هايزنبرج، هل يمكن للطبيعة أن تتصرف بهذا السخف حقًّا، كما يظهر في التجارب الذرية؟ يجيب بور بنعم بينما هو نفسه متردد في ذلك. الدور الرئيس الذي تلعبه الملاحظات والقياسات في تفسير ميكانيكا الكم يهزم كل محاولات إيجاد أنماط منتظمة أو علاقات سببية في الطبيعة.

---

(1) إكليل المجد ظاهرة بصرية، تشبه هالة القديس الأيقونية حول ظل رأس الراصد، الناتجة عن ضوء الشمس أو (نادرًا) ضوء القمر الذي يتفاعل مع قطرات الماء الصغيرة التي تتكون من ضباب أو غيوم. تتكون الهالة من حلقة واحدة أو أكثر متحدة المركز، باهتة بشكل متتالٍ، كل واحدة منها حمراء من الخارج وتزرق باتجاه المركز. في بعض الأحيان يُخلط بين هذه الظاهرة وقوس قزح، ولكن هذا الأخير له قطر أكبر بكثير وينتج عن عمليات فيزيائية مختلفة. [المترجم]

لا شيء من هذا يناسب هايزنبرج. ترهقه المناقشات مع بور، التي تضيع باستمرار في الضباب الفلسفي. غالبًا ما ينتهي بهم الأمر باليأس. يحب هايزنبرج أن يقول: «ينشأ العلم عبر المحادثات». لكنها محادثات ليست من هذا القبيل!

قضى بور وهايزنبرج الأسابيع الأولى من عام 1927 في مشاحنات دائمة غير مثمرة، كما كتب هايزنبرج لاحقًا: «وصلنا إلى حالة من الإرهاق الذي يسبب أحيانًا التوتر نظرًا إلى اختلاف وجهات النظر». لقد تحدثا مع بعضهما بعضًا عدة مرات لدرجة أنهما لا يتحدثان إلا عن أفكارهما فقط، مليئين بالإحباط الذي لا يسع أحد فهمه.

في فبراير، توقف إصرار بور وغادر لقضاء عطلة تزلج لمدة أربعة أسابيع في جولدبراندسدالِن في النرويج. كان من المخطط أن يحضر هايزنبرج معه، لكن لم يرغب أي منهما في معرفة أي شيء عن ذلك بعد الآن. إنهما بحاجة إلى الراحة والبعد عن بعضهما بعضًا.

أربعة أسابيع راحة من بور. يشعر هايزنبرج بالتحرر. يمكنه القيام بجولاته في الحديقة دون إزعاج أو الانجرار إلى محادثة مع بور. ينام بشكل أفضل وهو سعيد «لكي تتمكن من التفكير في هذه المشكلات الصعبة للغاية، ينبغي أن تكون بمفردك».

لكنه استمر في سماع اعتراضات بور تدوي في ذهنه. حسنًا، لنفترض أن بور كان على حق، فإن الموقع والسرعة لا يزالان لهما معنى، وإن لم يكن نفس المعنى الكلاسيكي. ما المعنى الذي يمكن أن يكون لها إذا كانت الجسيمات عبارة عن موجات أيضًا؟ كيف يمكن وضع هذا المعنى في شكل صيغ بدلًا من كلمات بور الضبابية؟

في إحدى الأمسيات، كان هايزنبرج جالسًا في شقته العلوية، دون إزعاج، يفكر في المصفوفات ومسارات الجسيمات. من ناحية هناك آثار الغرفة السحابية، مرئية للجميع. ومن ناحية أخرى، هناك ميكانيكا الكم، التي تنعدم فيها مسارات الجسيمات الكلاسيكية. هل النظرية خاطئة؟ لا، يصر هايزنبرج. إنه «مقنع تمامًا بالسماح بإجراء أي تغييرات». يبدو أن الفجوة بين النظرية والواقع لا يمكن تجاوزها.

لا يستسلم هايزنبرج في ذلك المساء. يجب أن يكون هناك ارتباط بين الجانبين. قرابة منتصف الليل، تتبادر إلى ذهنه ملاحظة من ألبرت آينشتاين. في الصيف الماضي، بعد أن ساروا عبر برلين معًا، طرح آينشتاين حجة آثار الغرفة السحابية ضد نظرية هايزنبرج. قال آينشتاين في ذلك الوقت: «قد يكون من المفيد من الناحية الاستكشافية أن نتذكر ما نلاحظه بالفعل، ولكن من وجهة نظر المبدأ، من الخطأ تمامًا أن تؤسس نظرية على الكميات التي يمكن رصدها فقط. لأنه في الواقع العكس، حيث تقرر النظرية فقط ما يمكن رصده». في ذلك الوقت مع آينشتاين، كان هايزنبرج في حيرة من التساؤل التالي: أيهما يأتي أولًا، النظرية أم الملاحظة؟ ومع ذلك، فإن ملاحظة هايزنبرج كانت أمرًا مفروغًا منه. عليك أن تكون قادرًا على رؤية ما تفكر فيه. أليست هذه مزحة البحث التجريبي؟

لكن الآن، عند التفكير في مسارات الجسيمات في الليل، تتخذ كلمات آينشتاين فجأة معنى مختلفًا لدى هايزنبرج؛ تحدد النظرية ما يمكن ملاحظته. قال هايزنبرج لاحقًا: «اتضح لي على الفور أن مفتاح البوابة التي كانت مغلقة لفترة طويلة يجب البحث عنه هنا».

هايزنبرج كان متحمسًا، لكن هذه المرة بفائدة. لم يبق جالسًا في مكتبه بعد الآن، نزل إلى حديقة فلدباركن. في هواء الليل الصافي، على المسارات المليئة بأشجار الدلب والزيزفون والجنكة، يفكر هايزنبرج في الأمور مرة أخرى؛ ما الذي تراه بالضبط عندما يطير الإلكترون عبر الغرفة السحابية؟ لا تراه يطير، لا ترى مسارًا ثابتًا على الإطلاق، فقط تقوم بتخيله في رأسك. يمكنك رؤية سلسلة من قطرات الماء الفردية التي تسبب تكاثفها في تنشيط الإلكترون. كل قطرة أكبر بكثير من الإلكترون. إنه أيضًا يتعلق فقط بالمكان الذي طار فيه الإلكترون. لذا فإن ما يُلاحظ في الواقع ليس مسارًا ثابتًا على الإطلاق، ولكنه «تسلسل منفصل لمواقع غير محددة بدقة للإلكترون». كيف انتقل من أحد هذه الأماكن إلى الأخرى التي لا نعرفها. مثلما لا نعرف ما يفعله الإلكترون عندما يقفز من مستوى طاقة إلى آخر في الذرة.

إذن ما الذي يحصل عليه عندما يضيف كلمة آينشتاين إلى كلمته؟ إذا سألت النظرية، ماذا يمكنك ملاحظته؟ في ظلام فلدباركن، يطرح هايزنبرج السؤال الرئيس: «هل يمكننا تمثيل موقف في ميكانيكا الكم يكون فيه الإلكترون تقريبًا -مع عدم الدقة- في موقع معين، وهو تقريبًا -وهذا مرة

أخرى مع بعض عدم الدقة- له سرعة معينة، وهل يمكننا جعل هذه الأخطاء صغيرة جدًّا بحيث لا نواجه صعوبات في التجربة؟».

يسارع هايزنبرج إلى المعهد، ويصعد الدَّرَج إلى مكتبه، ويمسك بالورقة والقلم، ويدون المعادلات، فيجد الإجابة: نعم يمكننا! على ما يبدو، أن ميكانيكا الكم تضع حدودًا لما يمكن قياسه ومعرفته. ولكن كيف تضع هذه الحدود، وأين؟

تحظر ميكانيكا الكم تحديد موضع الجسيم وسرعته بدقة في الوقت نفسه. يمكنك فقط قياس أحدهم بدقة الموقع أو السرعة، ولكن ليس كلاهما في الوقت نفسه. لذلك إذا كنت تريد أن تعرف بالضبط واحدة من هذه الكميات، فعليك بعقد صفقة مع الطبيعة والتخلي عن معرفة الأخرى. يمكنك فقط النظر إلى الذرات بإحدى عينين؛ عين الموقع أو عين السرعة. ولكن إذا فتحت كلتا العينين في الوقت نفسه، فستصبح رؤيتك ضبابية.

هذه هي الطريقة التي توصل بها فِرنر هايزنبرج إلى العلاقة بين عدم دقة الموقع والحركة، والتي اعتبرت منذ ذلك الحين جوهر ميكانيكا الكم: «مبدأ عدم اليقين». أي: لا يمكن أن يكون ناتج عدم اليقين بشأن الموضع والزخم أصغر من ثابت بلانك. إذا كان هايزنبرج على حق، فلا يمكن لأي تجربة على المستوى الذري التغلب على الحدود التي وضعها مبدأ عدم اليقين. بالطبع، لا يمكنه «إثبات ذلك» بدقة، لكنه متأكد منه، «لأن العمليات المتضمنة في التجارب، والملاحظات، يجب أن تتوافق مع قوانين ميكانيكا الكم».

نجح هايزنبرج فيما فشل فيه هو وبور معًا لعدة أشهر. سدَّ الفجوة بين رياضيات ميكانيكا الكم ومراقبة الغرفة السحابية. ومن بين كل الناس، أعطاه ألبرت آينشتاين، أعظم منتقديه، الدليل الحاسم: «فقط النظرية هي التي تقرر ما يمكن ملاحظته».

خلال الأيام القليلة المقبلة، سيتحقق هايزنبرج من قدرة الجسر على تحمل الوزن. إنه يختبر مبدأ عدم اليقين في مختبر أفكاره، ويخوض التجارب واحدة تلو الأخرى ليرى ما إذا كان يمكن خداع مبدأ عدم اليقين بطريقة ما. ربما باستخدام مجهر قوي لمراقبة إلكترون طائر، موقعه وسرعته في الوقت نفسه؟ لكن مثل هذا المجهر يجب تشغيله بأشعة جاما عالية الطاقة من أجل الحصول على دقة كافية، وأشعة جاما هذه ستخرج الإلكترون عن

المسار. معادلة القدرة التحليلية للمجاهر؛ قبل أربع سنوات، كادت أن تُنهي تلك الصيغة مسيرة طالب الدكتوراه فِرنر هايزنبرج. الآن يستخدمها لدعم أهم اكتشافاته.

يعمل هايزنبرج على كل هذا في أثناء تزلج بور في النرويج. كتب رسالة من 14 صفحة إلى فولفجانج باولي يشرح فيها اكتشافه بالتفصيل. يسعى للحصول على دعم باولي خوفًا من غضب بور. لم يرسل هايزنبرج إلى بور سوى ملاحظة موجزة يعلن فيها عن حدوث «تقدم».

يجيب باولي: «لقد بزغ فجر ميكانيكا الكم». تشجع هايزنبرج وتجرأ على التمرد، فصاغ رسالته الموجهة إلى باولي في مقال لتقديمه إلى مجلة «حوليات الفيزياء» للنشر قبل عودة بور من النرويج.

يقرأ بور المخطوطة بعد عودته، ويعيدها مرة أخرى بعناية أكبر، فيندهش أولًا، ثم يقلق. عندما يجتمع الاثنان لمناقشة الأمر، يكشف بور لهايزنبرج المذعور أن هناك شيئًا ما خطأ. يدَّعي بور أن هايزنبرج قد أخطأ في التجربة الفكرية باستخدام مجهر أشعة جاما. يرى هايزنبرج أن أشعة جاما هي تيار من الجسيمات. يقول بور إن الأمر خاطئ، إنها موجات. الجسيمات، تتناقض مع هايزنبرج. يصر بور أنها موجات. اللعبة القديمة المرهقة.

منذ ذلك الحين، وضع بور فكرته الخاصة للتغلب على مفارقات ميكانيكا الكم. يسميها «مبدأ المكاملة». يدعي أن هناك مواقف يمكننا فيها مشاهدة الحدث نفسه من منظورين مختلفين، على سبيل المثال الموجات والجسيمات. وجهات نظر متعارضة، لكنها أيضًا تكمل بعضها بعضًا، فقط وهي مجتمعة تصف تمامًا ما يحدث. هم «مكملون».

يعتقد بور أن فكرته هي الأفضل ومبدأ عدم اليقين لهايزنبرج مجرد حالة خاصة فقط. لم يعد يشعر هايزنبرج باحتدام الجدال. تمكن لبضعة أيام من تجنب المزيد من المناقشات مع بور. يأمل بور أن يرى هايزنبرج خطأه. لكن هايزنبرج لا يزال صامدًا. يحثه بور على سحب مقالته. انفجر هايزنبرج بالبكاء. يتألم عندما ينفصل الابن عن أبيه.

يشعر بور أيضًا أن هذا يكفي، ويتفق الاثنان على أنهما يقصدان الشيء نفسه تقريبًا. يكتفي بور بأن يذكر هايزنبرج اعتراضاته في «إضافة تصحيح» لمقالته. بناءً على طلب هايزنبرج، أرسل بور ورقته البحثية حول مبدأ عدم

اليقين إلى ألبرت آينشتاين في أبريل 1927، مع رسالة مدح. آينشتاين لا يجيب. هذه هي الطريقة التي ظهر بها تفسير ميكانيكا الكم، والذي سيُطلق عليه لاحقًا «تفسير كوبنهاجن»، مما أثار انزعاج ماكس بورن من جوتنجن؛ المصفوفات، الاحتمالات، مبدأ عدم اليقين، الموجات، الجسيمات، المكاملة، كل شيء فيه.

في مساهمته، يتحدى فِرنر هايزنبرج المبدأ الذي يعتبره ألبرت آينشتاين وإرفين شرودنجر أساس الفيزياء؛ السببية. يكتب: «في الصياغة الواضحة لقانون السببية؛ (إذا عرفنا الحاضر بدقة، يمكننا حساب المستقبل) ليس الخطأ في النتيجة، لكن في الافتراض المسبق». لا يمكننا معرفة الحالة الراهنة. لا يمكننا حتى معرفة موقع الإلكترون وسرعته بالضبط في الوقت نفسه، لذلك يمكننا فقط حساب احتمالات عدد كبير من الاحتمالات لمواقع الإلكترون وسرعاته المستقبلية. «وبالتالي فإن بطلان قانون السببية حددته في النهاية ميكانيكا الكم»، كما جاء في الجملة الأخيرة من الورقة البحثية. لم يجرؤ آينشتاين على الذهاب إلى هذا الحد في ثورته للمكان والزمان من خلال نظرية النسبية. لم يعد نفسه عالم الساعة[1] الذي تصوره نيوتن من قبل، ولم تعد تسري جملة إيمانويل كانط «كل التغييرات تحدث وفقًا لقانون العلاقة بين السبب والنتيجة».

كتب هايزنبرج: «الأمل في وجود عالم حقيقي، يسري فيه قانون السببية خلف العالم الإحصائي المدرك، هو أمر غير مثمر أو مجدٍ. يجب أن تصف الفيزياء شكليًّا فقط العلاقة بين التصورات».

حان الوقت لمغادرة هايزنبرج، لقد تعلم في كوبنهاجن بما فيه الكفاية. شغل المنصب الذي قدمته له جامعة لايبتسيج في العام السابق، وفي سن الخامسة والعشرين، أصبح أصغر حاصل على لقب الأستاذية في ألمانيا. لكن بعد مغادرته كوبنهاجن شعر بالندم وكتب رسالة إلى بور في يونيو 1927، اعترف فيها بالخجل لأنه «بدا جاحدًا للغاية نحوه». كتب له: «ما زلت

---

(1) في تاريخ العلم، كان هناك تصور للكون أنه يعمل كتروس ساعة ميكانيكية عظيمة، تحكمها قوانين الفيزياء، حيث يمكن التنبؤ بكل جوانب الآلة. شاعت هذه الفكرة خلال عصر التنوير، عندما اشتق إسحاق نيوتن قوانينه للحركة، وأظهر أنه مع قانون الجاذبية الكونية، يمكن التنبؤ بسلوك كل من الأجسام الأرضية والنظام الشمسي. [المترجم]

أفكر في الأمر كل يوم تقريبًا كيف حدث كل شيء، وأشعر بالخجل من عدم إمكانية سير الأمور بأي طريقة أخرى». في وقت لاحق من العام نفسه، سافر هايزنبرج إلى كوبنهاجن مرة أخرى ليجتمع مع بور للتصالح.

يستغرق علماء الفيزياء الآخرون بعض الوقت لتقدير أهمية مبدأ عدم اليقين. يقول بعض المُنظِّرين أن ماكس بورن قد ألغى السببية قبل عام. ويعتبر بعض المُجرِّبين مبدأ عدم اليقين بمنزلة تحدٍّ للحصول على صورة أوضح للظواهر الكمية باستخدام معدات متطورة. هذا سوء فهم، لا يبدو العالم ضبابيًّا فحسب، لكنه غير واضح تمامًا. يقول فِرنر هايزنبرج: «علينا أن ندرك أن كلماتنا غير مناسبة».

كومو 1927
البروفة النهائية

صيف عام 1927 على بحيرة كومو، في أقصى شمال إيطاليا على الحدود السويسرية. هذا هو المكان الذي يحب اللاهوتي رومانو جواردِيني قضاء إجازته الصيفية فيه. يقلقه تسارع التقدم العلمي. يصف جواردِيني العصر الحديث بأنه حقبة «يشعر فيها أن كل زيادة في القوة التقنية المرتبطة بالمعرفة هي مكسب». لكنه يقول: «اهتز يقين تلك القناعة». الآن لم يعد الأمر يتعلق بزيادة القوة من خلال المزيد من المعرفة، ولكن حول ترويضها. وحذر جواردِيني من أن «الكارثة العالمية» ستهدد بخلاف ذلك.

بجوار كومو، يلتقي الفيزيائيون هذا الصيف وكلهم تعطش شديد للمعرفة، بمن فيهم بعض الذين سيطورون القنبلة الذرية لاحقًا؛ فِرنر هايزنبرج وإنريكو فيرمي، الموهبة العظيمة للفيزياء الإيطالية، وكلاهما يبلغ من العمر 25 عامًا. عند وصول نيلز بور، لا يزال يعاني صعوبة تفسير ميكانيكا الكم. هناك فولفجانج باولي وماكس بورن وهندريك لورنتس وأرنولد زومرفِلد ولويس دي بروي وماكس بلانك وآرثر كومبتون وجون فون نيومان. ذكرت مجلة الفيزياء أن علماء الفيزياء من 14 دولة سيجتمعون معًا في كومو: من سويسرا والسويد والولايات المتحدة الأمريكية وإسبانيا وروسيا وهولندا وإيطاليا وإنجلترا والهند وألمانيا وفرنسا والدنمارك وكندا والنمسا.

يلتقون بمناسبة مرور 100 عام على وفاة ألساندرو فولتا، مخترع البطارية المولود في كومو والذي يحمل الاسم نفسه لوحدة الفولت. إنه البرنامج الداعم لـ «معرض مئوية فولتا»، حيث تصنف حكومة دوق الفاشية بنيتو موسوليني عالم الطبيعة كبطل قومي.

ألبرت آينشتاين مُفتقد، رافضًا أن تطأ قدمه إيطاليا الفاشية. كما امتنع عن الذهاب إرفين شرودنجر أيضًا. لقد خلف ماكس بلانك قبل ذلك بأسابيع قليلة وهو منشغل في إقامته ببرلين. سيتعين على بور الانتظار لمدة شهر آخر قبل أن يتمكن من مقابلة الاثنين في بروكسل.

لقد مرت ستة أشهر منذ أن كتب فِرنر هايزنبرج مقالته الرائدة حول مبدأ عدم اليقين. منذ ذلك الحين، يعمل نيلز بور على مقالته الخاصة، يكتب ويستكتب. بعد أن استنفد هايزنبرج مناقشاته معه، فرَّ من كوبنهاجن إلى لايبتسيج، كان على مساعد بور الجديد أوسكار كلاين تحمل تمتمات بور اليومية. يفكر بور بصوت عالٍ في مبدأ عدم اليقين، بهدوء وبجهد، يكافح مع المعادلات، ويحاول مع العبارات. في المساء يكتب كلاين ما التقطه من بور. في اليوم التالي، يتجاهل بور ملاحظات كلاين ويبدأ من جديد. عندما يغادر بور وأسرته إلى موطنهم الريفي على الساحل شمال كوبنهاجن لقضاء الصيف هناك، يتعين على كلاين مرافقتهم. تستمر المشقة. حتى مارجريت بور، التي تجسد الهدوء والبهجة، تصل إلى حدود قدرتها العصبية على الصمود، وأحيانًا تنفجر بالبكاء، ليس بسبب تناقض الموقف العلمي لزوجها مثل هايزنبرج، ولكن بسبب غيابه الذهني. كان من المفترض أن تكون إجازة عائلية، والآن يتركها نيلز بمفردها مع الأطفال الخمسة.

يتحدث نيلز بور في 16 سبتمبر 1927 في القاعة الرائعة المكسوة بألواح خشبية في معهد كاردوتشي. صحح مخطوطته مرارًا وتكرارًا وأعادها إلى كومو غير مكتملة. يصلح ويعدل حتى النهاية، يأتي إلى المنصة بملاحظاته المليئة بالحذف والإضافات والهوامش والأسهم، وينظر بإيجاز، ويجمع، ويبدأ الحديث بالإنجليزية لكن بلكنة دنماركية، بهدوء شديد لدرجة أن العديد من المستمعين يميلون إلى الأمام بشكل لا إرادي. في الصفوف الخلفية، يكاد يستحيل فهم كلماته بوضوح. لأول مرة يتحدث بور علنًا عن مفهومه لمبدأ المكاملة. ثم يشرح مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج، وأخيرًا يشرح دور القياسات في تفسير ميكانيكا الكم. كل من هذه المواضيع كان سيملأ محاضرة خاصة

بسهولة. كل منها تَعْجِيز، حتى بالنسبة للجمهور المطلع. لا يتضح ارتباطهم معًا، لكن بور يربطهم ببراعة، وينسجهم مع دالة شرودنجر الموجية ونظرية بورن للاحتمالات. إنه يحاول إلقاء الرمية الكبيرة؛ مفهوم فيزيائي جديد لميكانيكا الكم. الجمهور مرتبك ومنبهر في الوقت نفسه. «تفسير كوبنهاجن»، هذه المجموعة من الأفكار والشكليات المرتبة بأناقة قدر الإمكان، تجد مكانها بين مفردات الفيزيائيين لهذا اليوم.

محاضرة بور هي جوهر الصراع الذي دام شهورًا مع هايزنبرج حول تفسير ميكانيكا الكم. يبدأ من فكرة أن كل قياس يزعج النظام الذي يُقاس. هذا واضح. يذهب أبعد من ذلك إلى فكرة أن القياس في ميكانيكا الكم يحدد الكمية المقاسة. ما ينتج عن القياس يعتمد على ما تقيسه. وهذا واضح أيضًا. ومع ذلك، فقد أظهر هايزنبرج أن قياس كمية واحدة يمنع تحديد كميات أخرى. بينما يزيد القياس من معرفة النظام الذي يُقاس من ناحية، فإنه يقلل المعرفة في نواحٍ أخرى. كل من يعرف موقع الجسيم لا يمكنه معرفة زخمه، وما هو أكثر من ذلك، كما يقول بور في عباراته المزعجة والمؤلمة، ليس له زخم، ليس حتى تقيسه، لكن في هذه الحالة يضيع الموقع.

لجعل الأمور أكثر قابلية للفهم، يقدم مفهومه عن المكاملة. لا يمكن فهم النظام الكمي إلا عبر التناقضات. موجة وجسيم، موقع وزخم. إنهم لا ينسجمون معًا، ومع ذلك فهم يكملون بعضهم بعضًا. المراوغة. يتوقع بور من مستمعيه أن يصنعوا عبارات مثل هذه: «وفقًا لجوهر نظرية الكم، يجب أن نكتفي بمعالجة تمثيل الزمكان ومتطلبات السببية، التي يعتبر الجمع بينهما سمة من سمات النظريات الكلاسيكية، على أنها تكميلية ولكن بميزات حصرية متبادلة، وصف محتوى التجربة، والتي ترمز إلى إضفاء المثالية على إمكانات الملاحظة أو التعريف».

يجب أن تصلح المكاملة تلك التناقضات، توفق بين كلٍّ ما يبدو متناقضًا، مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج، واحتمالات بورن، وموجات شرودنجر، التي ليست بأي حال من الأحوال نفس الموجات الكلاسيكية كما يقول بور، لأنها تتأرجح فقط بشكل متوقع ما دامت لا تُقاس. قبل كل شيء، يجب أن يوفق كل هذا مع مبدأ بور للمطابقة، وهو أساس تفكيره الكمِّي؛ كل وصف عملي لسلوك وخصائص نظام كمِّي يجب أن يكون في النهاية قابلًا للتحويل إلى

لغة الفيزياء الكلاسيكية. نحن لا نلاحظ الضبابية المحتملة، ولا نقيس التعتيم. ينتج عن التجارب قيم محددة.

ماذا يعني بور بهذا؟ لا أحد يفهمه تمامًا، ربما حتى هو نفسه، بعض المستمعين في حيرة من أمرهم، ويظن آخرون أن بور أراد أن يخبرهم شيئًا يعرفونه بالفعل، لكن بطريقة غير مفهومة تمامًا.

وقف ماكس بورن بعد المحاضرة ليعبر عن موافقته. النظرية قاطعة، يمكنك حسابها والتنبؤ بها، وهذا يكفيه. ثم تحدث فِرنر هايزنبرج. قلة من الجمهور يعرفون المعارك التي خاضها، مخترع ميكانيكا الكم، مع معلمه بور في الأشهر السابقة. يبدو أنهم استقروا الآن. لم يعد هايزنبرج يقاوم. كل ما تبقى لديه هو الثناء والشكر لبور.

لم يعترض أحد. آينشتاين وشرودنجر، اللذان كان بإمكانهما فعل ذلك، غير حاضرين. هذه هي الطريقة التي بدأ بها تفسير بور لميكانيكا الكم في إثبات نفسه، بسبب نقص المقاومة.

يعد بور نسخة مكتوبة من محاضرته لمجلة العلوم الإنجليزية «نيتشر»[1]، ومرة أخرى إنها عملية ولادة عسيرة تستمر لبضعة أشهر. يدون ويحذف ويراجع. يساعده فولفجانج باولي. محررو مجلة نيتشر يتساءلون ويتوسلون. يعتذر بور عن التأخير. لكنه يصر على عباراته التي على هامش القواعد اللغوية: «في الواقع، نجد أنفسنا هنا على نفس المسار الذي سلكه آينشتاين لتكييف أنماط إدراكنا المستعارة من الأحاسيس إلى المعرفة المتعمقة تدريجيًا لقوانين الطبيعة». يصل المقال إلى مرحلة الطباعة. يقدِّم المحررون تعليقًا على نص بور، عبروا فيها عن أملهم في ألا يكون مفهوم بور هو الكلمة الأخيرة في ميكانيكا الكم، لأنه لا يمكن على ما يبدو أن «يُصاغ بلغة واضحة».

اجتماع كومو هو بروفة المواجهة الكبيرة التي لم تأت بعد. بعد أسابيع قليلة من انصراف الفيزيائيين من كومو، اجتمعوا في بروكسل لمناقشة «الإلكترونات والفوتونات» في اجتماع سولفاي الخامس. هذه المرة حضر هناك ألبرت آينشتاين وإرفين شرودنجر.

---

(1) نيتشر مجلة دورية علمية أسبوعية بريطانية تصدر بالإنجليزية، وتعد من أبرز الدوريات العلمية في العالم وقد نشرت لأول مرة في 4 نوفمبر 1869. من أهم اختصاصاتها مجالا الفيزياء والأحياء. [المترجم]

بروكسل 1927
الجدل الكبير

هندريك أنطون لورنتس، الفيزيائي الهولندي، رجل طيب، يحظى باحترام كبير لأسلوبه الودود والمدروس، ويتحدث الألمانية والإنجليزية والفرنسية بطلاقة. وصفه ألبرت آينشتاين ذات مرة بأنه «معجزة الذكاء والبراعة، عمل فني حي!». في 2 أبريل 1926، كان لورنتس في لقاء خاص مع الملك البلجيكي ألبرت الأول. إنها مهمة حساسة. طلب لورنتس من الملك الإذن بدعوة علماء الفيزياء الألمان إلى بلجيكا.

ألبرت الأول، المعروف باسم الملك الفارس، ليس على علاقة جيدة مع الألمان. بدأت الحرب العالمية الأولى في عام 1914 عندما غزت القوات الألمانية بلاده المحايدة. كقائد لجيش الفلاندر، قاد ألبرت الهجوم الأخير ضد القوات الألمانية، الذي حرر غرب بلاده منهم حتى الهدنة في 11 نوفمبر 1918. ليس لديه أي نية للسماح لألماني أن تطأ قدمه مرة أخرى التراب البلجيكي.

لكن استخدم لورنتس طبيعته اللبقة والجذابة وتلقى موافقة الملك على دعوة علماء الفيزياء الألمان لحضور مؤتمر سولفاي الخامس في بروكسل، والذي يُعلن عنه في خريف العام المقبل. أقنع لورنتس، رئيس اللجنة العلمية للمؤتمر، ألبرت الأول أنه بعد سبع سنوات من الحرب، حان الوقت لتبني موقف تصالحي تجاه الألمان والعمل من أجل فهم أفضل. يمكن أن يلعب العلم دورًا رائدًا في هذا. بالإضافة إلى ذلك، من الصعب على المدى الطويل مقاطعة العلماء الألمان، بعد كل ما حققوه في الفيزياء. في يوم المقابلة، كتب لورنتس لآينشتاين عن إنجازه الكبير.

مؤتمر سولفاي، بروكسل 1927.

الوقوف من اليسار إلى اليمين:

أوجست بيكارد، إميل هنريوت، باول إرنفست، إدوارد هيرتسن، تيوفيل دي دوندر، إرفين شرودنجر، بولس إيميل فرشافلت، فولفجانج باولي، فرنر هايزنبرج، رالف هاورد فاولر، ليون بروين.

الجلوس في الصف الثاني من اليسار إلى اليمين:

بيتر دباي، مارتن كنودسن، ويليام لورانس براج، هندريك أنتوني كرامرز، بول ديراك، آرثر هولي كومبتون، لويس فيكتور دي بروي، ماكس بورن، نيلز بور.

الجلوس في الصف الأول من اليسار إلى اليمين:

إيرفينج لانجموير، ماكس بلانك، ماري كوري، هندريك أنطون لورنتس، ألبرت آينشتاين، بول لانجفين، تشارلز يوجين جوي، تشارلز تومسون ريس ويلسون، أوين ويلانز ريتشاردسون.

Solvay-Konferenz (AKG5468844; © akg-images)

تغيير مثير للقلب، لأنه في الواقع قد همَّشت العديد من البلدان العلماءَ الألمان منذ الحرب. إنهم معزولون، مطرودون من المجتمع العلمي الدولي. الألماني الوحيد الذي تمت دعوته إلى مؤتمر سولفاي الثالث في أبريل 1921 هو ألبرت آينشتاين، وهو في الواقع ليس بذلك الألماني على الإطلاق. لكن آينشتاين اختار عدم حضور المؤتمر احتجاجًا على طرد مواطنيه. وبدلًا من ذلك، ذهب في جولة محاضرات في الولايات المتحدة لجمع الأموال لإنشاء الجامعة العبرية في القدس. بعد ذلك بعامين أعلن أنه سيرفض دعوة لحضور مؤتمر سولفاي الرابع بسبب المقاطعة المستمرة للعلماء الألمان. كتب إلى لورنتس: «في رأيي، ليس من الصواب إدخال السياسة في الشؤون العلمية، ولا ينبغي تحميل الأفراد مسؤولية حكومة الدولة التي ينتمون إليها».

الآن يستطيع هندريك لورنتس إقناع الملك بأن طريق المصالحة هو الأفضل، ويسمح للألمان بالحضور. لورنتس نفسه لم يتوقع هذا النجاح. منذ عام 1925، كان رئيسًا للجنة الدولية للتعاون الفكري، وهي هيئة تابعة لعصبة الأمم -خلفًا لهنري برجسون- وقد قام حتى الآن بتقييم التوقعات بشكل سيئ بحيث يُسمح للعلماء الألمان قريبًا بالسفر لحضور مؤتمرات دولية مرة أخرى.

لكن بعد ذلك تغير الحال. في أكتوبر 1925، بعد شهور من التحضير من قبل الدبلوماسيين الألمان والفرنسيين والبلجيكيين، جرى التفاوض بشأن معاهدات لوكارنو في قصر أنيق على بحيرة ماجوري. يتفقون على ضمان الحدود بين دولهم والتحكيم في حالة الخلاف. مهدت المعاهدات الطريق لانضمام ألمانيا إلى عصبة الأمم في أكتوبر 1926. تعافت ألمانيا تدريجيًّا من الحرب العالمية الأولى. تفسح أزمة ما بعد الحرب الطريق للأفكار الجديدة وأشكال الفن والتطورات التقنية. يتعجب الناس من الطيران وقيادة السيارات والتحدث في الهواتف والذهاب إلى السينما.

بعد سنوات من القومية، تجتاح العالم روحٌ دولية جديدة. في مايو 1927، أصبح شاب أمريكي يدعى تشارلز لندبرج أشهر شخص في العالم. سافر من نيويورك إلى باريس على متن طائرته «روح سانت لويس»، المصنوعة من الفولاذ الأنبوبي وخشب التنوب المُغطى بالبلاستيك، ويغذيها 1700 لتر من البنزين، وكان معه أمتعة أقل من هايزنبرج في رحلته إلى هِلجولاند؛ فقط خمس شطائر. قال لندبرج: «إذا وصلت إلى باريس، فلن أحتاج إلى المزيد،

وإذا لم أصل إلى باريس، فلن أحتاج إلى أكثر من ذلك أيضًا». لندبرج أصغر من هايزنبرج بشهرين.

في ظل روح التفاؤل هذه، اقتنع ألبرت الأول بفتح البلاد أمام العلماء الألمان مرة أخرى، وبدأ لورنتس، بدعم من آينشتاين، في التخطيط لمؤتمر سولفاي الخامس. العنوان الرسمي هو «الإلكترونات والفوتونات»، لكن بشكل غير رسمي كانت ميكانيكا الكم هي الموضوع المهيمن. نشر هايزنبرج مبدأ عدم اليقين قبل أقل من ستة أشهر، والآن ستُعقد مفاوضات حول كيفية المضي قدمًا. سيكون المؤتمر الأكثر شهرة في تاريخ الفيزياء، وبعد قرن من الزمان سيظل علماء الفيزياء يتحدثون عنه، وعن الجدال بين أهم الفيزيائيين في ذلك الوقت والذي بدأ في بروكسل؛ النقاش بين نيلز بور وألبرت آينشتاين. كتب الباحث والكاتب الإنجليزي تشارلز بيرسي سنو فيما بعد: «لم يحدث أي نقاش فكري عميق على الإطلاق».

انعقد مؤتمر سولفاي الخامس في الفترة من 24 إلى 29 أكتوبر 1927 في بروكسل، مقر المجموعة الكيميائية سولفاي، التي يعتمد مصدر دخلها على إنتاج كربونات الصوديوم، المادة الخام لصناعة المنظفات. قام إرنست سولفاي، الذي أسس الشركة في عام 1863 مع شقيقه ألفريد، بتطوير «عملية سولفاي»[1]. وهو أيضًا راعي المشاريع الاجتماعية والتعليمية وأسس مؤتمرات سولفاي في عام 1911. إنها تجمعات رائعة؛ لا يمكن التسجيل في مؤتمر سولفاي، الحضور بدعاوى فقط. المؤتمر الخامس هو الأفضل حضورًا. سيحصل 17 من 29 مشاركًا على جائزة نوبل قبلها أو بعدها. حتى المرأة الوحيدة المشاركة حصلت على جائزتي نوبل؛ إنها ماري كوري. وحضر أيضًا حبيبها السابق بول لانجفين، الذي كانت في علاقة معه ذات يوم.

يحضر جميع الفيزيائيين تقريبًا ممن لديهم ما يقولونه عن فيزياء الكم إلى بروكسل؛ ماكس بلانك، وألبرت آينشتاين، وباول إرنفست، وماكس بورن، ونيلز بور، وإرفين شرودنجر، ولويس دي بروي، وهيندريك كرامرز،

(1) عملية سولفاي ويطلق عليها أيضًا اسم عملية أمونيا-صودا هي عملية كيميائية لإنتاج كربونات الصوديوم، طورت من قبل الكيميائي إرنست سولفاي خلال ستينيات القرن التاسع عشر، وحلت محل عملية لوبلان. مكونات هذه العملية متوافرة غالبًا، وهي عبارة عن محلول أجاج ملحي وحجر جيري. [المترجم]

وفولفجانج باولي، وفِرنر هايزنبرج، وبول ديراك. إنها المرة الوحيدة التي يجتمعون فيها جميعًا في المكان نفسه. شخص واحد فقط مفتقد؛ أرنولد زومرفِلد. تحدث خلال الحرب مؤيدًا احتلال بلجيكا فلم تتم دعوته.

مثل ألبرت آينشتاين، هذه هي المشاركة الأولى لنيلز بور في مؤتمر سولفاي. في عام 1921 كان مريضًا، وفي عام 1924 رفض الدعوة. كان يخشى أنه إذا ذهب قد يفسر على أنه اتفاق ضمني لاستبعاد الألمان.

تحلق في الأجواء توقعات كبيرة عندما يجتمع نجوم فيزياء الكم في 24 أكتوبر 1927، صباح يوم الاثنين الرمادي الملبد بالغيوم في الساعة 10 صباحًا في المعهد الفسيولوجي في ليوبولد بارك في بروكسل.

يرحب هندريك لورنتس بالمشاركين ويعطي الكلمة لويليام لورانس براج، خليفة إرنست رذرفورد في قسم الفيزياء بجامعة مانشستر. يبلغ براج 37 عامًا، أسترالي خجول وعصبي، حصل على جائزة نوبل في سن 25 عامًا، مع والده، لتحليل الهياكل البلورية باستخدام الأشعة السينية. بدقة وهدوء وبعض الملل، أفاد بلهجته الأسترالية العامة، كيف تلقي أحدث بيانات هذه التحليلات الضوء على بنية الذرات. تدور مناقشة صغيرة حول المادة الجافة. لدى كل من هايزنبرج وديراك وبورن ودي بروي أسئلة وتعليقات. يتحدث لورنتس الألمانية والإنجليزية والفرنسية بطلاقة، ويترجم للذين لا يجيدون اللغة. ثم يذهب الجميع لتناول الغداء معًا.

في فترة ما بعد الظهر، يتحدث الأمريكي آرثر كومبتون، 35 عامًا، عن التجارب التي أجراها على الإلكترونات والأشعة السينية. كومبتون فيزيائي تجريبي، لكنه ليس فأر مختبر. إنه مهتم بالأسئلة الفلسفية مثل الإرادة الحرة وتصميم شكلًا جديدًا أكثر ليونة لمطبات السرعة. قبل أسابيع قليلة حصل على جائزة نوبل. ومع ذلك، فإن تواضعه يفرض عليه الامتناع عن استدعاء تقليل وتيرة الأشعة السينية عندما تتشتت بواسطة الإلكترونات، وهو ما يُعرف على نطاق واسع باسم «تأثير كومبتون».

تحتوي محاضرات براج وكومبتون على رسالة مشتركة. بدأت نظرية الكهرومغناطيسية التي صاغها جيمس كليرك ماكسويل في القرن التاسع عشر، والتي ترسخت منذ ذلك الحين، في التعثر الآن. لا يمكن تفسير الظواهر التي لاحظها براج وكومبتون بمساعدتها. عندما تفشل، يمكن للكميات

الخفيفة لآينشتاين التوفيق بين النظرية والتجربة. لكن في نهاية اليوم الأول، كان آينشتاين الوحيد من بين علماء الفيزياء البارزين الذي لم يقل شيئًا. وقت كلامه لم يأت بعد.

بعد بعض التردد، رفض ألبرت آينشتاين الدعوة لعرض موقفه من ميكانيكا الكم في محاضرة. كتب إلى لورنتس أنه «لم يكن مؤهلًا»، وشعر أنه تخلف عن الركب بسبب «التطورات العاصفة في فيزياء الكم»، ولم يتمكن من المشاركة بالطريقة التي ستكون مطلوبة من أجل مساهمة كبيرة: « لقد تخليت عن رغبتي في ذلك الآن». ومع ذلك، فإن آينشتاين لا يقول الحقيقة كاملة بهذا. إنه بالتأكيد يريد المشاركة. يستمع بهدوء في انتظار فرصته.

على الجانب الآخر نيلز بور، القامة الثانية لفيزياء الكم. لم يقدم أيضًا تقريرًا في بروكسل عام 1927، ولم يروج للتطور النظري لميكانيكا الكم مؤخرًا. لكن لديه عبئًا موجهًا نحوه. فقد توصل هايزنبرج وباولي وديراك إلى هذه النظرية.

لكن مؤتمر بروكسل ليس مجرد عرض للنظرية، لكنه يتعلق بتفسير النظرية. ما هو نوع العالم الذي يصفونه؟ ماذا عن الأسباب والآثار الموجودة فيه؟ هل سيظل القمر موجودًا عندما لا ينظر إليه أحد؟ كانت مثل هذه الأسئلة حتى الآن من اختصاص الفلاسفة. أصبح يتعين على الفيزيائيين الإجابة عنها من أجل فهم نظريتهم الخاصة. بور مقتنع بأنه يعرف الإجابات.

الآن يريد إقناع آينشتاين. بور متحمس. كيف سيكون رد فعل آينشتاين على آخر التطورات في فيزياء الكم؟ حكم آينشتاين يعني الكثير لبور لأن آينشتاين ما زال «بابا» الفيزياء.

خلال المؤتمر، يصبح خط الصراع بين المشاركين واضحًا؛ فيزياء الكم القديمة مقابل الجديدة. دافع ألبرت آينشتاين، وإرفين شرودنجر، وماكس بلانك، وهندريك لورنتس، القدامى، عن النظام الراسخ للفيزياء الكلاسيكية، حيث تتدحرج الموجات بلطف وتتحرك الجسيمات في مدارات ثابتة. إنهم «واقعيون» يريدون وصف العالم كما هو.

يتوق «العازفون» الشباب، بخاصةٍ فِرنر هايزنبرج وفولفجانج باولي وبول ديراك، إلى تطوير ميكانيكا الكم، وتطبيقها على الأسئلة المفتوحة حول

الذرات والإشعاع. إنهم يفتقرون إلى الصبر على أي شيء يتسم بالفلسفة أو الدلالات أو الملل.

فقط نيلز بور يرفض الانتماء إلى أحد هذه التكتلات. الشباب المتهورون هم طلابه. لكنه لا يستطيع أن يتجاهل اعتراض آينشتاين، احترامًا لصديقه القديم ولأنه نفسه متشكك فلسفي.

يبدأ يوم الثلاثاء هادئًا بحفل استقبال في الجامعة الحرة في بروكسل. لكن تصبح الأمور جدية بعد استراحة الغداء. يتحدث نجل الدوق لويس دي بروي عن «الديناميكيات الجديدة للكميات». يروي بالفرنسية كيف توصل إلى فكرة جريئة مفادها أن كل المادة تتكون من موجات وكيف وسع إرفين شرودنجر هذا النهج ليشمل ميكانيكا الموجات. في غضون ذلك، كان قد تمعن في الأمر أكثر، وقدم تطويره الإضافي لهذه الفكرة، والتي أنصفت حالة ميكانيكا الكم. باستخدام معادلة شرودنجر بحكمة، أعاد تخيل ميكانيكا الكم دون تغيير الرياضيات. يرفض حديث بور الغامض عن «المكاملة»، الذي يرى أن الموجة والجسيم هما صورتان معاكستان وغير مكتملتين ومتكاملتين للكميات. بدلًا من ذلك، يتحدث عن عالم كمي تتعايش فيه الموجات والجسيمات بسلام.

يحاول دي بروي فيما لم يحاوله أحد من قبله؛ بناء جسر بين ميكانيكا الموجات ومعسكر كوبنهاجن. يعترف بحذر أن هناك شيئًا ما في تفسير بورن للاحتمالات، وعلينا الآن أن نرى كيف تتناسب جميعها معًا. يرسم دي بروي الخطوط العريضة لنظرية يتم فيها «توجيه» الجسيمات بواسطة الموجات، كما يسميها «موجهة». يسمح له هذا بالحفاظ على الموجات وفي الوقت نفسه إعادة موقع الجسيمات، حتى لو كان هذا الموقع «متغير خفي»، مخفيًّا من ميكانيكا الكم. لا يتصرف الإلكترون، كما يدعي أهل كوبنهاجن، إما كموجة وإما كجسيم؛ لا، كلاهما في الوقت نفسه، جسيم ينزلق على طول الموجة مثل راكب الأمواج. يسمي دي بروي مقاربته، «نظرية الموجة التجريبية». تتصرف جسيمات دي بروي بشكل حتمي تمامًا ولا تزال ترضي مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج لأن مساراتها مخفية عن الأنظار. لا يمكن لأي قياس التقاط حركاتهم بالكامل، تمامًا كما يدعي هايزنبرج. يكاد يكون بمنزلة خدعة سحرية. يمكن الاحتفاظ بالركيزتين الأساسيتين للفيزياء منذ القدم؛ السببية والحتمية، ومعهما ميكانيكا الكم واتفاقها المذهل مع التجارب.

لكن لا تريد المعسكرات التصالح. إرفين شرودنجر، الذي لا يؤمن بالجسيمات، لا يستمع حتى. يصف فولفجانج باولي نهج دي بروي بأنه «مثير للاهتمام للغاية، لكنه خاطئ» ويدعي أن جسيمات دي بروي التي تركب الموجة تتعارض مع نظرية الكم السابقة لتصادم الجسيمات. يعتمد هجوم باولي على تشبيه منحرف، لكن دي بروي مرتبك ويتعثر. على الرغم من صحة كلامه، فإنه يقف هناك كأنه قد ثبت أنه مخطئ، ويأخذ باولي، الذي كان مخطئًا، مقعده مرة أخرى، واثقًا من النصر.

يأتي اعتراض أشد من هندريك كرامرز. يشير إلى أن المرآة التي تعكس جسيمًا من الضوء سترتد قليلًا عن تأثيرها. لا يمكن لنظرية دي بروي أن تفسر هذا الارتداد، كما يدعي كرامرز، ودي بروي، الذي أصبح الآن أكثر اضطرابًا، لا يمكنه مواجهته.

يتذكر دي بروي لاحقًا: «مدرسة اللاحتميين، التي كان معظم أتباعها من الشباب غير المتسامحين، قابلت نظريتي برفض بارد». يسألون أين الصيغ؟ لا يستطيع دي بروي كتابة أي شيء على السبورة. لديه هذه الفكرة فقط. يأمل في الحصول على دعم من ألبرت آينشتاين. ربما يستطيع سحب المترددين إلى الجانب الأيمن؟ لكن آينشتاين ظلَّ صامتًا. دي بروي محبط. بدلًا من المصالحة، قلب الجميع ضده.

يوم الأربعاء، 26 أكتوبر، 1927، الكلمة للشباب المتهور. في الصباح، صعد بورن وهايزنبرج إلى المنصة. يقدمون معًا صياغتهم القائمة على المصفوفة لميكانيكا الكم، والتي تلعب فيها القفزات الكمية العشوائية دورًا أساسيًّا. البداية هي الإطاحة بشرودنجر: «تعتمد ميكانيكا الكم على الحدس القائل بأن الاختلاف الجوهري بين الفيزياء الذرية والكلاسيكية هو حدوث الانقطاعات». ثم يأتي الانحناء الدبلوماسي المهم للعظماء الذين يجلسون على بعد أمتار قليلة. يؤكد بورن وهايزنبرج أن ميكانيكا الكم «هي استمرار مباشر لنظرية الكم التي أسسها بلانك وآينشتاين وبور».

بعد تقديم ميكانيكا المصفوفة، ونظرية ديراك وجوردان للتحويل، ونظرية بورن للاحتمالات، لجأ هايزنبرج وبورن إلى مبدأ عدم اليقين و «المعنى الفعلي لثابت بلانك (h)». وهم يدّعون أن هذا ليس أقل من «المقياس العام للغموض الذي أدخلته ثنائية الموجات والجسيمات في قوانين الطبيعة». لذلك إذا لم يكن هناك ازدواجية بين الإشعاع والمادة، فلن يكون هناك ثابت بلانك

ولا ميكانيكا الكم. استنتاجهم بمنزلة استفزاز لآينشتاين وشرودنجر: «نحن نعتبر ميكانيكا الكم كنظرية مكتملة لم تعد افتراضاتها الفيزيائية والرياضية عرضة للتعديل». باختصار، فيزياء الكم قد اكتملت ونضجت، ولا لزوم لأي تعديل أو اهتزاز أو تفسير.

ميكانيكا الكم «مكتملة»؛ هذه هي الرسالة التي جاء بها بور، وبورن، وهايزنبرج، وباولي إلى بروكسل. مقتنعين بقدرتهم على تقديم صياغة متماسكة لميكانيكا الكم. قبل بضع سنوات، كانت فيزياء الكم لا تزال بنية صعبة تتكون من نماذج مؤقتة جديدة تُدحض باستمرار في التجارب التالية. الآن يُجمع بين كل اللبنات الأساسية؛ ميكانيكا المصفوفة ومعادلة شرودنجر. اكتشف هايزنبرج للتو جوهر ميكانيكا الكم؛ مبدأ عدم اليقين.

أثار الشباب الألمان إعجاب جمهورهم ويبدو أن المزاج يميل لصالحهم، حتى لو استمر البعض في القاعة متشككًا، آينشتاين في المقدمة. يعتبر آينشتاين أن ميكانيكا الكم إنجاز فكري مثير للإعجاب، لكنها ليست النظرية الحقيقية لأصغر اللبنات في العالم. لكن في المناقشة التي تلت ذلك، ظل صامتًا بعناد. لا أحد يختلف مع بورن وهايزنبرج. يعلق ديراك ولورنتس وبور فقط على التفاصيل الصغيرة.

ماذا وراء صمت آينشتاين؟ ربما هو رباطة جأش لا تتزعزع. ربما دهشة لا تصدق. يريد باول إرنفست أن يكتشف ذلك فيكتب ملاحظة صغيرة إلى آينشتاين: «لا تضحك، هناك قسم خاص في المطهر[1] لأساتذة نظرية الكم، حيث يقدمون لهم 10 ساعات يوميًّا من محاضرات الفيزياء الكلاسيكية». يجيب آينشتاين: «أضحك فقط على السذاجة. من يدري من سيضحك في غضون سنوات قليلة مقبلة».

لكن لا يكتفي آينشتاين بالمتابعة والانتظار. إنه يستخدم تكتيكات حرب العصابات؛ تجنب النقاش المفتوح، والمضايقة في أثناء تناول الوجبات. في الصباح، أحضر دحضًا مزعومًا لميكانيكا الكم إلى غرفة الإفطار في فندق

(1) المطهر، وفق المعتقد الكاثوليكي هو مكان تذهب إليه أنفس المؤمنين الخطاة الذين لم يتوبوا توبة كاملة من كل خطاياهم، حيث يطهرون بنار حتى يصبحوا أهلًا لملكوت الله. وفكرته قائمة على تحقيق العدل حيث إن مَن عاش حياة الفجور على الأرض لا يلقي نفس مصير مَن عاش حياة صالحة. [المترجم]

متروبول. يبدأ النقاش حول القهوة والكرواسون. يستمع باولي وهايزنبرج بآذان غير واعية ويلوحان قائلين: «أوه، نعم، هذا صحيح، هذا صحيح». يتابع بور من كثب ويفكر في الأمر ويناقشه مع هايزنبرج وباولي على الغداء ويأتي لتناول العشاء جنبًا إلى جنب مع دحض وتفنيد. تبدأ اللعبة في صباح اليوم التالي.

كتب باول إرنفست، وهو صديق لكليهما، في رسالة بعد المؤتمر بقليل: «استمتعت للغاية بحضور مناقشات آينشتاين وبور. مثل لعبة شطرنج. يقدم آينشتاين دائما أمثلة جديدة. متنقل دائم الحركة من النوع الثاني، لكسر العلاقة غير الدقيقة. يبحث بور دائمًا عن الأدوات من سحابة مظلمة من الدخان الفلسفي لكسر المثال تلو الآخر. آينشتاين مثل عفاريت العلبة: يقفز من جديد كل صباح. كان هذا رائعًا. لكنني تقريبًا مؤيد لبور ومناهض لآينشتاين. إنه يتصرف الآن تجاه بور تمامًا كما تصرف تجاهه المدافعون عن التزامن المطلق[1]». بعد بضعة أيام، قال إرنفست لصديقه مباشرة: «آينشتاين، أشعر بالخجل منك. أنت الآن تجادل ضد نظرية الكم الجديدة بنفس الطريقة التي يجادل بها خصومك ضد نظرية النسبية». ألقى هايزنبرج نظرة نحو باولي للإشارة إلى أن شخصًا ما قالها أخيرًا. إنها هزيمة لآينشتاين. لقد غيَّر صديقه المخلص إرنفست موقفه.

كل ليلة في الساعة الواحدة صباحًا، يأتي بور إلى غرفة إرنفست، ويتلفظ ببضع كلمات غامضة وكميات وفيرة من دخان التبغ، ويبقى حتى الساعة الثالثة صباحًا ويغادر مرة أخرى. هذا أيضًا لا يرضي إرنفست، الذي لا يحب الكلمات الضبابية ولا الغليون كريه الرائحة. إنه يشكو من «مصطلحات بور المشعوذة السيئة، والتي يستحيل تلخيصها من قبل الآخرين».

بعد ظهر يوم الأربعاء، كان لدى إرفين شرودنجر فرصة للهجوم المضاد، لكنه لم يستخدمها، وبدلًا من ذلك قدم دفاعًا ضعيفًا عن نظريته لميكانيكا

(1) في الفيزياء الكلاسيكية كان التصور عن الزمان والمكان أنهما مطلقان، أيْ أن الزمن يؤثر في الموجودات ولا يتأثر بأي شيء، لكن الأمر تغيَّر بعد الفيزياء الحديثة ونظرية آينشتاين النسبية فنشأ مفهوم نسبية التزامن الذي يمثل المبدأ الثاني في النسبية الخاصة ويتحدث عن ثبات سرعة الضوء إلى نسبية تزامن حدثين. هذا يعني أن حدثين متزامنين بالنسبة لمرجع مقارنة ما لن يكونا متزامنين بالنسبة لمرجع مقارنة آخر. [المترجم]

الموجة. تحدث باللغة الإنجليزية قائلًا: «يتم حاليًّا طرح نظريتين تحت هذا الاسم، وهما في الواقع مرتبطتان ارتباطًا وثيقًا ولكنهما غير متطابقتين». كان من المفترض أن تكونا نظرية واحدة، ولكن للأسف أصبحتا اثنتين مع وجود فجوة بينهما. تصف إحداهما الموجات التي يمكن تخيلها بسهولة في الفضاء ثلاثي الأبعاد، على غرار الموجات الصوتية أو موجات الضوء الكلاسيكية. بينما تصف الأخرى الموجات في مساحة مجردة ذات أبعاد أعلى. الأبعاد الثلاثة كافية فقط في حالات خاصة نادرة. يمكن استيعاب الإلكترون الفردي لذرة الهيدروجين في ثلاثة أبعاد، لكن يحتاج إلكترونَي ذرة الهيليوم إلى ستة. يخفف هذا من متعة نظرية شرودنجر، هو نفسه يعترف بذلك. ولكن ليس بهذا السوء، هذا الفضاء متعدد الأبعاد هو مجرد أداة رياضية تسمى مساحة التكوين. ما تصفه النظرية، سواء كان إلكترونًا واحدًا أو أكثر، وسواء كان يدور أو يتصادم، يحدث في المكان والزمان كما نعرفه. على شرودنجر أن يعترف قائلًا: «في الحقيقة، ومع ذلك، لم يتحقق الاتحاد الكامل لكلا المفهومين».

لم يشارك أي من المُنظِّرين البارزين أمله في نجاح هذا الاتحاد. على الرغم من أن معظم الفيزيائيين يفضلون الحساب بميكانيكا الموجة بدلًا من مصفوفات هايزنبرج، فإن القليل منهم يرون أوصافًا واقعية لسحب الشحنة وتوزيعات الكتلة في الموجات. يتبنون تفسير بورن للاحتمال، والذي يرفضه شرودنجر بإصرار. يوضح مدى ضآلة تفكيره في فكرة «القفز الكمي».

منذ أن تلقى إرفين شرودنجر دعوة للتحدث في بروكسل، شعر بوضوح أنه قد يكون هناك خلاف مع ميكانيكي المصفوفات. لذلك فقد اتَّسم بالهدوء عندما بدأت هجمات المناقشة بعد عرضه، لكنه لم يتوقع أن تكون شديدة العنف. تأتي الطعنة الأولى من بور الذي يسأل شرودنجر عما إذا كان ذكره «للصعوبات» لاحقًا في المحاضرة يعني أن النتيجة المذكورة سابقًا خاطئة. يُجيب شرودنجر بثقة. ثم يتحدث بورن، متشككًا في أن الحساب سيكون مختلفًا. يوضح شرودنجر، الذي أصبح الآن أقل صبرًا، أن الحساب «صحيح تمامًا ومقنع وأن اعتراض السيد بورن لا أساس له».

تحدث آخرون، ثم جاء دور هايزنبرج: «يقول السيد شرودنجر في نهاية محاضرته أن الحجج التي ناقشها غذت الأمل في إمكانية تقديم نتائج النظرية متعددة الأبعاد في ثلاثة أبعاد ونفهم بمجرد أن تصبح معرفتنا أعمق. لا أرى

في حسابات السيد شرودنجر ما يبرر هذا الأمل». يرد شرودنجر أن «أمله في الوصول إلى تمثيل ثلاثي الأبعاد ليس خياليًا تمامًا». تنتهي المناقشة بعد بضع دقائق. ظل شرودنجر صامتًا، ومستاءً لبقية المؤتمر.

يوم الخميس راحة. لورنتس وآينشتاين وبور وبورن وباولي وهايزنبرج ودي بروي يستقلون القطار إلى باريس لحضور احتفال أكاديمية العلوم بالذكرى المئوية لوفاة أوجستان فرينل، المؤسس المشارك لبصريات الموجة. كتب فِرنر هايزنبرج في رسالة إلى والديه مساء الخميس 27 أكتوبر: «غدًا تبدأ المعركة الحقيقية».

يستمتع هايزنبرج بالإقامة في بروكسل، والتدخين والشرب الجماعي، وفندق متروبول، والأوبرا، التي كانت «راقية حقًّا»، والأهم من ذلك كله قبوله في المجتمع العلمي الدولي. الجميع يتحدث عن نظريته ومبدأ عدم اليقين.

يوم الجمعة، تحتدم المناقشات. أقيمت المحاضرات الرسمية. الآن يتضمن برنامج المؤتمر «مناقشة عامة للأفكار المقترحة». ضغطت الأصوات الإنجليزية والفرنسية والألمانية على لورنتس من جميع الجهات للحصول على الكلمة. يقفز إرنفست ويكتب على السبورة آية من سفر التكوين عن برج بابل: «لأن الرب هناك بلبل لسان كل الأرض»، ثم يعود إلى مقعده ضاحكًا من زملائه.

يحاول هندريك لورنتس إعطاء التوجيه للمناقشة، وتوجيهها نحو مسائل السببية والحتمية والاحتمالات. هل للأحداث الكمية أسباب؟ هذا هو السؤال الذي واجهته ماريَ كوري قبل ربع قرن. يضع لورنتس الأمر على النحو التالي: «ألا يمكن الحصول على الحتمية بجعلها مبدأ؟ وهل من الضروري جعل اللاحتمية مبدأ؟». هو نفسه لا يُجيب ويدعو بور ليقول شيئًا عن «المشكلات المعرفية التي تواجهنا في فيزياء الكم». الآن حانت اللحظة الحاسمة، كما يعلم الجميع في القاعة. سيحاول بور إقناع آينشتاين بتفسير كوبنهاجن.

يصعد بور إلى المنصة. إنه يتحدث إلى كل القاعة، لكنه في الواقع يتحدث إلى آينشتاين. يتذكر محاضرته التي ألقاها في كومو والتي كانت موجهة إلى آينشتاين، ولكن لم يسمعها لأنه لم يكن حاضرًا. يتحدث بور عن اقتناعه بأن ثنائية الموجة والجسيم هي جزء من جوهر العالم، وأن هذه الطبيعة المزدوجة لا يمكن فهمها إلا من خلال مفهوم المكاملة الذي اخترعه، وأن هذا التكامل

هو أساس مبدأ عدم اليقين، الذي يضع حدودًا لا يمكن التغلب عليها لمفاهيم الفيزياء الكلاسيكية. ومع ذلك، من أجل التمكن من وصف نتائج التجارب الكمية بشكل لا لبس فيه، يتعين تقديم الإعداد التجريبي والملاحظات بلغة «منقحة بشكل مناسب بواسطة مفردات الفيزياء الكلاسيكية».

يستمع آينشتاين بعناية. قبل ثمانية أشهر، في فبراير 1927، بينما كان بور يفكر في المكاملة، ألقى آينشتاين محاضرة في برلين حول «النظرية والتجريبية فيما يتعلق بمسألة أصل الضوء». قال في ذلك الوقت إن طبيعة الضوء لا تتطلب مفهومًا موجيًّا نظريًّا أو مفهومًا نظريًّا كموميًّا، بل تتطلب في الواقع تركيبًا لكلا المفهومين. كان آينشتاين قد طالب بالفعل بهذا التركيب عندما اخترع الكوانتا الخفيفة في عام 1905، ومنذ ذلك الحين كان يأمل في ذلك عبثًا. والآن يسمع بور يفصل بين المفهومين. إنها إما أن تكون موجات وإما جسيمات، حسب الإعداد التجريبي. ليس كليهما، لا يوجد تركيب.

الأمر أكثر من مجرد موجات مقابل جسيمات. إنه يتعلق بماهية الفيزياء في الواقع. لطالما اعتبر العلماء أنفسهم على أنهم مراقبون للطبيعة غير مشاركين. نعم، يتدخلون عندما يُجرِّبُون. لكن ليس عندما يشاهدون. هناك فرق حاد بين المُراقِب والمُراقَب. لا يحدث تأثير المُراقِب في النظريات الكلاسيكية، وآينشتاين يريد أن يبقيه على هذا النحو.

لكن نيلز بور قطع ذلك. لا يوجد مثل هذا الفصل بين المُراقِب والمُراقَب في العالم الذري كما يدَّعي. وفقًا لتفسير كوبنهاجن، تنطبق عليه «الافتراض الكمِّي»، والذي يسميه «جوهر» الفيزياء الجديدة. عند دراسة الظواهر الذرية، ينتج عن التفاعل بين ما يُقاس وأدوات القياس، «لا الظواهر ولا وسائل الملاحظة يمكن أن تُنسب إلى واقع فيزيائي مستقل بالمعنى المعتاد»، كما يقول بور.

الواقع كما يتخيله بور لا وجود له دون الرصد. ليس للإلكترون موقع ولا سرعة إلا إذا قاسَ شخص ما تلك الخصائص. لا جدوى من السؤال عن موقع أو سرعة الإلكترون بين القياسات. لا وجود لها دون رصدها. فقط من خلال الملاحظة أو القياس يصبح حقيقيًّا. يقول بور، من الخطأ الاعتقاد بأن مهمة الفيزياء هي وصف الطبيعة كما هي. مهمتنا هي اكتشاف ما يمكننا قوله عن الطبيعة.

يرى آينشتاين الأمر بشكل مختلف: «ما نسميه العلم له هدف واحد فقط؛ تحديد ما هو موجود». تريد الفيزياء التقاط الواقع بشكل موضوعي ومستقل عن أي منظور. هذه هي الفجوة بين آينشتاين وكوبنهاجن. يقول هايزنبرج: «الذرات أو الجسيمات الأولية نفسها ليست حقيقية، فهي تشكل عالمًا من الإمكانات أو الاحتمالات بدلًا من أحد الأشياء أو الحقائق». فقط عند المراقبة تصبح هذه الاحتمالات حقيقة، كما يقول بور وهايزنبرج. يقول آينشتاين إن هذا لا يعد علمًا طبيعيًّا. العلم لا يخترع الطبيعة، بل يستكشفها. هذا الخلاف لا يدور إلا حول روح الفيزياء.

بعد خطاب بور، لا يزال آينشتاين صامتًا. ثلاثة مشاركين آخرين يتحدثون. ثم أعطى آينشتاين إشارة إلى لورنتس. لقد حانت لحظته. يحل الهدوء في القاعة. ينهض آينشتاين ويمشي إلى المنصة تحت نظرات الجمهور الساحرة. مع ياقة مرفوعة، قد طُويت أطرافها بدقة إلى الأمام، وربطة عنق طويلة، يبدو كما لو أنه جاء من القرن الماضي.

يبدأ آينشتاين بحذر: «إنني أدرك أنني لم أتعمق بما يكفي في طبيعة ميكانيكا الكم». إنه يريد فقط إبداء «بعض الملاحظات العامة». هذا ضعيف. «لقد فكرت في مشكلات الكم بقدر ما فكرت في النسبية العامة بمئات المرات»، اعترف لاحقًا لصديق. يعتقد البعض أن آينشتاين لم يفهم ميكانيكا الكم، هذا غير صحيح، إنه يفهمها أفضل من أي شخص آخر، لكنه لا يوافق عليها لأنه يعتقد أنها غير مكتملة.

لم يرد آينشتاين على محاضرة بور التي كانت موجهة إليه بشكل واضح. يتجاهل محاولة بور لجذب انتباهه إلى ميكانيكا الكم، ولم يذكر كلمة واحدة عن تحليله للغز الجسيم الموجي، ولا حول فكرة التكامل، ولا حول التفسيرات الفلسفية لبور.

يذهب مباشرة إلى أضعف نقطة عند بور؛ الادعاء بأن ميكانيكا الكم تستنفد إمكانات تفسير الظواهر التي يمكن ملاحظتها. لماذا ترسم هذه النظرية القبيحة مسار البحث؟ شرع آينشتاين في إظهار أن ميكانيكا الكم، كما يفهمها بور، ليست نظرية كاملة أو متسقة، باستخدام أداته المفضلة؛ تجربة ذهنية.

«دعونا نتخيل إلكترونًا يطير نحو فتحة»، يستدير آينشتاين، ويلتفت إلى السبورة ويمسك بالطباشير، ويتتبع مسار الإلكترون، فيرسم خطًّا يعبر مظلة، ويرفع الطباشير لفترة وجيزة. ويوضح أن الفتحة بها فجوة حيث يتشتت الإلكترون، نصفه يتحول في جهة الحضور. على الجانب الآخر من المظلة، يرسم أنصاف دوائر لموجة شرودنجر للإلكترون المنبثق من الفتحة، والذي يمتد نحو المظلة. سوف يصطدم الإلكترون به. يقول آينشتاين، إذا لاحظنا الإلكترون هنا، مشيرًا إلى بقعة في الجزء العلوي من المظلة، فلن تكون هناك أي طريقة لنصل إليه هنا. ينقر آينشتاين على نقطة في الأسفل. لكن موجة شرودنجر، التي وفقًا لتفسير كوبنهاجن «تُعبِّر عن احتمال وجود هذا الجسيم في مكان معين»، تصطدم بالمظلة الثانية بعرض كامل، وليس فقط عند نقطة واحدة. يتابع آينشتاين: «لا يظهر اتجاهًا مفضلًا». بمجرد أن تلاحظ الإلكترون في نقطة ما على المظلة، تنهار الموجة إلى الصفر في كل مكان آخر؛ «انهيار وظيفة الموجة» الشائنة. لا يمكن أن يجري الأمر على هذا النحو، وفقًا لآينشتاين، سيكون «تناقضًا مع افتراض النسبية» التي تحظر «آليات العمل من بُعد». ما يحدث في وقت ما لا يمكن أن يؤثر على الفور فيما يحدث في نقاط أخرى. يجب أن يكون هناك تأخير على الأقل يساوي سرعة الضوء بين السبب والنتيجة. لذلك، يستنتج آينشتاين، أن تفسير بور لميكانيكا الكم لا يقدم صورة متماسكة لما يحدث.

يقترح آينشتاين صورة مختلفة. يبقى كل إلكترون جسيمًا، حيث يأخذ أحد المسارات العديدة الممكنة إلى لوحة الصورة. هناك أيضًا موجات كروية، نعم، ولكن ليس للإلكترونات الفردية، بل من أجل «سحابة من الإلكترونات». لا تصف ميكانيكا الكم العمليات الكمومية الفردية، ولكنها تصف «مجموعات» مثل هذه العمليات. يعارض آينشتاين تفسير كوبنهاجن بتفسير «إحصائي بحت».

يضع الطباشير وينفض الغبار عن يديه. «في رأيي، لا يمكن تجنب هذا الاعتراض إلا من خلال وصف العملية باستخدام موجة شرودنجر فحسب، ولكن أيضًا بتحديد موضع الجسيم في أثناء الانتشار. أعتقد أن دي بروي محق في النظر في هذا الاتجاه». باختصار، «قد لا تكون ميكانيكا الكم خاطئة، لكنها غير كاملة. تكمن حقيقة العمليات الكمية أعمق. يسير دي

بروي على الطريق الصحيح، بينما هايزنبرج وباولي على المسار الخطأ». يجلس آينشتاين.

ينظر بور وهايزنبرج وباولي وبورن إلى بعضهم بعضًا. هل من المفترض أن يكون هذا تفنيدًا لميكانيكا الكم؟ نعم، هذا صحيح، تنهار الدالة الموجية فجأة، لكنها مجرد موجة احتمالية، وليست موجة حقيقية، ولا تنتشر في الفضاء ثلاثي الأبعاد الذي نعيش فيه.

يقول بور: «أشعر أنني في موقف صعب للغاية لأنني لا أفهم تمامًا الحجة التي يطرحها آينشتاين. هذا بلا شك خطئي». ثم قال جملة رائعة: «لا أعرف ما هي ميكانيكا الكم. أعتقد أننا نبحث في بعض الأساليب الرياضية التي ستصف تجاربنا بشكل مناسب».

بدلًا من الخوض في حجج آينشتاين، يطرح بور موقفه بعناد مرة أخرى، ويبدأ أيضًا الحديث عن ثنائية الموجة والجسيم والتكامل. يتحدث بور عن المراقبة، وآينشتاين عن الواقع. في أول نزاع عام بينهما، كان عمداء الفيزياء الكمومية على خلاف تام مع بعضهم بعضًا. يقول بول لانجفين: «لقد بلغ ارتباك الأفكار ذروته».

بعد أن قدم آينشتاين حججه، صمت مرة أخرى. تنتهي المناقشة ببطء ويغادر المشاركون المعهد الفسيولوجي. لكن الخلاف كان قد بدأ لتوه. يلتقي نيلز بور وألبرت آينشتاين مرة أخرى في قاعة آرت ديكو في متروبول. رأى دي بروي الخصميْن جالسيْن هناك ذات مساءٍ، منغمسيْن في «المبارزة الكلامية»، لكنه للأسف لا يستطيع متابعة المحادثة، فهو لا يتكلم الألمانية.

يقول آينشتاين، من المستحيل أن تكون النظرية الفيزيائية الأساسية نظرية إحصائية. بالطبع، هناك نظريات إحصائية، على سبيل المثال الديناميكا الحرارية والميكانيكا الإحصائية. لكنها ليست أساسية. تسد الإحصاءات فقط الفجوات المعرفية حول العمليات الموصوفة. يلاحظ آينشتاين أن هذا هو الحال أيضًا مع نظرية الكم. مرارًا وتكرارًا نسمع جملة: «الإله لا يلعب بالنرد». يجيب بور في وقتٍ ما: «آينشتاين، لا يمكن أن تكون مهمتنا أن نقول لله كيف ينبغي عليه أن يحكم العالم». نعم هو كذلك. لم ينجح في دحض اعتراض آينشتاين بانهيار الدالة الموجية، والتي سرعان ما أطلق عليها «مسألة القياس». كيف يمكن أن يتدفق إلكترون غير مرصود عبر

الفضاء مثل الموجة، ثم فجأة -نرد!- مكثف في مكان واحد؟ ليس لدى بور إجابة عن هذا السؤال، ليس لدى ميكانيكا الكم جواب.

يحاول آينشتاين متابعة رحلة الإلكترون من الثقب الموجود في الفتحة إلى المظلة. ربما يمكن خداع مبدأ عدم اليقين بإدخال فتحة أخرى بها فتحتان؟ يفكر بور في الأمر لبضع ساعات. هل أخذ آينشتاين في الحسبان مدى دقة معرفة موضع الثقب في الفتحة؟ ماذا عن تنافر الإلكترون عند مروره عبر الثقب؟ مرارًا وتكرارًا، سمح بور وآينشتاين للإلكترون بالتحليق عبر الإعداد التجريبي في أذهانهم. لا يستطيع بور إنهاء الجملة بشكل صحيح. يجذب آينشتاين الأمل. حتى يوضح بور أن الجهاز بأكمله الذي يهدف إلى الكشف عن موقع الإلكترون يخضع لمبدأ عدم اليقين، الذي يطمس الموقع مرة أخرى.

آينشتاين قلق. ليس لديه رد سريع. في صباح اليوم التالي ابتكر تجربة ذهنية جديدة أكثر تطورًا. يضيف مواضع جديدة بها ثقوب أكثر ومقاييس أكثر، تعقيدًا أكثر وأكثر، ونفاد الصبر أكثر فأكثر. يتأرجح المزاج لصالح بور. أصبح الآن بور هو (بابا) فيزياء الكم وآينشتاين الشرير.

سوف ينظر هايزنبرج لاحقًا إلى هذا المؤتمر ويفسره على أنه انتصار لبور وباولي ونفسه، على أنه اللحظة التي انحدرت فيها «روح كوبنهاجن» إلى فيزياء الكم. ماذا يعني المكان والزخم في العالم الذري -المصطلحات التي أعاد تعريفها آينشتاين قبل بضع سنوات- يحددها الآن بور وهايزنبرج وباولي. كتب هايزنبرج: «أنا راضٍ عن النتائج العلمية من جميع النواحي. قُبلت آراء بور وآرائي بشكل عام. على الأقل لا توجد اعتراضات جادة تثار، ولا حتى من قبل شرودنجر وآينشتاين». لم يذكر أن آراء بور وآراءه ليست متطابقة. لقد دفنوا صراعهم منذ الربيع، لكنهم لم يحلوه. لا يزال هايزنبرج يعتقد أن العالم يبدو مختلفًا تمامًا على المقياس الذري عن المقياس الكلاسيكي. يصر بور على أنه لا يوجد سوى عالم واحد.

انتهى المؤتمر دون أن يتمكن ألبرت آينشتاين من دحض ميكانيكا الكم. لكنه يظل غير رادع في مقاومته، فهو ببساطة لا يستطيع أن يفعل غير ذلك. بعد كل شيء، يتعلق الأمر بأساسيات تفكيره. إنه يؤمن بعالم فيزيائي موضوعي يتطور في المكان والزمان وفقًا لقوانين ثابتة، مستقل عنا كبشر، ولكن يمكن البحث فيه بواسطتها. ميكانيكا الكم تهز هذه الأسس. يرى آينشتاين أنها جريمة ضد الواقع.

مع تقدم الفيزياء إلى الأبعاد الذرية، تغير رموزها الرياضية المعنى، كما يزعم بور وهايزنبرج. هذا هجوم على العالم الفيزيائي، كما تصوره آينشتاين إلى حد كبير؛ لقد أعاد اختراع المكان والزمان بنظرية النسبية، وخلق عالمًا من الاستمرارية والسببية والموضوعية. الآن من المفترض أن يرى كيف يُهدم مرة أخرى؟ أبدًا. في طريق العودة إلى المنزل من بروكسل إلى برلين، استقل آينشتاين القطار مع لويس دي بروي عبر باريس. «هيا»، يريد أن يشجع الأمير على أن يقول وداعًا، «أنت على الطريق الصحيح». لكن دي بروي، الذي أصيب بالإحباط بسبب نقص الدعم الذي عاشه في بروكسل، لم يعد يؤمن بذلك.

عاد آينشتاين إلى برلين، منهكًا ومكتئبًا، لكنه لم يغير رأيه. بعد أسبوع من مؤتمر سولفاي، في 9 نوفمبر 1927، كتب إلى زومرفِلد: «أعتقد أن ميكانيكا الكم تحتوي على قدر من الحقيقة فيما يتعلق بالمادة القابلة للتأمل بقدر ما تحتويه نظرية الضوء دون الكم». قد تكون النظرية «صحيحة للقوانين الإحصائية»، لكنها «فهم غير كافٍ للعمليات الأولية الفردية».

حقيقة أن نيلز بور له اليد العليا في بروكسل لا يرجع فقط إلى سلطاته الإقناعية، ولكن أيضًا إلى حقيقة أن لديه أتباعًا. في مختبر رذرفورد بمانشستر، تعلم أهمية مناخ العمل التعاوني الجيد، لذلك قام بتطبيقه في معهده الخاص في كوبنهاجن. أي شخص يريد أن يصبح شيئًا ما في فيزياء الكم يأتي إليه. يقول الفيزيائي الروسي الشاب جورجي جاموف: «كل الطرق تؤدي إلى 17 بلجدامسفِج». في المقابل، فإن معهد القيصر فيلهلم للفيزياء في برلين تحت إشراف مديره المؤسس ألبرت آينشتاين ليس أكثر من مجرد عنوان. يحب آينشتاين العمل بهذه الطريقة، يحب العمل بمفرده.

يُدرِّب نيلز بور جيلًا كاملًا من المُنظِّرين. يملأ طلابه الكراسي الشاغرة للفيزياء النظرية في جميع أنحاء أوروبا؛ مباشرة بعد مؤتمر سولفاي، تولى فِرنر هايزنبرج منصبه الجديد بصفته أستاذًا ومديرًا لمعهد الفيزياء النظرية في لايبتسيج. يتولى فولفجانج باولي منصب الأستاذية في المعهد الفيدرالي السويسري للتكنولوجيا في زيورخ، ويتولى باسكوال جوردان منصب باولي في هامبورج. هندريك كرامرز هو أستاذ الفيزياء النظرية في أوتريخت منذ عام 1926. يتبادلون الطلاب والمساعدين مع بعضهم بعضًا. هذه هي

الطريقة التي انتشرت بها رؤية بور لفيزياء الكم على المستوى الدولي من خلال طلابه.

الاستثناء هو بول ديراك، رائد الرياضيات بين طلاب بور. يتذكر مناقشة بور وآينشتاين بحماس أقل. قال لاحقًا إنه استمع إلى المناقشات، لكنه لم يشارك فيها: «كنت مُهتمًّا أكثر بإيجاد المعادلات الصحيحة». بالنسبة لديراك، من الواضح أن ميكانيكا الكم لم تكتمل بعد. ربما يكون آينشتاين قد اتخذ موقفًا دفاعيًّا في بروكسل، لكنه يعتقد أن هناك فرصة جيدة لأن يكون على صواب على المدى الطويل.

برلين 1930
ألمانيا تزدهر، وآينشتاين مريض

برلين، أواخر عشرينيات القرن الماضي. تتعافى ألمانيا من فوضى الحرب. شُيِّد أكبر مطار في العالم في تمبلهوفر فيلد، حيث طار أورفيل رايت قبل عقدين من الزمن، أصبحت تهبط هناك كل يوم 50 طائرة من جميع أنحاء أوروبا. كما أنه يجذب السياح المسافرين في الخارج. مقابل رسوم دخول بسيطة، يمكن لأي شخص دخول المطار والبقاء وقتما شاء. حشود من السياح والسكان المحليين يجلسون حول طاولات المقاهي، يأكلون ويشربون، ويستمعون إلى هدير المحركات، ويشاهدون الآلات البراقة تحلق عاليًا في الهواء أو تنزلق من السحب من يعرف إلى أين. الطيران مغامرة عظيمة ورائعة. في عام 1928، توقف الطيَّاران جون هنري ميرز وتشارلز كولبير في تمبلهوف في رحلتهما حول العالم على متن طائرة فيرتشايلد FC-2W ذات المحرك الواحد. قبل مسافة قصيرة من برلين، كان عليهما الهبوط في حقل ليسألا المزارعين عن الاتجاهات. يبقيان في برلين لبضع ساعات، ويستريحان في فندق آدلون، ويأكلان البيض ولحم الخنزير والبيرة الداكنة على الإفطار ويسافران إلى نيويورك، حيث غادرا منذ 23 يومًا و15 ساعة و21 دقيقة وثلاث ثوانٍ قبل ذلك. رقم قياسي عالمي.

أصبحت الإمبراطورية القومية المجمدة -على الأقل لبضع سنوات- جمهورية تقدمية وحيوية. بوجود 36 امرأة في الرايخستاج، توجد في ألمانيا نائبات أكثر من أي بلد آخر. يمكن للمرأة القيام بأي عمل تريده، من حيث المبدأ

على الأقل. إنهن يعملن مهندسات ومهندسات ميكانيكيات وجزارات. تجذب ألمانيا الأجانب الباحثين عن مباني تاريخية لا مثيل لها وشوارع مرصوفة بالحصى وقاعات بيرة وسلوكيات مفككة. ترقص جوزفين بيكر مرتدية تنورة خفيفة في برلين. ماكس راينهارد نجم مسرحي. أنجح مسرحية هي أوبرا الثلاث بنسات لبرتولت بريشت وكورت فايل. تحدد مدرسة باوهاوس اتجاه الهندسة المعمارية. يزدهر العلم جنبًا إلى جنب مع الفن والثقافة.

تتوسع حركة الشباب. يملأ الشباب الذين تلوَّنت بشرتهم من الشمس الحماماتِ والشواطئ، ويظهرون الكثير من أجسادهم. الطيور المهاجرة، التي ينتمي إليها فِرنر هايزنبرج أيضًا، تجوب البلاد. لكن عند الفحص الدقيق، تبدو حركة الشباب أقل براءة مما هي عليه للوهلة الأولى. العديد من المنظمات فروع لأحزاب سياسية، هناك القمصان البُنية، والأعلام الحمراء.

ألبرت آينشتاين، البالغ من العمر الآن 49 عامًا، لا يعمل بشكل جيد. يشعر بحدود قدراته الجسدية. خلال زيارة قصيرة لسويسرا في أبريل 1928، انهار في أثناء حمل حقيبته على منحدر حاد. في البداية، يخشى حدوث نوبة قلبية، ثم يُشخَّص بتضخم القلب المرضي. يشعر آينشتاين بأنه «اقترب من النهاية». بالعودة إلى برلين، تتولى إلسا المسؤولية، وتراقب الوصول إلى آينشتاين، وتقييد زيارات الأصدقاء والزملاء.

بينما يتعافى آينشتاين، تظهر مقالة بقلم بور بثلاث لغات في وقت واحد، تحت عنوان: «المسلمة الكمومية والتطور الأخير للعلوم الذرية». إنها نسخة منقحة من محاضرته القادمة، وهي النسخة النهائية من المراجعات التي لا حصر لها، بناءً على طلب بور، وهو عرض صالح دائمًا لتفسيره لميكانيكا الكم جنبًا إلى جنب مع الأدوات المفاهيمية للمكاملة. يرسل بور نُسخَة إلى شرودنجر، الذي ما زال لا يقبل قيودَ مبدأ عدم اليقين. إذا كانت مفاهيم مثل «الموقع والزخم» تسمح فقط بوصف غير دقيق للنظام الكمي، يرد عليه شرودنجر في 5 مايو 1928، بأنه يجب عندئذٍ إنشاء مفاهيم جديدة لا تخضع لهذا القيد. بالتأكيد سيكون «من الصعب جدًّا العثور على مخطط مفاهيمي جديد» لأن «إعادة التصميم الضرورية تلامس أعمق طبقات إدراكنا»، أي «المكان والزمان والسببية». يرد بور بشكر مهذب، لكنه يوضح أنه «لا يكاد يتفق تمامًا مع التركيز على الحاجة إلى تطوير مفاهيم جديدة». مبدأ عدم اليقين ليس تقييدًا عرضيًّا لإمكانية تطبيق المفاهيم الكلاسيكية، ولكنه نتيجة

لا مفر منها للمكاملة التي تنتج عن تحليل عملية الملاحظة. يخبر شرودنجر آينشتاين بمراسلاته مع بور. نعم، يرى آينشتاين الأمر بهذه الطريقة أيضًا. إن مطالبة شرودنجر «بضرورة التخلي عن المصطلحين p وq يكون مبررًا تمامًا إذا كان بإمكانهم فقط ادعاء مثل هذا المعنى المتذبذب». إن آينشتاين مستعد حتى للتخلي عن المفاهيم الأساسية التقليدية للفيزياء، والتي أعاد ابتكارها بنفسه، حتى لا يضطر إلى قبول طريقة تفكير كوبنهاجن: «فلسفة هايزنبرج وبور المهدئة، أم الدين؟ تتدبر فيه بدقة لدرجة أنه يوفر للمؤمن وِسادة ناعمة في الوقت الحالي، لا ينهض منها بسهولة. لذا اتركه وشأنه».

بعد أربعة أشهر من انهياره، لا يزال غير مستقر على قدميه، لكنه على الأقل أصبح قادرًا على التحرك ولم يعد في السرير. لمزيد من التعافي، استأجر منزلًا في قرية شاربويتس الهادئة على بحر البلطيق. يقرأ هناك سبينوزا، فيلسوفه المفضل، ويتمتع بالراحة من «الوجود الغبي الذي يعيشه في المدينة». مر عام تقريبًا قبل أن يشعر بالقوة الكافية للعودة إلى المكتب. تقول هيلين دوكاس، سكرتيرته الخاصة، إنه يعمل طوال الصباح، ويذهب إلى المنزل لتناول طعام الغداء، ويستريح حتى الساعة الثالثة، ثم يواصل العمل، «أحيانًا طوال الليل».

خلال عطلة عيد الفصح عام 1929، زار فولفجانج باولي آينشتاين في برلين. يحتاج التأكد من أن آينشتاين لا يزال متمسكًا بإيمانه بواقع تتطور فيه الظواهر بشكل مستقل عن جميع المراقبين وفقًا لنص ثابت لقوانين الطبيعة. يرى باولي هذا الموقف «رجعيًّا». ينفر تدريجيًّا بعض أصدقاء آينشتاين القدامى بسبب عناده؛ كتب ماكس بورن: «يعتبر الكثير منا هذا مأساة، سواء له وهو يتلمس طريقه في العزلة، أو لنا نحن الذين نفتقد قائدنا وبطلنا».

عندما حصل ألبرت آينشتاين على ميدالية ماكس بلانك من الجمعية الفيزيائية الألمانية من ماكس بلانك نفسه في 28 يونيو 1928، أعلن قائلًا: «أنا معجب حقًّا بإنجازات الجيل الأصغر من علماء الفيزياء، والتي اختُصرت تحت اسم ميكانيكا الكم. لكنني أعتقد أن التقيُّد بالقوانين الإحصائية لن يكون إلا مؤقتًا». كان آينشتاين قد انطلق بالفعل في آخر رحلة فكرية في حياته؛ في بحثه المنفرد عن نظرية مجال توحد الكهرومغناطيسية والجاذبية. يأمل منه أن ينقذ السببية والواقع المستقل عن المراقب. من الرجعي هنا؟ بور أم آينشتاين؟ عندما يلتقي الاثنان مرة أخرى في مؤتمر سولفاي السادس، سيكون آينشتاين قد تعافى وأصبح جاهزًا للهجوم التالي على ميكانيكا الكم.

بروكسل 1930
الجولة الثانية في كوبنهاجن

بروكسل، 1930. يبدأ مؤتمر سولفاي السادس يوم الاثنين 20 أكتوبر. يستمر مدةَ ستة أيام تحت عنوان: «خصائص المادة المغناطيسية». سير الدورة نفسه منذ ثلاث سنوات. بدلًا من هندريك لورنتس، الذي وافته المنية منذ ذلك الحين، سيرأس بول لانجفين اللجنة المنظمة ويقود المؤتمر.

لا يقلُّ المشاركون أهميةً عن السابقين في عام 1927، حيث حصل أو سيحصل مستقبلًا 12 مشاركًا منهم بالفعل على جائزة نوبل. ومن بين المشاركين مرة أخرى بول ديراك وفِرنر هايزنبرج وهندريك كرامرز. وبالطبع نيلز بور وألبرت آينشتاين. أرنولد زومرفِلد موجود أيضًا هذه المرة. مُهدت الساحة للجولة الثانية من المعركة بين بور وآينشتاين حول تفسير ميكانيكا الكم وطبيعة الواقع.

يأتي بور وآينشتاين إلى بروكسل مستعدين جيدًا، مثل اثنين من أسياد الشطرنج لمباراة في بطولة العالم. على مدى السنوات الثلاث الماضية، أعاد بور التجارب الذهنية التي وضعها آينشتاين لدحض ميكانيكا الكم في مؤتمر سولفاي الخامس. خلال ذلك الوقت وجد ثغرات في حجة آينشتاين، لكنه لم يكن راضيًا عن ذلك. ابتكر تجاربه الذهنية الخاصة بترتيبات متزايدة التعقيد للفتحات، والثقوب، وآليات القفل، والساعات لاختبار تفسيره لميكانيكا الكم لنقاط الضعف، لكنه لم يجد شيئًا.

مرة أخرى يهاجم ألبرت آينشتاين ميكانيكا الكم، بينما يدافع نيلز بور. يظن أنه مستعد لأي شيء. ولكن بعد إحدى الجلسات الرسمية، يحضر آينشتاين صندوقًا مليئًا بالضوء. صندوق خيالي. دبر آينشتاين تجربة ذهنية مبتكرة. تخيل آينشتاين صندوقًا يحتوي على بعض جسيمات الضوء وساعة. في أحد جدرانه فتحة بها مصراع أوتوماتيكي متصل بساعة في الصندوق. زِن الصندوق. اضبط الساعة بحيث يفتح المصراع في وقت معين ويغلق مرة أخرى بسرعة ولا يهرب من الصندوق سوى جسيم واحد. نحن نعرف الآن، كما يشرح آينشتاين، النقطة الزمنية الدقيقة التي هرب فيها الجسيم من الصندوق. يستمع بور بإيجابية. حتى الآن كل شيء واضح ولا جدال فيه. ينطبق مبدأ عدم اليقين فقط على أزواج الكميات التكميلية، على سبيل المثال الموضع والزخم أو الطاقة والوقت. إذا أُخذت بمفردها، يمكن تحديد كل كمية بدقة. ثم يلقي آينشتاين بورقته الرابحة: «زن الصندوق مرة أخرى». في تلك اللحظة، اتضح لبور أنه في مأزق.

استخدم آينشتاين الاكتشاف العظيم الذي توصل إليه عندما عمل فاحصَ براءات الاختراع في برن؛ الكتلة هي الطاقة والطاقة هي الكتلة $E=mc^2$. فرق الوزن هو مقياس طاقة الجسيم المتسربة. لا يمكن إثبات هذا الاختلاف الصغير بأدوات الثلاثينيات، لكن هذا أمر عرضي تقني، إنه يتعلق بالمبدأ. لذا تعرف متى هرب الجسيم وتعرف طاقته. كلاهما في الوقت نفسه. وهذا يتناقض مع مبدأ عدم اليقين. هل يمكن أن يتفوق على ميكانيكا الكم؟

يتفاجأ بور. لا يرى مخرجًا، ليس لديه رد. يحاول باولي وهايزنبرج عبثًا طمأنة عميد ميكانيكا الكم: «لا يمكن أن يكون هذا صحيحًا، كل شيء سيكون على ما يرام». قضى بور المساء كله يتناقش مع أتباعه. يجب ألا يكون هذا صحيحًا. يحذر من أنها ستكون نهاية الفيزياء. على الأقل الفيزياء كما يفهمها بور.

في ذلك المساء، عاد آينشتاين الهادئ إلى فندق متروبول، منتصبًا ومهيبًا، يدخن سيجارًا، مرسومٌ على وجهه انتصار كابتسامة خفية. وخلفه بور غاضب، يجادل، ويومئ، ثائرًا، ويحمل معطفه على ذراعه. يقول صديقه وزميله البلجيكي ليون روزنفِلد إنه كان يبدو «كالكلب المهزوم».

في نظر آينشتاين، هذا لا يعني نهاية الفيزياء، ولكن بالأحرى خلاصها. خلاص الواقع الموجود بشكل مستقل عن كل المراقبين. هكذا يفهم ألبرت آينشتاين الفيزياء.

في تلك الليلة بقي بور مستيقظًا لوقت متأخر. بينما نام الجميع، فإنه يفكر في صندوق ضوء آينشتاين وصولًا إلى أدق التفاصيل، ويقوم بتفكيكه إلى أجزائه الفردية بحثًا عن الخطأ. يفكر في الصندوق بتمعن أكثر من آينشتاين نفسه. يعلق بور الصندوق ذهنيًّا على ميزان زنبركي بميزان. يجعل الساعة تدق فيه. يُصمِّم آلية الإغلاق عند فتحة الخروج، لا ينسى برغي أو صامولة. أحيانًا تظهر الأفكار العظيمة من الأشياء الصغيرة.

في صباح اليوم التالي، دخل نيلز بور، مختالًا، بعينين غامضتين، غرفة الإفطار في متروبول، وشكله لم يعد يشبه أي كلب مهزوم. يطمس على الفور إدراكه الليلي. فات آينشتاين شيءٌ؛ عند وزن الصندوق، فإنه يتحرك قليلًا جدًّا في مجال جاذبية الأرض. هذا يسبب ضبابية صغيرة في كتلته، وبالتالي في طاقة الجسيم الهارب. بالإضافة إلى ذلك، فإن موضع الساعة في مجال الجاذبية يحدد مدى سرعتها. أظهر آينشتاين نفسه هذا منذ سنوات. لذا فإن الوقت غير واضح أيضًا. النتيجة الإجمالية هي بالضبط الضبابية التي تتوافق مع مبدأ عدم اليقين.

تبرد القهوة في الأكواب. يا لها من نقطة تحول! حوَّل بور تفنيد آينشتاين المفترض إلى تأكيد رائع لمبدأ عدم اليقين، مع تطبيق بارع لنظرية آينشتاين النسبية لكل الأشياء.

الآن على آينشتاين أن يظل عاجزًا. كما حدث قبل ثلاث سنوات، صد بور هجومه. يمكن أن يجادل آينشتاين أكثر؛ كيف يمكن أن تكون ميكانيكا الكم نظرية قائمة بذاتها إذا كانت بحاجة إلى نظرية النسبية لإنقاذها؟ لكن آينشتاين لم يعد يجادل. هذا هو الوقت المناسب للاعتراف بالهزيمة، حتى الآن. إنها آخر مناظرة عامة بين بور وآينشتاين. لكنه ليس هجوم آينشتاين الأخير على ميكانيكا الكم. يغير استراتيجيته ولم يعد يحاول التغلب على

مبدأ عدم اليقين. سوف يستهدف في المستقبل نقطة ضعف أخرى: «التأثير المخيف بعيد المدى[1]».

في نوفمبر 1930، ألقى ألبرت آينشتاين محاضرة عن تجربته الذهنية لصندوق الضوء في جامعة لايدن، حيث كان ضيفًا دائمًا هناك. بعد المحاضرة، قال أحد المستمعين إنه لا يرى أي تعارض مع ميكانيكا الكم. أجاب آينشتاين: «أعلم». لا توجد تناقضات هناك. لكن لا تزال النظرية خاطئة.

آينشتاين عنيد، لكنه ليس تافهًا. على الرغم من نفوره من ميكانيكا الكم، فقد رشح مرة أخرى فِرنر هايزنبرج وإرفين شرودنجر لجائزة نوبل في سبتمبر 1931. كتب في خطاب ترشيحه: «أنا مقتنع بأن هذا العلم يحتوي على جزء من الحقيقة المطلقة». جزء من الحقيقة، ليس كلها. يستمر «الصوت الداخلي» لآينشتاين في الهمس له أن ميكانيكا الكم ليست الحكمة المطلقة التي يعتقد بور أنها كذلك.

بعد مؤتمر سولفاي السادس، يسافر آينشتاين إلى لندن لبضعة أيام. في 28 أكتوبر، كان ضيف الشرف في عشاء خيري لليهود الفقراء من أوروبا الشرقية في فندق سافوي، استضافته اللجنة البريطانية المشتركة للجمعيات أورت-أوز. يقوم البارون روتشيلد، رئيس اللجنة، بدور المضيف، ويعمل جورج برنارد شو رئيسًا للمراسم. يأتي ما يقرب من ألف ضيف. لا يشعر آينشتاين بالراحة بين الأغنياء والجميلات الذين يرتدون ملابس أنيقة، ويتزينون بالمجوهرات والميداليات، لكنه يلعب دور في «مسرح القرود» من أجل قضية نبيلة، مجبر على حُلَّة السهرة الرسمية وربطة العنق البيضاء ومصافحة الناس، الذين يصطفون أمامه، «القديس اليهودي».

يقف شو، 74 عامًا، ويقترح «نخبًا لصحة البروفيسور آينشتاين». يقول شو: «هناك رجال مثل نابليون يبنون إمبراطوريات. لكنَّ هناك نوعًا من الرجال يتخطون ذلك. إنهم يخلقون الأكوان. ومع ذلك تظل أيديهم غير ملوثة بدم الإنسان. يمكنني عدهم على أصابع يديَّ؛ فيثاغورس، بطليموس، أرسطو،

(1) عُرف هذا لاحقًا باسم التشابك الكمي وهو ظاهرة في فيزياء الكم، تحدث عندما تتولد أو تتفاعل أو تتشارك الجسيمات ذات القرب المكاني بحيث لا يمكن وصف الحالة الكمية لجسيم معين بشكل مستقل عن الجسيمات الأخرى، حتى لو فصلت مسافة كبيرة بين هذه الجسيمات. [المترجم]

كوبرنيكوس، كِبلر، جاليليو، نيوتن، آينشتاين». تصفيق مدوٍّ من الجمهور. يتابع: « وما زال يتبقى لديَّ إصبعان حُرتان». ضحك، وابتسامة حلوة ومُرة على وجه آينشتاين. تابع شو: «خلق بطليموس كونًا استمر 1400 عام. وخلق نيوتن كونًا استمر 300 عام. وخلق آينشتاين كونًا، لكن لا يمكنني إخباركم إلى متى سيستمر». لا يشك الكثيرون في الغرفة في أن آينشتاين يقاتل من أجل تأسيس كونه.

بعد أن نهض آينشتاين، شكره على «الكلمات التي لا تُنسَى وتقرن اسمي بأسماء أسطورية مما يجعل حياتي صعبة للغاية»، ولا يقول كلمة واحدة عن العلم. ويخلص إلى القول: «أقول لكم جميعًا، إن وجود شعبنا ومصيره يعتمد بدرجة أقل على العوامل الخارجية بقدر ما يعتمد على البقاء مخلصين لتقاليدنا الأخلاقية التي سمحت لنا بالبقاء على قيد الحياة لآلاف السنين، على الرغم من العواصف العنيفة التي حطت فوق رؤوسنا». قبل ستة أسابيع، في 14 سبتمبر 1930، صوَّت 6.4 مليون ألماني لصالح الحزب النازي في انتخابات الرايخستاج، أي ثمانية أضعاف ما كان عليه الوضع في انتخابات مايو 1928، مما أثار استياء العديد من المواطنين المعتدلين. لقد أثبت النازيون أنهم أكثر من مجرد مجموعة متطرفة من اليمين المتطرف. مع 107 نائب، صاروا ثاني أكبر كتلة برلمانية في الرايخستاج. لقد انهار التحالف الكبير الذي يقوده الحزب الاشتراكي الديمقراطي، ولا يمكن للمستشار هاينريش برونينج سوى تشكيل حكومة أقلية وعليه إصدار قرارات طارئة. يحضر نواب الحزب النازي الجلسة الأولى للرايخستاج الجديد في 13 أكتوبر بالزي الرسمي للحزب القمصان البنية. في اليوم نفسه يُطارد اليهود في شوارع برلين، ويُهانون ويُضربون. حُطِّمت نوافذ العرض في سلسلة متاجر فرتهايم الكبرى متعددة الأقسام. تنتشر شائعات عن اقتراب حدوث انقلاب يميني. تتداعى جمهورية فايمار.

يرى ألبرت آينشتاين أن كل هذا، التصويت لهتلر والهجمات المعادية للسامية، هي مجرد أعراض لشيء أعمق، للخوف المتفشي واليأس وانعدام الأمن الناجم عن البؤس الاقتصادي والبطالة. بين انتخابات عام 1928 وانتخابات عام 1930 حدث الانهيار الكبير في وول ستريت.

ضرب الانهيار كل أوروبا، لكن تأثرت ألمانيا بشكل خاص. موَّل الائتمان جزءًا كبيرًا من الانتعاش الاقتصادي بعد الحرب العالمية الأولى، من خلال

قروض أمريكية قصيرة الأجل. مع الفوضى والخسائر المتزايدة، تطالب البنوك الأمريكية بالسداد الفوري لهذه القروض. لا يكاد يتدفق أي رأس مال أجنبي إلى البلاد. ونتيجة لذلك، ارتفع عدد العاطلين عن العمل من 1.3 مليون في سبتمبر 1929 إلى أكثر من 3 ملايين في أكتوبر 1930.

يرى آينشتاين صعود النازيين واضطهاد اليهود «في الوقت الحالي فقط كنتيجة للحالة الاقتصادية الطارئة الحالية والمشكلة الناشئة للجمهورية». وفي الوقت نفسه، عليه أن يشاهد مرض الطفولة يتحول إلى خطر يهدد الحياة ويقتل الجمهورية بدلًا من تحصينها. منذ الديمقراطية الأولى في ألمانيا، لم يبقَ سوى صدى الكلمات. «سلطة الدولة تنبع من الشعب» المادة الأولى من الدستور. في الواقع، المراسيم هي التي تحكم البلاد. الرايخستاج المنتخب ديمقراطيًّا لا حول له ولا قوة.

يتزايد القلق بين الواعين سياسيًّا. كتب زيجموند فرويد إلى أرنولد تسفايج في ديسمبر 1930: «نحن نعيش في أوقات عصيبة، يجب أن أتجاهلها بملل الشيخوخة، لكن لا يسعني إلا الشعور بالأسف على أحفادي السبعة». دوَّن فرويد في مذكراته ملاحظاته في السنوات التالية للمزيد من مؤشرات الاتجاهات اليمينية والهجمات على المواطنين اليهود.

كثير من الناس لا يعرفون كيف يفكرون في ظل هذا التطور. كثيرون لا يحبون النازيين، لكن ألن يكون البلاشفة أسوأ من ذلك؟

كان رد فعل الفيزيائيين الألمان مختلفًا على صعود الاشتراكية القومية (النازية). يعارضها البعض بشدة، ويهرب آخرون، وينظر البعض بعيدًا أو يحاولون التصالح، والبعض يسعدهم الانضمام. تندلع معاداة السامية في حالة فيليب لينارد ويوهانس شتارك، وكلاهما حاصل على جائزة نوبل. إنهما يريان الوقت المناسب لتطوير «فيزياء ألمانية» ضد نظرية النسبية وميكانيكا الكم، والتي يجدانها غامضة للغاية ورياضية و «يهودية» بطريقة ما.

ليس من السهل على ألبرت آينشتاين أن يدرك أنه لا مكان له في هذا البلد تحت حكم النازيين. في بداية ديسمبر 1930 غادر ألمانيا لقضاء شهرين في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا في جنوب كاليفورنيا، والتي صارت أحد أهم الأماكن لأحدث الأبحاث في الولايات المتحدة في السنوات السابقة. تحدث سابقًا لودفيج بولتسمان وهندريك لورنتس وإرفين شرودنجر في

معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا. عندما ترسو سفينة آينشتاين في نيويورك، سمح لنفسه بحضور مؤتمر صحفي مدته ربع ساعة مع حشد من المراسلين المنتظرين. صاح أحدهم «ما رأيك في أدولف هتلر؟» يجيب آينشتاين: «إنه يصعد بسبب حالة الفقر في ألمانيا. حالما يتحسن الوضع الاقتصادي، لن يعود وجوده مُهمًّا».

في ديسمبر 1931 سافر إلى معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا للإقامة الثانية. استمر التعتيم في الوضع الاقتصادي والسياسي. خلال رحلته عبر المحيط الأطلسي، لاحظ آينشتاين في مذكراته: «اليوم قررت بشكل أساسي التخلي عن منصبي في برلين. لذا سأصبح طائرًا مهاجرًا لبقية حياتي!».

التقى آينشتاين في كاليفورنيا بالإصلاحي أبراهام فلكسنر، وهو نفسه ابن مهاجرين ألمان. فلكسنر بصدد إنشاء مركز أبحاث جديد، معهد الدراسات المتقدمة في برينستون، نيو جيرسي. مسلحًا بتبرع قدره 5 ملايين دولار من الأشقاء لويس وكارولين بامبيرجر، يريد فلكسنر إنشاء «مجتمع علمي» يمكنه تكريس نفسه بالكامل للبحث، بعيدًا عن التزامات التدريس. مقابلة أشهر عالم في العالم شخصيًّا: فلكسنر لا يفوت هذه الفرصة. بدأ فورًا في جذب آينشتاين، وفي عام 1933 أصبح ألبرت آينشتاين من أوائل الأساتذة في معهد الدراسات المتقدمة. سيبقى هناك لبقية حياته.

يفاوض آينشتاين قضاء خمسة أشهر في السنة في برينستون وبقية الوقت في برلين. «لن أدير ظهري لألمانيا»، يؤكد ذلك لصحيفة نيويورك تايمز، «إن موطني الدائم لا يزال في برلين». التعاقد لمدة خمس سنوات يبدأ في عام 1933، بعد الإقامة الثالثة في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا، وهو ما وعد به آينشتاين بالفعل. لحسن الحظ وافق، لأنه خلال هذه الإقامة في باسادينا، في 30 يناير 1933، أصبح هتلر مستشارًا للرايخ.

في 10 ديسمبر 1932، استقل آينشتاين الباخرة أوكلاند في برِمرهافن مع ثلاثين حقيبة من الأمتعة.

في البداية ظل آينشتاين هادئًا في كاليفورنيا الآمنة. يتظاهر بالعودة إلى ألمانيا عندما يحين الوقت ويكتب إلى أكاديمية العلوم البروسية للاستعلام عن راتبه. لكنه قرر بالفعل خلاف ذلك سرًّا. وكتب إلى مارجريتا ليباخ في برلين في 27 فبراير: «بالنظر إلى هتلر، لا أجرؤ على أن تطأ قدماي الأراضي

الألمانية. لقد ألغيت بالفعل محاضراتي في الأكاديمية البروسية للعلوم». في الليلة نفسها، اشتعلت النيران في الرايخستاج في برلين. بدأت الموجة الأولى من الإرهاب القومي الاشتراكي ضد السياسيين والمثقفين والصحفيين اليساريين.

في 10 مارس 1933، قبل يوم من مغادرته المخطط لها من باسادينا، نشر ألبرت آينشتاين بيانًا وأجرى مقابلة قدَّم فيها وجهة نظره حول الأحداث في ألمانيا: «ما دامت لديَّ فرصة، سأرحل فقط إلى بلد تسود فيه الحرية السياسية والتسامح والمساواة بين جميع المواطنين أمام القانون. وتشمل الحرية السياسية حرية التعبير عن القناعات السياسية شفهيًّا وخطيًّا، بينما يشمل التسامح احترام أي قناعة يحملها الفرد. لم يتم استيفاء هذه الشروط حاليًّا في ألمانيا. أولئك الذين قاموا بعمل رائع في تعزيز التفاهم الدولي يتعرضون هناك للاضطهاد، بما في ذلك بعض الفنانين البارزين». يمكن للصحفي الذي أجرى المقابلة مع آينشتاين أن يرى الأرض تهتز تحت قدميه وهو يمشي عبر حرم معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا. في 11 مارس، غادر آينشتاين وزوجته باسادينا، ولا يدرون إلى أين ستأخذهم الرحلة.

تثير كلمات آينشتاين ضجة حول العالم. في العديد من الأماكن، لا يعرف أحد حقًّا وجهة نظر محددة في هتلر. يعتقد بعض الناس خارج ألمانيا أنه ربما يعامل اليهود معاملة سيئة. لكنه على الأقل يساعد الألمان على اكتساب ثقة جديدة بالنفس ويحمي أوروبا الحرة من البلاشفة. هل المقابل باهظ حقًّا كما يدعي آينشتاين؟ انتهزت الصحف الألمانية الفرصة للإعلان عن ولائها لـ «الفوهرر» واستشاطت غضبًا واضحًا من إعلان آينشتاين. «الأخبار السارة من آينشتاين، إنه لن يعود» هو العنوان الرئيس في صحيفة برلينر لوكال أنتسايجر، وطبعت صحيفة فولكيشر بيوباختر منشورات بغيضة ضده.

بموقفه المناهض للنازية، يحرج ألبرت آينشتاين ماكس بلانك، الذي يحاول التغلب على الاضطرابات السياسية. في 19 مارس 1933، كتب بلانك لآينشتاين يعبر عن «حزن عميق بشأن كل تلك الشائعات التي نشأت حول تصريحاتك العامة والخاصة ذات الطابع السياسي في هذه الأوقات العصيبة والمضطربة. أنا غير قادر على التحقق من معناها. الشيء الوحيد الذي أراه بوضوح شديد هو أن هذه الرسائل تجعل من الصعب للغاية على كل من يقدرونك ويعشقونك أن يدافعوا عنك». إنه نوع من الحجة المستخدمة غالبًا

لثني الناس عن اتخاذ موقف ضد النازيين؛ فكر في أحبائك، فأنت تعرضهم للخطر! في تشويه للسبب والنتيجة، ينقل بلانك المسؤولية إلى آينشتاين «كلامك لا يُشعر قومك ورفاقك بالارتياح بأي حال من الأحوال في وضعهم الصعب، بل يزيد الضغط عليهم أكثر».

في 28 مارس 1933، كتب آينشتاين رسالة إلى ابنه إدوارد في زيورخ من على متن الباخرة بيلجنلاند: «لن أذهب إلى ألمانيا في الوقت الحالي، وربما لا أذهب على الإطلاق». رسالة أخرى موجهة إلى أكاديمية العلوم البروسية، بسبب «الأوضاع السائدة في ألمانيا» يستقيل آينشتاين من منصبه لإراحة بلانك، الذي كان يخشى أن يؤدي إجراء طرد آينشتاين إلى انتزاعه من تحفظه الجبان وأنه سيتعين عليه اتخاذ موقف واضح.

مباشرة بعد أن نزل آينشتاين من أنتفرب، استقل سيارة إلى بروكسل، وسلم جواز سفره إلى المفوضية الألمانية وأعلن تخليه عن الجنسية الألمانية. أمضى صيف عام 1933 في بلجيكا وأكسفورد. يجب ألا تطأ قدمه التراب الألماني مرة أخرى.

في الأول من أبريل، أعلن الحزب النازي "مقاطعة يهودية». تمركز جيش الإنقاذ أمام المتاجر اليهودية، ومنع الطلاب والمساعدين والمحاضرين اليهود من دخول الجامعة وسرقوا بطاقات مكتبتهم. أصدر الوزير إرنست هيمان بيانًا نيابة عن أكاديمية العلوم، مُتهمًا آينشتاين بـ «الكراهية الفظيعة» ومطالبة الأكاديمية قائلًا: «لهذا ليس هناك سبب يدعو إلى الندم على استقالة آينشتاين». من بين أعضاء الأكاديمية الآخرين، فقط ماكس فون لاوى، صديق آينشتاين القديم، لا يوافق على هذا البيان. لا يتعين على النازيين أن يضبطوا الأكاديمية، بل إنها تتحول إلى مسارهم نفسه.

في رسالة إلى بلانك في 6 أبريل 1933، كتب آينشتاين من ساحل بحر الشمال البلجيكي عن رأيه في سلوك زملائه السابقين: «أفترض نيابة عن الأكاديمية أنهم أصدروا مثل هذا التصريح التشهيري فقط تحت ضغط خارجي. ولكن حتى في هذه الحالة لن يكون لها أي مجد، وبعض من أفضلهم سيخجلون من ذلك اليوم...».

لا يعرف ألبرت آينشتاين إلى أين يذهب. يتلقى عروض عمل من جامعات حول العالم، ولكن أيها يقبل؟ انتقل وإلسا إلى فيلا في منطقة كوك سور

مير على ساحل بحر الشمال البلجيكي لمدة ستة أشهر. انتشرت شائعات عن خطط القتل الألمانية إلى بلجيكا. ذكرت صحيفة نيويورك تايمز أن ميليشيات العاصفة فتشت منزل آينشتاين في بوتسدام وصادرت سكين الخبز. تعين الحكومة البلجيكية حارسين لآينشتاين.

في سبتمبر 1933، أصبحت المخاوف بشأن سلامة آينشتاين في بلجيكا كبيرة لدرجة أنه انتقل إلى إنجلترا. يقضي شهرًا هادئًا في منزل صغير على ساحل نورفولك.

اقتنع آينشتاين بالتحدث في حفل لجمع التبرعات للاجئين المحتاجين. يترأس إرنست رذرفورد الحدث الذي يقام في قاعة ألبرت الملكية في 3 أكتوبر 1933. يتحدث آينشتاين بلغته الإنجليزية ذات اللهجة الشفابيانية، ويقرأ بتردد خطابه من الورق، لكن هذا لا يثبط حماس الجمهور. احتشد 10000 شخص في القاعة وشجعوه. بناءً على طلب المنظمين، لم ينطق آينشتاين مرة واحدة بكلمة «ألمانيا»، على الرغم من أنه ظل يتحدث عن الظروف في ألمانيا والخطر الذي تشكله على العالم.

بعد أربعة أيام، في 7 أكتوبر 1933، غادر آينشتاين إلى أمريكا. في ساوثهامبتون استقل سفينة ويستمورلاند، التي استقلتها زوجته إلسا وسكرتيرته هيلين دوكاس من أنتفرب. تقضي الخطة بقضاء الأشهر الخمسة المقبلة في معهد الدراسات المتقدمة، لكنه لن يعود أبدًا إلى أوروبا.

في محطة الحجر الصحي، تسلم آينشتاين رسالة من أبراهام فلكسنر، مؤسس المعهد ومديره. يحثه فلكسنر على «الصمت، والحذر، ورفض الظهور في الأماكن العامة». تعتمد سلامته على ذلك. كتب فلكسنر: «لا شك في وجود عصابات منظمة من النازيين غير المسؤولين في هذا البلد». لا تحتاج إلى ذكاء آينشتاين لتعرف أن فلكسنر كان مهتمًا في الواقع بالسمعة التي لم تُرسخ بعد لمؤسسته وإحسان المانحين. خلال الأسابيع القليلة التالية، اعتاد فلكسنر على حجب بريد آينشتاين وإلغاء الدعوات والمواعيد نيابة عنه، حتى دعوة البيت الأبيض. يزداد استياء آينشتاين من تكميم فلكسنر له. لقد غادر ألمانيا على وجه التحديد بسبب مثل هذه الهجمات. في رسائل إلى الأصدقاء، كتب آينشتاين عنوان المرسل «معسكر اعتقال، برينستون».

يشتكي إلى القائمين على المعهد من فلكسنر، ويسرد انتهاكاته ويطلب منهم «توفير الأمن له للعمل غير المضطرب والإنساني، بحيث لا تحدث تدخلات في كل خطوة لا يتحملها أي رجل مستقيم. إذا اعتبر ذلك غير عملي، أود أن أقترح التفاوض معكم لإنهاء علاقتي مع المعهد بطريقة كريمة». تهديده يؤثر. سيكون حزن آينشتاين أشد ضررًا للمعهد من صراحته. يحتاج فلكسنر إلى تركه على راحته. يستعيد حريته، لكنه يفقد كل نفوذه في إدارة المعهد. إنها حرية المهرجين.

زيورخ 1931
حلم باولي

زيورخ، صيف عام 1931. يخطو فولفجانج باولي عبر بوابة الحديقة ويقترب من المنزل الرائع بجانب البحيرة. هناك تباين غريب بين العالم الخارجي وحياته الداخلية. الفيلا بأبراجها وجملوناتها ونوافذها الكبيرة وأشجار الفاكهة والشجيرات المزينة بدقة، والمراكب الشراعية في بحيرة زيورخ؛ منظر رائع من كتاب مصور. لدى فولفجانج باولي؛ اضطراب قاتم. لم يعد باولي، الفيزيائي الموهوب للغاية، قادرًا على التعامل مع حياته. هذا هو سبب وجوده هنا، ولهذا السبب يقترب من الفيلا المطلة على البحيرة اليوم بأمل قلق. يعيش هنا الدكتور كارل جوستاف يونج، الطبيب النفسي الشهير، كان يومًا ما تلميذًا لزيجموند فرويد، وهو الآن خصمه الأكبر. لدى باولي أول موعد معه.

يعد فولفجانج باولي أحد أعظم المواهب في تاريخ الفيزياء. يقول ماكس بورن عن تلميذه: «عبقري، لا يمكن مقارنته إلا بآينشتاين نفسه، وربما يكون علميًّا أعظم من آينشتاين». من وجهة نظر علمية بحتة، يعني بورن، أن باولي ليس سوى شخص عبقري. إنه دائمًا ما يتعارض مع زملائه، ويسخر بحس الفكاهة المرير، ولا يحالفه الحظ مع النساء. كما أنه يعاني من مشكلة في الشرب.

ومع ذلك، يُقدِّر باولي زملاءه. غالبًا ما يكون نقده في صلب الموضوع، وهو لا يتحدث لفترة طويلة. يقول صديقه باول إرنفست: «ربما تكون مساهماته العديدة والمنتشرة التي قدمها لتطوير الفيزياء الحديثة من خلال المناقشات الشفوية أو المراسلات أكثر أهمية من منشوراته». لا إرنفست، ولا حتى أعز أصدقائه يشكون في المأساة التي تحدث خلف الواجهة.

وُلِد فولفجانج باولي في 25 أبريل 1900 في فيينا، في مدينة تختلط فيها الحيوية بانعدام الأمن في نهاية القرن. كان والده، الذي يشارك اسمه الأول فولفجانج، طبيبًا قبل أن ينتقل من الطب إلى العلم، وخلال هذه العملية أيضًا غيَّر اسم عائلته من باشلس إلى باولي، وتحول من اليهودية إلى الكاثوليكية خوفًا من تزايد معاداة السامية التي يمكن أن تضر بمسيرته الأكاديمية. يكبر فولفجانج جونيور دون أن يعرف أي شيء عن تاريخ العائلة اليهودية. فقط بعد أن أشار طالب زميل إلى ذلك سأل والديه واكتشف الحقيقة. شعر والده بصحة قراره باندماج الأسرة عندما عُيِّن أستاذًا للكيمياء الفيزيائية البيولوجية ورئيسًا للمعهد في جامعة فيينا في عام 1919. بعد «ضم» النمسا إلى الرايخ الألماني في عام 1938، اعتُبر يهوديًّا مرة أخرى وفقًا لقانون مواطنة الرايخ، واضطر إلى مغادرة البلاد والتوجُّه إلى زيورخ.

ولد باولي مع الفيزياء. عرَّابه هو إرنست ماخ، الفيزيائي والفيلسوف المؤثر في فيينا. كانت العلاقة مع ماخ، الذي رآه آخر مرة في سن الرابعة عشرة، «أهم حدث في حياتي الفكرية»، كما قال باولي لاحقًا. سرعان ما اعتُبر طفلًا معجزة، وهو نفسه قال ذات مرة: «نعم، طفل معجزة، تمضي المعجزة ويبقى الطفل...».

بيرتا والدة فولفجانج باولي، صحفية مشهورة من فيينا، سلمية واشتراكية وناشطة في مجال حقوق المرأة. يأتي الفنانون والعلماء والأطباء ويذهبون إلى منزل عائلة باولي. أثرت بيرتا بشدة في تفكير فولفجانج، بخاصةٍ خلال الحرب العالمية الأولى. فكلما طال أمد الحرب، زاد صدها للمراهق بعنف.

باولي موهوب للغاية، لكنه ليس طالبًا مثاليًّا. يمل من المدرسة. خلال الساعات المملة تحديدًا، قرأ أعمال ألبرت آينشتاين حول نظرية النسبية خلف مقاعد الدراسة. يقال إن الأستاذ في درس في الفيزياء أخطأ على السبورة، لكنه لم يتمكن من العثور على خطئه حتى بعد بحث طويل. من أجل التسلية

الرائعة للفصل، صاح في يأس: «باولي، أخبرني الآن أين الخطأ، بالتأكيد عرفته منذ فترة طويلة».

في سن الثامنة عشرة، فرَّ باولي من «الصحراء الروحية» التي عاشها في فيينا. الإمبراطورية النمساوية المجرية تتجه نحو الهاوية، يتلاشى مجد عاصمتها، يغادر الفيزيائيون الجيدون الجامعة. يذهب باولي إلى ميونخ للدراسة مع أرنولد زومرفِلد، الذي رفض للتو منصب أستاذ في فيينا. زومرفِلد بصدد تحويل ميونخ إلى «حضانة للفيزياء النظرية»، حيث يقوم أفضل المعلمين بتربية أعظم المواهب. كان يحاول القيام بذلك منذ عام 1906، لكن معهده لا يزال صغيرًا ويمكن التحكم فيه. يتكون من أربع غرف فقط؛ مكتب زومرفِلد، وقاعة محاضرات، وقاعة ندوات ومكتبة صغيرة. يوجد في الطابق السفلي مختبر تم فيه تأكيد نظرية ماكس فون لاوى في عام 1912 أن الأشعة السينية هي موجات كهرومغناطيسية عالية الطاقة.

زومرفِلد مُنظِّر ممتاز وهو أفضل مُعلم. لديه شعور بإعطاء طلابه المهام التي تزيد من قدراتهم ولكن لا تطغى عليهم. على الرغم من أنه كان لديه بالفعل عدد من الطلاب الموهوبين، فإنه سرعان ما أدرك أن موهبة باولي غير عادية.

مباشرة بعد تخرجه من المدرسة الثانوية في عام 1918، ذهب باولي إلى ميونخ لينشأ في «حضانة» زومرفِلد. في الصف الثالث، طلب منه زومرفِلد أن يكتب فصلًا عن نظرية النسبية لموسوعة العلوم الرياضية. آينشتاين نفسه لا يريد كتابة الفصل، ليس لدى زومرفِلد وقت. يعرف باولي نظرية النسبية جيدًا.

بعد عام تقريبًا، انتهى الفصل، بطول 237 صفحة، مع 394 حاشية سفلية. كتبه باولي بجوار دراسته. آينشتاين مندهش: «أي شخص يدرس هذا العمل الناضج والواسع النطاق لا يصدق أن المؤلف هو رجل في الحادية والعشرين. لا أعرف ما الذي ينبغي الإعجاب به أكثر، الفهم النفسي لتطور الأفكار، يقين الاستنتاج الرياضي، البصيرة الفيزيائية العميقة، القدرة على تقديم عرض واضح ومنهجي، معرفة الأدب، اكتمال الحقائق، يقين النقد». ظل هذا الفصل لعقود العمل القياسي لنظرية النسبية.

سرعان ما عُرف فولفجانج باولي وخشي بسبب نقده الحاد والدقيق الذي لا هوادة فيه للأفكار الجديدة والتأمُّلية. يسميه صديقه الطيب باول إرنفست «آفة الرب». يسميه آخرون «ضمير الفيزياء». يستبعد عمل فيزيائي شاب لكونه «ليس مخطئًا». عندما يحاول أحد الزملاء إيقافه بقول: «لا يمكنني التفكير بالسرعة التي تفكر بها»، أجاب باولي: «لا يزعجني إذا كنت تفكر ببطء، ولكني أعترض إذا نشرت أسرع مما تعتقد». تضفي التعليقات سُمعة على باولي أنه متعجرف. أولئك الذين يعرفونه يدركون جيدًا أنه رجل مستقيم، وأنه ليس شخصًا قاسيًا. يقول زميله فيكتور فايسكوبف: «كان باولي شخصًا نزيهًا للغاية، ويتمتع بنوع من الصدق الطفولي. يتكلم دائمًا برأيه الصحيح مباشرةً دون تردد».

تداول زملاؤه هذه النكتة عنه: «بعد موت باولي يهبه الرب مقابلة. يسأل باولي لماذا ثابت البِنية الدقيقة له قيمة 137/1. يهز الرب رأسه ويذهب إلى السبورة ويبدأ في اشتقاق المعادلة بعد المعادلة بسرعة فائقة. في البداية ينظر باولي بارتياح كبير، لكنه سرعان ما يبدأ في هز رأسه بعنف وحزم...».

عندما يفكر باولي بتركيز، يهز جسده ذهابًا وإيابًا. حدسه الفيزيائي لا مثيل له بين معاصريه. ولا حتى ألبرت آينشتاين يتفوق عليه في هذا.

ينتقد باولي أعماله بقسوة أكثر من أعمال الآخرين. يبدو أحيانًا أنه يفهم الفيزياء وصعوباتها جيدًا، مما يعوق إبداعه. إنه يفتقر إلى البراعة التي يحتاجها المستكشفون العظماء أحيانًا. ولذا فهو يتجنب الاكتشافات التي يمكن أن يحققها من خلال حدسه وخياله، فتقع على عاتق زملائه الأقل موهبةً وخوفًا.

حتى عندما واجه ألبرت آينشتاين، بقي باولي واثقًا من نفسه وبلا خجل. قال الطالب فولفجانج باولي في قاعة محاضرات مزدحمة وبها آينشتاين نفسه، الذي ألقى للتو محاضرة كضيف في ميونخ: «ما يقوله آينشتاين ليس بهذا الغباء».

لا يستثني أحدًا. عدا شخص واحد. الوحيد الذي يمسك باولي لسانه الحاد ضده هو زومرفِلد، الذي يوجهه دائمًا باسم «السيد المستشار». عندما يقول زومرفِلد شيئًا ما، يظل باولي هادئًا ومتواضعًا: «نعم، يا سيادة المستشار، لا، يا سيادة المستشار، ربما لم تكن هذه هي الطريقة التي وضعتها بها».

كطالب، يستمتع باولي بالحياة الليلية في ميونخ. يتجول في المقاهي في المساء حتى تغلق، ثم يذهب إلى غرفته للعمل لبقية الليل. عادة ما يترك المحاضرات الصباحية، ولا يظهر إلا في الظهيرة. لكنه يسمع ما يكفي للسماح لزومرفِلد بجذبه إلى ألغاز فيزياء الكم. يقول لاحقًا: «لم أسلم من الصدمة، التي تلقاها كل فيزيائي اعتاد على التفكير الكلاسيكي عندما تعلم لأول مرة فرضية بور الأساسية لنظرية الكم».

بالنسبة لأطروحته للدكتوراه، حدد زومرفِلد لباولي مَهمة نقل قواعد نموذج بور/زومرفِلد الذري إلى جزيء هيدروجين تأين عن طريق إخراج إلكترون من إحدى الذرتيْن. يوفر باولي تحليلًا لا تشوبه شائبة من الناحية النظرية، والذي، مع ذلك، لا يتطابق مع نتائج القياس من المختبرات. لا يمكنه أن يساعد في ذلك، فقد وصل إلى حدود القدرة التنبؤية لنظرية بور وزومرفِلد. يحصل باولي على درجة الدكتوراه. في أكتوبر 1921، وهو لا يزال في عام الدكتوراه واستكمال مقالته حول نظرية النسبية، ذهب إلى جوتنجن ليصبح مساعدًا لماكس بورن. بورن، 38 عامًا، كان يدرِّس في جامعة صغيرة منذ ستة أشهر فقط.

أثار «باولي الصغير» إعجاب بورن بشدة. كتب إلى ألبرت آينشتاين بعد وقت قصير من وصول فولفجانج باولي: «لن أحصل على مساعد أفضل منه ثانية». يعمل بورن وباولي معًا لنقل طرق الميكانيكا السماوية[1] إلى الذرات والجزيئات. ما يربطهما أيضًا هو خراقتهما اليدوية. باولي أكثر حماقة في المختبر من بورن.

يتشبث الحظ السيئ بكعب باولي. انتشرت كلمة «تأثير باولي» بين زملائه وبخاصةٍ علماء الفيزياء التجريبية. هناك نظرية لدى علماء الفيزياء حول أقرانهم مفادها أن «قانون الحفاظ على العبقرية» ينطبق بين المُنظِّرين والمُجرِّبين. المُنظِّر اللامع هو مُجرِّب بائس، والعكس بالعكس. فولفجانج باولي دليل حي على هذه النظرية. تكمن عبقريته بالكامل في الجانب

(1) الميكانيكا السماوية أحد فروع علم الفلك الذي يهتم بدراسة حركة الأجرام السماوية. يقوم هذا المجال بتطبيق مبادئ الفيزياء الكلاسيكية لتفسير الظواهر المحدثة على مستوى الكون والأجرام السماوية مثل النجوم والكواكب وللحصول على بيانات إمفيرميرية. [المترجم]

النظري. أينما يظهر باولي، ينكسر شيءٌ ما، يثبت نفسه كخرافة. يزور باولي مرصدًا، سرعان ما تضرر المنظار الكبير بشدة. في إحدى المرات، انهار إعداد تجريبي معقد لفحص الذرات في مختبر في جوتنجن دون أي سبب واضح. كيف يكون ذلك ممكنًا، يتساءل المجربون، باولي بعيد جدا في سويسرا. يكتب رئيس المختبر رسالة بارعة حول الحادث إلى عنوان باولي في زيورخ. يأتي الجواب بخاتم بريد دنماركي. يكتب باولي من كوبنهاجن. بالضبط في اللحظة التي تعطلت فيها أدوات القياس، توقف قطاره في محطة جوتنجن. في هامبورج، لا يتحدث العالم التجريبي الأكثر أهمية إلى باولي إلا من خلال باب المختبر المغلق، خوفًا على معداته.

يجد بورن مساعده الموهوب للغاية في القيام بالأشياء بطريقته الخاصة. لا يزال عقل باولي المتفوق نشطًا، بخاصةٍ في الليل. يحافظ على عادته في العمل لوقت متأخر والاستيقاظ متأخرًا. إذا كان سينوب عن رئيسه في محاضرته الساعة الحادية عشرة، يجب على بورن إرسال الخادمة لإيقاظه في الساعة العاشرة والنصف.

لكن باولي «مساعد» لبورن بالاسم فقط. على الرغم من نمط الحياة غير المنتظم وعدم التزام «الطفل المعجزة» المزمن، يجب على بورن أن يعترف بأنه يتعلم منه أكثر مما يستطيع أن يعلمه. يتمتع باولي بالحدس الفيزيائي الآمن الذي يضعه على المسار الصحيح، والذي يتعين على بورن البحث عنه باجتهاد رياضي. يأسف المعلم أكثر من التلميذ عندما يفترقان بعد فصل دراسي واحد فقط. في أبريل 1922، ذهب باولي إلى هامبورج، من جامعة صغيرة إلى المدينة الكبيرة، «من المياه المعدنية إلى الشمبانيا»، على حد تعبيره. كان يتجول مع أصدقائه الجدد، الفيزيائي أوتو شتِرن، وعالم الرياضيات إريش هيكه، والفلكي فالتر بادي، في أنحاء سانت باولي طوال الليل. تلوح في الأفق مشكلة الكحول.

بعد شهرين، عاد باولي إلى جوتنجن لحضور «مهرجان بور»، تمهيدًا لأكثر سنوات ميكانيكا الكم إثارة. وبهذه المناسبة يلتقي بور للمرة الأولى. ويلتقي كذلك للمرة الأولى مع فِرنر هايزنبرج، النجم الصاعد الآخر في سماء فيزياء الكم. بور العظيم يسأل باولي إذا كان يريد القدوم إلى كوبنهاجن. بالطبع يريد باولي ذلك. أخبر بور بطريقته الخاصة: «لا أعتقد أن المطالب العلمية التي ستطلبها مني ستسبب لي أية صعوبات، لكن تعلُّم لغة أجنبية

مثل الدنماركية يتجاوز قدراتي كثيرًا». وصل باولي إلى كوبنهاجن في خريف عام 1922، وتبين أن كلا الافتراضيْن خاطئ. إنه يتماشى مع اللغة، لا العلم.

في كوبنهاجن، شرع باولي في تحليل «تأثير زيمان الشاذ»؛ ظاهرة الأطياف الذرية التي لا يمكن تفسيرها بنموذج بور/زومرفِلد الذرِّي. عندما تتعرض الذرات لمجال مغناطيسي، تنقسم خطوطها الطيفية. يصبح الخط الواحد خطيْن أو ثلاثة أو أكثر. قام زومرفِلد بتعديل نموذج بور بذكاء حتى يتمكن من شرح مضاعفة الخطوط لضعفين أو ثلاثة أضعاف. يمتد المجال المغناطيسي ويشوه ويلوي المدارات. يصف زومرفِلد هذه التأثيرات من خلال ثلاثة «أعداد كمومية[1]». لكن الخطوط تتضاعف أكثر، فهي تتضاعف أربعة وستة أضعاف. هذا هو المكان الذي فشل فيه مزيج بور من الفيزياء الكلاسيكية ونظرية الكم.

يريد باولي معالجة هذا البؤس، لكنه لم ينجح. يفشل مرارًا وتكرارًا. يشكو إلى زومرفِلد: «لكنها لا تريد أن تكون صحيحة! لقد سارت الأمور معي بشكل خاطئ للغاية حتى الآن!». ينزلق تدريجيًّا إلى حالة من اليأس العميق. ينفد وقته في كوبنهاجن. وبينما كان يتجول بلا هدف في شوارع المدينة، تحدث إليه أحد الزملاء: «تبدو غير سعيد تمامًا». أجاب بولي بغلظة: «كيف يفترض أن أبدو سعيدًا عندما أفكر في تأثير زيمان؟». وهو يتشكك في «أنه لا يوجد نموذج دوري مشروط لتأثير زيمان وأن شيئًا جديدًا يجب القيام به».

يعود باولي إلى هامبورج دون تحقيق أي شيء، ولكنه ترقى على الأقل من مساعد إلى محاضر خاص. إن سر تأثير زيمان لا يسمح له بالرحيل. لن تتخلى عنه كوبنهاجن. استقل القطار والعبَّارة عبر بحر البلطيق لمرات عديدة. يواصل البحث. ما الذي ينقص نموذج بور للذرات؟ يزداد يأسه وتزداد معه مشكلة الكحول. مشكلة؟ الكحول، نعم، لكن لا، لا مشكلة. يقول باولي «إن شرب الخمر يناسبني كثيرًا. بعد الزجاجة الثانية من النبيذ أو النبيذ

(1) أعداد الكم أربعة أعداد وهي إحداثيات الإلكترون في الذرة، تمامًا كوصف العنوان المدينة والحي والشارع ورقم المنزل، فهي أعداد تحدد أحجام الحيز من الفراغ الذي يزيد احتمال وجود الإلكترونات فيه، كما تحدد طاقة المدارات وأشكالها واتجاهاتها بالنسبة لمحاور الذرَّة في الفراغ. ويلزم لتحديد طاقة الإلكترون في الذرة معرفة قيم الأربعة أعداد الكمية التي تصفه. وهي: عدد كم رئيسي، وعدد كم مداري (ثانوي)، وعدد كم مغناطيسي، وعدد كم مغزلي. [المترجم]

الفوار، أميل إلى تبني أخلاق الرفيق الجيد (وهو ما لم أحصل عليه قط عندما أكون واعيًا) ويمكنني بعد ذلك، في ظل ظروف معينة، أن أترك انطباعًا هائلًا على من حولي، بخاصةٍ إذا كانت أنثى!». يبدأ حياة مزدوجة، محاضر جامعي رزين نهارًا، وباحث عن البهجة ليلًا. عندما يحل الظلام، يتجول بين الحانات والعروض المتنوعة في سانت باولي، حيث تكون البارات لزجة من البيرة المسكوبة والجدران مظلمة بدخان التبغ، حيث ترقص جوزفين بيكر، المحظورة من الأداء في ميونخ، رقصتها تشارلستون. يخفي باولي عن زملائه رحلاته إلى شارع سانت باولي.

وهو مخطئ في تقديره، فالكحول يلوث أخلاقه بالفعل، يكسر قيوده ويصبح عدوانيًّا ويدخل في شجار دائم. ذات مرة، عندما كان يأكل في أحد مطاعمه المفضلة في الحي، اندلع جدال، وكان باولي في المنتصف. يغضب، ولا يعود إلى رشده إلا عندما يهدده أحدهم بطرده من نافذة الطابق الثاني، وبعد ذلك لا يفهم سلوكه. يبدأ علاقات مع النساء، مدركًا بعد فوات الأوان أنهم مدمنون على المخدرات ولا يريدون منه سوى المال مقابل المنشطات. يفقد باولي السيطرة تدريجيًّا.

في خريف عام 1924، بدأت حياته اليومية أيضًا في التحرك. نصيحة من أرنولد زومرفِلد تضعه على المسار الصحيح. في الطبعة الرابعة من كتابه التعليمي «التركيب الذري والخطوط الطيفية»، ذكر زومرفِلد ورقة بحثية كتبها طالب إنجليزي اسمه إدموند ستونر، 35 عامًا، في المجلة الفلسفية. يدَّعي ستونر، الذي يجري تجارب مع إرنست رذرفورد في مختبر كافنديش، أن الإلكترونات في الذرات الكبيرة ترتب نفسها بشكل مختلف عما يقوله بور. يعترض بور على اعتراض ستونر. ينتفض باولي على الفور. لم يكن معروفًا بحركاته الرياضية، لكنه قفز من كتاب زومرفِلد التعليمي، وركض إلى المكتبة، وانتزع المجلة الفلسفية. فهم الآن ما يحدث في غلاف التكافؤ[1]. يكمن الحل في رقم كمِّي رابع. تحتوي الإلكترونات على خاصية لم يتعرف عليها أحد بعد، وهي خاصية يسميها باولي «غامضة». يمكن أن يأخذ قيمتيْن فقط، 0 أو 1. يضاعف هذا عدد الحالات التي يمكن أن يكون فيها الإلكترون

(1) غلاف التكافؤ هو المدار الأخير في الذرة، والذي يحتوي على الإلكترونات التي تساهم في أي تفاعل تدخل فيه الذرة، والتفاعلات التي تحدث بين روابط الذرات. تسمى الإلكترونات التي توجد في غلاف التكافؤ بإلكترونات التكافؤ. [المترجم]

في الذرة، وفجأة يتلاءم كل شيء معًا. تتوزع الإلكترونات كما ينبغي. تنقسم الخطوط الطيفية، كما لاحظ المُجرِّبون منذ عقود.

مفتاح تفسير فولفجانج باولي لترتيبات الإلكترون هو المبدأ الذي سيحمل اسمه إلى الأبد: «مبدأ استبعاد باولي». لا يمكن لإلكترونين في الذرة أن تكون لهما نفس الحالة أبدًا. إنه أحد القوانين العظيمة للطبيعة. يمكن أن يستخدمها باولي لشرح كيفية ترتيب العناصر في الجدول الدوري وكيفية وجود الإلكترونات في ذرات الغازات النبيلة. يمكنه شرح سبب كون بنية المادة على ما هي عليه. ومع ذلك، لا يمكنه شرح مبدئه نفسه. إنه مبدأ أساسي.

وصل باولي إلى هدفه أخيرًا، حتى لو وجده الهدف قبل أن يجده هو. في مقالته «حول ارتباط إنهاء مجموعات الإلكترون في الذرة بالبنية المعقدة للأطياف» يعترف في مجلة الفيزياء قائلًا: «لا يمكننا إعطاء تبرير أكثر تفصيلًا لهذه القاعدة، لكن يبدو أنها تقدم نفسها على أنها طبيعية للغاية».

أظهر باولي ما يمكنه فعله واستمر في إظهاره. يشارك في تطوير ميكانيكا مصفوفة هايزنبرج، ويثبت تكافؤ ميكانيكا المصفوفة وميكانيكا الموجات، ويدعم هايزنبرج في صياغة مبدأ عدم اليقين. من خلال كل ذلك، يظل كما كان الرجل المتمرد والمضطرب دائمًا. إنه لا يريد الخضوع لـ «تصوف الأعداد[1] في ميونخ» (زومرفِلد) أو «انقلاب كوبنهاجن الرجعي» (بور).

في عام 1930، تنبأ فولفجانج باولي بجرأة بوجود جسيم غامض، لم يكن معروفًا من قبل؛ دون شحنة كهربائية، وبلا كتلة تقريبًا، قادر على الهروب من أي جهاز قياس لم يُكتشف. يسميه «نيوترون»، ثم أعيدت تسميته «نيوترينو». إنه تقدم هائل، لأنه حتى الآن افترض علماء الفيزياء أن المادة تتكون حصريًا من الإلكترونات والبروتونات. بعد 26 عامًا، سيُكشَف عن النيوترينو.

---

(1) يُعرف أيضًا بعلم معاني الأعداد وهو يشمل أيًا من الأنظمة، العادات أو المعتقدات التي تفسر وجود علاقة روحية أو باطنية بين الأعداد والأشياء الجامدة أو الحية. تشير رمزية الأعداد إلى تخصيص معانٍ للأعداد الفردية أو المجموعات، مع تلقي الأعداد لدالة رمزية تشير إلى وظيفتها الرياضية. لوحظت هذه الرمزية، مع اختلافات في التعبير والوظيفة، في الدين والليتورجيا والأدب والعادات والخرافات، كما تلعب دورًا في البحث في الأشكال التاريخية للموسيقى والهندسة المعمارية والطب والفن والقانون. [المترجم]

كان باولي في ذروة مسيرته العلمية وفي الوقت نفسه في أدنى مستوياته الشخصية. في عام 1927 انتحرت والدته بالسم عندما اكتشفت علاقة والدها الجنسية. يفقد باولي توازنه الداخلي ويتزوج من الراقصة البرلينية كيتي ديبنر. بعد شهرين من الزفاف، كتب في رسالة إلى صديق: «إذا هربت زوجتي مني، فستتلقى إخطارًا مطبوعًا (مثل جميع أصدقائي الآخرين)». بعد بضعة أشهر، انفصل الزوجان، هربت كيتي مع كيميائي. يقول باولي: «لو كانت اختارت مصارع ثيران، لتفهمت، ولكن مع مثل هذا الكيميائي العادي...».

أغرق باولي خيبة أمله في الكحول وانزلق أكثر في الأزمة. زاد وزنه، وانتفخ وجهه. في جولة محاضرات عبر الولايات المتحدة الأمريكية، على الرغم من الحظر، كان مخمورًا لدرجة أنه سقط على الدرج وكُسِرت كتفه. وُضِعَت ذراعه اليمنى في جبيرة، يحتاج في محاضراته الآن إلى مساعد يكتب له على السبورة.

بالعودة إلى زيورخ، حيث كان أستاذًا للفيزياء النظرية في المعهد الفدرالي للتكنولوجيا منذ عام 1928، يواصل باولي الشرب، والتدخين، والتنقل من حفلة إلى أخرى، وينام مع النساء بعشوائية، ويتشاجر مع الرجال. استدعته إدارة المعهد لإجراء مقابلة. إذا لم يتصرف بشكل أفضل، فسوف يفقد وظيفته. ما الفائدة التي تعود على الرجل البائس عندما يكون «عبقريًّا أعظم من آينشتاين؟» يسود الفراغ واليأس خلف واجهة الأستاذ المضحك المحب للمرح. الأحلام المزعجة التي لطالما طاردت نوم باولي تطارده الآن خلال النهار أيضًا؛ أشكال هندسية مختلطة بزخارف فيزيائية مثل الساعات والبندولات، مع رموز غامضة مثل الأفعى التي تلتهم ذيلها، مع كائنات خيالية بشرية وحيوانية، مع شخصيات نسائية، عاريات ومستترات. لم يعد من الممكن إزاحة الصور بعد الآن. لقد انتهى فولفجانج باولي.

نصحه والده باستشارة المحلل العالمي الشهير كارل جوستاف يونج، الذي يعيش تقريبًا في حيه بالقرب من زيورخ. يشعر باولي تجاه والده بالكراهية أكثر من الحب، لكنه يتبع النصيحة ويحدد موعدًا مع يونج.

يذهب فولفجانج باولي إلى مثل هذا الموعد فقط وهو مستعد جيدًا. يقرأ أعمال يونج مسبقًا. يؤكد باولي على مقطع في كتاب الأنواع النفسية ليونج ثلاث مرات: «إذا كانت الشخصية فكرية، فإن الروح بالتأكيد عاطفية. المرأة الأنثوية للغاية لها روح ذكورية، والرجل شديد الذكورية لديه روح أنثوية.

ينبع هذا التناقض من حقيقة أن الرجل، على سبيل المثال، ليس ذكوريًّا مطلقًا في كل شيء، ولكنه يمتلك أيضًا سمات أنثوية معينة». باولي فكري، لا شك في ذلك، ولا شك في ذكوريته أيضًا. فهل تنبع مشكلاته من جانب أنثوي متوارٍ؟

ينشأ بداخله شعور غير معروف. يشعر بفهم التناقضات الداخلية التي تجذبه. لكنه يشعر أيضًا بأنه ديجافو. إن نظرية يونج عن «اتحاد الأضداد»، وهي محاولة توحيد ما هو غير متوافق في الإنسان، تذكره بصراع علماء الفيزياء الكمومية مع طبيعة المادة، بنظرية نيلز بور عن التكامل. هل يتعلق بالمؤنث والمذكر كما يتعلق بالموجات والجسيمات؟

في وصف يونج لنوع التفكير الانطوائي، يستطيع باولي، الذي يخفي خوفه ببراعة بالذكاء والسخرية، أن يرى نفسه كأنه أمام مرآة؛ بقدر وضوح الهيكل الداخلي لأفكاره، فإنه من غير الواضح له أين وكيف ينتمي في العالم الحقيقي؛ عندما يقع في حب الأشخاص الذين لا يفهمونه، فإنه يجمع أدلة على غباء الناس الذين لا يفهمونه؛ أو يتطور إلى عازب كاره للبشر بقلب طفولي؛ يبدو خشنًا، منعزلًا ومتغطرسًا. يخاف من جنس الأنثى.

يشعر فولفجانج باولي بالإثارة والترقب عندما يدخل منزل يونج لأول مرة ويصعد الدرج الواسع المنحني إلى الطابق الأول. الدكتور يونج، 56 عامًا، أشيب الشعر، يضع غليون التبغ في زاوية فمه، يرحب بالمريض الجديد، 31 عامًا، في مكتبته، التي يحتفظ بها لتلك الحالات التي يريد المشاركة فيها بشكل خاص. هناك كتب كيمياء على الرفوف، المفضلة لدى يونج. يمكن لباولي الاختيار بين كرسيين، يطل أحدهما على بحيرة زيورخ من النافذة الكبيرة، والآخر على رفوف الكتب. جوستاف يونج يجلس على الأريكة. يشعر بالقلق اليائس الذي ينبعث من باولي. بعد سنوات، يصف يونج انطباعاته الأولى عن باولي: «إنه رجل مُتعلِّم تعليمًا عاليًا ولديه عقل متطور بشكل غير عادي، وهذا بالطبع بسبب الصعوبات التي يواجهها. لقد كان بعيدًا جدًّا عن وجهة نظر فكرية وعلمية أحادية الجانب. لديه عقل رائع معروف به. إنه ليس شخصًا عاديًّا. طلب مني النصيحة لأنه كان ممزقًا تمامًا بسبب انحيازه. لسوء الحظ، لا يهتم هؤلاء المثقفون بحياتهم العاطفية وبالتالي يفقدون التواصل مع عالم المشاعر. إنهم يعيشون بشكل أساسي في عالم من الأفكار. لذلك فقدَ نفسه تمامًا في جميع العلاقات مع الآخرين. في النهاية بدأ يتشرب مثل هذا

الهراء وأصبح خائفًا من نفسه، ولم يستطع فهم ما كان يحدث له، فقدَ رباط جأشه ووقع في المشكلات طوال الوقت. لهذا قرر أن يستشيرني».

يبدأ باولي في سرد قصص النساء، والشرب، والغضب، والوحدة، والأحلام الواعية[1] الرهيبة، والخوف من الجنون. يونج مفتون. مثل هذه الحالة، ومثل هذا الفكر، ومثل هذا الاختبار لنظرياته الخاصة عن النفس التي لن يضطر لمواجهتها إلا مرة واحدة على كرسيه. ما هي القوى التي تجذب هذا الرجل؟ كيف تساعده على استعادة توازنه؟ «وما الذي يدور في ذهن ذلك العقلاني العلمي المتشدد الذي أنتج المانداﻻ[2] في أحلامه وخيالات يقظته؟» سيكتب يونج لاحقًا في كتابه النفس والرمز: «كان عليه أن يرى طبيبًا نفسيًّا لأنه اعتقد أنه يفقد عقله، بعد أن طغت عليه فجأة أكثر الأحلام والرؤى المدهشة. عندما استشارني العقلاني المتشدد المذكور أعلاه لأول مرة، كان في حالة من الذعر لدرجة أنه لم يكن هو فقط يشعر بها، بل أنا أيضًا شعرت بالرياح تهب من مصحة الجنون!».

في صور أحلام باولي، يرى كارل جوستاف يونج رموزًا قديمة يعرفها من الكيمياء. يتعرف على البِنى الأساسية العميقة للاوعي، والتي يسميها «النماذج البدئية». هذا ليس وهمًا، هذا جانب باولي الخارج من الظل. في الخوف من النساء، وفي الشجار مع الرجال، يظهر الدفاع ضد هذا الجانب المظلم. كيف يفترض بهذا الشخص العقلاني أن يتصالح مع أشياء بعيدة كل البعد عن الفيزياء الحديثة؟

لكن يونج يشعر بالقلق من أنه، الرجل القوي، الذي يمكن أن يمنع الرجل الضعيف باولي من خلال تعليقاته، أو من مجرد وجوده، يمنعه من الحلم والتحدث بحرية. يعتقد أنه من الأفضل أن يحافظ على مسافة. يقرر يونج أن يخضع باولي لعلاج من قبل معالج طبي. سلمه ملاحظة مع عنوان المتدربة

---

(1) الحلم الواعي هو أي حلم يُدرك صاحبه حقيقة أنه يحلم. في أثناء الحلم الواضح، ثمَّة إمكانية عالية لأن يتمكَّن صاحب الحُلم من التحكم بحلمه وتغيير مجريات الأحداث فيه. يمكن للأحلام الواعية أن تكون واقعيَّة. [المترجم]

(2) المانداﻻ هي مجموعةٌ من الرُّموز استُعملت من قِبَل الهندوسيين والبوذيين للتعبير عن صورة الكون الميتافيزيقي. والمانداﻻ كلمة في اللغة السنسكريتية تعني الدائرة أو القرص. والشائع الآن أنها أصبحت مصطلحًا عامًّا لأي تخطيط، جدول أو نمط هندسي يقدم الكون عن طريق المتافيزيقيا أو الرموز. [المترجم]

إرنا روزنباوم ويقول فيها وداعًا. تعمل روزنباوم معه منذ تسعة أشهر فقط. إنها مبتدئة.

يعتقد يونج أنه لا سبيل لمساعدة باولي في إصلاح علاقته الصعبة مع النساء والتعامل مع جانبه الأنثوي الإبداعي إلا من خلال امرأة. لكن باولي لا يحب ذلك على الإطلاق. يشعر بالخجل وعدم الأمان. لهذا السبب تحديدًا، يعتقد يونج بضرورة معالجته بواسطتها. يترك باولي دون أي خيار. يشعر باولي بخيبة أمل، لكنه يريد ألا يدخر وسعًا ويكتب رسالة ساخطًا إلى روزنباوم يطلب فيها موعدًا.

يشعر فولفجانج باولي بالريبة عندما يذهب لرؤية إرنا روزنباوم، ويصيبها بالفزع عندما يغادر. سألتْ يونج في اليوم التالي: «أي نوع من الرجال أرسلت إليَّ؟». يسأل يونج: «ماذا حل به؟ هل هو نصف مجنون؟ ما الذي حدث؟». أخبرها باولي بحكايته، وفقًا لتقارير روزنباوم، مصحوبة «بمشاعر قوية لدرجة أنه تدحرج على الأرض». تسأل مرة أخرى: «هل هو مجنون؟». أجاب يونج: «لا، لا، إنه فيلسوف ألماني. إنه ليس مجنونًا».

مع إرنا روزنباوم، بدأ باولي في تحليل أحلامه. كتب لها أكثر من ألف حلم ورؤية خلال الأشهر الخمسة التالية. يعترف «أنا لا أحسدك على قراءة كل هذا». يمكنها تحمل الأمر ويمكنها مساعدة باولي. على الرغم من أن رأسه لا يزال مليئًا بالأحلام والأوهام طوال حياته، فإنه يجمع شتات نفسه، ولم يعاود الوقوع في الاكتئاب، ويتحمل الشعور بالوحدة، ويشرب فقط باعتدال.

يبقى كارل جوستاف يونج على مسافة خلال هذا الوقت، لكنه مُطَّلع على تقدم العلاج. يلاحظ من بعيد «إنشاء مركز شخصية جديد» عند باولي. أسس نظريته عن «رموز عملية التفرد» على تقارير حلم باولي[1]. يوافق باولي، ويؤكد له يونج عدم الكشف عن هويته. في مقالاته، كان يسميه فقط «الشاب المثقف علميًّا».

ينتهي العلاج مع إرنا روزنباوم، التي تنتقل إلى برلين، بعد خمسة أشهر، ويشعر يونج أن الوقت قد حان لعلاجه باولي شخصيًّا.

---

(1) نُشرت ضمن كتاب صدرت نسخته العربية تحت عنوان (الإنسان ورموزه؛ سيكولوجيا العقل الباطن) ترجمة: عبد الكريم ناصيف. [المترجم]

في سياق العلاج، يصبح الطبيب والمريض صديقيْن. يكتشفان أن لديهما المشاعر نفسها. كلاهما عالمٌ. يعتقد كلاهما أن الفيزياء تظل غير مكتملة ما دامت تتجاهل طريقة عمل العقل البشري. يناقشان بنشاط العلوم والفلسفة والدين والتاريخ الفكري. لا يجلس باولي في مكتبة يونج كل أسبوع فحسب، بل يجلس أيضًا على مائدة طعام عائلة يونج.

يونج مهووس بأنماطه البدائية، تلك الرموز البدائية اللاواعية التي تكمن وراء كل إدراكنا للعالم. إنه مفتون بالكابالا، التقليد القديم الذي لا يمكن الوصول إليه من التصوف اليهودي.

من جانبه، يُعجب باولي بيوهانس كِبلر، الذي حاول عبثًا اشتقاق بنية نظام الكواكب من الهندسة البحتة. كما يُقدِّر روبرت فلود، المعاصر لكِبلر لكن أقل شهرة منه، وهو عضو في منظمة الصليب الوردي السرية، اعتقد أن الأشكال الهندسية البسيطة هي مفتاح فهم الكون. توصل باولي الآن إلى وجهة النظر القائلة بوجوب اتحاد فيزياء الكم مع علم النفس التحليلي ليونج من أجل فهم العالم؛ اللاوعي والوعي والبقية.

وكلاهما مهووس بالأعداد. يتحير باولي حول ثابت البِنية الدقيقة، وهو المتغير الأساسي للكون الذي يشار إليه غالبًا باسم α، والذي يشير إلى قوة القوة الكهرومغناطيسية. وضعه أستاذه أرنولد زومرفِلد وهو 1/137. لماذا 137؟ من أو ما الذي عُدِّل بطريقة لا تنهار فيها الذرات والجزيئات؟

137! يعرف يونج هذا الرقم من الكابالا. نعم، 137 هو الكابالا! في الأبجدية العبرية، يرتبط كل حرف برقم، وإذا جمعت حروف كلمة «الكابالا»، تحصل على رقم 137. لا يمكن لهذا أن يكون مصادفة، يتفق يونج وباولي على ذلك. يستمر الاثنان في التكهن. يطور يونج نظرية التزامن للأحداث ذات الصلة وليست سببية. اتصالات دون سبب ونتيجة؛ هذا هو بالضبط ما يصيب علماء فيزياء الكم. الوعي والمادة، الأمواج والجسيمات، الأرقام والنظام الكوني، نظرية الأنماط الأولية والنظريات الفيزيائية، بطريقة ما كلها واحدة. يثبت «تأثير باولي» اللعين أنه لا يمكن تفسير كل شيء في العالم المادي من الناحية المادية البحتة. ينحدر يونج وباولي بشكل أعمق نحو عالم سحري. يعملان معًا على تأليف كتاب بعنوان «شرح الطبيعة والنفسية». لا قيمة له علميًّا، لكنه بالنسبة إلى باولي علاج. في رسالة إلى صديقه ومساعده رالف كرونيج، ينسب شفاءه إلى «معرفته بأمور نفسية لم أكن أعرفها من قبل والتي

سألخصها تحت اسم نشاط الروح». يؤمن باولي «بعمليات النمو العفوي»، في «حالة نفسية موضوعية لا يمكن تفسيرها بأسباب مادية». يوقع خطاباته «المخلص ف. باولي القديم والجديد».مكتبة سُر مَن قرأ

في نهاية أكتوبر 1934، توقف باولي عن تحليل يونج، لكن ظل كلاهما صديقًا بالمراسلة. يحلم باولي ويستمر في تزويد يونج بالمواد البحثية. لكنه أدرك نفسه. سوف يتزوج مرة أخرى. يستمر الزواج هذه المرة. عاش مع زوجته فرانكا حياة الطبقة الوسطى، دون أطفال، حتى نُقل إلى مستشفى الصليب الأحمر في 5 ديسمبر 1958 بآلام شديدة في المعدة. يرى رقم غرفته فيصرخ: «إنها 137! لن أخرج من هنا حيًّا». تُوفي فولفجانج باولي بعد عشرة أيام.

كوبنهاجن 1932
د. فاوست في كوبنهاجن

كوبنهاجن، ربيع عام 1932. كل عام في عيد الفصح، يلتقي فيزيائيو الكم عند نيلز بور. يجتمع الزملاء، ويقضون معًا أسبوعًا لطيفًا. يأكلون، يعزفون الموسيقى، يتنزهون، يسبحون، ويتحدثون عن مواضيعهم المفضلة.

يحضر فِرنر هايزنبرج من لايبتسيج، وبول ديراك من كامبريدج، وباول إرنفست من لايدن. ليزه مايتنر، «ماري كوري الألمانية» (ألبرت آينشتاين)، تقدم تقارير عن تجاربها مع العناصر المشعة. يشجع بور ضيوفه ألا يترددوا في إحضار الطلاب الموهوبين. يجلب فِرنر هايزنبرج طالب الدكتوراه الذي يبلغ من العمر 20 عامًا، كارل فريدريش فون فايتسزكر، وهو ابن مُهذب لدبلوماسي، سيصبح قريبًا أفضل صديقٍ له. يكشف فايتسزكر العالم أمام هايزنبرج، الذي يفتقر إلى الخبرة السياسية للعالم خارج الفيزياء. يذهبان للتزلج معًا، مثلما فعل هايزنبرج ذات مرة مع معلميه زومرفِلد وبور. «فقط الصداقة مع كارل فريدريش، الذي يتعامل مع البيئة بجدية، تسمح لي بالوصول إلى المنطقة الغريبة الأخرى»، كتب هايزنبرج لاحقًا إلى والدته.

تشكل اجتماعات كوبنهاجن التطور العلمي لفايتسزكر. يمكنه أن يشهد بنفسه كيف يتحدث بول ديراك عما يجب فعله مع الإلكترونات المضادة. كيف يتعمق نيلز بور وباول إرنفست في تعقيدات تفسير ميكانيكا الكم. هذا العام، طرح فولفجانج باولي الموضوع الأول للمناقشة؛ فرضيته الخاصة

بالنيوترينو. سيُطلق على عام 1932 فيما بعد العام المعجزة للفيزياء التجريبية. يكتشف جيمس تشادويك، طالب رذرفورد، النيوترون في مختبر كافنديش في كامبريدج. ويكتشف تشارلز أندرسون، في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا بكاليفورنيا، الجسيم المضاد للإلكترون ويسميه البوزيترون، في غرفة سحابية يلتقط فيها الأشعة الكونية. في الوقت نفسه، تبدأ أبحاث مسرعات الجسيمات في بيركلي، بكاليفورنيا. أصبحت أبحاث الفيزياء على نحو متزايد مسألة تخص مجموعات ذات منشآت كبيرة. يصبح العباقرة المنعزلون الذين يتأملون في مكاتبهم بالقلم والورق شخصيات هامشية. لا يزال كلٌّ من نهج البحث، النظرية والتجربة، جزءًا من الفيزياء، لكن التجربة تدفع بالنظرية بشكل متزايد خارج المركز. سيبحث كارل فريدريش فون فايتسزكر بطريقة مختلفة عن أساتذته. لم تعد الاختراقات الكبيرة تحدث في الرأس، أو في التمشية على الشاطئ في هِلجولاند، أو خلال عطلة عيد الميلاد في أروسا، أو حتى في اجتماعات مثل تلك التي عقدت في كوبنهاجن. بل تُنتج في مرافق بحثية كبيرة. أصبحت الفيزياء تخصصًا نشطًا وله عواقب وخيمة.

فولفجانج باولي مفتقد في كوبنهاجن هذا العام. يتصارع مع أزمة حياته. لم يحضر ألبرت آينشتاين اجتماعات كوبنهاجن قط، على الرغم من صداقته مع بور. لا يثير اهتمامه ما يهتم به الفيزيائيون الشباب، والفيزياء النووية وما شابه ذلك. وكذلك لا يهمه التدريس. ليس لدى آينشتاين طلاب دكتوراه.

لا توجد أجندة عمل في كوبنهاجن، لكنْ هناك تقليد. يؤدي الفيزيائيون الشباب مسرحية هزلية يسخرون من الكبار، الذين لا تزيد أعمار بعضهم على 30 عامًا. في العام السابق، كتبوا إسكتش هزلي من فيلم تجسس شاهده العديد من الفيزيائيين معًا في السينما.

هذه المرة، تناول الفيزيائيون الشباب مواد أكثر صعوبة. قبل 100 عام، في 22 مارس 1832، توفي يوهان فولفجانج فون جوته، وسيُقدِّمون محاكاة ساخرة لمسرحية فاوست لجوته. تقام الاحتفالات بالذكرى السنوية لوفاة جوته في كل مكان في ألمانيا. إنه، بالطبع، جزء من المناهج الدراسية في المدارس الألمانية لحفظ أبياته، كما أنشد والد نيلز بور فاوست من ذاكرته. اختيار الموضوع هو أيضًا تحية إلى فِرنر هايزنبرج، الذي أُعجب بجوته باعتباره شاعرًا وعالمًا.

كتب السيناريو ماكس دِلبروك، 25 عامًا، طالب موهوب من برلين. أراد ذات مرة أن يصبح عالم فلك حتى انتهى به المطاف في برلين عام 1926 لحضور محاضرة فِرنر هايزنبرج. على الرغم من أنه لم يفهم شيئًا، فإنه كان مفتونًا بما سمعه واستمر في دراسة الفيزياء الذرية مع فولفجانج باولي وماكس بورن ونيلز بور. قبل عام، في حفلة في روما، كان دِلبروك يغازل إيف كوري، التي رافقت والدتها ماري في رحلاتها حول أوروبا. لقد رفضته، لكن ليس من السهل قهر دِلبروك. سرعان ما سيغير مواضيع دراسته ويلجأ إلى علم الأحياء. سوف يبحث في الأسس الفيزيائية الكمية للحياة ويصبح الأب الروحي للبيولوجيا الجزيئية، مثل نيلز بور في فيزياء الكم.

وضَّحَ السيناريو جورجي جاموف، 28 عامًا، طالب بور من أوديسا المعروف بذكائه الحاد. جاء بفكرة فيلم التجسس في العام السابق. هذه المرة لم يكن حاضرًا. لم تصدر الدولة السوفيتية جواز سفر له. يريد ستالين، الذي يجوع ويطهر أوكرانيا، موطن جاموف، منع العلماء السوفييت من «التآخي مع علماء من البلدان الرأسمالية». سوف ينتهز جاموف الفرصة التالية للفرار إلى الغرب.

«فاوست في كوبنهاجن» هو عنوان إسكِتش دِلبروك. يعطي أدوارَ مسرحية جوته دَلالَة مزدوجة؛ يلعب كل دور شخصيتين، باول إرنفست هو فاوست. وفولفجانج باولي هو مِفيستو. نيلز بور هو الرب. النيوترينو هو جرِتشن. سيقام العرض في نهاية لقاء عيد الفصح في قاعة المحاضرات بالمعهد. لا توجد مستلزمات للعرض، فقط المنصة، وأريكة وكرسيان.

يلعب مساعد بور ليون روزنفِلد، 27 عامًا، دور فولفجانج باولي الملقب بمِفيستو، المشاكس الذي يحاول تحويل باول إرنفست، أو فاوست، عن المسار الصحيح. روزنفِلد لديه بنية باولي؛ صغير، ممتلئ الجسم، أصلع.

فليكس بلوخ، 26 عامًا، أول طالب دكتوراه لدى هايزنبرج، وهو الآن باحث زائر في كوبنهاجن ومقيم في شقة العلية حيث اكتشف هايزنبرج ذات مرة مبدأ عدم اليقين، يلعب دور نيلز بور، أي الرب. هيكل بلوخ العضلي مثل بور، لائق.

لا يؤمن إرنفست بفرضية النيوترينو لباولي. وهكذا أوضح دِلبروك في إسكِتش فاوست أن فكرة الجسيم الذي ليس له كتلة ولا شحنة هي مجرد جنون. لا يمكن أن يكون هناك شيء هكذا، هذا أمر مستبعد.

لدى إرنفست أيضًا شكوك حول مسودة الديناميكا الكهربية الكمومية، التي عمل عليها باولي وهايزنبرج لسنوات. إنهم يتصارعون مع حقيقة أن قيم كتلة وشحنة الإلكترون تتدفق إلى ما لا نهاية، ويفشلون دومًا في ترويضها. يسأل إرنفست زملاءه ما الهدف من هذه الحيل الرياضية الرائعة. إنه يكره الحيلة الجديدة لتطوير فرضيات فيزيائية قائمة على الاعتبارات الجمالية. يقول إن الجمال للخياطين وليس للعلماء.

تبدأ مسرحية فاوست لجوته بمقدمة يثني فيها رؤساء الملائكة الثلاثة رافائيل ومايكل وجابرييل[1] على الرب لأنه خلق العالم. يسخر مِفيستو من تملُّقهم. يحول دِلبروك رؤساء الملائكة إلى ثلاثة علماء فيزياء فلكية يهتمون بمدى جودة تفسير الفيزياء للعالم؛ وهج الشمس، وروعة النجوم الثنائية. اقتحم مِفيستو، المزود بالقرون وذيل الشيطان، التجمع وقال مُجدِّفًا: «والنظرية كلها تافهة للغاية». يجلس شخص على المسرح، عليه غطاء أبيض، يرفعه الآن ليكشف عن فليكس بلوخ، وهو يرتدي نفس زي نيلز بور. يسأل بور، ويعني الرب، باولي، ويعني مِفيستو: «ليس لديك أي شيء آخر لتقوله لي، هل تأتي لتتهمني دائمًا؟ هل أنت بخير مع الفيزياء؟». يجيب مِفيستو: «لا، هذه النظرية هراء! كما هو الحال دائمًا، أجدها سيئة حقًّا. حتى لو كان ذلك يقلقني في أيامي البائسة، فلا يزال يتعين عليَّ الاستمرار في مضايقة علماء الفيزياء».

يتعلق الأمر بالنيوترينو، وهو موضوع مثير للجدل بين باولي وبور. افترض باولي نظرية النيوترينو لمواجهة فكرة بور القائلة بأن القوانين الأساسية للحفاظ على الزخم والطاقة في بعض العمليات الذرية تنطبق فقط كمتوسط إحصائي.

يرفض الرب فرضية مِفيستو بشأن النيوترينو بكلمات بور المخيفة: «هذا مثير جدًّا للاهتمام! لكن، لكن». يدافع مِفيستو عن نفسه على غرار باولي: «لا، اصمت! توقف، هراء!».

«لكن يا باولي، يا باولي، نحن نتفق أكثر مما تعتقد!». الجمهور يضحك.

نعرف هذه الغمغمات من المناقشات بين نيلز بور وفولفجانج باولي. يوافق بور. بخلاف رب مسرحية جوته، الذي يمكنه الضحك على نفسه.

---

(1) الذين عرفوا في الثقافة الإسلامية بأسماء: إسرافيل وميكال أو ميكائيل وجبريل. [المترجم]

بلوخ، الذي يلعب دور الرب، وروزنفِلد، في دور مِفيستو، يدخلان في رهان على روح فاوست، أي إرنفست، «مدير المدرسة». في مسرحية جوته، يعطي مِفيستو جرعة لفاوست. فيقع فاوست في حب جرِتشن ويغويها.

بينما في مسرحية دِلبروك، يتنكر مِفيستو في هيئة بائع متجول يعتمر قبعة على رأسه. يحاول بيع الديناميكا الكهربية الكمية لفاوست «من هايزنبرج/باولي». صاح فاوست قائلًا: «لا أحب ذلك! إنها من عند ديراك» ربما؟ «بها طاقة ذاتية لا نهائية!».

يصيح فاوست مرة أخرى: «لا أحب ذلك!». لدى مِفيستو أيضًا «شيئًا غير عادي» معروضًا: النيوترينو. لكن فاوست يرفض: «على كل حال لن تغريني أبدًا، إذا قلت لنظرية ما: ابقي لبعض الوقت، أنتِ جميلة جدًّا، قد تقيدينني بالسلاسل، حتى أودَّ الهلاك!».

يُظهر النيوترينو نفسه كصوت غناء لجرِتشن: «لقد انتهى تحميلي، والإحصاءات صعبة، ولن أجدها مرة أخرى أبدًا. حيث لا أوجد لديكم، لا توجد صيغة مناسبة. العالم كله يزعجك».

لكن يظل إرنفست صامدًا ضد محفزات النيوترينو. غادرت جرِتشن وهي تردد مع إرنفست: «أنا أخافك!».

يزداد الإسكِتش غرابة. أصبح قبو أويرباخ[1] بارًا في آن آربر بالولايات المتحدة الأمريكية، حيث كسر فولفجانج باولي كتفه وهو يسقط على الدرج في العام السابق. أُشيد بألبرت آينشتاين على أنه «الملك»، واستهزأوا من «نظريته الميدانية الجديدة» باعتبارها برغوثًا. تجري على المسرح أحداث «كلاسيكية» و «ليلة فالبورجيس النظرية الكمومية». يظهر النيوترينو، الذي اكتُشف قبل شهرين، على أنه المنقذ. «يشدنا المحايد الأبدي!» تغني الجوقة الصوفية في النهاية.

في السنوات التي تلت ذلك، استمرت اجتماعات ورسومات عيد الفصح في كوبنهاجن. حتى أنهتها الحرب العالمية الثانية فجأة.

---

(1) قبو أويرباخ هو ثاني أقدم مطعم في لايبتسيج، بألمانيا. يعد أحد أهم البارات في المدينة بحلول القرن السادس عشر، ويعود الفضل في سمعته العالمية إلى مسرحية فاوست لجوته، كأول مكان يصطحب مِفيستو فاوست إليه في رحلاتهم. [المترجم]

برلين 1933
فرَّ البعضُ والبعضُ بقيَ

في 30 يناير 1933، تعين أدولف هتلر مستشارًا. كتب وزير الدعاية اللاحق يوزف جوبلز في مذكراته في ذلك المساء: «فاضت أعيننا جميعًا بالدموع. نصافح هتلر. إنه يستحق ذلك. هتافات كبيرة. يقوم الناس بأعمال شغب. هيا إلى العمل مباشرة. سيُحل الرايخستاج». لا يتردد في ذلك هتلر وجوبلز ورفاقهما. في الأسابيع التي تلت ذلك، حوَّلوا على الفور الدولة إلى الاشتراكية القومية. يلغون حرية التجمع وحرية الصحافة، ويعيدون تسليح الفيرماخت، ويمررون قانون التمكين، الذي يعلق الديمقراطية البرلمانية. يخشى العديد من الألمان من الديكتاتورية. يقول فولفجانج باولي: «هذا هراء»، شيء من هذا القبيل يحدث في روسيا، ولكن ليس في ألمانيا، مستحيل.

بدأت الأيام المظلمة لنصف مليون يهودي يعيشون في ألمانيا. يبدأ نزوحهم ببطء. بحلول يونيو 1933، غادر البلاد 25000 منهم فقط. وسط أعمال العنف التي أطلقها النازيون ضدهم، صوت 17 مليون ألماني لصالح الحزب النازي في انتخابات الرايخستاج في 5 مارس 1933.

في 23 مارس 1933، أصدر الرايخستاج «قانون القضاء على محنة الشعب والرايخ»، بأغلبية الثلثين بأصوات الحزب النازي وحزب الشعب الوطني وحزب الوسط والأحزاب البرجوازية الأخرى. فقط الكتلة البرلمانية المنهارة للحزب الديمقراطي الاشتراكي تقاوم الضغط من أجل إقرار القانون.

يقول رئيسها أوتو فِلس: «يمكنك أن تأخذ حريتنا وحياتنا، لكن ليس شرفنا. لا يمنحك أي قانون سلطة تدمير الأفكار الأبدية وغير القابلة للتدمير». استبعد نواب الحزب الشيوعي من التصويت. كانوا إما في الحجز أو مختبئين. هدد رجال جيش الإنقاذ جميع النواب الذين قد يصوتون ضد القانون أمام وفي قاعة الاجتماع.

أعلن ألبرت آينشتاين، الذي يقوم حاليًّا بجولة محاضرات في الولايات المتحدة، أنه لن يعود إلى ألمانيا. «اليوم يتطلب الأمر الكثير من الشجاعة للقول والقيام بما هو واضح، وهناك القليل فقط ممن لديهم هذه الشجاعة. أنت أحد هؤلاء القلائل وأنا أصافحك كشخص قريب جدًّا مني بكل معنى الكلمة»، كتب إلى الفيزيائي الفييني هانز تيرينج. «إننا نرى بوضوح مخيف أنه يتعين علينا القتال وأن علينا إقناع أولئك الذين يظلون مستقيمين أنه يجب عليهم أيضًا ألا يقفوا جانبًا». دفعت وحشية النازيين آينشتاين إلى إعادة النظر في قناعاته السلمية الصارمة: «أنا أكره الجيش والعنف من كل نوع. لكنني على قناعة تامة بأن هذه الوسيلة المكروهة هي الحماية الفعالة الوحيدة اليوم».

في 7 أبريل 1933، أصدر النازيون «قانون استعادة الخدمة المدنيَّة المِهنيَّة». إنه يؤثر على مليوني موظف مدني ويستهدف المعارضين السياسيين للنازيين الاشتراكيين والشيوعيين واليهود. الفقرة الثالثة هي مثال على «الفقرة الآرية»: «يتقاعد المسؤولون الذين ليسوا من أصل آري؛ أما الموظفون الفخريون فيُفصَلون من مناصبهم».

يمكن فصل أي شخص من والد أو جد يهودي أو التقاعد. الاستثناء هو «امتياز مقاتل الجبهة»، الذي انتزعه رئيس الرايخ هيندنبورج من هتلر: المسؤولون «غير الآريين» الذين عملوا مع الرايخ الألماني أو حلفائه في الجبهة خلال الحرب العالمية.

من قاتل أو توفي والده أو أبناؤه في الحرب العالمية قد يظلون في الخدمة. كان على جميع المسؤولين تقديم «دليل آري» في غضون أسبوعين؛ شهادات ميلادهم وتعميدهم وزواجهم وشهادات آبائهم وأجدادهم.

جعل الدستور الإمبراطوري لعام 1871 اليهود مواطنين متساوين. الآن عليهم تجربة تمييز الدولة المقنن مرة أخرى. و «الفقرات الآرية» ما هي إلا البداية.

الجامعات هي أيضًا مؤسسات حكومية، وهي تتأثر كذلك بـ «قانون استعادة الخدمة المدنيَّة المِهنيَّة». رئيس جمعية القيصر فيلهلم، ماكس بلانك، ليس نازيًّا. لكنه يحمي نفسه. وقد أرسل برقية إلى هتلر: «يتشرف الأعضاء المجتمعون في الاجتماع العام السنوي الثاني والعشرين لجمعية القيصر فيلهلم لتقدُّم العلوم بإرسال تحياتهم المحترمة إلى المستشار وبالتالي يتعهدون رسميًّا بأن العلم الألماني مستعد أيضًا للمشاركة في إعادة بناء الدولة الوطنية الجديدة، على استعداد لأن تكون حامية لهم وراعيتهم، والتعاون بأفضل ما لديهم».

أكثر من ألف أكاديمي، بينهم 313 أستاذًا، سيفقدون وظائفهم. ما يقرب من ربع الفيزيائيين في الجامعات، نصفهم من المُنَظِّرين، أجبروا على النفي. بحلول عام 1936، طُرِد أكثر من 1600 باحث، ثلثهم من العلماء، بما في ذلك 20 من الفائزين حينها أو بعدها بجائزة نوبل؛ أحد عشر في الفيزياء، وأربعة في الكيمياء، وخمسة في الطب. يتعين على ليوبولد كوبل، المصرفي اليهودي وراعي العلوم الألمانية، مغادرة مجلس الشيوخ في جمعية القيصر فيلهلم، التي موَّلَها.

لا يستطيع ماكس بلانك الوقوف مكتوف الأيدي ومشاهدة هذا النزوح الجماعي. يسعى للحصول على مُقابَلة مع هتلر للحد من الضرر الذي يلحق بالعلوم الألمانية. يحصل عليها في 16 مايو 1933 الساعة 11 صباحًا. يجب التمييز، كما يقول بلانك، بين الأنواع المختلفة من اليهود، «ذوي قيمة للبشرية» و «عديمي القيمة». جعل فريتس هابر، الحائز جائزة نوبل في الكيمياء، الابن المعتمد لزوجين يهوديين، استخدام الغازات السامة ممكنًا في الحرب العالمية الأولى من خلال عمليته لإنتاج الأمونيا وبالتالي خدم ألمانيا. ومع ذلك، فإن هتلر لا يجب أن يكون لديه مثل هذه التمايزات. «اليهودي يهودي»، كما قال، «كل اليهود مثل النتوءات». لكن بلانك يعترض أنه سيكون من «تشويه الذات» إجبار «اليهود القائمين» على الهجرة. عندها سيُفتقد عملهم العلمي في ألمانيا وسيستفاد منه في الخارج. يدخل هتلر في إحدى حالات الإثارة المخيفة، ويضرب ركبته بعنف، ويتحدث أسرع وأسرع، ويصرخ في الأستاذ البالغ من العمر 75 عامًا ويهدده بالسجن في معسكر اعتقال. لا يسع بلانك سوى الإصغاء بصمت ثم الانسحاب في النهاية. يدعوه هتلر معقبًا بأنه «مخرف مسكين».

يعرف ماكس بلانك معنى تقديم التضحيات. بعد الحرب العالمية الأولى، ساعد الأبحاث الألمانية المتعثرة لإعادة الوقوف على قدميها. لقد فقد ولدًا في الحرب. ولكن تضحية بلا معنى؟ لا يقبل ذلك. تظهر المقابلة الفاشلة مع هتلر أن أدولف هتلر يفضل التضحية بالعلوم الألمانية بدلًا من إعطاء الانطباع بأنه متساهل مع اليهود.

في أبريل 1933، انضم باسكوال جوردان، الذي كان ذات يوم طالبًا متعثِّرًا في صياغة ميكانيكا المصفوفة، إلى الحزب النازي. في بداية شهر مايو، تعين يوهانس شتارك رئيسًا لمعهد الرايخ الفني للفيزياء. شتارك، الحائز جائزة نوبل، معاد للسامية، ودوجماتي مُشَاكِس، ومؤيد لهتلر منذ عشرينيات القرن الماضي. عندما سُجن هتلر في القلعة عام 1923، أدلى شتارك ولينارد بتصريح علني عنه في إحدى الصحف: «نفس روح الوضوح التام والصدق تجاه العالم الخارجي، وفي الوقت نفسه نحو الاتحاد الداخلي، كالتي وجدناها سابقًا لدى الباحثين العظماء في الماضي معترف بها وموقرة في جاليليو وكبلر ونيوتن وفاراداي، فإننا نعجب بها ونحترمها في هتلر ولودندورف وبونر ورفاقهم؛ نتعرف على أرواحهم المتآلفة كأنهم أقرب أقربائنا».

الآن، بعد عشر سنوات، يسعى شتارك للانتقام. في عشرينيات القرن الماضي، ترك وظيفته في فورتسبورج وجرب نفسه في ريادة الأعمال، أولًا كمصنع خزف ثم كمشغل لأعمال الطوب. عندما أراد العودة إلى الكلية، لم يجد لديهم وظيفة له. يرى الآن فرصته للعودة إلى كل من احتقره في ذلك الوقت. جنبًا إلى جنب مع زميله النازي فيليب لينارد، يريد أن يؤسس مفهوم «الفيزياء الآرية». بصفته رئيس معهد الرايخ الفني للفيزياء، يوزع أموال البحث. يريد أن يقود الفيزياء الألمانية كما يقود «الفوهرر» الشعب.

في 10 مايو 1933، حُرقت الكتب في جميع أنحاء الرايخ الألماني، بتنظيم من المكتب الرئيس للتنوير والإعلان في هيئة الطلاب الألمان، في 22 موقعًا، وتُفضل مدن بها جامعات كبرى مثل بون وجوتنجن وفورتسبورج، يُتبع دائمًا النمط نفسه. رجال جيش الإنقاذ وأعضاء الحزب يسيرون بالمشاعل ويلوحون بأعلام الصليب المعقوف إلى ساحة عامة ويلقون في النار الكتب «اليهودية» أو «البلشفية» أو «غير الألمانية»، مرتبة من المؤلفين بترتيب ثابت. يصيحون بعبارة «نوبات حريق»، والتي حددها المكتب الرئيس بشكل موحد. في ميونخ، تحترق الكتب في ساحة كونيجسبلاتس. وتوجد في برلين محرقة هائلة للكتب؛

يتجمع 40 ألف متفرج في الساحة الواقعة بين الجامعة ودار الأوبرا لمشاهدة المشهد الشيطاني. يرافق الطلاب شاحنات وسيارات محملة بعشرين ألف كتاب نُهبت من المكتبات لمسافة ثمانية كيلومترات. اصطفت وفود الاتحادات الطلابية في زيهم الرسمي، يعتمرون قبعاتهم الحمراء والخضراء، والزرقاء، والبنفسجية، ويرتدون سراويل بيضاء، وينتعلون أحذية برقبة عالية تصدر أصواتًا عسكرية عند المشي. يغنون الأغاني النازية والطلابية. توجد طبقة سميكة من الرمال على رصيف الميدان، تعلوها محرقة بارتفاع متر، يضيئها الطلاب بمصابيحهم في أثناء سيرهم. تُعلن أسماء المؤلفين الذين ستُطمس أعمالهم بينما اشتعلت النيران في كتبهم.

«ضد المبالغة في تقدير الحياة الغريزية، من أجل نبل النفس البشرية! نُلقي بكتابات زيجموند فرويد إلى النيران».

«ضد الخيانة الأدبية لجنود الحرب العالمية، ومن أجل تثقيف الشعب بروح الصدق! نُلقي بكتابات إريش ماريا ريمارك إلى النيران».

«ضد التراخي والخيانة السياسية، ومن أجل الإخلاص للشعب والدولة! نُلقي بكتابات فريدريش فيلهلم فورستر إلى النيران».

تنتهي أيضًا كتابات ألبرت آينشتاين في النيران، مثل كتابات كارل ماركس، وبرتولت بريشت، وإميل زولا، ومارسيل بروست، وفرانتس كافكا. في منتصف الليل، صعد جوبلز إلى المنصة وقال: «لقد مات الفكر اليهودي. يمكن للروح الألمانية أن تعبر عن نفسها مرة أخرى». لا يمكن للنبغاء أمثال ماكس بلانك تجاهل إشارات التحذير، لكنهم يظلون غير نشطين. مَرَّ على تولي أدولف هتلر السلطة مائة يوم بالضبط.

مع انتشار التقارير حول العالم عما يحدث في ألمانيا، بدأ العلماء وجمعياتهم في تنظيم الدعم المالي والوظيفي لزملائهم الفارين من الاضطهاد النازي. تأسيس منظمات المعونة الممولة من التبرعات. في أبريل 1933، أُنشئ مجلس المساعدة الأكاديمية في لندن، برئاسة إرنست رذرفورد. يساعد العلماء والفنانين والمؤلفين الهاربين. هرب الكثير منهم أولًا عبر الحدود إلى سويسرا أو هولندا أو فرنسا، وبعد إقامة قصيرة، سافروا إلى إنجلترا أو الولايات المتحدة الأمريكية.

على الرغم من القوانين العنصرية التي تُقصي العلماء البارزين عن الخدمة المدنية، ورغم الهروب الجماعي والترحيل القسري للباحثين، فإن العديد من

الفيزيائيين الجيدين بقوا في ألمانيا. لقد ثابر أوتو هان، مكتشف الانشطار النووي، بتحدٍّ، ووفقًا لألبرت آينشتاين، فهو واحد من «القلائل الذين بقوا منتصبين وبذلوا قصارى جهدهم خلال هذه السنوات الشريرة». واصل هان بحثه، ودعم الزملاء اليهود المهددين مع زوجته إديت وتراسل مع الموجودين في المنفى، بما في ذلك زميلته ليزه مايتنر. ذهب صديق وزميل هان، ماكس فون لاوى، الحائز جائزة نوبل عام 1914، إلى أبعد من ذلك، وخاطر بحياته من خلال انتقاده وإدانته علنًا بشكل متكرر لنظام هتلر.

لا تزال الفيزياء ثابتة بينما يضطرب الفيزيائيون. هذه الأيام هناك أشياء أكثر أهمية من المصفوفات وازدواجية الموجة والجسيم. يطور البعض أجهزة السونار للغواصات، والبعض الآخر يبتكر آلات لاختراق الشفرات. في كوبنهاجن، حوَّل نيلز بور معهده إلى قاعدة لعلماء الفيزياء الذين تقطعت بهم السبل. في أبريل 1934 أُحضِر جيمس فرانك، زميل ماكس بورن من أصل يهودي، من جوتنجن إلى كوبنهاجن كأستاذ زائر. بعد عام، انتقل فرانك إلى درجة الأستاذية في الكيمياء الفيزيائية في شيكاغو.

في ديسمبر 1931، عينت الأكاديمية الملكية الدنماركية للعلوم بور باعتباره الساكن التالي في «بيت الشرف» الذي بناه كارلسبيرج مؤسس مصنع الجعة. بعبارة أخرى، هو الآن أهم مواطن في الدنمارك، وليس فقط الفيزيائي الأكثر أهمية فيها. يستخدم بور نفوذه في الداخل والخارج لمساعدة الآخرين. في عام 1933، شارك هو وشقيقه هارالد في تأسيس «اللجنة الدنماركية لدعم العمال المفكرين الذين فروا من البلاد».

ينحدر ماكس بورن أيضًا من عائلة يهودية. سابقًا «لم يشعر قط بأنه يهودي»، كما يقول، ولكن الآن «أشعر بشدة، ليس فقط لأنني وعائلتي محسوبون بينهم، ولكن لأن القهر والظلم يدفعني إلى الغضب والمقاومة». لقد كان عامل لاسلكي في الجيش خلال الحرب العالمية الأولى، لذلك يحق له المطالبة بالإعفاء من «الفقرة الآرية[1]». لكنه يفضل التنازل عن هذا الإعفاء. فهو يعتقد أن مواكبة ذلك يعني الاصطفاف مع النازيين. في أحد الأيام، فتح

(1) الفقرة الآرية هي جزء من «قانون استعادة الخدمة المدنية المهنية»، حيث تنص هذه الفقرة على استبعاد اليهود، أو غير الآريين من المنظمات، والمهن، وأي جوانب أخرى متعلقة بالحياة العامة. [المترجم]

الصحيفة المحلية واكتشف اسمه في قائمة المسؤولين الذين سيتم وقفهم عن الخدمة، مع عالمَي الرياضيات ريتشارد كورانت وإيمي نويتر. في المساء التالي، بدأت مكالمات التهديد الهاتفية لبورن.

يتجول بورن في نزهات طويلة عبر الغابة، لكي يفكر. ماذا يجب أن يفعل؟ إلى أين يذهب؟ هناك شيء واحد واضح؛ لم يعد الاستمرار خيارًا. كتب إلى إرنفست: «أرتجف، عندما أتخيل أنه لسبب ما أضطر للعودة إلى الطلاب الذين طردوني، أو العيش بين الزملاء الذين قبلوا ذلك بسهولة».

نضج القرار ببطء، وغادر بورن جوتنجن، المدينة التي أمضى فيها ماكس بورن معظم حياته، حيث أنشأ مركزًا للفيزياء، وولدت هيدي بورن، وأنجبت ابنها جوستاف. في 15 مايو، استقلوا القطار بأمتعة خفيفة. كتب بورن لاحقًا: «لقد تحطم كل شيء بنيته خلال اثني عشر عامًا من العمل الشاق في جوتنجن. أشعر كأنها نهاية العالم».

يسافر بورن إلى جنوب تيرول، نحو بلدة سيلفا دي فال جارديني في دولوميت بجبال الألب الإيطالية. سوف يجد سكنًا في سيلفا عند المزارع وحافر الخشب بيراتونير. الربيع قادم، والشمس تشرق فوق جبال الدولوميت الوعرة، ويبدأ الثلج في الذوبان. يأتي هِرمان فييل لزيارة سيلفا، وكذلك حبيبته آني شرودنجر، التي تتعافى من أهوال برلين مع زوجها إرفين. يسافر فولفجانج باولي مع شقيقته هيرتا، الصحفية والممثلة التي فقدت وظيفتها في برلين تحت حكم النازيين. يجد بورن اثنين من طلابه في سيلفا ويتبعانه. يحاضرهما بورن على مقعد أمام المنزل أو في الغابة. إنه فخور بـ «جامعة سيلفا الصغيرة». تظهر لمسة شاعرية عابرة.

ومع ذلك، هناك شخص واحد ما زال غائبًا؛ فِرنر هايزنبرج. حاول إقناع بورن بالعودة إلى ألمانيا. إنه آمن في ألمانيا لأن «قلة قليلة فقط هم من سيتأثرون بالقانون»، كما كتب في رسالته إلى سيلفا. بالتأكيد، وعد أدولف هتلر ماكس بلانك.

قال هايزنبرج لاحقًا إن «العصر الذهبي للفيزياء الذرية» انتهى في عام 1933. السنوات القليلة التي يمكن فيها التفكير بسهولة في الذرات والإلكترونات والموجات والمصفوفات قد انتهت بالفعل، حَلَّ الظلام أيضًا في

عينَي هايزنبرج. يلاحظ الأصدقاء أن عينيه فقدتا بريقهما اللامع. ينطوي أكثر فأكثر على نفسه.

يحاول فِرنر هايزنبرج أن يتصالح مع الأمر. لا يزال موظفًا حكوميًّا في الرايخ الثالث. مثل بلانك وجميع الأساتذة «الآريين» الذين يثابرون، يجب عليه تقديم شهادات زواج وميلاد والديه للتحقق، وزيارة معسكرات التلقين النازي، ليقسم يمين الولاء لهتلر، وبدء محاضراته بتحية «هايل هتلر». يفكر هايزنبرج في الاستقالة من كرسيه احتجاجًا ويطلب من بلانك النصيحة. يخبره أن هذا بلا جدوى، عندها فقط سيصعد نازي متعصب وعالم فيزياء سيئ. يواصل بلانك وهايزنبرج الأمل في أن الثورة السياسية ستمضي دون الإضرار بالعلم وفي النهاية تستقر الأمور.

لكن الضرر قد حدث بالفعل. في غضون أسابيع قليلة، حوَّل النازيون جامعة جوتنجن، مكان عمل كارل فريدريش جاوس، وجيورج كريستوف ليشتنبرج ودافيد هيلبرت، مهد ميكانيكا الكم، إلى جامعة من الدرجة الثانية. عندما سُئل هيلبرت، عالم الرياضيات الشهير، في عام 1934 من قبل برنارد روست، وزير الرايخ للعلوم والتربية والتعليم الوطني، عما إذا كان صحيحًا أن معهده قد عانى «من رحيل اليهود وأصدقائهم»، أجاب: «هذا المعهد، لم يعد موجودًا».

تغير اسم معهد الفيزياء بجامعة هايدلبرج إلى معهد فيليب لينارد في 13 ديسمبر 1935، بعد أن نشر مديره كتابًا بعنوان الفيزياء الألمانية في أربعة مجلدات، في احتفال لم يتمكن فيه الوزير روست من الحضور بسبب المرض. يؤكد لينارد أن العلم يخضع للعرق، والدم، مثل كل الأعمال البشرية. لليهود فيزيائهم التي تختلف تمامًا عن الفيزياء «الألمانية» أو «الآرية» أو «الشمالية». ما هو الاختلاف ومن أين يأتي، لا يستطيع لينارد شرحه في المجلدات الأربعة. الفيزياء «اليهودية» هذا ما يطلقه عليها هو ورفاقه. في خطابه، قام يوهانس شتارك، رئيس معهد الرايخ وأحد هؤلاء الرفاق، بشجب مؤيدي ألبرت آينشتاين واشتكى من أن ماكس بلانك لا يزال رئيسًا لجمعية القيصر فيلهلم. ويختتم الحفل بأغنية «زيج هايل» وأغنية «هورست فِسِل».

ماكس بورن ليس ساذجًا مثل هايزنبرج. يريد أن يذهب إلى إنجلترا مع أسرته لأنه «يبدو أن الإنجليز يعتنون بالمطرودين بأكثر الطرق كرمًا وأنبل».

بورن موقوف عن الخدمة ولكنه حر. إنه أحد العلماء الألمان القلائل الذين كانت شهرتهم كبيرة بما يكفي للاعتراف بها في جميع أنحاء العالم.

تقدم له جامعة كامبريدج عقدًا للتدريس مدة ثلاث سنوات، فيقبله بعد التأكُّد من إنشاء منصب خصوصًا له، لأنه لا يريد أن يأخذه من أي عالم إنجليزي. تبدأ فترة مضطربة لعائلة بورن. بعد ثلاث سنوات في كامبريدج، انتقلوا إلى بنجالور في الهند، حيث حل ماكس بورن ضيفًا في المعهد الهندي للعلوم. لكن إدارة المعهد تعتبر أن بحثه النظري عديم الفائدة عمليًّا ولا يمنحونه منصبًا دائمًا. بعد ستة أشهر فقط، يجب على بورن المضي قُدمًا مرة أخرى. كان بورن يفكر بالفعل في الحصول على منصب في موسكو عندما عُرض عليه، في عام 1936، كرسي الفلسفة الطبيعية في جامعة إدنبرة.

تلقي ويلات الحرب العالمية الثانية بثقلها عليه، رغم أنه يعيش في أمان جسدي. يجب هزيمة أدولف هتلر، فهو مقتنع بذلك. ولكن كيف؟ يدرك بورن أن العنف هو السبيل الوحيد. في الوقت نفسه، كان مرعوبًا من حرب الحلفاء الجوية، حيث تحولت مدن بأكملها إلى أنقاض: «صدمتني فكرة الإطاحة بهتلر عبر قتل النساء والأطفال وتدمير منازلهم، إنها سخيفة وبغيضة»، كتب ذلك في وقت لاحق. قرب نهاية الحرب، عانى ماكس بورن اكتئابًا شديدًا لدرجة أنه لم يعد قادرًا على العمل. الحرب تدمر كل شيء. أصبح العالم غير واضح، ليس فقط لعلماء فيزياء الكم. ما كان مألوفًا منذ فترة طويلة، وما اعتقدوه يقينًا، أصبحوا في ضبابية.

أمستردام 1933
نهاية حزينة

لايدن، 1933. يتابع باول إرنفست بخوف ورعب صعود أدولف هتلر إلى السلطة وانهيار العلوم الألمانية. يخسر أصدقاءه الواحد تلو الآخر. مات هندريك لورنتس. انغمس ماكس بلانك أكثر فأكثر في معضلة تمثيل أبحاث دولة لم يوافق على أفعالها. ألبرت آينشتاين، الذي شاركه إرنفست ببعض أسعد لحظات حياته، فر من النازيين إلى الخارج. إنها أسوأ خسارة لإرنفست. بات يشك في أنه لن يرى آينشتاين مرة أخرى.

لم يعد إرنفست يجد الراحة في البحث والتدريس أيضًا. هو، الذي كان في سنوات شبابه أحد أكثر المُنظِّرين قيمة في العالم. هو الذي أراد هندريك لورنتس أن يكون خليفة كرسيه في لايدن. لفترة من الوقت لم يعد يجد القوة لمتابعة التطورات الحالية في الفيزياء الذرية.

ولد باول إرنفست في فيينا عام 1880، ودرس مع العظيم لودفيج بولتسمان. بصحبة زوجته تاتيانا إرنفست، أفاناسييفا، عالمة رياضيات من روسيا، كتب عددًا من الأعمال المهمة في الميكانيكا الإحصائية بينما كان الزوجان يجوبان أوروبا؛ فيينا، جوتنجن، سانت بطرسبرج، دائمًا على حافة الفقر. حتى عُيِّن إرنفست رئيسًا للفيزياء في لايدن عام 1912، بناءً على توصية من ألبرت آينشتاين، الذي فضل الذهاب إلى زيورخ بنفسه.

جعل إرنفست من لايدن مركزًا للفيزياء النظرية. يصف آينشتاين، صديقه العزيز، بأنه «أفضل معلم التقيت به في تخصصنا». عندما يزداد الصخب والضجيج في برلين أكثر من اللازم، يحب آينشتاين الفرار إلى لايدن في أجواء بيت إرنفست الدافئة والمحببة. لا يدخن باول وتاتيانا ولا يشربان، لكن يُسمح لآينشتاين بإشعال غليون التبغ في غرفة ضيوفه.

يعد إرنفست واحدًا من القلائل المحبوبين عالميًّا بسبب ذكائه وقلبه. التقى بفولفجانج باولي في مهرجان بور عام 1922. كتب كلاهما مقالًا في موسوعة العلوم الرياضية وكلاهما له نفس روح الدعابة. يقول إرنفست «سيد باولي، تعجبني مقالتك في الموسوعة أكثر منك!». أجاب باولي: «هذا مضحك، إنه العكس تمامًا بالنسبة لي معك!»، إنها بداية صداقة عميقة و «حرب ممازحة» يخوضها الاثنان شفهيًّا وبالمراسلة. يكتب إرنفست رسائله إلى «عزيزي، باولي الرهيب» أو «سانت باولي»، في إشارة إلى منطقة الترفيه في هامبورج التي أحب باولي زيارتها. يسمي صديقه الشاب الجديد «آفة الرب»، مما يجعل باولي فخورًا للغاية لدرجة أنه يوقع رسائله إلى إرنفست بعبارة «تحية من آفة الرب»، يوقع إرنفست رسائله إلى باولي بعبارة: «مدير مدرستك الأكثر إخلاصًا».

لكن شيئًا ما يختمر في عقل باول إرنفست. يشك فيه القليل فقط. كتب في رسالة إلى نيلز بور في عام 1931، أنه شعر بتخلفه عن الركب من قبل علماء الفيزياء الشباب الذين كانوا يسارعون إلى الأمام: «لقد فقدت الاتصال تمامًا بالفيزياء النظرية». في 15 أغسطس 1932، اعترف في رسالة موجهة إلى سبعة من أصدقائه الأعزاء، من بينهم بور وآينشتاين، بتعبه من الحياة وقراره بإخلاء مكانه في لايدن: «كان اهتمامي بفهم المعرفة الفيزيائية المتطورة وفرحتي الكبرى بنقلها إلى الآخرين هو العمود الفقري الحقيقي لحياتي. لقد استسلمت أخيرًا في حالة من اليأس بعد محاولات متزايدة من التوتر والإرهاق. وهذا يعني أن المرض العضال المدمر هو جوهر حياتي». لكنه لا يرسل الرسالة.

يبحث إرنفست لنفسه عن مكان جديد في الفيزياء. في صيف عام 1932 نشر مقالًا بعنوان «بعض الأسئلة المتعلقة بميكانيكا الكم» في «مجلة الفيزياء». لأكثر من عام، «اختنق بالقرار»، حتى كتب إلى باولي، «أخيرًا دفعه اليأس إليه». يشعر بالعجز بصفته «مدير مدرسة» أمام طلابه، المقتنعين بأنه

«يجب أن يعرف ويفهم كل شيء». لذا فهو الآن يتخلص مما أصابه بسبب ميكانيكا الكم. يجيب فولفجانج باولي كصديق حقيقي. إنه سعيد بأسئلة إرنفست، يكتب في رسالة طويلة، ويحاول الإجابة عنها قدر الإمكان.

كانت إجابة باولي جيدة بالنسبة لإرنفست، لكن سرعان ما يتلاشى التأثير. يعاني إرنفست من إعاقة ابنه فاسيلي البالغ من العمر ستة عشر عامًا بمتلازمة داون. انهار زواج باول وتاتيانا. في خريف عام 1932، عادت تاتيانا إلى روسيا لتتولى منصبًا في بلدة صغيرة في القوقاز. يفكر إرنفست في اللحاق بها، يسافر إلى روسيا في نهاية العام، ويختبر الرعاية البائسة للناس هناك. فيقرر أنه لا يتبعها.

في عيد الفصح عام 1933، كتب في رسالة إلى تلميذه السابق هندريك كازيمير، مساعد باولي الآن في زيورخ: «أوه، كاسيي، ضع كتفيك العريضتين تحت عربة الفيزياء في لايدن». تفاجأ كازيمير وباولي. ماذا يعني إرنفست؟ إنه يريد إعداد خليفته في لايدن، كما فعل هندريك لورنتس قبل عقدين من الزمن.

في مايو 1933، سافر إرنفست إلى برلين. زار ماكس بلانك. لقد تغير بلانك. «عندما تحدث معي بلانك، رأيت كيف يعاني هذا الرجل. لم أقابل أحدًا في تلك الأيام إلا وهو يتوق للخلاص عبر الموت». هذا ما كتبه إرنفست إلى آينشتاين في 10 مايو 1933. إنه يكتب عن حاله.

في 25 سبتمبر 1933، زار باول إرنفست ابنه فاسيلي البالغ من العمر 16 عامًا في أحد مستشفيات أمستردام. أطلق النار على فاسيلي لكي لا يتركه دون رعاية بعد وفاته. ثم يطلق النار على نفسه ويموت. نجا فاسيلي وقد عميت إحدى عينيه.

علم ألبرت آينشتاين بانتحار صديقه في نورفولك، لكن ليس لديه وقت كبير للحزن، وهو يهرب من الخاطفين النازيين، ويخشى على حياته.

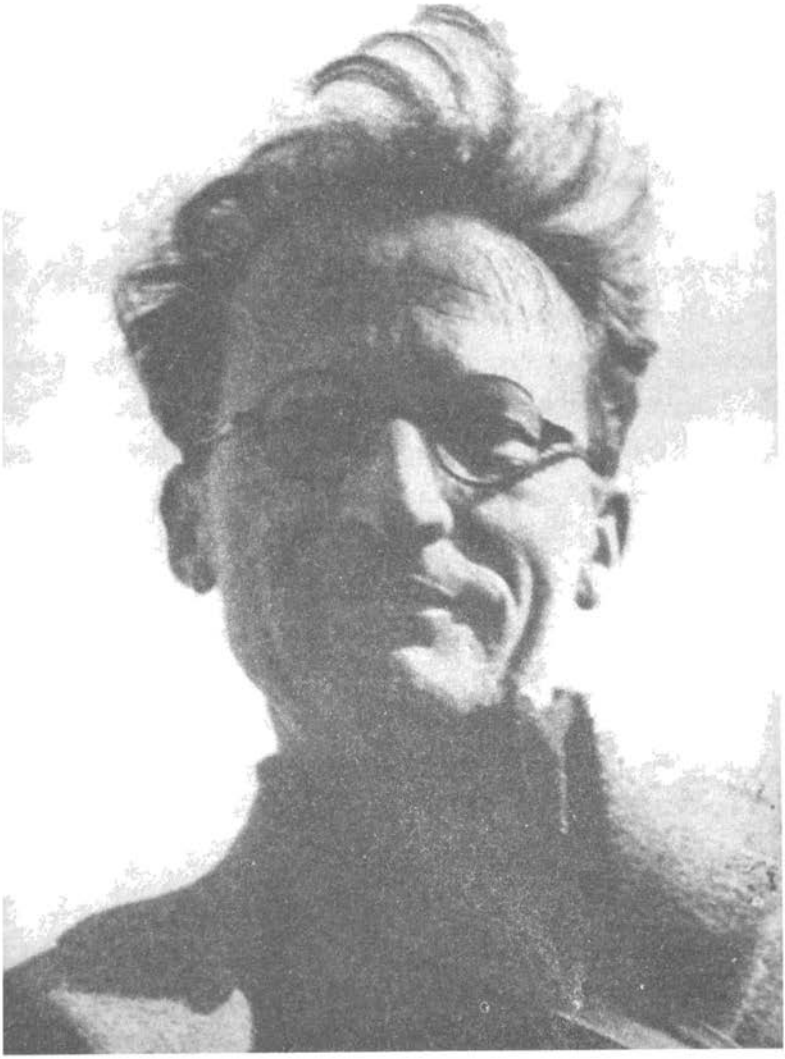
مكتبة
t.me/soramnqraa

أكسفورد 1935
القطة غير موجودة

أكسفورد، 4 نوفمبر 1933. وصل إرفين وآني شرودنجر إلى بلدة الجامعة الإنجليزية. يريدان البقاء، ليَسلما من النازيين، الذين جعلوا برلين لا تطاق لهما. حصل إرفين شرودنجر على وظيفة في كلية ماجدالين بجامعة أكسفورد. استأجر هو وآني منزلًا كبيرًا في 24 شارع نورثمور. ينتقل صديق شرودنجر، الفيزيائي من جنوب تيرول، آرتور مارش، مع زوجته هيلدا إلى منزل أصغر في 86 شارع فيكتوريا، على بعد 20 دقيقة فقط سيرًا على الأقدام. رتب شرودنجر شهر مارس لاستقبال أستاذ زائر في أكسفورد. هيلدا مارش حامل؛ لكن من شرودنجر.

شرودنجر والنساء مجال واسع وتقريبًا معقد مثل ميكانيكا الكم. قضى شرودنجر صيف عام 1932 في برلين مع إيتا يونجر، التي كانت ذات يوم تلميذته المرحة البالغة من العمر 14 عامًا، وهي الآن امرأة جميلة تبلغ من العمر 21 عامًا وكانت عشيقته المخلصة منذ أربع سنوات. مع اقتراب فصل الخريف، تبين أنها حامل. تعامل شرودنجر مع الموقف بطريقته الخاصة. أنهى علاقته بها ليبدأ علاقة أخرى مع هيلدا مارش. كان قد عين آرتور مارش مساعدًا له من أجل التقرب من هيلدا. في صيف عام 1933، عندما كانت آني شرودنجر وهِرمان فييل مع ماكس بورن في سيلفا، ذهب إرفين شرودنجر في جولة بالدراجة مع هيلدا مارش.

في الوقت نفسه كان يتوق إلى طفل ويأمل أن تنجب إيتا ولدًا. لم تفعل ذلك، فقد أجهضت الجنين، وغادرت برلين وعاشت بعيدًا عن المدن التي نشأت واستقرت فيها مع شرودنجر. بعد الإصابة التي عانتها بسبب الانفصال عن شرودنجر، ظلت بلا أطفال بعد سلسلة من حالات الإجهاض. من ناحية أخرى، كانت هيلدا مارش حاملًا منذ جولة الدراجة.



إرفين شرودنجر، المؤسس المشارك لميكانيكا الموجات، عام 1933.

Erwin Schrödinger (AKG1051767; © akg-images / Imagno)

في سبتمبر، التقى شرودنجر هانسي باور، التي كان يعرفها فتاة صغيرة في فيينا، في محل بقالة على بحيرة جاردا. تبلغ الآن 26 عامًا، وتقضي شهر العسل وهي غير سعيدة بزواجها حقًّا. قصة أخرى أخذت مجراها.

وصل شرودنجر لتوه إلى أكسفورد عندما علم إرفين أنه (مع بول ديراك) سيحصلان على جائزة نوبل لعام 1933. يبدو أن مرحلة جديدة أفضل من حياته آخذة في الظهور. سيقام الحفل في ستوكهولم في 10 ديسمبر، ذكرى وفاة ألفرِد نوبل. وصل إرفين وآني شرودنجر إلى محطة ستوكهولم المركزية في الثامن من ديسمبر. سافر ديراك مع والدته من كامبريدج. فِرنر هايزنبرج، الذي حصل على الجائزة لعام 1932 وسيتسلمها متأخرًا، حضر أيضًا مع والدته من لايبتسيج. يختتم إرفين شرودنجر خطابه في المأدبة قائلًا: «آمل أن أعود إلى هنا قريبًا جدًّا، ليس مرة واحدة فقط، ولكن كثيرًا. ربما ليس لحضور حفلات في قاعات مزينة بالأعلام، ودون وضع الكثير من الملابس الرسمية في حقيبة السفر، ولكن مع لوحين طويلين على الكتف وحقيبة على الظهر». يُلقي بول ديراك خطابًا مرتبكًا حول أوجه التشابه بين الفيزياء الذرية والمشكلات الاقتصادية في ذلك الوقت. لا يُلقي فِرنر هايزنبرج خطابًا، يشكرهم فقط على حسن الضيافة. كإجراء احترازي، أودع شرودنجر جائزته المالية البالغة 100000 كرونة في بنك سويدي. لن تُمنح جائزة نوبل للسلام هذا العام. أثار الدهشة وصول شرودنجر مع حاشيته من النساء في أكسفورد. على العكس من ذلك، فإن شرودنجر ينفر أيضًا من العادات السائدة في أكسفورد. الكليات هي «جامعات الشذوذ الجنسي»، كما كتب لماكس بورن. تُعد النساء مخلوقات غريبة في هذا العالم الذي يتألف من الأساتذة الذكور، ويعيش شرودنجر مع اثنتين. يتجول في أكسفورد مع هيلدا مارش الحامل، ولا يخفي علاقتهما. يشعر بأعين المارة ولن يشعر في أكسفورد أبدًا بأنه في موطنه.

أنجبت هيلدا مارش «روت» ابنة شرودنجر، وهي أولى بناته الثلاث اللاتي أنجبهن شرودنجر من ثلاث عشيقات. تعتني مارش وشرودنجر بروت معًا. لكن تعاني هيلدا وصمةَ العار الاجتماعية لكونها «خليلة» شرودنجر وأم ابنته. في عام 1935، انتهت فترة تعاقد آرتور مارش كأستاذ زائر في أكسفورد بعد عامين. يعود إلى إنسبروك مع هيلدا وروت الصغيرة، حيث تقضي هيلدا

بضعة أشهر في مصحة للتعافي من السنوات الشاقة الماضية. مُدِّدَ منصب شرودنجر لعامين إضافيين، فبقي في أكسفورد.

في غضون ذلك، هربت هانسي وزوجها فرانتس بوم، وكلاهما من أصل يهودي، إلى لندن من النازيين. مصادفة سعيدة لشرودنجر؛ فهو أيضًا يتقاسم شقة في لندن مع آني، والتي كانت تطمح آني للعيش فيها حتى تتمكن من ترك زوجها بمفرده مع هيلدا في أكسفورد. الآن يستخدم إرفين الشقة ليكون بمفرده مع هانسي. في صيف عام 1935 ذهب في إجازة مع هانسي.

إنه لأمر مدهش أن يظل لدى شرودنجر أي وقت للفيزياء. شارك مع ألبرت آينشتاين في مناقشة حول أساسيات ميكانيكا الكم، أجريت عن طريق المراسلات البريدية. يتفق كلاهما على أن الأساسيات ضعيفة. شرودنجر وآينشتاين هما آخر المنشقين الكبار عن ميكانيكا الكم. كتب له آينشتاين من برينستون قائلًا: «عزيزي شرودنجر، أنت في الواقع الشخص الوحيد الذي أستمتع حقًّا بالتعامل معه، الجميع تقريبًا لا يرون أن النظرية من الحقائق، ولكن فقط الحقائق من النظرية».

صار شرودنجر بلا مأوى جغرافيًّا وعلميًّا. أصبحت ميكانيكا الكم، التي روج بقوة لتطورها، غريبة عنه. كتب إلى إرنفست من برلين، «يجب أن آتي دائمًا إلى هنا عندما أتحدث إلى الأولاد الموهوبين للغاية، لديهم شعور بأنهم لا يفهمون ما أجده غير محتمل تمامًا بشأن الغابة المورقة للنظريات التي ظهرت في السنوات الأخيرة». يتفهم آينشتاين ذلك. يكشفان معًا ما يزعجهما في ميكانيكا الكم.

في رسالته إلى شرودنجر، يحاول آينشتاين توضيح «الشرور التي ندركها» من خلال مثال بارز: «كومة من البارود المتخيلة التي يمكن أن تشعلها قوى داخلية، ومتوسط عمرها قرابة عام». خلال هذا العام، تصف «دالة-Ψ»، أي: الدالة الموجية لكومة البارود، ثم «مزيج من الأنظمة التي لم تنفجر بعد والأنظمة التي انفجرت بالفعل». يعتقد آينشتاين أن هذا سخيف. «الحقيقة هي أنه لا يوجد حل وسط بين الانفجار وعدم الانفجار».

كتب إرفين شرودنجر، الذي حفزته مراسلاته مع ألبرت آينشتاين، مقالًا مطولًا بعنوان «الوضع الراهن لميكانيكا الكم»، ظهر في مجلة العلوم الطبيعية (دي ناتورفيزنشافتن) في نوفمبر وديسمبر 1935. يلخص في ذلك فهمه

للنظرية التي ساعد في تكوينها وصياغة مصطلح سيكون من الآن فصاعدًا في قلب ميكانيكا الكم: «التشابك الكمي». ويخترع القطة:

«يمكن أيضًا عمل تجربة هزلية تمامًا. بوضع قطة في حجرة فولاذية، مع آلة جهنمية (يجب تأمينها لمنع وصول القطة إليها مباشرة) يوجد في أنبوب عداد جيجر كمية ضئيلة من مادة مشعة، ضئيلة جدًّا لدرجة أنها ربما تتحلل إحدى ذراتها في غضون ساعة، ولكن من المحتمل ألا تتحلل أي منها؛ إذا حدث هذا، فإن الأنبوب المضاد يستجيب ويحفز مطرقة عبر مُرَحِّل، والذي يسحق قارورة من حمض الهيدروسيانيك. إذا تركت هذا النظام يعمل بأكمله مدةَ ساعة، سيقول قائل أن القطة ما زالت حيَّة إذا لم تتحلل ذرة في هذه الأثناء. وربما يتسبب التحلل النووي الأول في تسممها. سوف تعبر دالة-Ψ للنظام بأكمله عن هذا بطريقة تختلط فيها القطة الحية والميتة بشكل متساوٍ. الشيء النموذجي في هذه الحالات هو أن اللامحدودية التي كانت تقتصر في الأصل على النطاق الذري تتحول إلى غموض إجمالي يمكن تحديده بعد ذلك من خلال الملاحظة المباشرة».

بعبارة أخرى؛ وفقًا لتفسير ميكانيكا الكم الذي نشره نيلز بور وفِرنر هايزنبرج، فإن القطة حية وميتة، أو أنها أيضًا؛ ليست حية ولا ميتة. يتفق آينشتاين وشرودنجر على أنه لا يوجد شيء من هذا القبيل. لا توجد قطط في حالة « باهِتة» بين الحياة والموت. لا توجد أكوام من البارود انفجرت ولم تنفجر في الوقت نفسه. ميكانيكا الكم لا تمثل الواقع.

لكن يشعر شرودنجر بالقلق. إنه قلق بشأن مدخرات التقاعد له ولآني، فالمعاش الألماني لن يكفي الجميع، ولن يكونوا قادرين على العيش على معادلة شرودنجر. كتب إلى ألبرت آينشتاين في مايو 1935: «ليس الأمر أنني لا أستطيع البقاء في مكان واحد لفترة طويلة. لقد أحببت كل مكان كنت فيه حتى الآن، باستثناء شمال... ألمانيا. ليس الأمر أيضًا أن الناس هنا ليسوا لطفاء وودودين معي. لكن الشعور متزايد بعدم وجود عمل وكسب لقمة العيش فقط من كرم الآخرين». إنه يبحث عن وظيفة دائمة. لكن أين؟ جامعة برينستون، التي التحق بها في عام 1934، سيكون لديها واحدة له ولكنها بعيدة جدًّا عليه. استدرجته جامعة مدريد، لكن بعد ذلك اندلعت الحرب الأهلية في إسبانيا.

يتلقى شرودنجر عرضًا للحصول على درجة الأستاذية من إدنبرة. كان سيقبلها إذا ذهبت معه هانسي، كما أخبرها، لكنها لا تريد ذلك. لذلك ذهب

إلى مدينة جراتس النمساوية. بالقرب من هيلدا وروت، ولكن أيضًا بالقرب من النازيين.

في عام 1938 ضمَّ النازيون النمسا. أُغلقت جامعة جراتس وفُصِل رئيس الجامعة والعديد من المعلمين. واعتقل كثير من اليهود ومنهم من ترك كل متعلقاته وهرب إلى الخارج. يستطيع إرفين شرودنجر البقاء. إنه ليس من أصل يهودي ويحاول التصالح. لكن النازيين يعرفون أنه ليس منهم. لم تُنسَ مغادرته المتسرعة من برلين قبل خمس سنوات. عندما تعيد الجامعة فتح أبوابها، يحث رئيس الجامعة الجديد شرودنجر على التماهي علنًا مع النازيين، فيلتزم شرودنجر بذلك. في 30 مارس 1938، قبل فترة وجيزة من الاستفتاء على «الضم» الذي حدث بالفعل، نشر بيانه في صحيفة جراتسر تاجسبوست تحت عنوان: «فليبسط يده كل من يريد الالتزام تجاه الفوهرر، تقرير عالِم بارز لخدمة الشعب والوطن»:

«في خضم الفرح البهيج الذي يخيم على بلادنا حاليًّا، هناك أيضًا أولئك الذين يشاركوننا هذه الفرحة بشكل كامل، ولكن ليس من دون خجل عميق لأنهم أساؤوا فهم الطريق الصحيح. نسمع بامتنان كلمة السلام الألمانية؛ فليبسط يده كل من يريد. إنهم يرغبون في مصافحة اليد الممدودة بسخاء، ويؤكدون أنهم سيسعدون للغاية بكل تعاون مخلص وطاعة لإرادة الفوهرر، يمكنهم بذل كل ما في وسعهم لتعزيز كلمة شعبهم الموحد الآن. في الواقع، من نافلة القول أن النمساوي العجوز الذي يحب وطنه لا يمكنه أن يتخذ أي موضع آخر؛ بصراحة، كل بطاقة تصويت بـ(لا) في صندوق الاقتراع ستكون بمنزلة انتحار وطني. نرغب جميعًا ألا يكون هناك منتصرون ومهزومون في هذا البلد، كما كان الحال سابقًا، فقط شعب موحد يستخدم قوته الكاملة غير المقسمة لتحقيق الأهداف المشتركة لجميع الألمان. الأصدقاء المحسنون الذين يبالغون في تقدير أهمية شخصي يعتقدون أنه من الصواب أن أقوم بالاعتراف النادم الذي أدليت به لهم علنًا؛ أنا أيضًا أحد أولئك الذين يمدون أيديهم بالسلام، لأنني لديَّ الإرادة الحقيقية وقد أخطأت في الحكم على مصير وطني. أعترف بكل بفرح وسرور. أعتقد أنه قد صدحت بها قلوب الكثيرين، وأتمنى أن أفيد وطني».

إي شرودنجر.

يقدم شرودنجر دعاية رائعة للنازيين، والتي تثير دهشة كبيرة بين أصدقائه في الخارج. لاحقًا، ندم على اعترافه بالندم، واعتذر لآينشتاين عن «الكتابة الجبانة» ويبرر «ازدواجيته» بحقيقة أنه يريد أن يسلم من النازيين. لم ينفعه ذلك. عندما عاد من إجازة الصيف في الدولوميت مع هيلدا، اكتشف أن منصبه قد أعيد الإعلان عنه. فُصِلَ دون سابق إنذار بسبب «عدم الموثوقية السياسية». وفي تقرير، وصفته قيادة الجامعة بأنه «متميز مهنيًّا»، لكنه «متناقض سلوكيًّا» و «شبه محب للألفة».

يبحث شرودنجر عن مكان مرة أخرى. يحزم هو وآني ثلاث حقائب على عجل، ويركبان القطار إلى روما قبل أخذ جوازات سفرهما. تركا ميدالية جائزة نوبل وراءهما. يتجولان عبر أوروبا، وجنيف وفرنسا إلى إنجلترا. في أكسفورد، علم شرودنجر أنه لم يعد مرغوبًا فيه بعد اعترافه بهتلر. في النهاية، قبلته جامعة جينت في بلجيكا كأستاذ زائر، وجاءت هيلدا مارش مع روت إليه في جينت. اندلعت الحرب العالمية الثانية. قبل أشهر قليلة من احتلال القوات الألمانية لبلجيكا، مَنح رئيس الوزراء الأيرلندي إيمون دي فاليرا لشرودنجر منصبًا دائمًا في معهد الدراسات المتقدمة الذي تأسس حديثًا في دبلن. أخيرًا مكان للإقامة مع عائلته المكونة من زوجتين وابنة. لم يكن لدى شرودنجر قطة قط.

برينستون 1935
آينشتاين يُعيد التركيز إلى العالم

برينستون، 1935. هدأت حياة ألبرت آينشتاين المتقلبة. اكتشافاته العظيمة خلفه. مدة عامين كان نجم العالم في معهد الدراسات المتقدمة في برينستون، الذي تأسس من أجله في المقام الأول وسيظل المحطة الأخيرة في حياته المهنية. وكتب إلى الملكة إليزابيث ملكة بلجيكا: «برينستون قطعة أرض رائعة وفي الوقت نفسه ركن احتفالي غريب الأطوار يتصاعد من أنصاف الآلهة الصغيرة».

ومع ذلك، فإن القليل الذي أحبَّه ورفضه في ميكانيكا الكم لا يسمح له بالرحيل. لا يستطيع أن يدع «مائدة الساحرة[1]» قائمة، ويظل إيمانه راسخًا بأن العالم مستقل عن الإدراك البشري ومع ذلك يمكن الوصول إليه من خلال المعرفة البشرية.

يحاول آينشتاين مرارًا وتكرارًا الكشف عن نقاط الضعف في ميكانيكا الكم بأداته المفضلة، التجربة الذهنية، يكتب رسائل طويلة إلى شرودنجر، يملأ السبورة بالمعادلات، في مكتبه، 209 بالقاعة الجميلة، يداعب خياله

(1) إشارة للساحرة التي قاد مِفيستو فاوست إلى مطبخها للحصول على جرعة مُنعِشة. تروي الساحرة تعويذة من كتاب سميك تتضمن ألغازًا وكلماتٍ وأرقامًا عديدة غير مفهومة. [المترجم]

بجزيئات الضوء، الشاشات والصناديق والموازين وأكوام البارود والقطط. يحاول صياغة أفكاره في حجج حادة، لكنه يفتقر إلى الدعم. كان مساعده فالتر ماير، المعروف باسم «كمبيوتر آينشتاين»، مترددًا في مواصلة الحملة ضد ميكانيكا الكم مع رئيسه.

في وقت مبكر لأحد الأيام من عام 1934، في أثناء تناول شاي بعد الظهيرة التقليدي، أجرى ألبرت آينشتاين محادثة مع عالم الفيزياء في بروكلين ناثان روزين. روزين يبلغ من العمر 25 عامًا، ويبدو أصغر سنًّا، وقد تزوج للتو من المرأة التي كانت زميلته منذ المدرسة، وهو يكافح لإثبات نفسه كعالم. يتطور نقاش حول ميكانيكا الكم. ينضم إليهم زميل آخر في المعهد، وهو الروسي بوريس بودولسكي البالغ من العمر 37 عامًا، والذي عمل بالفعل مع بول ديراك.

ينضم آينشتاين إلى بودولسكي وروزين كحليفين في هجومه على ميكانيكا الكم. الثلاثة، الذين سرعان ما سيطلق عليهم اسم (EPR) بحسب الأحرف الأولى من ألقابهم، ابتكروا إحدى تجارب آينشتاين الذهنية التي تكشف عن أغرب شذوذ في ميكانيكا الكم؛ «التشابك الكمي» كما يسميه إرفين شرودنجر. لا يتناسب مع الفهم المادي التقليدي للعالم. على الرغم من المسافة المكانية بينهما، فإنهما جسيمان متشابكان مرتبطان ببعضهما بعضًا، كما لو بإمكانهما التحدث معًا عن بعد، على مدى آلاف الكيلومترات، حتى على مدى السنوات الضوئية.

تخيل زوجين من جسيمات الضوء يتكونان معًا ثم ينفصلان. على سبيل المثال، يمكن للذرة «المثارة» -وهي الذرة التي تنتقل إلى مستوى طاقة أعلى- أن تشع طاقتها الزائدة إلى جسيمين ضوئيين يتطايران في اتجاهين متعاكسين، باتجاه الحواف المعاكسة للنظام الشمسي وما وراءهما. وفقًا لميكانيكا الكم، فإن الجسيمات المتشابكة؛ خصائصها مرتبطة، بغض النظر عن المسافة بينهما. يمكنك تخيله بالألوان؛ إذا كان أحد الجسيمات أحمر، فإن الآخر أحمر أيضًا. إذا كان أحدهما أزرق، فسيكون الآخر كذلك.

قد يتساءل البعض «ما الغريب في ذلك؟» لا يبدو الأمر أكثر غموضًا من زوجين من الجوارب، أحدهما أُرسل إلى لندن والآخر إلى موسكو. ترتبط خصائصها أيضًا؛ من يرى أن جورب لندن أسود يعرف على الفور أن جورب موسكو أسود أيضًا.

ولكن على عكس الجوارب، فإن خصائص الأجسام الكمومية لا تتضح إلا عندما يرصدها أحد. جسيمي الضوء في حالة تراكب «كلاهما أحمر» و «كلاهما أزرق». فقط في اللحظة التي يتم فيها مراقبة أحد الجسيمات، يأخذ لونًا معينًا، وفي الوقت نفسه، كما لو كان سحرًا، فإن الجسيم الآخر، بعيدًا، يأخذ اللون نفسه أيضًا.

هذا غريب حقًّا؛ كيف يمكن للجسيمات أن تأخذ اللون نفسه؟ في تفسير كوبنهاجن لميكانيكا الكم، يدعي كل من نيلز بور وفِرنر هايزنبرج أن كلًّا من جسيمَي الضوء لم يكن لونه أحمر أو أزرق بشكل واضح حتى القياس. إنه عشوائي اللون الذي تلاحظه. ولكن إذا كان هذا صحيحًا، فكيف يمكن أن يكون اللون العشوائي في لندن هو نفسه في موسكو؟ إذا قلبتَ عملة معدنية في لندن وأخرى في موسكو، فلن تؤثر النتيجة في إحدى المدن على النتيجة في المدينة الأخرى.

كيف يمكن أن يكون ذلك؟ ربما تحمل اللون إشارة سريعة جدًّا من جسيم إلى آخر، بمجرد إصلاح اللون. يسمي آينشتاين هذه الفكرة بـ«التأثير المخيف بعيد المدى»، والذي يعتبره قابلًا للتصديق مثل قصص الأشباح. سيكون هذا تناقضًا مع المبدأ الأساسي لنظريته النسبية، والتي وفقًا لها لا ينتشر أي تأثير أسرع من الضوء؛ مبدأ المحلية[1]. ثَمَّة شيء فاسد في كوبنهاجن[2].

لكن بعد ذلك يبقى تفسير واحد فقط للسلوك المخطط للجسيمات؛ اللون ثابت طوال الوقت، مثل الجوارب. يؤمن آينشتاين بذلك، ويقنع بودولسكي وروزين أيضًا. استنتج علماء برينستون الثلاثة أن ميكانيكا الكم نظرية غير مكتملة، وتفتقد السبب الأعمق الذي يجعل كلا الجزيئين لهما اللون نفسه، ولا تعطي صورة واضحة لحقيقة ضبابية، كما يدعي بور وهايزنبرج، بل صورة ضبابية لواقع واضح.

كتب بودولسكي الورقة البحثية باللغة الروسية، لغته الأم، «لأسباب لغوية»، كما يوضح آينشتاين في رسالة إلى شرودنجر. لغة آينشتاين الإنجليزية سيئة للغاية. وكذلك إنجليزية بودولسكي ليست أفضل بكثير أيضًا. عنوان البحث:

---

(1) ينص مبدأ المحلية على أنَّ الجسم لا يتأثر بشكل مباشر إلا بمحيطه. [المترجم]

(2) إشارة لجملة شكسبير الشهيرة على لسان مارسيليوس في مسرحية هاملت أمير الدنمارك «Something is rotten in the state of Denmark». [المترجم]

«هل يمكن اعتبار الوصف الميكانيكي الكمي للواقع الفيزيائي مكتملًا؟». لا توجد مقالات.

يتكون البحث من أربع صفحات فقط وينتهي بعبارة: «بينما أظهرنا أن الدالة الموجية لا تقدم وصفًا مكتملًا للواقع الفيزيائي، فقد تركنا مسألة ما إذا كان هذا الوصف موجودًا أم غيرَ مفتوحٍ. ومع ذلك، فإننا نعتقد أن مثل هذه النظرية ممكنة».

لا يوجد وقت للتصحيح. يسلم بودولسكي المسودة على عجل قبل أن يراها آينشتاين ويختفي في كاليفورنيا. في 4 مايو 1935، قبل أحد عشر يومًا من النشر بمجلة فيزيكال ريفيو، قرأ آينشتاين اسمه في عنوان يوم السبت في صحيفة نيويورك تايمز: «نظرية كمية هجوم آينشتاين- اكتشف العالم وزملاؤه أنه على الرغم من أنها (صحيحة)، فهي ليست (مكتملة)». أدناه ملخص من أحد أعمدة المقالة مع اقتباسات من بوريس بودولسكي. أشهر عالم في العالم يعيد صياغة نظرية جديدة فازت بست جوائز نوبل، إنها فضيحة، حتى لو لم يكن أحد يفهم ما يدور حولها.

يغضب آينشتاين. ينشر بودولسكي نتائج أبحاثه قبل نشرها. في 7 مايو، نُشر بيان من آينشتاين في صحيفة نيويورك تايمز، ذكر فيه أن بودولسكي «كشف النتائج دون إذني. إن من ممارستي الثابتة مناقشة القضايا العلمية في المنتدى المناسب فقط، وأنا أستنكر النشر المسبق لأي إعلان عن مثل هذه القضايا في الصحافة العامة». لن يتحدث آينشتاين إلى بودولسكي مرة أخرى بعد هذا الحادث.

الثرثرة مع الصحافة ليست السبب الوحيد لغضب ألبرت آينشتاين من بوريس بودولسكي. في المقال، سمح الروسي لنفسه بعمل تعسفي لم يكن آينشتاين ليوافق عليه لو رآه في الوقت المناسب.

بعد الجدال الدائر حول عدم اكتمال ميكانيكا الكم، يذهب بودولسكي إلى أبعد من ذلك ويحاول دحض مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج بحجة مشكوك فيها. يشطح بعيدًا ويجعل التصريحات عرضة للخطر. إنه يحجب وجهة نظر آينشتاين. للوهلة الأولى، تبدو ورقة (EPR) وكأنها محاولة خرقاء لخداع مبدأ عدم اليقين. لكن آينشتاين لا يهتم بمبدأ عدم اليقين. لقد تخلى منذ فترة طويلة عن محاولة دحض ميكانيكا الكم، على الرغم من رغبته في ذلك. كتب

آينشتاين المحبط لشرودنجر: «لكن ما أردته في الواقع لم يظهر بشكل جيد، والشيء الرئيس قد دُفن، إذا جاز التعبير، عن طريق سعة الاطلاع».

من بين كل الأشياء التي في هذه الورقة، إنه آخر منشور يهم ألبرت آينشتاين، وأكثر ما يُستشهد به. أحدثت ورقة (EPR) ضجة كبيرة بين الزملاء على جانبي المحيط الأطلسي. يقول بول ديراك: «علينا الآن أن نبدأ من الصفر لأن آينشتاين أظهر أنه لا يعمل». فولفجانج باولي يطلق على الصحيفة اسم «كارثة» ويحث فِرنر هايزنبرج على كتابة رد في مجلة فيزيكال ريفيو من أجل «تجنب خطر إرباك الرأي العام -بخاصةٍ في أمريكا- من خلال النشر». لكن هايزنبرج يعلم أن نيلز بور يعمل بالفعل على تحضير رد فيقطع مسودته الخاصة. المُعلم بنفسه سيضع حدًّا لهذه الهَرْطَقَة.

في كوبنهاجن، دَوَّت ورقة (EPR) «كصاعقة من السماء»، كما يقول ليون روزنفِلد زميل بور. «لقد تركنا كل شيء آخر. كان علينا أن نوضح سوء الفهم هذا على الفور». يتناقش بور وروزنفِلد حول رد مذهل يومًا بعد يوم، وأسبوعًا بعد أسبوع. يكافح بور لفهم حجج برينستون. يسأل روزنفِلد: «ماذا يمكن أن يقصدوا؟ هل تفهم؟». تمكن بور بمساعدة روزنفِلد، من صياغة إجابة وإرسالها إلى محرري مجلة فيزيكال ريفيو في غضون ستة أسابيع، وهو وقت سريع واستثنائي وفقًا لمعاييره.

يشرح بور تجربة (EPR) الذهنية تمامًا، بطريقته الخاصة، ليس باستخدام المعادلات، ولكن عبر الاستعارات. يقول: «بلا شك»، لا يمكن للجسيمات المتباعدة أن «تتداخل ميكانيكيًّا» مع بعضها بعضًا. ولكن لا يزال هناك «سؤال حول التأثير على الظروف ذاتها التي تؤثر على الأنواع الممكنة من التنبؤات حول السلوك المستقبلي للنظام». وهكذا يميز بور بين «التأثير» و «التداخل الميكانيكي». ماذا يعني ذلك؟ أن «التأثير» يمكن أن يكون لحظيًّا لمسافات طويلة، لكن ليس «تداخلًا»؟ ربما. إن ميكانيكا الكم تتناقض مع مبدأ المحلية التي بنى عليها آينشتاين نظرية النسبية؟ ربما. لا أحد يفهم ذلك بالضبط. ولا حتى بور نفسه.

سيعترف لاحقًا بأنه يواجه صعوبة في فهم حججه الخاصة، ورده جزء آخر من عدم فهم بور، مليء بالعبارات المعبأة والقياسات الغامضة. بينما يعتذر عن «ضعف التعبير» في رده على مفارقة (EPR)، لكن لن يحاول أبدًا معالجة هذا الضعف.

قلة من الفيزيائيين ينقبون في خليط كلمات بور. لقد سئم الكثيرون من الخلاف الفلسفي قديم الطراز. مجرد حقيقة أن بور أجابَ تُزيل شكوكهم.

يتفق شرودنجر مع آينشتاين. في السابع من يونيو كتب إلى برينستون من أوكسفورد: «لقد سررت جدًّا أنه في العمل الذي نشرته للتو في مجلة فيزيكال ريفيو، لقد اكتشفت علنًا أن ميكانيكا الكم الدوغماتية تقوم بما ناقشناه كثيرًا بالفعل في برلين. تأكد خوف آينشتاين من ضياع جوهر نقده لميكانيكا الكم في عرض بودولسكي. حصل على الكثير من الرسائل من علماء الفيزياء الذين يدافعون عن تفسير بور لميكانيكا الكم ويدعون أنهم اكتشفوا أخطاء في ورقة (EPR). لكنهم يتناقضون فيما بينهم حول أين تكمن هذه الأخطاء. إن معضلة ميكانيكا الكم المتمثلة في أنه يجب أن تكون إما غير محلية وإما غير مكتملة هي الأكثر صعوبة.

في رسالة إلى آينشتاين، أعرب شرودنجر عن استيائه من ردود الفعل «غير المعتادة» على ورقة (EPR): «يبدو الأمر كما لو أن أحدهم يقول إن الجو بارد جدًّا في شيكاغو، فتأتي إجابات أخرى بأن هذه مغالطة، الجو حار جدًّا في فلوريدا».

ماكس بورن هو أحد الفيزيائيين الذين يعتبر رد فعلهم شرودنجر «غير ذكي جدًّا». يشعر «بخيبة أمل عميقة» من عمل (آينشتاين/ بودولسكي/ روزين)، الذي سمع عنه بالفعل أشياء «مثيرة». من ناحية أخرى، يكره بورن أيضًا أن بور «غالبًا ما يكون ضبابيًّا وغامضًا في التعبير».

كل هذه المشاحنات الفلسفية تصبح مملة للغاية له وللآخرين. أصلًا تعمل ميكانيكا الكم؟ يريد العديد من علماء الفيزياء من جيل الشباب أن يحسبوا بها، ويطبقوها على العالم، وليس مجرد التفكير فيها. يتركون الفلسفة للفلاسفة. بعد كل شيء، ما زالت هناك أشياء لاستكشافها. بعد أقل من أربع سنوات على ورقة (EPR)، اندلعت حرب عالمية ستلعب فيها حساباتهم دورًا كبيرًا.

جارميش 1936
الثلج المتسخ

في عام 1936، استضافت ألمانيا دورة الألعاب الأولمبية مرتين، في جارميش بارتنكيرشن في الشتاء وفي برلين في الصيف. الألعاب الشتوية هي بروفة الصيف. تخضع ألمانيا للمراقبة الدولية. في الولايات المتحدة الأمريكية وإنجلترا وفرنسا وهولندا، شُكلت حركة مقاطعة ضد السياسة العنصرية النازية الوحشية. يعرف المسؤولون الرياضيون الألمان أنه إذا ساءت الأمور في جارميش، فلن يحضر أحد إلى برلين. يريد النازيون اغتنام الفرصة لإظهار سلامتهم وتفوقهم على العالم. أوقفوا الهجمات المعادية للسامية في غارميش وأزالوا لافتات «اليهود غير مرغوب فيهم». تحدد آلة الدعاية تنظيم الألعاب حتى أدق التفاصيل، من حفل الافتتاح إلى قوائم الرياضيين. ينخدع العديد من الزوار بالمسرح ويصدقونه، فقط بطيب خاطر. حسنًا، من المُسَلَّم به أن النازيين قد يكونون مفرطين في الحماس في بعض الأحيان، لكنهم ليسوا بهذا السوء من قرب.

في حفل الافتتاح في 6 فبراير 1936، سار موكب الرياضيين وسط تساقط الثلوج بغزارة إلى الاستاد الأولمبي الجديد في جارميش بارتنكيرشن، والذي كان مليئًا بـ 60 ألف متفرج. عندما تضاء الشعلة الأولمبية، لأول مرة في الألعاب الشتوية، تسطع الكشافات من الجبال. تطلق بنادق الفيرماخت

التحية. أصوات الضجة الأولمبية، التي ألفها ريتشارد شتراوس، على ما يبدو، يعلن أدولف هتلر افتتاح الألعاب.

عندما يلعب فريق هوكي الجليد الألماني، يغادر أدولف هتلر القاعة بشكل واضح. يلعب في الفريق رودي بال، الذي يُعد «نصف يهودي» وفقًا لقوانين نورمبرج التي صدرت قبل خمسة أشهر.

يصل نصف مليون متفرج إلى جارميش. هتف 30 ألف شخص من ألمانيا لكريستل كرانتس لأنها أنجزت أفضل مدة زمنية في كلتا الجريتين في سباق التعرج للسيدات بأسلوبها الهادئ والإيقاعي للفوز بالميدالية الذهبية في جبال الألب على الرغم من المنحدرات. يمارس العديد من الزوار ألعاب التزلج على جبال الألب. يكتظ رصيف محطة جارميش بالزلاجات الفولاذية لأحذية التزلج، ويتزاحم المتزلجون الذين يحملون حقائب الظهر والألواح الخشبية في الحافلات والقطارات.

يستمتع الصحفي الأمريكي ومراسل ألمانيا ويليام شيرير بإقامته في جارميش بارتنكيرشن وتدهشه «المناظر الرائعة لجبال الألب البافارية، بخاصةٍ عند شروق الشمس وغروبها، والنسيم الجبلي الخلاب، والفتيات الجذابات ذوات الخدود الحمراء في ملابس تزلجهن، والألعاب المثيرة، بخاصةٍ القفز على الجليد، وسباقات الزلاجة، ومباريات هوكي الجليد وسونيا هيني». هيني، لاعبة التزلج على الجليد النرويجية، تمد ذراعها إلى مستشار الرايخ بتحية هتلر، تسألها الصحف النرويجية بحماس: «هل سونيا نازية؟» تفوز هيني بالميدالية الذهبية وتغازل كبار الشخصيات النازية. بعد الألعاب، دعاها هتلر إلى منزل عطلاته في أوبرزالتسبرج لتناول طعام الغداء وأهداها صورة فوتوغرافية لنفسه بتوقيعه.

في مارس 1936، بعد ثلاثة أسابيع من الألعاب الأولمبية، زحفت القوات الألمانية إلى منطقة راينلاند المنزوعة السلاح. وبذلك، كسر أدولف هتلر معاهدات لوكارنو، التي أعادت ألمانيا إلى المجتمع الدولي بعد الحرب العالمية الأولى وساعدت علماء الفيزياء الألمان على الخروج من العزلة.

يُحكم نظام هتلر قبضته على ألمانيا؛ ولا يمكن لأحد أن يفلت من نفوذه. ولا حتى فِرنر هايزنبرج. يود أن يخلف أستاذه أرنولد زومرفِلد على كرسي الفيزياء في ميونخ. تقاعد زومرفِلد في ربيع عام 1935 ويريد أن يخلفه

هايزنبرج. لكن يوهانس شتارك، الرئيس القوي لمعهد الرايخ الفني للفيزياء ومؤسسة الأبحاث الألمانية، لديه شيء ضد ذلك. يسمي هايزنبرج «روح آينشتاين» ويشنُّ حملة ضده وضد الفيزياء النظرية. في عام 1936 كتب في المجلة النازية الشهرية: «الإثارة والدعاية لنظرية النسبية لآينشتاين تبعتها نظرية مصفوفة هايزنبرج وما يسمى بميكانيكا الموجة لشرودنجر، كلٌّ منها غامضة وشكلية مثل الأخرى».

اكتسب فِرنر هايزنبرج سُمعة أنه لم يتخذ موقفًا كافيًا ضد اليهود، وكونه نفسه «يهوديًّا أبيض»، لممارسته فيزياء نظرية «غير ألمانية». يحاول الدفاع عن نفسه، ولهذا يعتبره البعض ممن هم خارج ألمانيا مؤيدًا راغبًا في النظام النازي ومتسامحًا صامتًا عن اضطهاد اليهود. وقد أطلق عليه ماكس بورن فيما بعد لقب «النازي».

في يوليو 1937، نشر يوهانس شتارك مقالًا في صحيفة «الفيلق الأسود» التابعة لوحدات الإس إس (قوات الأمن الخاصة النازية) بعنوان «اليهود البيض في العلوم»، والذي كان يستهدف في المقام الأول فِرنر هايزنبرج. يسمي شتارك هايزنبرج بأنه «مُتولِّي روح آينشتاين في ألمانيا الجديدة» و «أوزيتسكي الفيزياء» ويشتكي من أنه بعد «تصفية» العلماء اليهود، قد وجدوا الآن «مدافعين وأتباعًا في رفاق اليهود الآريين وتلاميذ اليهود».

كان كارل فون أوزيتسكي، الصحفي والناقد السلمي للنازية، في السجن منذ الاستيلاء على السلطة. حصل في نوفمبر 1936 على جائزة نوبل للسلام لعام 1935، لكن الجستابو لم يسمح له بالسفر إلى أوسلو لحضور الحفل. توفي أوزيتسكي في مايو 1938، نتيجة التعذيب في معسكرات الاعتقال ومرض السل الذي كان قد أُصيب به هناك.

يرى هايزنبرج أن حياته المهنية في خطر. خاف من التهميش في الأوساط العلمية الألمانية وبذل كل ما في وسعه للتخلص من المقارنة مع أوزيتسكي وعدم الظهور على أنه «يهودي أبيض». يلجأ إلى هاينريش هيملر (قائد قوات الإس إس) للحماية. يعرف كلٌّ من هيملر وهايزنبرج بعضهما بعضًا مسبقًا، كان والد هيملر وجد هايزنبرج أعضاء في نفس نادي التنزه. اضطر هايزنبرج إلى الانتظار لمدة عام للحصول على رد من هيملر؛ لقد كان بالفعل يطور خططًا للهجرة. يعفي هيملر هايزنبرج ولا يوافق على «الهجوم» في الفيلق الأسود. يكتب هيملر إلى هايزنبرج ويشرح قائلًا: «تحديدًا لأن عائلتي

أوصتني بك، فقد فحصت حالتك بطريقة صحيحة ودقيقة بشكل خاص، أنني لم أوافق على هجوم الفيلق الأسود، كما أنني منعت هجومًا آخر عليك». يكتب أدناه ملاحظة «ومع ذلك، أعتقد أنه من الصواب أن تفصل بوضوح الاعتراف بنتائج البحث العلمي عن الموقف الإنساني والسياسي للباحث أمام مستمعيك في المستقبل». يتبع هايزنبرج التوصية وينأى بنفسه عن آينشتاين: «لقد اتبعت نصيحة هيملر من تلقاء نفسي، لأنني لم أحب قط موقف آينشتاين تجاه الجمهور».

لكن حتى هيملر لا يستطيع تجنب الضرر تمامًا. كرسي ميونخ المرغوب فيه لا يذهب إلى هايزنبرج، ولكن إلى عالم الفيزياء من الدرجة الثانية فيلهلم مولر، عضو الحزب النازي، المدافع عن «الفيزياء الألمانية»، ووفقًا لزومرفِلد، «أسوأ خليفة يمكن تصوره».

يتعين على فِرنر هايزنبرج البقاء في لايبتسيج طوعًا أو كرهًا. فالحالة السياسية تصيبه جسدًا وروحًا. لقد فر العديد من زملائه إلى المنفى، بينما يسعى هو للانزواء في حياته الخاصة. في 28 يناير 1937، نظَّم حفلًا موسيقيًّا في منزل عائلة الناشر بوكينج، مع المضيف وعازف الكمان، يعزف مقطوعة «بيانو تريو» رقم واحد واثنان من تأليف لودفيج فان بيتهوفن. تستمع إليزابيث شوماخر، البالغة من العمر 22 عامًا، والتي تركت للتو دراساتها في تاريخ الفن في فرايبورج، إلى لايبتسيج وبدأت تدريبها بائعةَ كتب. مع المقطوعة الثانية، يذوب قلب إليزابيث، وبعد أسبوعين فقط كتب فِرنر هايزنبرج إلى والدته: «لقد خطبت أمس، بافتراض أنك تمنحينني موافقتك». ينعقد حفل الزفاف في أبريل. بعد ثمانية أشهر، أنجبت إليزابيث التوأمين فولفجانج وماريا.

في العام التالي، صادف هايزنبرج منزلًا خشبيًّا فارغًا في قرية «أورفِلد أَم فالشنسي». اشتراه مقابل 26000 مارك من فيلهلمينه كورينت، ابنة الرسام لوفيس كورينت، كملاذ لعائلته إذا اندلعت الحرب. لم يمضِ سوى عام إلا واندلعت؛ الحرب العالمية المقبلة. يتلقى فِرنر هايزنبرج أمر استدعاء إلى برلين. لا يوجد شيء خاص في ألمانيا النازية لا تستولي عليه هذه الدولة.

موسكو 1937
على الجانب الآخر

برينستون، 1935. كان بول ديراك في ذروة مسيرته المهنية. يقع مكتبه في معهد الدراسات المتقدمة في الممر نفسه مثل مكتب ألبرت آينشتاين، على بعد بابين فقط. وهو يضع اللمسات الأخيرة على الطبعة الثانية من رائعته «مبادئ ميكانيكا الكم»، والتي يسميها بعض الزملاء «الكتاب المقدس للفيزياء الحديثة». في عام 1936، توفي والد ديراك، الذي كانت تربطه به علاقة مُعقَّدة. لا يشعر ديراك بالحزن. كتب إلى مارجريت فيجنر، شقيقة الفيزيائي المجري يوجين فيجنر: «أشعر بحرية أكبر الآن». مارجريت منفتحة ومتواصلة وثرثارة وتقدر ديراك الخجول. يدعوها بول باسم مانسي. تزوجا في عام 1937 وتبنى بول طفلَي مانسي من زواجها الأول جابرييل ويودي. قال ديراك لزوجته بعد الزفاف: «لقد غيرت حياتي بطريقة رائعة. لقد جعلتني إنسانًا».

ولكن هناك شيء لا يستطيع ديراك الاكتفاء منه. قبل عيد الميلاد عام 1934 بفترة وجيزة، تلقى رسالة من آنا كابيتسا، زوجة أقرب أصدقائه، من كامبريدج. نداء استغاثة طلبًا للمساعدة. بيتر كابيتسا عالق في الاتحاد السوفيتي منذ شهور. «أكتب إليكم من روسيا كصديق لكابيتسا، وسوف تفهمون الوضع المستحيل»، تلجأ آنا إلى ديراك، الذي يشعر بالقلق.

وصل بيتر كابيتسا إلى إنجلترا في عام 1921 من روسيا، الدولة الضخمة التي مزقتها الحرب والثورة، لدراسة الفيزياء التجريبية. بدا، كما وصفه أحد الزملاء، «كأنه أمير حزين». في عام 1919، في غضون أربعة أشهر، فقد أربعة من أقرب أقربائه. مات ابنه من الحُمى القرمزية. ثم أصيبت ابنته وزوجته ووالده بالإنفلونزا الإسبانية. أصيب كابيتسا أيضًا، لكنه نجا من المرض. عمل خلال الحرب سائقًا لسيارة إسعاف مدة عامين.

يذهب الأرمل كابيتسا إلى كامبريدج وهو يعرف بالضبط ما يريد؛ إلى إرنست رذرفورد في مختبر كافنديش. يرفضه رذرفورد، لكن كابيتسا استمر فيقبله رذرفورد أخيرًا. يطور كابيتسا طريقة لتوليد مجالات مغناطيسية قوية للغاية عن طريق إرسال نبضات تيار عالية الجهد من خلال ملفات مُصممة خصيصًا.

إنه معجب برذرفورد ويحبُّه للغاية. يسمح رذرفورد باقتراب كابيتسا أكثر مما هو معتاد بين أستاذ وطلابه ويتوافق مع القواعد الاجتماعية. أصبح كابيتسا الابن الذي لم ينجبه رذرفورد.

عندما يكون رذرفورد بعيدًا، يسميه كابيتسا «التمساح». ليس لديه مجاملة أفضل، لأن التمساح هو حيوانه المفضل. يجمع قصايد عن التماسيح. ثَبَّت تمساحًا معدنيًّا على الشبكة الأمامية لسيارته. يمتلك الفيزيائيون أيضًا وبشكل خاص تفضيلات غريبة من حين لآخر.

عندما وصل بول ديراك إلى مختبر كافنديش في كامبريدج عام 1921، بعد فترة وجيزة من بيتر كابيتسا، تحوَّل «الأمير الحزين» إلى أحد أكثر الأشخاص شهرة وحبًّا وحيوية في المدينة. لا يتمتع الروسي ممتلئ الجسم بإتقان حقيقي لأي لغة، كما أنه لا يتحدث جيدًا، سواء الإنجليزية أو الفرنسية، أو حتى لغته الأم، الروسية. لذا فهو يتحدث بها جميعًا معًا، ويتحدث «كابيتسي» أيضًا، إنه يحب الثرثرة. يفيض بالكلمات، ويروي الحكايات، ويشرح حِيَل الورق. كابيتسا هو عكس ديراك قليل الكلام. يحب كابيتسا النميمة، بينما يفضل ديراك الصمت. يحب كابيتسا الذهاب إلى المسرح، ويعتقد ديراك أنه مضيعة للوقت. لكنهما يشتركان في الاهتمام بالمعرفة، بالقوانين الأساسية للعالم المادي. شجاعة كابيتسا وجرأته تثير إعجاب ديراك. يصبحان أفضل صديقيْن.

بيتر كابيتسا شيوعي متحمس، يحرص جدًّا رذرفورد على منعه من نشر الدعاية الشيوعية منذ يومه الأول في مختبر كافنديش. لم ينضم كابيتسا قط إلى الحزب الشيوعي، لكنه ملتزم بقضية الثورة ويعود إلى الاتحاد السوفيتي كل عام للعمل في برنامج تصنيع جوزيف ستالين. يقول: «إنني أتعاطف تمامًا مع إعادة البناء الاشتراكي من قبل الطبقة العاملة ومع الأممية الواسعة للحكومة السوفيتية بقيادة الحزب الشيوعي».

إنها لعبة خطيرة أن يُسمح له بالعودة إلى كامبريدج وتزداد خطورة كل عام. في عشرينيات القرن الماضي، انتشر الخوف من الشيوعيين في إنجلترا. بدأت تنتشر سُمعة كابيتسا أنه «بلشفي». يستهدفه جهاز المخابرات «المكتب الخامس» ويراقبه قسم خاص من الشرطة.

عندما اكتشف الخبير الاقتصادي جون مايناردكينز في أكتوبر 1925 أن كابيتسا كان في طريقه إلى الاتحاد السوفيتي مرة أخرى لتقديم المشورة لمفوضي الشعب بشأن كهربة البلاد، حذَّر قائلًا: «أخشى أن يعتقلوه عاجلًا أو آجلًا» أوه، ماذا يقول كابيتسا. إنه يثق بوعد جهاز الدولة السوفيتي بالسماح له بمغادرة البلاد كل مرة.

يُحرض أيضًا بيتر كابيتسا على ثورة في كامبريدج. يكره خضوع الفيزيائيين الشباب للأساتذة. في أكتوبر 1922 أسس نادي كابيتسا، حيث نوقشت الفيزياء علانيةً ودون تسلسل هرمي. يجتمع نادي كابيتسا في ليالي الثلاثاء في بعض الغرف بكلية ترينيتي، عبر الدعوة فقط. أولئك الذين يجرؤون على الحديث عن أبحاثهم، دون مسودة، بقطعة طباشير وسبورة على حامل. مسموح بتخلل الأسئلة. يشتعل موقد التدفئة، وهناك عدد قليل من الكراسي. يجلس معظمهم على الأرض. في بعض الأحيان يتم التصويت على ما إذا كان المتحدث على حق أم لا. يتحدث فِرنر هايزنبرج في نادي كابيتسا عام 1925، وإرفين شرودنجر عام 1928.

في سبتمبر 1934، عندما زار كابيتسا والدته مع عائلته، سُحِبَ منه جواز سفره. سُمِحَ فقط لزوجته آنا بالعودة إلى كامبريدج مع أبنائهما، سيرجي البالغ من العمر ست سنوات وأندريه ثلاث سنوات، بينما هو نفسه عالق في غرفة فندق بسيطة الفرش في موسكو. تمر ثلاثة أشهر. آنا يائسة. كتبت إلى ديراك، أن احتجازه في الاتحاد السوفيتي، وهو الذي قَدَّمَ الكثير من أجله، كان بمنزلة «ضربة مروعة» لزوجها، «ربما كان أسوأ ما في حياته». وتخشى أن

ينتقل الأمر إلى الصحافة، وأن «يتحدث الناس»، وبالتالي يقضي على فرص رؤية زوجها مرة أخرى. تتوسل ديراك، الحائز جائزة نوبل في العام نفسه، أن يتحدث بكلمة عن بيتر للسفير الروسي في واشنطن. «أعتقد أن هذه هي الطريقة الوحيدة لفعل أي شيء على الإطلاق».

أطلق ديراك حملة لتحرير كابيتسا. يتشاور مع ألبرت آينشتاين وأبراهام فلكسنر، مدير معهد الدراسات المتقدمة، ويحث إرنست رذرفورد، «التمساح»، على الدفاع عن كابيتسا. ثم ينشط رذرفورد جميع اتصالاته الدبلوماسية، ولكن دون جدوى. وشكا كابيتسا في رسالة من الاتحاد السوفيتي قائلًا: «أشعر كأنني عذراء تعرضت للاغتصاب عندما ظنت أنها وقعت في الحب». بمثل هذه الأحكام، فإنه يخاطر بالترحيل إلى معسكر العمل. تقرأ الرقابة السوفيتية رسائله، وتقرؤها المخابرات البريطانية مباشرة.

يقوم بول ديراك مقام والد سيرجي وأندريه في كامبريدج. يأخذ أبناء كابيتسا في رحلات بسيارته المتهالكة، وينظم لهم الألعاب النارية لإحياء ذكرى مؤامرة البارود، وهي محاولة من قبل الكاثوليك البريطانيين في عام 1605 لتفجير البرلمان، إلى جانب الحكومة والعائلة المالكة، ببودرة سوداء. توقف عن العمل لشهور. وعندما فشل كل شيء آخر، سافر إلى الاتحاد السوفيتي في صيف عام 1937، مُخالفًا نصيحة أصدقائه، ومانسي، التي تزوجها للتو.

عانى العديد من مواطني الاتحاد السوفيتي أسوأ الفظائع منذ عام 1937، باعتباره ذروة «التطهير العظيم» اعتقالات وتعذيب وقتل، وحملة الترهيب الفوضوية والوحشية التي شنَّها ستالين. بحلول نهاية عام 1937، مات نحو أربعة ملايين شخص نتيجة التطهير العظيم. لا يعرف ديراك ولا كابيتسا مدى هذا الرعب والهلع. تظل الاشتراكية نموذجهم السياسي.

في يوليو 1937، قبل أيام فقط من إضفاء الشرعية على جوزيف ستالين لتعذيب أعداء الشعب المشتبه بهم، وصل ديراك إلى الداتشا كابيتسا[1] في منطقة بولشيفو، شمال شرق موسكو. كان الجو حارًّا للغاية.

مكث بول ومانسي مدة ثلاثة أسابيع. في برودة الصباح، يقطع بيتر وبول الأشجار ويقطفان الفراولة. في ظل الشرفة، يروي بول قصصًا عن

(1) داتشا بالروسية أيْ المنزل الموسمي أو الكوخ الصيفي، لعائلة كابيتسا. [المترجم]

«التمساح» رذرفورد. تعاني مانسي مع فقر الداتشا، حيث لا يوجد حتى ورق التواليت. لا يشك أحد منهم في أن الناس يتعرضون للتعذيب والقتل والدفن في الغابات القريبة. يتحتم على ديراك المغادرة مرة أخرى.

يجب أن يظل بيتر كابيتسا في موسكو. في معهد تَبْنِيه الدولة خصوصًا له، يواصل التجارب التي اضطر إلى التخلي عنها في كامبريدج. بعد وقت قصير من زيارة ديراك، اكتشف بيتر الهيليوم «السائل الفائق»، الذي يفقد كل مقاومة الاحتكاك في درجات حرارة منخفضة للغاية ويتدفق على الجدران عكس الجاذبية. لا يمكن تفسير سلوكه الغريب إلا بميكانيكا الكم. كابيتسا هو والد فيزياء درجات الحرارة المنخفضة[1].

لم يكن لدى ديراك وكابيتسا أي فكرة عن أن 29 عامًا ستمضي قبل أن يلتقيا مرة أخرى؛ في عام 1966، في وقت مختلف تمامًا حيث بدأ العصر النووي والحرب الباردة منذ فترة طويلة.

(1) فيزياء درجات الحرارة المنخفضة فرع من فروع الفيزياء التي تتعامل مع المادة في الحالة الباردة. نطاق درجة الحرارة المدروس قريب من نقطة الصفر المطلق لمقياس درجة الحرارة، أي صفر كلفن (273.15– درجة مئوية). لا توجد درجة حرارة محددة ومع ذلك، ترتبط التجارب في الغالب باستخدام السوائل المبردة مثل النيتروجين السائل (77.4 كلفن) أو الهيليوم السائل (4.21 كلفن) أقل من كلفن واحد تتبع غالبًا فرع درجات الحرارة شديدة الانخفاض. [المترجم]

برلين 1938
انشطار النواة

برلين، 1907. الكيميائي أوتو هان، 28 سنة، غريب الأطوار يعمل في المعهد الكيميائي بالجامعة. يتعامل مع النشاط الإشعاعي. يسأل الزملاء القُدامى: «هل تُعد هذه أصلًا كيمياء، أم بالأحرى خيمياء؟». هان متخصص في إنشاء عناصر جديدة في المختبر. كان الكيميائي الدَجَّال كاليوسترو قد جرب ذلك بالفعل في وقت سابق من القرن الثامن عشر. هان الآن جالس في مكتب إميل فيشر، رئيس المعهد والحائز جائزة نوبل، ويطلب شيئًا شائنًا. يريد إحضار ليزه مايتنر إلى مختبره. امرأة وفيزيائية ليست حتى كيميائية. لا يسمح فيشر لأي طالبة بحضور محاضراته، وبالتأكيد لا توجد باحثات في معهده، حيث يُسمح بالدخول فقط للسيدات عاملات النظافة. يجيب فيشر: «ليست هناك طريقة لبدء عمل نسائي».

لكن كافح هان من أجل الحصول على إذن فيشر للعمل مع مايتنر، في ظل شروط صارمة. يقع مختبر هان ومايتنر في ورشة خشب سابقة في قبو المعهد. لا يُسمح للسيدة مايتنر بالحضور إلى المعهد دون أن يُطلب منها ذلك. للمختبر مدخل منفصل يتعين على مايتنر الدخول من خلاله. لا يوجد مرحاض خاص للنساء، لذا ينبغي على مايتنر الذهاب إلى نُزل قريب. في بعض الأحيان تختبئ تحت مقعد في قاعة محاضرات للاستماع إلى محاضرة. تعمل «متطوعة دون أجر» ولا تحصل على راتب ولا تزال تعتمد على الأموال

التي يدفعها لها والداها من فيينا. تعيش ليزه مايتنر على الخبز والقهوة السوداء.

لقد تعايشت مع مثل هذا الظلم طوال ثلاثة عقود. ولدت في فيينا عام 1878، في وقت حُرمت فيه الفتيات من حقهن في التعليم العالي. يجب على الشابات إنجاب الأطفال. إذا عملن بشكل استثنائي، فعندئذ على الأكثر كمُعلمات. ليزه، المُهتمة بالعلوم منذ أن كانت طالبة، لا يُسمح بالتحاقها بمؤسسة للتعليم العالي. بعد ثماني سنوات في مدرسة للبنات، بدأت في التدريب لتصبح مُعلمة لغة فرنسية، وتستعد بنفسها للماتورا[1] فتجتاز الامتحان في سن 22 عامًا. أخيرًا، أصبحت تقبل جامعة فيينا الآن الطالبات. تزيد ليزه مايتنر من سرعة وتيرتها. التحقت بأقسام الرياضيات والفلسفة والفيزياء، ودرست مع لودفيج بولتسمان، وحصلت على الدكتوراه بعد ثمانية فصول دراسية فقط، كثاني امرأة في جامعة فيينا. عندما بلغت من العمر 28 عامًا، غادرت إلى برلين، عاصمة الفيزياء، حيث ستُقيم فيها مدة 30 عامًا. إنها تريد تعلم المزيد، من خلال الدراسة على يد ماكس بلانك. لكن لم يُسمح للنساء بعد بالدراسة في برلين. تجرأت ليزه مايتنر على التحدث مباشرة إلى عضو المجلس الاستشاري الخاص للإمبراطورية بلانك، موضحة له أنها أتت إلى برلين لتكتسب «فهمًا حقيقيًّا للفيزياء». يسأل بدهشة المرأة اللطيفة، التي تبدو للوهلة الأولى خجولة: «لديك درجة الدكتوراه، ماذا تريدين أيضًا؟» يفكر بلانك بشكل تقليدي، ويعارض وجود «الأمازونيات[2]» في العلم. لكنه يسمح لها بالتحدث معه لأنه يدرك أن ليزه مايتنر تستحق استثناء. يمكنها التسجيل لحضور محاضراته.

---

(1) الماتورا هو الاسم اللاتيني لامتحان نهاية التعليم الثانوي في العديد من البلدان الأوروبية، يجتاز الامتحان تلاميذ تتراوح أعمارهم بين السابعة عشرة والعشرين عامًا لإرسال طلبات القبول إلى الجامعة أو مؤسسات التعليم العالي. امتحان الماتورا شبيه بامتحان الأبيتور في ألمانيا، والبكالوريا في فرنسا. [المترجم]

(2) الأمازونيات شعب من النساء المقاتلات، هن أول من سخَّر الحصان لأغراض القتال كما تروي بعض الأساطير. تبرز الأمازونيات في عدة ثقافات كالميثولوجيا الإغريقية والفينيقية والأمازيغية. عندما استكشف فرانسيسكو دي أوريلانا نهرًا كبيرًا في رحلته لاستكشاف المناطق المجهولة شرق كيتو حكى أنه قابل نساء محاربات ووصفهن كما توصف الأمازونيات ما حدا بأوريلانا بتسمية النهر نهر الأمازون. [المترجم]

لا تحتج ليزه مايتنر على هذا الضرر. إنها تتجاوب مع التحيز ضد المرأة المتجذر بقوة في أذهان العديد من الرجال. في السنة الأولى من تجاربهما المشتركة، أنتج هان ومايتنر سلسلة من النظائر الجديدة؛ ذرات جديدة من عناصر معروفة ذات كتل مختلفة. سرعان ما انتشر الحديث عن موهبة مايتنر. في عام 1909 ألقت محاضرة عن إشعاع بيتا في مؤتمر بفيينا، وبعد عام التقت في بروكسل بماري كوري، الحائزة جائزة نوبل. في وقت لاحق سوف تسمي سنوات قبو المعهد أسعد أوقاتها. «كنا صغارًا، سعداء ومُهمشين، وربما غير مبالين سياسيًّا».

بعد بضع سنوات، جعلها ماكس بلانك أول مساعدة جامعية في بروسيا. بالنسبة إلى ليزه مايتنر، فإن الموقف «مثل جواز سفر» للمجتمع العلمي، وهو أمر يصعب على النساء الوصول إليه، و «مساعدة كبيرة في التغلب على التحيزات القائمة ضد الأكاديميات». أطلق عليها ألبرت آينشتاين لقب «ماري كوري» الألمانية.

توقع أعمالها في مجلة «المراجعة العلمية الطبيعية» بلقبها فحسب، وهذا هو السبب في أن العديد من القراء يفترضون أنهم يتعاملون مع منشورات رجل. كتب فريق تحرير موسوعة بروكهاوس إلى «السيد مايتنر» المفترض لإقناعه بكتابة مقال للموسوعة. عندما تُعرِّف ليزه مايتنر نفسها على أنها امرأة، لم يعد المحررون مُهتمين بالمقال.

ربما كانت ستضطرب ليزه مايتنر كمتطوعة بلا أجر في فريق أوتو هان البحثي إذا لم تعرض عليها جامعة براغ منصب محاضِرة. ثم تدرك بروسيا أن لديها مايتنر. في عام 1913، عندما كانت في الخامسة والثلاثين من عمرها، عملت في معهد القيصر فيلهلم للكيمياء، وكانت مسرورة بـ «روعة العلم» وتمكنت أخيرًا من دفع ثمن قهوتها.

ثم اندلعت الحرب العالمية الأولى وأصبحت هناك أشياء أهم من العلم. تتطوع ليزه مايتنر ممرضة أشعة سينية على الجبهة الشرقية النمساوية. بعد تأثرها ببؤس الحرب بشدة، عادت في عام 1916 لتصر على السماح لها بمواصلة البحث مع أوتو هان في مختبرها القديم، إذ كان أوتو هان في برلين. يخدم أوتو هان في «فوج الغاز» ويطور الغازات السامة في «الوحدة الخاصة بالحرب الكيماوية» برئاسة فريتس هابر. يدرب هان الجنود على الهجمات بالغاز، ويتنقل بين الجبهات في الشرق والغرب والجنوب ومنشآت البحث

في برلين وليفركوزن. يحضر إلى مختبر ليزه مايتنر فقط عندما يكون في إجازة. ولذا فإن إنجاز مايتنر الأساسي أنه نجح كلاهما قبل نهاية الحرب بفترة وجيزة في إنتاج عنصر جديد «البروتكتينيوم» في عام 1917؛ إنه مستقر ومشع ويحمل الرقم 91 في الجدول الدوري.

كانت نهاية حكم عائلة هوهنتسولرن وبداية الجمهورية في 9 نوفمبر 1918 تعني في كثير من النواحي تحرير المرأة، بما في ذلك ليزه مايتنر. سُمح للنساء بالتأهيل للتدريس منذ عام 1920. حصلت مايتنر فورًا على إذن للتدريس، بفضل العمل الذي قامت به حتى وقتها، بعد 13 عامًا من أوتو هان، الذي كان في نفس عمرها. وهي تلقي محاضرتها الافتتاحية حول «أهمية النشاط الإشعاعي للعمليات الكونية». ويحولها مراسل إلى «عمليات التجميل». يمكنها الآن أن تضحك من الإحراج الناجم عن مثل هذا الجمود الذكوري. تتفوق على منافس تلو الآخر، وسرعان ما تترأس قسمها الخاص في معهد القيصر فيلهلم، وتبحث عن تحلل بيتا وإشعاع جاما، وتسافر إلى المؤتمرات في جميع أنحاء العالم، وتنتقل إلى شقة كبيرة في فيلا المديرين بمعهد القيصر فيلهلم في حي دالِم. نالت في عام 1926 درجة أستاذية استثنائية في الفيزياء النووية وأصبحت أول أستاذة فيزيائية في ألمانيا.

هان ومايتنر ثنائي غريب؛ محض علميان. لقد عملا معًا بشكل وثيق مدة 30 عامًا، شجعا ودعما بعضهما. لا يأكلان معًا أبدًا، باستثناء المواعيد الرسمية، ولا يذهبان للتنزه معًا، ولا يزوران منازل بعضهما بعضًا أبدًا. تمسَّكا بمنادات بعض بكلمة «حضرتك» حتى عشرينيات القرن الماضي. تزوج هان عام 1913 بينما لم تتزوج مايتنر قط.

إنها لا تفتقد الزواج والأطفال. تقول: «لم يكن لدي وقت لذلك». هل موظفوها هم عائلتها، أو بسبب النسوية، أو أنها ليست بحاجة إلى ذلك؟ أدركت بعد سنوات «كم كانت فكرتي خاطئة، ومقدار الامتنان الذي تدين به كل امرأة تعمل في مجال فكري للنساء اللواتي يناضلن من أجل المساواة».

العلم هو حياتها وهي تقوم بعمل رائع. حتى عام 1933، العام الذي تولى فيه النازيون السلطة. يغادر البلاد العديد من الزملاء ذوي الأصل اليهودي. عُمِّدت ليزه مايتنر كبروتستانتية ونشأت بحرية، لكن يظهر سجل ميلادها أنها من أصل يهودي. وبالتالي فهي تندرج تحت التعريف النازي لـ «غير الآري». تبلغ الآن من العمر 55 عامًا وترفض ترك عمل حياتها في برلين.

لقد رفضت عروضًا من الخارج، وبقيت في برلين وستندم لاحقًا، تقول بعد الحرب: «بِتُّ أعرف اليوم، أن الأمر لم يكن مجرد غباء، لقد كان خطأً كبيرًا أيضًا، لأنني في النهاية دعمت الهتلرية ببقائي».

بعد كل شيء، تحمي مايتنر جنسيتها النمساوية من التمييز الأسوأ. تواصل البحث، وتقنع هان بالعمل معها مرة أخرى. هدفهم تكوين ذرات أثقل حتى من أثقل عنصر معروف، اليورانيوم؛ عناصر ما بعد اليورانيوم. يريدون سد الفجوة المفتوحة وراء اليورانيوم في الجدول الدوري.

للقيام بذلك، أطلقت مايتنر وهان النيوترونات، المكتشفة مؤخرًا في مختبر كافنديش في كامبريدج، على ذرات اليورانيوم، على أمل إدخال النيوترونات في النواة. في عام 1935، بدأت ليزه مايتنر وأوتو هان والكيميائي الشاب فريتس شتراسمان تجارب لا يمكن لأحد أن يتوقع قوتها التفجيرية. تجارب ستغير مجرى تاريخ العالم. قبل ذلك، كان تاريخ العالم هو الذي يغير مسار التجارب.

مع «ضم» النمسا إلى الرايخ الألماني، انتهت صلاحية جواز سفر ليزه مايتنر النمساوي. بصفتها «يهودية ألمانيا رايخية» كانت معرضة لخطر الاضطهاد دون حماية من يوم إلى آخر. لم يعد مسموحًا لها بالعمل، لكن لا يجوز لها السفر إلى الخارج تحت أي ظرف من الظروف. أفاد الكيميائي كورت هيس، عضو الحزب النازي ومعارض ليزه مايتنر، بأنها «تُعرِّض المعهد للخطر». تحاول ليزه بلا فائدة إقناع وزارة الداخلية بإصدار أوراقها الألمانية الصالحة. أوضحت الوزارة أنه لم يعد مسموحًا «لليهود المعروفين» بمغادرة البلاد. ليزه مايتنر محاصرة.

خيارها الوحيد الآن هو الهروب. في 13 يوليو 1938، عبَّأت على عجلٍ أهم ممتلكاتها في ساعة ونصف الساعة. يُهرِّبُها أصدقاؤها إلى هولندا، ومن هناك تسافر عبر الدنمارك إلى ستوكهولم الآمنة، حيث يمنحها معهد نوبل منصبًا بحثيًّا مؤقتًا.

على الرغم من أن ليزه مايتنر بعيدة الآن عن مختبر الأبحاث النووية في معهد القيصر فيلهلم، فإنها ليست معزولة عن تقدم الاختبارات. أبقاها هان وشتراسمان على اطِّلاعٍ بسريَّة عبر الرسائل. وفقًا لشتراسمان، فإنها تظل «القائد الروحي في فريقنا».

في خريف عام 1938، اتضح أن ليزه مايتنر أحسنت صنعًا بالفرار من ألمانيا. في 9 نوفمبر 1938، وقعت أكبر إبادة جماعية في أوروبا في ألمانيا بواسطة ليلة البلُّور. تتعرض المتاجر والمعابد اليهودية للتخريب والنهب على أيدي النازيين في جميع أنحاء البلاد. تُحطم نوافذ المحلات بالحجارة، وقطع الأثاث بالفؤوس. قُتِلَ أكثر من مائة يهودي، واعتقل الآلاف لترحيلهم إلى معسكرات الاعتقال، وتعرض عدد لا يحصى من الناس لسوء المعاملة والضرب والإذلال. يقف رجال الإطفاء جانبًا ويتأكدون من أن ألسنة اللهب لا تنتشر من المحلات اليهودية إلى المباني الأخرى. من برلين، نظَّم النازيون الحركة التي أطلقوا عليها اسم «ليلة البلُّور» بسبب الزجاج المحطم. لا يرغب أدولف هتلر في ربط اسمه بذلك وترك هذا «العمل» لهيرمان جورينج ويوزف جوبلز.

يكافح هان وشتراسمان يومًا بعد يوم في المختبر ولا يصلان إلى أي شيء. لقد حاولا صنع عناصر أثقل من اليورانيوم منذ شهور، لكن تحليلاتهما الكيميائية تشير بشكل غريب إلى وجود ذرات أخف بكثير. تبدو كذرات الراديوم. هذا ليس منطقيًّا. من أين تأتي هذه الذرات؟ وهو في حيرة من أمره، سافر أوتو هان إلى كوبنهاجن في نوفمبر لرؤية نيلز بور، سيِّد الذرات. تحضر أيضًا ليزه مايتنر وابن أخيها الفيزيائي أوتو فريش من ستوكهولم. اجتمع هناك الكثير من النبغاء ولكن لا يستطيع أحد تفسير القياسات.

تصبح الأمور أكثر غرابة مع استمرار هان وشتراسمان في عملهما في برلين. اكتشفا أن هذا ليس الراديوم على الإطلاق. هذا هو الباريوم، وزنه الذري 137، يزيد بقليل على نصف وزن اليورانيوم 238. هل انفجرت ذرات اليورانيوم تحت وابل النيوترون؟ يفتقر هان إلى الحدس الفيزيائي للتفكير والتعبير عن مثل هذا التخمين. إنه مُجرِّب ممتاز، لكنه ليس استثناءً لـ «قانون الحفاظ على العبقرية»؛ المُجرِّبون اللامعون هم مُنظِّرين بائسين، والعكس بالعكس.

في 19 ديسمبر 1938، كتب أوتو هان رسالة إلى ليزه مايتنر في ستوكهولم عبَّر فيها عن ارتباكه ويأسه: «إنها الآن الساعة 11 مساءً؛ يريد شتراسمان العودة في الساعة 11:30 صباحًا حتى أتمكن من العودة إلى المنزل تدريجيًّا. هناك شيء غريب حول (نظير الراديوم) لدرجة أننا سنخبرك عنه فقط في الوقت الحالي. لا يزال من الممكن أن تكون هناك مصادفة

غريبة... لكننا نصل أكثر فأكثر إلى نتيجة مروعة؛ نظائر الراديوم لدينا لا تتصرف مثل الراديوم، بل مثل الباريوم».

ماذا حدث لليورانيوم؟ كتب هان إلى مايتنر: «نعلم أنه لا يمكن أن ينشطر في الواقع إلى باريوم. ربما يمكنك اقتراح بعض التفسيرات المدهشة؟» إنها لا تستطيع، ليس بهذه السرعة، فهي بحاجة إلى وقت للحساب. أجابت مايتنر في 21 ديسمبر 1938: «إن افتراض مثل هذا الانفجار الواسع يبدو صعبًا للغاية، لكننا شهدنا العديد من المفاجآت في الفيزياء النووية لدرجة أنه لا يمكننا أن نقول ببساطة؛ إنه مستحيل».

يلجأ هان إلى مايتنر، في اليوم نفسه، ويحثها عبر رسائلهم المتبادلة: «لا يمكننا التكتم على نتائجنا، حتى لو كانت عبثية فيزيائيًّا. نقوم بعمل جيد عندما نجد مَخرجًا».

في أثناء نزهة شتوية، تتناقش ليزه مايتنر وأوتو فريش في قياسات برلين الغامضة. في الغابة السويدية المغطاة بالثلوج، يجلسان على جذع شجرة ويدونان أفكارهما على قطعة ورق. إنهما يصممان نموذجًا جديدًا للنواة الذرية. يمكن أن تتذبذب النواة الثقيلة مثل قطرة ماء عندما يصطدم بها نيوترون. إذا تشوهت بشكل كافٍ، فإن التنافر الكهربي بعيد المدى سوف يفوق القوة النووية قصيرة المدى التي تربطها. ينكسر اللب في انفجار. باستخدام معادلة آينشتاين $E=mc^2$، قامت مايتنر وفريش بتقدير طاقة الانفجار. إنها ضخمة.

يذهب فريش إلى كوبنهاجن ويخبر نيلز بور عن النظرية. يصفع بور جبهته بيد قائلًا: «أوه، كنا جميعًا أغبياء! كان بإمكاننا توقع ذلك». لكن يتوقع بور الآن شيئًا آخر، تسري رعشات أسفل عموده الفقري؛ إنه التدمير الذي ستُكوِّن هذه الطاقة من النواة الذرية قادرة على إحداثه. وسيحدث هذا التدمير بشكل أسرع مما يتخيله أي فيزيائي. ستظلم سنوات الفيزياء الساطعة.

المحيط الأطلسي 1939
الأخبار المروعة

في يناير 1939، استقل نيلز بور ومساعده ليون روزنفِلد باخرة عبر المحيط الأطلسي إلى نيويورك لزيارة ألبرت آينشتاين في برينستون. يجلبان معهما الأخبار الرهيبة؛ لقد شطر أوتو هان الذرَّة. وبالتعاون مع فريتس شتراسمان، «فَجَّرَ» نوى اليورانيوم بقصفها بالنيوترونات.

قبل أربعة أيام فقط من مغادرة سفينة المحيط وعلى متنها بور وروزنفِلد، نقل أوتو فريش الأخبار إلى كوبنهاجن، وأدرك بور على الفور أهميتها الهائلة. ومن المفارقات أن خطوة أساسية نحو بناء قنبلة ذرية قد بدأت في ألمانيا النازية.

قصد بور في الأصل مواصلة المناقشات التي أجراها مع آينشتاين حول فيزياء الكم على مدار السنوات العشر الماضية، لكن السيد الكبير في ميكانيكا الكم لم يعد لديه أي معنى لفعل ذلك بعد الآن. في أثناء عبور المحيط، تبتعد أفكاره أكثر فأكثر عن ميكانيكا الكم متجهة نحو الفيزياء النووية. يقضي فصل الربيع في برينستون. كل يوم، من يناير إلى أبريل 1939، كان يفكر ويناقش موضوع الانشطار النووي، ويدون المعادلات على السبورات ثم يمحوها مرة أخرى. وهو يتناقش بشكل أساسي مع الأمريكي جون ويلر، الذي درس معه في كوبنهاجن ويدرس الآن في جامعة برينستون. يبقى آينشتاين في الخارج. إنه غير مهتم بتعقيدات الانشطار النووي ويشك في فائدته.

بدأ بور النقاش مع ويلر من انشطار نوى اليورانيوم، بناءً على عمل ليزه مايتنر وابن أخيها أوتو فريش، اللذين هربا من موطنهما النمساوي إلى السويد وعملا على وضع نظرية الانشطار النووي هناك. هل من الممكن إطلاق سلسلة من الانشطارات النووية، حيث تقوم الطاقة من النواة المنقسمة بتقسيم نوى أخرى وتطلق المزيد من الطاقة؛ تفاعل تسلسلي؟ هل يمكن تصور القنبلة؟

مرارًا وتكرارًا، يلتف كل من نيلز بور وجون ويلر حول إمكانات بدء تفاعل تسلسلي، وفي النهاية قاما بإدخال زميلين من المجر؛ ليو زيلارد ويوجين فيجنر. الاجتماعات سرية للغاية. لقد كان ما يفعلونه منذ فترة طويلة أكثر من مجرد علم بحت.

في 15 مارس 1939، جلس بور وويلر وزيلارد وفيجنر معًا فترة طويلة في مكتب فارغ بقاعة فاين هول في جامعة برينستون. حتى أسابيع قليلة مضت، كان ألبرت آينشتاين لا يزال هنا في بحثه المنفرد عن نظرية مجال موحد قبل أن ينتقل إلى المبنى الجديد لمعهد الدراسات المتقدمة. قبل بضعة أيام، خلال تمشية من نادي برينستون إلى قاعة فاين هول، توصل بور إلى اكتشاف حاسم؛ الانشطار النووي، الذي قاسه أوتو هان، يحدث فقط في النظير النادر لليورانيوم 235، وليس الأكثر شيوعًا 238.

إنها مفارقة؛ عليك أن تجعل نواة اليورانيوم أكبر لتقسيمها. لكن لا ينبغي أن تكون كبيرة جدًّا أيضًا. يمكن للنيوترونات الإضافية أن تمزقها أو تثبتها. حسب بور وويلر أن نظيري اليورانيوم 235 واليورانيوم 238 لهما خصائص مختلفة جدًّا. عندما يصطدم نيوترون بنواة النظير 235، تنقسم النواة إلى نواتيْن أخف، وتنطلق كمية قوية من الطاقة، وتطير بعض النيوترونات، والتي يمكن أن تقسم المزيد من النوى. في كمية كبيرة بما فيه الكفاية من اليورانيوم 235، نصل إلى «الكتلة الحرجة»، يتطور شلال نيوتروني من هذا، مما يؤدي إلى حدوث تفاعل تسلسلي في الحركة. قطعة من اليورانيوم بحجم كرة اليد يمكن أن تدمر مدينة بأكملها. أو تعمل لعدة أيام إذا تركت التفاعل التسلسلي يحدث بطريقة محكومة.

الوضع مختلف بالنسبة لليورانيوم الأثقل 238. تعمل النيوترونات الثلاثة الإضافية على تثبيت اللب. لم يعد الانشطار بالنيوترونات بهذه السهولة. ليس سهلًا بما فيه الكفاية لبدء تفاعل تسلسلي. أكثر من 99 في المائة من

اليورانيوم الطبيعي المستخرج من المناجم هو يورانيوم 238. يقول زيلارد: «بعد ذلك سنفصل اليورانيوم 235 ونصنع منه قنابل ذرية». يجيب بور: «يمكن تصور ذلك، لكنه لن ينجح إلا إذا حولت الولايات المتحدة إلى مصنع كبير». واليورانيوم 235 الطبيعي يُمثل فقط 0.7% من اليورانيوم. يجب استخراجه بجهد تقني كبير، في مصانع بها مئات من أجهزة الطرد المركزي.

ولكن ما هو البديل؟ يعتقد استراتيجيو الحرب الأمريكيون أنه إذا لم نفعل ذلك، فإن النازيين سيفعلونه. في خريف عام 1938، احتل الفيرماخت الألماني بوهيميا. يمكن للنازيين الآن الوصول إلى منجم اليورانيوم في يواخيمستال، والذي حصل منه الزوجين كوري على مادة البتشبلند منذ 30 عامًا. يُعد هذا سببًا للقلق وللإسراع. في ربيع عام 1939، أسس باحثون نوويون بارزون في ألمانيا «رابطة اليورانيوم» لتطوير «آلة اليورانيوم». يخشى الفيزيائيون والمخابرات في الولايات المتحدة من أن النازيين يتقدمون عليهم بفارق كبير في البحث عن الانشطار النووي واستخدامه.

في صيف عام 1939، جاء فِرنر هايزنبرج إلى الولايات المتحدة في جولة محاضرات. في ميشيجان، قام بزيارة إنريكو فيرمي، الفيزيائي من روما المتزوج من يهودية وهرب إلى الولايات المتحدة هربًا من القوانين العنصرية للفاشيين، وصمويل جودسميت، الفيزيائي الهولندي الذي اكتشف دوران الإلكترون عندما كان طالبًا خجولًا. بعد هجرته، قام جودسميت بتغيير تهجئة لقبه من جودشميدت إلى جودسميت من أجل الحفاظ على النطق. يسأل فيرمي هايزنبرج: «لماذا لا تقيم في الولايات المتحدة؟ ستكون هنا في صف التمدن واللباقة».

«كان لدي شعور بأنني أرتكب خيانة»، أجاب هايزنبرج وقال جملة سيتذكرها جودسميت: «ألمانيا تحتاجني».

«وإذا احتاجك هتلر» يسأل فيرمي. يعتقد هايزنبرج أن الحرب ستحسم قبل أن تصبح القنبلة جاهزة.

بعد ظهر أحد أيام الأحد، كان فِرنر هايزنبرج في جولة تمشية مع جون ويلر وأوضح أنه يتعين عليه المغادرة قريبًا من أجل «تدريب الرماية بالمدافع الرشاشة في جبال الألب البافارية». سافر هايزنبرج عبر المحيط الأطلسي على متن السفينة البخارية «أوروبا» شبه الفارغة، وبعد بضعة أسابيع فقط

جُنِّد في الخدمة العسكرية، ولمفاجأته ليس بسلاح المشاة في الجبال ولكن في مكتب ذخائر الجيش[1].

بعد اندلاع الحرب، سيطر نظام هتلر على رابطة اليورانيوم. يضع مكتب ذخائر الجيش «خطة عمل تحضيرية لبدء التجارب لاستخدام الانشطار النووي». ينتقل كارل فريدريش فون فايتسزكر إلى برلين للعمل في المشروع. يصمم فِرنر هايزنبرج مفاعل اليورانيوم حيث يعمل الماء الثقيل كـ «مكابح» للنيوترونات المقذوفة في أثناء الانشطار النووي. يمكن للنيوترونات البطيئة فقط أن تقسم المزيد من النوى الذرية.

في تقرير لرابطة اليورانيوم، كتب هايزنبرج: «إن تخصيب اليورانيوم 235 هو أيضًا الطريقة الوحيدة لإنتاج متفجرات تتجاوز القوة التفجيرية لأقوى المتفجرات حتى الآن بعشرات الأضعاف». لقد تركت فكرته عن القنبلة التي من شأنها أن تجعل «نيويورك تشتعل باللون الأبيض» انطباعًا في مكتب ذخائر الجيش.

يتوق ألبرت آينشتاين، البالغ من العمر الآن 60 عامًا، إلى السلام ويتقاعد في منزل إجازته الصيفية في لونج آيلاند؛ يريد العزف على الكمان، والإبحار في المحيط الأطلسي، والقراءة تحت ظلال أشجار الكستناء. لكن يدركه الرعب هناك أيضًا. يزوره ليو زيلارد مرتين هذا الصيف في لونج آيلاند. يعرف الاثنان بعضهما بعضًا من برلين، حيث طورا معًا «ثلاجة آينشتاين/زيلارد[2]» في عشرينيات القرن الماضي. يحث زيلارد آينشتاين الآن على فعل شيء حيال التهديد النووي من ألمانيا. ربما يمكنه كتابة رسالة إلى الحكومة البلجيكية؟ حيث عُثر على أكبر رواسب اليورانيوم في العالم في تربة مستعمرة الكونغو البلجيكية. وهل لا يزال من الممكن منعها من الوقوع في أيدي الألمان؟ لا، أدرك آينشتاين وزيلارد. بعد بضعة أشهر، احتلت قوات

(1) مكتب ذخائر الجيش هو مركز البحث والتطوير للأسلحة والذخيرة والمعدات العسكرية للجيش الألماني. [المترجم]

(2) ثلاجة آينشتاين/زيلارد: هي عبارة عن ثلاجة امتصاص لا تحتوي على أجزاء متحركة، تعمل بضغط ثابت، ولا تتطلب سوى لهب الغاز الطبيعي كمصدر حرارة للتشغيل، وثلاثة سوائل للعمل هي الماء والأمونيا والبيوتان. طوَّر هذا الاختراع ألبرت آينشتاين وطالبه السابق ليو زيلارد في عام 1926، الفكرة الأصلية للمخترعين السويديين بالتسار فون بلاتن وكارل مونترز. [المترجم]

الفيرماخت بلجيكا وبدأت في توريد آلاف الأطنان من خام اليورانيوم من مناجم الكونغو البلجيكية إلى برلين.

قرر آينشتاين وزيلارد الكتابة إلى الرئيس الأمريكي فرانكلين ديلانو روزفلت. يملي آينشتاين الرسالة باللغة الألمانية، يكتبها زيلارد بشكل مُبسط. حث «المسالم القنوع»، كما يسمي آينشتاين نفسه، روزفلت على تطوير قنبلة ذرية. الانشطار النووي الذي اكتُشف مؤخرًا يمكن أن يؤدي إلى «أسلحة فعالة للغاية من نوع جديد»، كما يحذر الرئيس ويقترح خطة لتسريع البحث في الانشطار النووي للأغراض العسكرية. مثل هذه الأبحاث جارية بالفعل في معهد القيصر فيلهلم في برلين، يكتب آينشتاين، ويطلق على كارل فريدريش فون فايتسزكر، «نجل وزير الخارجية».

وقَّع آينشتاين الرسالةَ في بيكونيك، لونج آيلاند، في 2 أغسطس 1939: «المخلص لك حقًّا، ألبرت آينشتاين». بعد سنوات، سوف يسميها «الخطأ الأكبر في حياتي. لو علمت أن الألمان لن يتمكنوا من تطوير قنبلة ذرية، لكنت بقيت بعيدًا عن كل شيء».

ليس لدى روزفلت الوقت الآن لتلقي رسائل من الباحثين النوويين. الوضع العالمي قاتم. غزا هتلر بولندا وأعلنت بريطانيا العظمى وفرنسا الحرب على ألمانيا. لم تصل الرسالة إلى مكتب روزفلت إلا في 11 أكتوبر 1939. يستنتج روزفلت بالقول إذن «يجب أن نتحرك، حتى لا يفجرنا النازيون». في اليوم نفسه أطلق مشروع مانهاتن لتطوير قنبلة ذرية. يبدأ ببطء، ويكتسب الزخم فقط بعد أن أرسل آينشتاين رسالتين إضافيتين إلى روزفلت مع اقتراحات لتنظيم المشروع وتحذيرات أخرى ضد صانعي القنابل الألمان. لا يقتصر مشروع مانهاتن على تحويل الولايات المتحدة إلى مصنع لليورانيوم فقط. إنه يتطلب قوات مشتركة من ثلاث دول: بريطانيا العظمى وكندا والولايات المتحدة الأمريكية.

سيوظف مشروع مانهاتن العديد من أفضل علماء الفيزياء في العالم، بمن فيهم بعض الذين فروا من ألمانيا أو إحدى الدول الحليفة لها. يحسب أوتو فريش، الموجود الآن في إنجلترا، أنه حتى 50 كيلوجرامًا من اليورانيوم 235 لديها القوة التفجيرية التي تبلغ 15000 طن من مادة تي إن تي.

عاد نيلز بور إلى كوبنهاجن من أمريكا في مايو 1939. في 1 سبتمبر 1939، عبرت القوات الألمانية الحدود إلى بولندا. في اليوم نفسه، ظهر مقال بور وويلر، «آلية الانشطار النووي» في مجلة فيزيكال ريفيو. لا توجد فيه كلمة عن التفاعل التسلسلي.

في 9 أبريل من العام التالي، قبل شروق الشمس، سار الفيرماخت الألماني إلى الدنمارك. بعد ساعتين، استسلمت الحكومة الدنماركية. يخطط أدولف هتلر لإنشاء «محمية نموذجية» في الدنمارك لإظهار نياته السلمية للعالم. نيلز بور، الذي قدَّم ملاذًا للعديد من الفيزيائيين في الماضي، سيضطر قريبًا إلى الفرار بنفسه.

كوبنهاجن 1941
الاغتراب

كوبنهاجن، في وقت متأخر من مساء يوم 16 سبتمبر 1941. يتمشى رجلان في أرجاء المدينة. غالبًا ذهبا معًا، هنا في كوبنهاجن، والمرة الأولى كانت قبل 22 عامًا في جوتنجن؛ نيلز بور، 55 عامًا، وفِرنر هايزنبرج، 39 عامًا. في ذلك الوقت أصبح هايزنبرج الابن المُتبنى لبور، وصارا فيما بعد زميلين، أطلقا معًا ميكانيكا الكم. لقد مرت سنوات طويلة منذ تلك التمشية الأولى في جوتنجن. هنا في حديقة فلدباركن، في نزهة ليلية، اكتشف هايزنبرج مبدأ عدم اليقين. كبر كلاهما في السن، وأصبحت خطواتهما أبطأ. إنهما على أطراف مختلفة من الحرب. أصبح الأب والابن غريبيْن عن بعضهما بعضًا.

جاء هايزنبرج من برلين بحجة إلقاء محاضرة عن الأشعة الكونية. إنه في كوبنهاجن طوال الأسبوع. لكن عليه أن يتحدث إلى بور على الفور، يسرع إلى منزل بور ليحيي مارجريت وأبناءها. يخرج إلى الحديقة مع بور. هناك لا يمكن اعتراضهم. يريد هايزنبرج الوصول مباشرة إلى نقطة القنبلة. إنه يضع الكثير من الأمل في المحادثة لدرجة أنها تلقي بظلالها على تصوره لمسار المحادثة. الألفة القديمة لم تعد موجودة. هناك شيء مُفتقد بين بور وهايزنبرج بشكل لا شعوري؛ عدم الثقة.

توقف بور. يتحدث هايزنبرج بشكل مختلف عن ذي قبل. يسمع بور المصطلحات النازية. أثارت قلقه نبوءة هايزنبرج بأن الفيزياء ستلعب دورًا بارزًا في أوروبا التي يحكمها هتلر. ماذا يريد هايزنبرج؟ لماذا جاء لاحتلال كوبنهاجن؟ هل هو صديق أم عدو؟ هل هو جاسوس للجستابو؟ هل يريد أن يسمع صوت بور؟ أم حمايته؟

تنحدر والدة بور من عائلة يهودية، مما جعله «نصف يهودي» وفقًا للتصنيفات النازية. كما شارك في المقاومة ضد الاحتلال النازي لوطنه وكان على اتصال بالفيزيائيين في مشروع القنبلة الذرية الأمريكية. تجسست عليه المخابرات الألمانية. مرارًا وتكرارًا هو على وشك أن يُقبض عليه. قبل أسابيع قليلة فقط، حبست الشرطة 300 شيوعي دنماركي في معسكر هورسر في زيلاند.

قلب هايزنبرج ليس خاليًا أيضًا. لم يعلم إلا مؤخرًا أن تلميذه المفضل، هانز أويلر، من جنوب تيرول قد «اختفى على الجبهة الشرقية» بعد تحطُّم طائرته. رفض أويلر، المناهض للنازية والشيوعية، العمل في مشروع اليورانيوم، شجعه هايزنبرج وحماه. خلال أزمة شخصية، تطوع أويلر للخدمة كخبير أرصاد جوية وملاح مع سرب استطلاع القوات الجوية للطقس، كما لو كان «يسعى أساسًا للموت»، كتب زميله كارل فريدريش فون فايتسزكر. بعد وقت قصير من الهجوم على الاتحاد السوفيتي، في 23 يوليو 1941، أُطلقت النيران على محرك طائرته. بعد السقوط في بحر آزوف، أسر الصيادون الطاقم. لا يعرف هايزنبرج ما حدث لأويلر بعد ذلك. حاول عبثًا معرفة مصير تلميذه.

لا يقف أحد في أوروبا على أرضية صلبة. لا يعرف أحد كيف ستنتهي هذه الحرب. الألمان لهم اليد العليا، لقد احتلوا فرنسا وسيطروا على معظم القارة. تقدمت قوات الفيرماخت نحو موسكو بسرعة عالية، وتحدث هايزنبرج عن الهجوم كما لو كان ناجحًا بالفعل. لكن مِرْجَل ستالينجراد لا يزال يقف أمام القوات الألمانية.

فِرنر هايزنبرج هو العالم الرئيس في مشروع اليورانيوم. إنه يبني «موقد يورانيوم» يهدف إلى إمداد صناعة الحرب بالطاقة التي في شكلها المصغر، يمكن أن تشغل الدبابات والغواصات الألمانية. اكتشف هو وفايتسزكر عنصرًا آخر إلى جانب اليورانيوم 235. قدَّم فايتسزكر للتو براءة اختراع لـ «طريقة

للتوليد المتفجر للطاقة والنيوترونات، على سبيل المثال في القنبلة»، ويقتنع هايزنبرج بأن الطريق إلى اختراع القنبلة الذرية صار مفتوحًا أمامه.

لقد اعتاد أن يتحدث بصراحة بشأن بور، لكنه الآن أقسم على التزام السرية التامة. لذا فهو لا ينطق إلا بالكلام المنطقي، ويشير بشكل متعجرف إلى المفاعلات والقنابل. لا يستطيع هايزنبرج تقدير حجم ما يعرفه بور. يعلم أنه يجب أن يكون حذرًا لأن لديه أعداء أقوياء في الجهاز النازي. جملة واحدة طائشة يمكن أن تُكلفه كل شيء.

لا يصنع نيلز بور قنبلة. لم يسمع عن المشروع النووي الأمريكي منذ العام الماضي. اقتراح هايزنبرج بأن الحرب يمكن أن تُحسم بالقنبلة الذرية أصابه مثل الضربة. أعطى هايزنبرج بور قطعة من الورق رسم عليها مُخطط مفاعل.

هل يريد هايزنبرج تهديده، أم تحذيره؟ يختبئ وراء تلميحاته عرض للعمل من أجل اتفاق بين جميع الفيزيائيين على جانبي المحيط الأطلسي، من أجل السلام، وليس لبناء قنبلة ذرية؟ ربما عبَّر بحذر شديد خوفًا على حياته. ربما لهذا السبب أساء بور فهمه وصُدم لسماع مدى يقين هايزنبرج من إمكانية صنع قنبلة ذرية. ما رأي هايزنبرج في سؤاله عما إذا كان من الصواب إجراء بحث حول مشكلة اليورانيوم في أوقات الحرب عندما كان يفعل ذلك فترة طويلة؟

تسوء المحادثة. هناك الكثير مما يفرق بين الاثنين، والكثير من عدم الثقة، وسوء الفهم. بعد فترة وجيزة من عودتهما إلى شقة بور، فوجئ هايزنبرج بأن أصبح بور مضطربًا للغاية. بعد منتصف الليل، يصطحب بور هايزنبرج إلى الترام الذي سيعيده إلى الفندق.

لم يظهر بور في المحاضرة التي ألقاها هايزنبرج بعد أيام قليلة في المعهد الثقافي الألماني، وهو مؤسسة دعائية نازية. عشية رحلته إلى الوطن، يزور فِرنر هايزنبرج عائلة بور مرة أخرى. يتجنبون الأسئلة الصعبة ويحاولون البقاء أصدقاء. يعزف هايزنبرج سوناتا موتسارت رقم 11 على البيانو الكبير. تتلاشى بهجة «ألا توركا[1]» على الفور، حان وقت الوداع.

---

(1) سوناتا البيانو رقم 11 واحدة من أشهر مقطوعات البيانو لموتسارت، تتكون من ثلاث حركات، غالبًا ما تُسمع الحركة الثالثة لهذه السوناتة، المعروفة باسم «ألا توركا» أي النمط التركي. [المترجم]

يكتب بور بعض الرسائل الأخرى إلى هايزنبرج، لكنه لا يرسل أيًّا منها. كتب هايزنبرج إلى صديق بعد عودته من كوبنهاجن: «ربما في يوم من الأيام سوف ندرك نحن البشر أننا بالفعل نمتلك القدرة على تدمير الأرض تمامًا، بحيث يمكننا من خلال خطئنا أن نمر بيوم دينونة من صنعنا، أو شيئًا وثيق الصلة به». عندما عاد فِرنر هايزنبرج إلى كوبنهاجن في يناير 1944 للاطمئنان على معهد نيلز بور، كان بور في الولايات المتحدة الأمريكية وكان يساعد في صنع القنبلة الذرية. بعد الحرب، يتبادلون فقط تحيات عيد الميلاد المهذبة. لن يكون هناك أي نقاش آخر.

برلين 1942
لا قنبلة لهتلر

برلين، ربيع عام 1942. يتداعى اليقين الألماني بالنصر. لقد فشلت خطة «الحرب الخاطفة» في روسيا. بعد الهجوم الياباني على بيرل هاربر، أصبحت ألمانيا الآن في حالة حرب مع الولايات المتحدة الأمريكية، وهي حرب عالمية بالفعل. صارت المواد الخام نادرة في ألمانيا. سَخَّرَ أدولف هتلر الاقتصاد بأكمله لخدمة الحرب. كان لدى هتلر القليل من الوقت لأبحاث اليورانيوم، «فرع العلوم الزائفة اليهودية». يعلق آماله على الصواريخ التي أطلقها المهندس فِرنر فون براون، من معهد بينموندە لأبحاث الجيش، إلى حافة الفضاء.

يحتاج باحثو اليورانيوم الألمان إلى مواد خام؛ خام اليورانيوم من بوهيميا والكونغو البلجيكية، والمياه الثقيلة من النرويج، والصلب من منطقة الرور، والألمنيوم من لاوزيتس. إنهم يخشون التراجع عن صناعة السلاح. أخبرهم إريش شومان، رئيس قسم الأبحاث في القيادة العليا للجيش، أن أبحاثهم «في ضوء الوضع الحالي فيما يتعلق بالبدائل الدفاعية والمواد الخام لا يمكن تبريرها إلا إذا كان هناك يقين بأن أمرًا ما سيتحقق في المستقبل القريب».

يدعو شومان إلى مؤتمر يشرح فيه الباحثون تقدم مشروعهم وآفاقه لكبار الشخصيات النازية. يعد فِرنر هايزنبرج أن «التمثيل الصافي لليورانيوم 235 سيؤدي إلى انفجار له تأثير لا يمكن تصوره».

سأل الفيلد مارشال إرهارد ميلش عن حجم القنبلة لتدمير مدينة مثل لندن. شكل هايزنبرج يديه في وعاء. يجيب: «بحجم ثمرة أناناس». دهشة مشكوك فيها. وزير التسليح ألبرت شبير يريد أن يعرف متى يمكن توقع القنبلة الذرية. من حيث المبدأ، يرد هايزنبرج على الفور، ولكن من الناحية العملية سوف يستغرق الأمر بضع سنوات أخرى، على الأقل عامين، وربما ثلاثة أو أربعة أعوام. ومع ذلك، فإن استراتيجيي الحرب لا يريدون الانتظار كل هذا الوقت. قرر ألبرت شبير «أن القنبلة الذرية لن تعود ذات أهمية للمسار المحتمل للحرب». يتذمر شومان من «هراء الذرة» للفيزيائيين.

من الآن فصاعدًا، أصبحت أبحاث اليورانيوم مشروعًا مدنيًّا في ألمانيا. يُسمح لهايزنبرج وزملائه بمواصلة العبث في مواقدهم لليورانيوم، وقد منحهم ألبرت شبير بضعة ملايين الماركات لتمويل ذلك، لكن اهتمامه بالقنبلة الذرية قد انتهى. عُيِّنَ فِرنر هايزنبرج مديرًا لمعهد القيصر فيلهلم للفيزياء في برلين، مما يجعله أهم عالم في البرنامج النووي الألماني. ومن المفارقات، أن هايزنبرج، هو المُنَظِّر الذي تجنب المختبرات دائمًا. يشكر هاينريش هيملر على «استعادة مكانته» ولم يعد الآن يكرس كل قوته الفكرية لأبحاث اليورانيوم. طوَّر نظرية للتفاعلات بين الجسيمات الأولية والتي، مثل ميكانيكا الكم، من المفترض أن تتعامل مع الكميات التي يمكن ملاحظتها؛ «نظرية المصفوفة $S^{(1)}$».

مهما كان ما يخطط له هايزنبرج، فهو يلعب لعبة خطيرة عندما يتوغل في الأموال الدموية النازية. فيما بعد، نقل تلميذه السابق رودولف بيرلز عن

(1) نظرية المصفوفة S عبارة عن اقتراح لاستبدال نظرية المجال الكمي كمبدأ أساسي لفيزياء الجسيمات الأولية. تجنبت النظرية فكرة الزمكان عن طريق استبدالها بخصائص رياضية مجردة للمصفوفة. تربط المصفوفة S الماضي الأزلي بالمستقبل الأبدي في خطوة واحدة، دون أن تتحلل إلى خطوات وسيطة تقابل الشرائح الزمنية. كانت هذه النظرية مؤثرة جدًّا في الستينيات، لأنها كانت بديلًا معقولًا لنظرية المجال الكمي، والتي ابتُليت بظاهرة التفاعل الصفري عند الاقتران القوي. طبقت على التفاعل القوي، مما أدى إلى تطوير نظرية الأوتار. تخلى الفيزيائيون في السبعينيات عن نظرية المصفوفة S إلى حد كبير، حيث اعتُرف بالديناميكا اللونية الكمومية لحل مشكلات التفاعلات القوية في إطار نظرية المجال. ولكن تحت ستار نظرية الأوتار، لا تزال نظرية المصفوفة S مقاربة شائعة لمشكلة الجاذبية الكمومية. [المترجم]

شكسبير: «مَن يتغذى مع الشيطان يحتاج إلى ملعقة طويلة». ويضيف: «ربما أدرك هايزنبرج أنه لا توجد ملعقة طويلة بما يكفي».

توجد «آلة اليورانيوم» الخاصة بهايزنبرج في مبنى مجاور لمعهد القيصر فيلهلم، حيث تثبط اللافتات التي كُتب عليها «الحذر من الفيروسات» الزوار غير المرغوب فيهم. تتكون الآلة من صفائح اليورانيوم موضوعة في الماء الثقيل. يقصف الباحثون هذا النسق بالنيوترونات ويقيسون ما إذا كانت النيوترونات الخارجة أكثر من المرسلة. لقد نجحوا، واكتسبوا الطاقة. ولكن ليس بما يكفي لرفع رد الفعل فوق حافة الحرجية[1]؛ تفاعل تسلسلي يكون مستدامًا ذاتيًّا. يتعامل الباحثون مع المواد المشعة غير المحمية. في إحدى التجارب، أشعلت نفاثة من اللهب يد فني يصبُّ مسحوق اليورانيوم في وعاء المفاعل. في محاولة أخرى، انفجر المفاعل، تمكَّن هايزنبرج من إنقاذ نفسه من الباب، ليتحرك رجال الإطفاء ويتدخلوا. يتلاعب هايزنبرج بالإعداد التجريبي. يزداد تدفق النيوترونات، لكن الحرجية لا تزال بعيدة عن متناول باحثي اليورانيوم الألمان، بما في ذلك كورت ديبنر، الفيزيائي ومنافس هايزنبرج. دفع هايزنبرج ديبنر للخروج من معهد القيصر فيلهلم. وهو الآن يبني مفاعله الخاص في موقع التجارب النووية والكيماوية والفيزيائية جوتوف جنوب برلين. يكره الرجلان بعضهما بعضًا، يتنافسان بدلًا من التعاون ويتنازعان اليورانيوم الشحيح والمياه الثقيلة. ديبنر هو الفيزيائي التجريبي الأكثر ذكاءً. لقد توصل إلى تقطيع اليورانيوم لزيادة مساحة التلامس مع الماء الثقيل، والحصول على عدد قليل من النيوترونات الخارجة. على مضض، يتحول هايزنبرج أيضًا إلى لعب النرد.

لم يكن لدى فِرنر هايزنبرج أي فكرة عن أن إنريكو فيرمي سيطلق تفاعلًا تسلسليًّا مضبوطًا في مختبره في شيكاغو في 2 ديسمبر 1942. اشتغل بالفعل أول مفاعل نووي في العالم. أُنشئ «شيكاغو بايل- 1» بطريقة بدائية مثل آلة هايزنبرج؛ كومة غير محمية من ألواح اليورانيوم في قبو تحت مدرجات ملعب لكرة القدم. توجد بجانب المفاعل حاوية من محلول ملح الكادميوم لتصب إذا خرج التفاعل المتسلسل عن السيطرة. يعمل فيرمي على

(1) الحرجية هي حالة سلسلة تفاعلات نووية عندما يكون التفاعل التسلسلي مستدامًا ذاتيًّا (أو حرجًا)، أي عندما تكون التفاعلات صفرًا. [المترجم]

إبطاء النيوترونات باستخدام الجرافيت النقي بدلًا من الماء الثقيل الباهظ الثمن والنادر. استعصت هذه الحيلة على هايزنبرج. كما اختبر الجرافيت كمكابح، لكنه رفض الفكرة مرة أخرى.

إنريكو فيرمي، القادم من روما، تعلم الفيزياء النظرية من ماكس بورن وباول إرنفست ثم تحول إلى الفيزياء التجريبية. إنه واحد من الأشخاص النادرين الذين لا ينطبق عليهم «قانون الحفاظ على العبقرية»، لأنه مُنظِّر ومُجرِّب لامع في الوقت نفسه. إنه يفهم نظرية تفجير النوى الذرية، وينوي تسخيرها للحرب. اقتراحه هو تسميم طعام الألمان بمنتج الانشطار المشع نظير السترونتيوم 90. لا تزال فكرة القنبلة الذرية بعيدة.

ستوكهولم 1943
الهروب

لمدة ثلاث سنوات، كبح أدولف هتلر رغبته في استخدام العنف وأعفى الدنماركيين من القوانين العنصرية أو المعادية للسامية. ويصر على الوهم بأنه لا ينوي تعكير صفو الدنمارك. بعد هزيمة ستالينجراد وبدء القصف المكثف للحلفاء على المدن الألمانية، لم يُظهر النظام النازي أي ضبط للنفس في القتال من أجل «النصر النهائي». وزير الدعاية يوزف جوبلز يهتف بشعارات حول «الحرب الشاملة، الآن، قوموا، اندفعوا، انطلقوا!».

في أكتوبر 1943، خلال رأس السنة اليهودية الجديدة، احتشدت وحدات الإس إس (قوات الأمن الخاصة النازية) في شوارع كوبنهاجن. لديهم أوامر باعتقال اليهود. لكن لم يعد هناك أيٌّ منهم في المدينة. حذَّر جيورج دوكفيتس، الدبلوماسي الألماني في كوبنهاجن، اليهود الدنماركيين من الترحيل المخطط له إلى معسكرات الاعتقال، وبعد ذلك اختبأ معظمهم. كان مِن بينهم نيلز بور، الذي عبر أوريسند مع عائلته في قارب صيد إلى السويد المحايدة قبل أن تطرق الإس إس باب معهده، وتقتحم وتنهب أدوات المائدة الفضية. في ستوكهولم، طلب بور من الملك جوستاف الخامس مساعدة مواطنيه المضطهدين، وفي المساء نفسه، بثت الإذاعة السويدية عرض السويد بالقبول. يتوجه اليهود الدنماركيون إلى الساحل، بكل ما يتحرك على عجلات حتى سيارات الإسعاف وشاحنات القمامة، ويختبئون في الكنائس والمستشفيات على طول الطريق، وأبحر المئات بالقوارب العادية وقوارب

الصيد وقوارب التجديف عبر نهر أوريسند وخليج كاتيجات. تمكن أكثر من 7700 يهودي من الهروب من النازيين.

ولكن حتى في ستوكهولم، التي تعج بالعملاء النازيين، فإن بور ليس آمنًا، على الأقل ليس آمنًا بما يكفي في نظر الحلفاء. الفيزيائي البريطاني فردريك ليندمان، كبير المستشارين العلميين لرئيس الوزراء ونستون تشرشل، يرتب رحلة لبور نحو اسكتلندا. قبل مغادرته، تأكد من أن ميداليات جائزة نوبل الذهبية المحفوظة في معهده في كوبنهاجن مذابة في «الماء الملكي»، وهو خليط من حمض الهيدروكلوريك والنتريك، حتى لا تقع في أيدي الألمان. بعد الحرب، يسترد الذهب من المحلول ويُعاد ختم الميداليات.

يُنقل نيلز بور في طائرة قاذفة مقاتلة نرويجية، يمكنها الطيران بسرعة عالية جدًّا لدرجة عجز المدافع الألمانية المضادة للطائرات عن إصابتها. يجب عليه الجلوس في حجرة القنابل، ومجهزًا بقناع أكسجين وسماعة رأس حتى يتمكن من التحدث إلى الطيار. لكن سماعات الرأس صغيرة جدًّا بالنسبة لجمجمة بور المَهيبة، ويفتقد أمر تشغيل إمدادات الأكسجين فيغمى عليه. يشتبه الطيار في وجود خطأ ما، ويطير على ارتفاع منخفض فوق بحر الشمال لينقذ حياة بور. يُستجوب بور في إنجلترا، ثم يُنقل جوًّا إلى الولايات المتحدة على متن طائرة مريحة ومجهزة بأوراق مزورة باسم «نيكولاس بيكر». يصوره إدوارد تيلر في جولة حول مختبرات مشروع مانهاتن في لوس ألاموس بصحراء نيو مكسيكو، وقد تأثر بور: «تذكر أنني أخبرتك أنه لا يمكن القيام بذلك دون تحويل البلد بأكمله إلى مصنع. هذا بالضبط ما فعلته». الخوف من أن يسبقهم الألمان، غذى المشروع الذي كان يعمل فيه قرابة 125 ألف شخص. واحد منهم هو نيلز بور.

أحضر بور معه رسم المفاعل الذي أعطاه إياه هايزنبرج في كوبنهاجن قبل ذلك بعامين. لا قيمة له من ناحية تكنولوجيا التسليح، كما يقول روبرت أوبنهايمر، المدير العلمي لمشروع مانهاتن. لم يعد هايزنبرج في ذلك الوقت ليكشف عما يعرفه، بل لسماع ما إذا كان يعرف بور شيئًا لم يكن يعرفه بنفسه، كما يشير أوبنهايمر.

في برلين، قُبِلت عضوية هايزنبرج في جمعية الأربعاء، وهي دائرة منتقاة من المثقفين الذين اعتبروا أنفسهم «مجتمعًا حرًّا للترفيه العلمي»، علماء وفلاسفة وكتاب ومحامون ودبلوماسيون وأطباء، عددهم دائمًا 16 فقط، وجميعهم رجال. يلتقون عند أحدهم مساء كل ثاني أربعاء في الشهر، حيث

يُلقي مضيفهم محاضرة في مجال خبرته، تليها مناقشة. في يونيو 1943، ألقى هايزنبرج محاضرة عن «التغيير في مفهوم الواقع في العلوم الطبيعية الدقيقة، والاستنتاجات التي يمكن استخلاصها من هذا التغيير». يقول هايزنبرج، في الماضي، كان الناس يصفون العالم كأنهم غير موجودين فيه. في عصر الحداثة وميكانيكا الكم، لا يمكن فهم العالم إلا عبر مراقبته وبالتالي يتأثر بالناس. وفقًا لهايزنبرج، يتحرك الناس ذهابًا وإيابًا بين هذين العالمين. لا يسعه إلا أن يفكر في نفسه سرًّا؛ محكوم عليه بتغيير العالم الذي يعيش فيه.

في نوفمبر 1943، أعلنت قيادة القاذفات الجوية البريطانية «معركة برلين». سرعان ما حلَّقت قاذفات الحلفاء على مدار الساعة بغارات جوية فوق عاصمة الرايخ، قاذفات لانكستر التابعة لسلاح الجو الملكي ليلًا، والقلاع الطائر للقوات الجوية الأمريكية نهارًا. الهجوم الذي وقع في ليلة 23 نوفمبر 1943 أشعل النار في كنيسة القيصر فيلهلم التذكارية، رمز الفخر القومي الألماني. ينهار جمالون السقف، وينفجر الجزء العلوي من البرج الرئيسي. تدمر قنبلة منزل بلانك في جرونفالد. ينتقل ماكس ومارجا بلانك إلى أصدقاء في البلاد. في باريس، كتب الكابتن إرنست يونجر في مذكراته أن الألمان فقدوا حق الشكوى.

في 12 يوليو 1944، في يوم صيف مشرق، تحدث فِرنر هايزنبرج مرة أخرى لجمعية الأربعاء: «حول النجوم». يتحدث عن بحثه مشفرًا كلامه مرة أخرى؛ حول النار الذرية في النجوم بدلًا من تلك التي يحاول هو بنفسه إشعالها في معهد القيصر فيلهلم. في فترة ما بعد الظهيرة، كان يقطف التوت من حديقة المعهد ليُضيِّف به أعضاء الجمعية. لاحظ أحد المشاركين أنه «مكتئب المزاج». إنه الاجتماع رقم 1055 لجمعية الأربعاء وهو الاجتماع قبل الأخير. في 20 يوليو 1944، حاول ضابط الفيرماخت كلاوس شنك جراف فون شتاوفنبرج قتل أدولف هتلر بقنبلة. اعتُقِل أربعة من أعضاء جمعية الأربعاء وأعدموا لتورطهم في عملية الاغتيال. عندما أُلقي القبض عليه في مجمع بندلر بلوك السكني، طلب رئيس الأركان السابق لودفيج بيك، الذي قد سمع لتوه محاضرة هايزنبرج «حول النجوم» قبل ثمانية أيام، السماح له بالاحتفاظ بمسدسه «للاستخدام الخاص» «من فضلك افعل ذلك على الفور!» رد الجنرال فريدريش فروم، الذي تعاطف مع المتآمرين قبل الهجوم لكنه يحاول الآن عبثًا الوقوف إلى جانب النظام. ستحكم عليه محكمة الشعب بتهمة «الجبن عند مواجهة العدو» ويُعدم رميًا بالرصاص. يحل الجستابو جمعية الأربعاء.

مع تقدم الجيش الأحمر نحو برلين، نُقِلَ مشروع اليورانيوم من العاصمة التي تعرضت للقصف وتوزع على مناطق أكثر أمانًا. يصل مختبر كورت ديبنر إلى بلدة شتاتيلم بتورينجن. تركيب جهاز طرد مركزي فائق السرعة لتخصيب اليورانيوم الانشطاري في مدينة فرايبورج. ينتقل معهد القيصر فيلهلم للفيزياء مع فِرنر هايزنبرج وماكس فون لاوى إلى مبنى مصنع نسيج في هشينجن على جبال شفابن يورا. ينتقل معهد القيصر فيلهلم للكيمياء مع أوتو هان إلى مدينة تايلفينجن المجاورة. قلب مشروع اليورانيوم، مفاعل الأبحاث، المكون من 664 مكعبًا من اليورانيوم بطول إصبع في غلاية ألومنيوم مغطاة بالجرافيت مملوءة بالماء الثقيل، نُقِلَ إلى القبو الصخري لنزل شفاننفيرت في قرية هايجرلوخ بجبال الألب، حيث كانت البيرة والبطاطس مخزنة مسبقًا. يسافر هايزنبرج مسافة 15 كيلومترًا من هشينجن بالدراجة. يجمع الفطر في الغابة، ويستمتع بأشجار الفاكهة المزهرة، ويقدم حفلة موسيقية على البيانو لسكان هشينجن، «يمكنه أن ينسى الماضي والمستقبل لأيام». إليزابيث هايزنبرج، التي تنتظر في الكوخ الخشبي على الشاطئ الصخري لبحيرة فالشنسي مع أطفالها الستة الآن، تحسد زوجها على الأجواء الشاعرية المتناغمة.

ومع ذلك، يعرف هايزنبرج كم هي عابرة هذه الأجواء الشاعرية. خسرت ألمانيا الحرب. في ديسمبر 1944، شرع في رحلته الأخيرة إلى الخارج قبل انهيار الرايخ النازي. إنه يلقي محاضرة في المعهد الفدرالي للتكنولوجيا بزيورخ، ليس عن الأبحاث النووية، ولكن حول نظريته المصفوفة S، والتي يعتبرها بعض زملائه انحرافًا، على غرار نظرية المجال الموحد التي يبحث عنها آينشتاين. فولفجانج باولي، الذي يُدرس الآن في برينستون، يسميها «إطار مفاهيمي فارغ».

على العشاء، طلب زميل فِرنر هايزنبرج، جريجور فنتسل، أن يعترف بالهزيمة الألمانية. يقول هايزنبرج: «كان من الرائع لو أننا ربحنا الحرب». أُبلغ الجستابو بهذه الملاحظة. بدأت الإس إس تحقيقًا مع هايزنبرج، ويفلت من الاعتقال على شعرة.

مرة أخرى، عاد إلى مختبره في الطابق السفلي في شفابن يورا ويواصل محاولة تشغيل مفاعله بينما تنهار الإمبراطورية. وانتهى الأمر بإحدى رسائله إلى زيورخ في أيدي المخابرات الأمريكية. يخبر ختم البريد الجواسيس أن هايزنبرج يعمل في هشينجن.

برينستون 1943
ضعف آينشتاين

أقام ألبرت آينشتاين في «جزيرة القدر» برينستون. يرافقه في مسيرته آخر «نصف إله صغير متأنق» جاء كورت جودل، عالم المنطق النمساوي، إلى المعهد في عام 1940. بعد «ضم النمسا»، هرب جودل في مغامرة عبر سيبيريا واليابان إلى الولايات المتحدة. يلتقي كورت جودل، وفولفجانج باولي، وبرتراند راسل في منزل آينشتاين مرة واحدة أسبوعيًّا، في فترة ما بعد الظهيرة لمناقشة الفلسفة. التحق باولي بمعهد الدراسات المتقدمة منذ عام 1940 لأنه لم يشعر بالراحة عند قربه من هتلر في زيورخ. ليس لدى راسل عمل في برينستون، إنه فقط يزور ويحاضر في بعض الأحيان ويعمل كاتبًا مستقلًّا. ربما تكون المجموعة الأكثر انتقاءً من السادة الكبار في تاريخ العلوم التي تتجمع لدى آينشتاين في 112 شارع ميرسر.

تعامل آينشتاين أيضًا مع ميكانيكا الكم. لا يعني أنه مقتنع بها الآن. أبدًا. لكنه تخلى عن محاولة دحضها. في رسالة إلى ماكس بورن، الذي يعيش الآن في إدنبرة، كتب: «أنت تؤمن بالرب الذي يلعب النرد وأنا أومن بالشرعية الكاملة لعالم موضوعي. آمل أن يجد شخصٌ ما طريقةً أكثر واقعية مما أُعطيت لي. لا يمكن أن يجعلني النجاح الأوَّلي العظيم لنظرية الكمّ أومن بلعبة النرد الأساسية، على الرغم من أنني أعلم أن الزملاء الأصغر سنًّا يفسرون ذلك على أنه نتيجة للتكلس.

من حين لآخر، يتوقف نيلز بور عند آينشتاين في معهد الدراسات المتقدمة، ويتجادل السادة القُدامى حول ميكانيكا الكم، تمامًا كما اعتادوا، ولكن بشكل مختلف. لم تعد مثل خلافات الماضي، بل أصبحت طقوسًا عزيزة على قلبه، تعزية لآينشتاين في وقت العزلة. إنه وحده الذي يبحث عن نظرية تتجاوز نظرية النسبية وميكانيكا الكم. تقلصت دائرة أصدقائه إلى جودل وعدد قليل من الآخرين. فشلت كل زيجاته. على خلاف مع أحد أبنائه، والآخر يعاني مرضًا عقليًّا، وقد اختفت ابنته منذ فترة طويلة. عندما توفي ألبرت آينشتاين في أبريل 1955، كانت السبورة في مكتب معهده مغطاة بصيغ لا تؤدي إلى أي شيء.

فولفجانج باولي، أستاذ الفيزياء النظرية في المعهد الفدرالي للتكنولوجيا بزيورخ، نوفمبر 1945.

Wolfgang Pauli (AKG6363711; © akg-images / Keystone)

إنجلترا 1945
قوة الانفجار

في مارس 1945، عبرت قوات الحلفاء نهر الراين. ومعهم عملاء المخابرات الأمريكية، بعثة «ألسوس»، التي تتجسس على مشروع الطاقة الذرية الألماني منذ عام 1943. مَهمتهم هي القبض على علماء اليورانيوم الألمان واستجوابهم. الوقت ينفد. السوفييت والفرنسيون يتتبعون علماء الفيزياء الألمان أيضًا.

كلمة «ألسوس» هي كلمة يونانية قديمة وتعني «بستان»، وبالإنجليزية «grove». أرسلهم الجنرال ليزلي جروفز، المدير العسكري لمشروع مانهاتن. عندما سمع اسم البعثة، انزعج من الإشارة إلى اسمه الأخير. تعمل الأسماء الرمزية في الواقع على إخفاء الهوية. لكن جروفز تركها بهذا الاسم لأن تغييره كان سيجذب المزيد من الانتباه.

يقوم عملاء ألسوس بتفتيش المختبرات المهجورة وتأمين الأدلة ومصادرة الملفات واعتقال العلماء.

في 16 مارس 1945، لا تزال البلاد في الأسابيع الأخيرة من الحرب، تعرضت مدينة فورتسبورج، مسقط رأس هايزنبرج، للقصف من السلاح الجوي الملكي. في غضون دقائق، أشعلت قاذفات لانكستر وموسكيتو بقنابلها الحارقة وشديدة الانفجار، عاصفة نارية فوق المدينة، حيث تجاوزت درجات

الحرارة ألف درجة مئوية. ينفد الكثير من الناس من الأقبية ويحاولون الهرب عبر نهر الماين. تساعدهم فرقة الإطفاء عن طريق رشهم بالماء للهروب، لكن يتبخر الماء ويموت الآلاف.

في قبو صخري بهايجرلوخ، يجلس فِرنر هايزنبرج بجوار آلة اليورانيوم ويُجري العمليات الحسابية. يسجل عداد النيوترونات قراءة أعلى من أي وقت مضى. يضع كتلة من الكادميوم بجوار المفاعل لإلقائها في المرجل في حالة خروج التفاعل المتسلسل عن السيطرة. لو كان لديه القليل من اليورانيوم، والقليل من الماء الثقيل، ومرجل أكبر، فسيكون قريبًا جدًّا. لكن تعرض للقصف كلا من مصنع اليورانيوم التابع لجمعية أوير وأعمال الماء الثقيل لشركة إي جه فاربن. في أبريل، انسحبت آخر القوات الألمانية المتبقية من شفابن يورا.

بعد ظهر أحد أيام أبريل، سمع هايزنبرج محركات الدبابات الفرنسية التي تقترب وقرر الفرار. تأكد من وصول آخر الإمدادات الغذائية إلى بدروم مصنع النسيج، ثم ودَّع موظفيه. في 20 أبريل 1945، عند الساعة الثالثة صباحًا، ركب دراجته الهوائية؛ لا توجد وسيلة مواصلات أخرى. تقع قرية أورفِلد على بعد 260 كيلومترًا. أصدر هايزنبرج لنفسه تصريح سفر. يضع في جيوبه علب سجائر تحسُّبًا للظروف. سافر بالدراجة مدة ثلاث ليالٍ، خلال اليوم الذي اختبأ فيه من طائرات الحلفاء التي تحلق على ارتفاع منخفض ومن الجنود الألمان المهاجمين، لاحظ قصف منطقة مِمينجن، ومر عبر فايلهايم المشتعلة بالنيران. يتضور جوعًا ويتجمد بردًا في أيام الربيع الباردة هذه، ويصادف أطفالًا يرتدون زيَّ الفيرماخت العسكري الضخم. عند نقطة تفتيش، يريد جندي احتجازه دون أن يتأثر بتصريح السفر الذي أصدره هايزنبرج لنفسه. يسحب هايزنبرج علبة سجائر من جيبه ويمر. في 23 أبريل، بعد ساعة واحدة من دخول القوات الفرنسية، تعقب عملاء ألسوس مجموعة هايزنبرج البحثية في هشينجن. فقط فِرنر هايزنبرج نفسه، «الهدف الأول» لمهمتهم، ليس له أثر في كل الأنحاء. وجدوا في القبو الصخري البقايا الفقيرة للمفاعل الذي لم يعمل قط. مكعبات اليورانيوم مدفونة في حقل، والأوراق البحثية متلاصقة في علبة وغارقة في بالوعة. الكولونيل بوريس باش، قائد مهمة ألسوس، نسف مرجل الألمنيوم. إذن كانت هذه هي آلة اليورانيوم المخيفة التي سرَّعت بمشروع مانهاتن؟ تبدو سخيفة تقريبًا.

وصل هايزنبرج إلى أورفِلد مرهقًا وهزيلًا وممزقًا. يحتضن إليزابيث والأطفال، ويبدأ في تخزين البقالة والحطب ويحمي نوافذ المنزل من إطلاق النار بأكياس الرمل. لا يزال جنود قوات الإس إس متناثرين في المنطقة، بعد انسحابهم من أمام الجيش السابع الأمريكي. في 1 مايو 1945، أخرج فِرنر وإليزابيث هايزنبرج آخر زجاجة نبيذ من القبو وشربوا نخب موت هتلر. إن النازية، التي لم يكن لِفرنر هايزنبرج علاقة واضحة بها قط، قد وصلت إلى نهايتها.

أصبح الآن هايزنبرج واضحًا. في 4 مايو 1945، صعد الكولونيل باش إلى شرفة المنزل الخشبي حيث كان «هدفه الأول» يجلس بسلام ويتأمل البحيرة. يتمتع باش بسمعة طيبة لكونه شجاعًا. حتى قبل أن يتقدم جنود مشاة الجيش السابع الأمريكي إلى أورفِلد، جاء هو واثنان من جنوده إلى القرية لاصطحاب هايزنبرج شخصيًّا. تستسلم له كتيبة ألمانية كاملة.

دعا هايزنبرج باش ورجاله إلى الدخول وعرَّفهم على إليزابيث والأطفال. يسأل حارسه كيف يحب هذه المنطقة. ينظر الأمريكي إلى الجبال المحيطة ببحيرة فالشنسي، حيث توجد ثلوج جديدة تتلألأ في شمس الربيع؛ يقول هايزنبرج إنها أجمل بقعة على وجه الأرض رأتها عيناه على الإطلاق. هايزنبرج مرتاح البال فقد صار مصيره خارج يديه. بعد يومين، استسلم الفيرماخت الألماني.

لن يرى فِرنر هايزنبرج عائلته التي اجتمع معها للتو، مدة تسعة أشهر. يصطحبه باش في سيارة جيب ويؤخذ إلى هايدلبرج، حيث قاعدة مهمة ألسوس. عند اقتياد هايزنبرج إلى غرفة الاستجواب، كان هناك، بالزي الرسمي لجيش للولايات المتحدة، أحد معارفه القدامى من الماضي؛ صموئيل جودسميت، الفيزيائي الهولندي الذي التقى به هايزنبرج آخر مرة في ميشيجان قبل ست سنوات عندما كان ضيفًا هناك في جولة محاضراته. في يناير 1943، أخذ المحتلون الألمان والد جودسميت اليهودي وأمه العمياء من منزلهما في لاهاي لترحيلهما إلى أوشفيتس في شاحنة ماشية. لجأ جودسميت إلى هايزنبرج للحصول على المساعدة، لكن هايزنبرج لم يرد إلا بعد شهر برسالة تشيد بضيافة جودسميت للعلماء الألمان وتعرب عن قلقه على سلامة والدَي جودسميت. هذا كل شيء. في العام نفسه تولى جودسميت التوجيه العلمي لبعثة ألسوس. إنه صياد هايزنبرج.

الآن مصير هايزنبرج بين يدي جودسميت. يستجوب هايزنبرج، الذي لا يزال يعتقد أنه في محادثة ودية، وأن هذا هو نفس الشخص الذي يظن أنه يعرفه من قبل. يمد يده إلى «عزيزي جودسميت»، لكن جودسميت يرفضها. «كان موقف هايزنبرج خلال المحادثات متحديًا بشكل خاص، لأنه اعتقد أن عمله في موضوع اليورانيوم كان سابقًا على عملنا وأن هذا هو سبب اهتمامنا به»، حسبما أفاد جودسميت في تقريره عن الاستجوابات. «طبعًا لم نصحح له هذا الرأي الخاطئ».

أخيرًا، نُقِلَ هايزنبرج إلى باريس وجرى احتجازه في قلعة لو جراند تشيسناي المتهالكة مع تسعة باحثين آخرين من رابطة اليورانيوم. التقى هناك بتلميذه كارل فريدريش فون فايتسزكر مرة أخرى، بالإضافة إلى زملائه الأكبر سنًّا ماكس فون لاوى، وفالتر جِرلاخ، وكورت ديبنر، الذين كان يكرهه، وأوتو هان الهادئ. يسمي الأمريكيون المعسكر «صندوق القمامة». تتدلى الأبواب من مفصلاتها، ويتساقط ورق الحائط من على الجدران، وباستثناء الأسرَّة الحديدية للنوم، لا يوجد أثاث.

ماذا تفعل بالقوة العقلية المركزة المجمعة هنا؟ القوى المنتصرة مترددة. يقترح جنرال إعدام الباحثين الألمان. لكنهم ذوو قيمة كبيرة. لذلك نُقلوا إلى إنجلترا عبر بلجيكا، ثم إلى مزرعة في هنتينجدونشاير، إلى مبنى من الطوب الأحمر يسمى فارم هول، والذي استولى عليه جهاز الاستخبارات الخارجية البريطاني إم آي 6. يعرف هايزنبرج المنطقة، تبعد ساعة ونصف بالدراجة عن كامبريدج.

في الريف الإنجليزي، يتمتع الباحثون الألمان براحة أكثر من معظم الناس في الأيام التي تلت الحرب؛ جُهزت فارم هول بمعدات رياضية وسبورات وطاولة بلياردو وراديو. هناك الكثير من الطعام. «أتساءل عما إذا كانت ميكروفونات مثبتة هنا؟» يتأمل ديبنر. «ميكروفونات مثبتة؟» يسخر هايزنبرج. «أوه لا، إنهم ليسوا أذكياء. لا أعتقد أنهم يعرفون طرق الجستابو الحقيقية. أنت من الطراز القديم بعض الشيء بهذه الطريقة». صدقه السجناء الآخرون. يتحدثون بصراحة عن الفيزياء والسياسة وأحداث اليوم. لكن أجهزة الحلفاء السرية ليست من الطراز القديم. لهذا السبب بالذات، زوَّدوا النزلاء بأجهزة راديو وتوصيل الصحف عن طريق خدمة التوصيل السريع لتحفيز

مثل هذه المحادثات. الميكروفونات مخبأة في الجدران. يستمع جهاز إم آي 6 لكل كلمة يتحدث بها هايزنبرج وزملاؤه ويدوِّنُوا ملاحظات باختصار.

ناقش الفيزيائيون وتحيروا حول سبب احتجازهم في هذا السجن الفاخر فترة طويلة. عندما سألوا حراسهم عن ذلك، قيل لهم إنهم محتجزون «حسب تقدير جلالة الملكة»، وهو مصطلح يستخدم في القانون الجنائي الإنجليزي لفترة سجن غير محددة.

تمر الأيام، ويقتل الفيزيائيون الألمان الوقت. يؤكدون لبعضهم بعضًا أنهم رواد العالم في الفيزياء النووية، وهم مقتنعون بأن مشروع القنبلة الأمريكية لا يمكن أن ينجح حيث فشلوا هم أنفسهم. بالطبع الفيزياء الألمانية متفوقة.

يصوغ الفيزيائيون خطط الهروب. ربما يمكن إعلام الصحافة بمحنتهم؟ ربما يمكنهم الهروب إلى كامبريدج للانضمام إلى أقرانهم الذين ينتظرون بفارغ الصبر مشاركة معرفتهم بالفيزياء النووية؟ بل إنهم يعتقدون بجدية أن «الثلاثة الكبار»، هاري ترومان، وونستون تشرشل، وجوزيف ستالين، الذين يجتمعون الآن في بوتسدام، ليس لديهم ما يفعلونه أفضل من التفكير في مصيرهم. بعضهم واثق من أن تعاونهم مع النازيين لن يوقعهم في المشكلات، فهم أفضل علماء الفيزياء في العالم، والفيزياء فوق السياسة، أليس كذلك؟ سوف نذهب إلى الأرجنتين ونبدأ حياة جديدة، نعم.

في صباح يوم 6 أغسطس 1945، أشرقت الشمس في هيروشيما. بحلول الساعة الثامنة صباحًا، كان العديد من سكان المدينة البالغ عددهم 250 ألف نسمة يتناولون الإفطار أو يقرؤون الجريدة أو في طريقهم إلى العمل أو المدرسة. يضيء السماء وميض من الضوء الوردي. قُتل 80 ألف شخص على الفور. بعد دقيقتين، نظر قائد الطائرة الأمريكية التي سقطت منها القنبلة على هيروشيما إلى الأسفل من فوق ارتفاع عشرة كيلومترات: «حيث كانت هناك مدينة من قبل، بها مبانٍ وكل شيء ظاهر من ارتفاعنا، لم يعد هناك شيء يمكن رؤيته سوى الأنقاض السوداء المتطايرة». توفي عشرات الآلاف بعد ذلك في أعقاب الانفجار.

في مساء يوم 6 أغسطس 1945، كان عشرة فيزيائيين ألمان يلعبون الرجبي في حديقة فارم هول. يركضون خلف الكرة الجلدية، يتعثرون

ويضحكون، رياضة الكرة البريطانية جديدة وغير مألوفة لهم، يمكن رؤية ذلك في أعينهم. سيقدم العشاء قريبًا.

قبل الساعة السادسة بقليل، أخذ المايجور توماس ريتنر، ضابط المخابرات المسؤول عن الإشراف على السجناء الألمان، أوتو هان جانبًا وأخبره أن الأمريكيين ألقوا قنبلة ذرية ضخمة على مدينة يابانية. هان، الذي شارك بالفعل في استخدام غاز الكلور كسلاح في الحرب العالمية الأولى، «صُدم تمامًا من الأخبار»، يلاحظ ريتنر ذلك. يدرك هان ضعف الحجة القائلة بأن القنبلة الذرية ستقصر الحرب، الحجة التي برر بها هو نفسه مشاركته في تطوير أسلحة كيميائية في الحرب العالمية السابقة. كتب ريتنر في تقاريره: «لقد شعر بالمسؤولية الشخصية عن مقتل مئات الآلاف، لأن اكتشافه كان في الأصل هو ما جعل القنبلة ممكنة». يتعين على ريتنر إعطاء هان عدة أكواب من الجن لتهدئته قبل أن يتمكنوا من الذهاب إلى غرفة الطعام لإخبار الآخرين. تنتشر الدهشة عبر الطاولة. يقول هايزنبرج: «لا أصدق كلمة واحدة من كل هذا. لا أعتقد أن هذا له علاقة باليورانيوم». يسخر هان قائلًا: «إذا كان الأمريكيون يمتلكون قنبلة يورانيوم، فأنتم جميعًا ثانويون يا هايزنبرج المسكين». يستمعون بعد العشاء إلى أخبار بي بي سي. لم يعد هناك إنكار. فجر الأمريكيون قنبلة ذرية. يفقد جِرلاخ رباط جأشه، ويصرخ، ويغلق على نفسه غرفته حتى اليوم التالي، ويفكر في الانتحار كجنرال مهزوم.

تأثر بعمق كبرياء فِرنر هايزنبرج كعالم. في الأيام التي تلت ذلك، أجرى حساباته بشكل محموم، محاولًا حساب كيف يمكن للأمريكيين أن ينجحوا فيما فشل فيه هو، هايزنبرج العظيم. عليه أن يعترف بأنه لم يفهم بالضبط كيف يمكن صنع القنبلة الذرية. لقد اعتقد فقط أنه فهم، لكنه لم ينجح حتى في حساب الكتلة الحرجة لليورانيوم.

يفعل الفيزيائيون الألمان في فارم هول نفس ما فعلوه في ألمانيا؛ يتشاجرون ويتذمرون ويسخرون. إنهم يوضحون لموظفي بعثة ألسوس في الميكروفونات لماذا لم يكن برنامج القنبلة الذرية للنازيين مثل مشروع مانهاتن؛ لقد كانت الفوضى، لم تكن هناك خطة. كما سجَّل فِرنر هايزنبرج وكارل فريدريش فون فايتسزكر كيفية محاولتهما إعادة كتابة تاريخ أنشطتهما في زمن الحرب دون علمهما. يريدان للعالم أن يعتقد أنهما تعمَّدا تجنُّب وضع مثل هذا السلاح الرهيب بين يدي هتلر واقتصرا على تطوير

مفاعل نووي بينما بنى الأمريكيون القنبلة واستخدموها دون أي وازع. وبهذه الطريقة يفسرون فشلهم الفني على أنه ثبات أخلاقي. يقول فايتسزكر: «لم ننجح في بناء القنبلة الذرية لأن جميع الفيزيائيين لم يرغبوا في نجاحها كمسألة مبدأ. لو أردنا أن تنتصر ألمانيا في الحرب، لكنا نجحنا». يجيب أوتو هان: «لا أعتقد ذلك، لكنني ممتن لأننا لم ننجح».

في 14 أغسطس 1945، ظهر فِرنر هايزنبرج أمام زملائه وألقى محاضرة. حسب أن نصف القطر الحرج للقنبلة يتراوح بين 6.2 و13.7 سم. يسطع سطح الكرة 2000 مرة أكثر سطوعًا من الشمس عندما تنفجر. ويخلص هايزنبرج إلى أنه «سيكون من المثير للاهتمام إذا أمكن بالفعل قذف الأجسام عبر ضغط الإشعاع المرئي». لقد عاد إلى أرض العالِم، حيث يشعر بالأمان. بعد ذلك بوقت طويل، سوف يعترف في مذكراته: «كان عليَّ أن أتقبل حقيقة أن التقدم في الفيزياء الذرية الذي شهدته لمدة 25 عاما قد تسبب الآن في وفاة أكثر من مائة ألف شخص».

لا توقف رحلة القراءة عند هذا

الكتاب سجل في مكتبة الآن

وانضم إلى أكبر موفر للجديد من الكتب

الخاتمة

لا يمكننا مراقبة العالم دون تغييره. قادت هذه البصيرة فِرنر هايزنبرج إلى ميكانيكا الكم، وكانت معضله. فقد أراد استكشاف العالم، ولم يكن مهتمًّا بتغييره. ومع ذلك، غيَّره، واضطر إلى تغييره مع إتاحة هذه النظرية القوية في متناول اليد، لأنه عاش في عصر ليس فيه تهاون، في ألمانيا التي حكمها النازيون. شعر فيزيائيون آخرون بالشعور نفسه. لم يستطع حتى ألبرت آينشتاين، داعي السلام، البقاء خارج تاريخ العالم، كما أنه بدأ في بناء القنبلة الذرية، التي ندم عليها لاحقًا. هذا هو الجانب المظلم للقصة التي انسلَّت من التشققات الأولى في أطراف أصابع ماري كوري إلى القنبلة الذرية في هيروشيما.

الجانب المشرق من القصة هو كل هؤلاء الأشخاص المذهلين، والأذكياء، والفضوليين بشكل لا يصدق والتفاعل بين عقولهم. كانت ميكانيكا الكم نظرية غريبة بحيث لم يستطع أي منهم اكتشافها بمفرده، وكان عليهم العمل معًا، والتنافس، وأن يكونوا أصدقاء وخصومًا لإنشائها معًا. هذا الكتاب مأخوذ من الرسائل والمذكرات والأوراق البحثية واليوميات والتقارير التي كتبوها.

القصص الحقيقية ليس لها نهاية مثل كتاب ينتهي عند نقطة معينة. واصل الفيزيائيون العمل بعد عام 1945، لكن لم يحرز أيٌّ منهم تقدمًا مشابهًا لميكانيكا الكم أو نظرية النسبية. بحثَ كلٌّ من آينشتاين وهايزنبرج عن صيغة عالمية. لم يجدا أي شيء. لكن نظرياتهما، التي صاغاها منذ مائة عام، لا تزال صالحة حتى يومنا هذا، فهي جزء لا يتجزأ من رقائق الكمبيوتر

والأجهزة الطبية لدينا، ولم تُسوَّى الخلافات التي خاضاها حول تفسير نظرياتهما في ذلك الوقت حتى يومنا هذا. لا تزال الاعتراضات التي أثارها آينشتاين ضد ميكانيكا الكم تُثار من قبل علماء الفيزياء المتشككين اليوم. هذه القصة لم تنتهِ بعد.

قائمة المراجع

لقد استخدمت قائمة المراجع التالية كمصدر وأُوصي بها للمزيد من القراءة:

PARIS 1903

Barbara Goldsmith: Marie Curie. Die erste Frau der Wissenschaft. Piper Verlag, 2019.

BERLIN 1900

John L. Heilbron: Max Planck. Ein Leben für die Wissenschaft 1858 – 1947. S. Hirzel Verlag, 2006.

Dieter Hoffmann: Max Planck. Die Entstehung der modernen Phy- sik. Verlag C. H. Beck, 2008.

BERN 1905

Albrecht Fölsing: Albert Einstein. Eine Biographie. Suhrkamp Verlag, 1993.

Jürgen Neffe: Einstein. Eine Biographie. Rowohlt Verlag, 2005. Paul Arthur Schilpp (Hg.): Albert Einstein. Philosopher-Scientist. Open Court, 1949.

CAMBRIDGE 1911

Finn Aaserud, John L. Heilbron: Love, Literature, and the Quan- tum Atom. Niels Bohr's 1913 Trilogy Revisited. Oxford University Press, 2013.

Jim Ottaviani, Leland Purvis: Suspended in Language. Niels Bohr's life, discoveries, and the century he shaped. G.T. Labs, 2009.

MÜNCHEN 1913

Florian Ilies: 1913. Der Sommer des Jahrhunderts. S. Fischer Ver- lag, 2012.

MÜNCHEN 1914

Abraham Pais: Niels Bohr's Times, in Physics, Philosophy and Po- lity. Clarendon Press, 1991.

BERLIN 1920

Albert Einstein, Max Born: Briefwechsel 1916 – 1955. Nymphen- burger Verlagshandlung, 1969.

Manjit Kumar: Quantum. Einstein, Bohr and the Great Debate About the Nature of Reality. Icon Books, 2008.

KOPENHAGEN 1924

David Lindley: Uncertainty. Einstein, Heisenberg, Bohr, and the Struggle for the Soul of Science. Anchor Books, 2008.

HELGOLAND 1925

Wolfgang Pauli: Wissenschaftlicher Briefwechsel mit Bohr, Einstein, Heisenberg u.a. Band I: 1919 – 1929. Springer-Verlag, 1979.

AROSA 1925

Walter J. Moore: Erwin Schrödinger. Eine Biographie. Theiss Ver- lag, 2015.

BERLIN HEISENBERG 1926

Werner Heisenberg: Der Teil und das Ganze. Gespräche im Um- kreis der Atomphysik. Piper Verlag, 1969.

BERLIN SCHRÖDINGER 1926

Paul Halpern: Einstein's Dice & Schrödinger's Cat. How Two Great Minds Battled Quantum Randomness to Create a Unified Theory of Physics. Basic Books, 2015.

GÖTTINGEN 1926

Nancy T. Greenspan: Max Born. Baumeister der Quantenwelt.

Spektrum Akademischer Verlag, 2006.

SOLVAY-KONFERENZ 1927

Louisa Gilder: The Age of Entanglement. When Quantum Physics Was Reborn. Alfred A. Knopf, 2008.

Carsten Held: Die Bohr-Einstein-Debatte. Quantenmechanik und physikalische Wirklichkeit. Schöningh, 1998.

Erhard Scheibe: Die Philosophie der Physiker. Verlag C. H. Beck, 2006.

BERLIN 1930

Julia Boyd: Travellers in the Third Reich. The Rise of Fascism through the Eyes of Everyday People. Elliot and Thompson, 2017.

SOLVAY-KONFERENZ 1930

Sigmund Freud, Arnold Zweig: Briefwechsel. S. Fischer Verlag, 1968.

Abraham Pais: »Raffiniert ist der Herrgott...« Albert Einstein. Eine wissenschaftliche Biographie. Spektrum Akademischer Verlag, 2000.

ZÜRICH 1931

Arthur I. Miller: 137. C. G. Jung, Wolfgang Pauli und die Suche nach der kosmischen Zahl. Deutsche Verlags-Anstalt, 2009.

KOPENHAGEN 1932

Gino Segrè: Faust in Copenhagen. The Struggle for the Soul of Phy- sics and the Birth of the Nuclear Age. Jonathan Cape, 2007.

OXFORD 1935

John Gribbin: Erwin Schrödinger and the Quantum Revolution.

Bantam Press, 2012.

PRINCETON 1935

Adam Becker: What Is Real? The Unfinished Quest for the Mea- ning of Quantum Physics. Basic Books, 2018.

Rosine De Dijn: Albert Einstein & Elisabeth von Berlin. Eine Freundschaft in bewegter Zeit. Verlag Friedrich Pustet, 2016.

Arthur Fine: The Shaky Game. Einstein, Realism and the Quan- tum Theory. The University of Chicago Press, 1996.

GARMISCH 1936

Ernst Peter Fischer: Werner Heisenberg – ein Wanderer zwischen zwei Welten. Springer Verlag, 2015.

Werner Heisenberg, Elisabeth Heisenberg: »Meine liebe Li!« Der Briefwechsel 1937 – 1946. Residenz Verlag, 2011.

MOSKAU 1937

Graham Farmelo: Der seltsamste Mensch. Das verborgene Leben des Quantengenies Paul Dirac. Springer Verlag, 2016.

BERLIN 1938

David Rennert, Tanja Traxler: Lise Meitner. Pionierin des Atom- zeitalters. Residenz Verlag, 2018.

ATLANTIK 1939

Richard von Schirach: Die Nacht der Physiker. Heisenberg, Hahn, Weizsäcker und die deutsche Bombe. Rowohlt Taschenbuch Ver- lag, 2014.

KOPENHAGEN 1941

David C. Cassidy: Beyond Uncertainty. Heisenberg, Quantum Phy- sics and the Bomb. Bellevue Literary Press, 2009.

Ernst Peter Fischer: Niels Bohr. Physiker und Philosoph des Atom- zeitalters. Siedler Verlag, 2012.

STOCKHOLM 1943

Joachim Fest: Staatsstreich. Der lange Weg zum 20. Juli. Siedler Verlag, 1994.

PRINCETON 1943

Jim Holt: When Einstein Walked with Gödel. Excursions to the Edge of Thought. Farrar, Straus and Giroux, 2018.

ENGLAND 1945

Martijn van Calmthout: Sam Goudsmit and the Hunt for Hitler's Atom Bomb. Prometheus Books, 2018.

مکتبة
t.me/soramnqraa

عصر الضبابيَّة

من ماري كوري إلى ماكس بلانك، ومن آينشتاين إلى هايزنبرج - إعادة ابتكار العالم.

أحدث العصر الذهبي للفيزياء ثورة في تفكيرنا وفي العالم. يصف توبياس هورتر هذه الحقبة والسير الذاتية المذهلة لعباقرة العلم بطريقة مثيرة وسهلة. ويُظهر مدى الترابط الوثيق بين العلم والأحداث العالمية. لأننا لا نستطيع مراقبة العالم دون تغييره.

ماري كوري، وبلانك، وبور، وهايزنبرج، وشرودنجر، وآينشتاين لم يُشعلوا ثورة في الفيزياء فحسب، بل أعادوا أيضًا ابتكار عالمنا، وتشكيل واقعنا المعاصر. لقد كانوا مغامرين عقلانيين أو مدهشين أو مهووسين يتشاركون صداقات عميقة وعداوات مريرة. تقدم مسارات الحياة -المتقاطعة غالبًا- لأبطال الفكر هؤلاء، كنزًا غنيًا من القصص العظيمة.

وفي الوقت نفسه، أثارت أبحاثهم دفعة علمية غير متوقعة أدت إلى رؤية عالمية جديدة للفيزياء، لا تزال غير مفهومة تمامًا حتى يومنا هذا. لكن عصر النسبية وميكانيكا الكم كان كذلك هو عصر الحروب والثورات. أحدث اكتشاف النشاط الإشعاعي ثورة في العلم، مما أدى في النهاية إلى كارثتي هيروشيما وناجازاكي.

يخبرنا توبياس هورتر في "عصر الضبابية" بعدم إمكانية الفصل بين العلم والأحداث العالمية، لأنه لا يمكن رؤية العالم دون تغييره.

telegram @soramnqraa

غلاف: عبد الرحمن الصواف

9 789779 922492

عصير الكتب

aseeralkotb.com
contact@aseeralkotb.com
AseerAlkotb
AseerAlkotb
AseerAlkotb