السيد تومبكينز

چورچ جاموف

- المؤلف: چورج جاموف
- العنوان : السيد تومبكينز في بلاد العجائب والسيد تومبكينز يستكشف الذرة
- ترجمة: أحمد سمير سعد
- الطبعة: الأولى 2025
- تصميم الغلاف: عمرو الكفراوي
- مستشار النشر: سوسن بشير
- المدير العام: مصطفى الشيخ

رقم الإيداع:
٢٠٢٤/١٤٩٣٦
الترقيم الدولي : ISBN
978-977-765-413-5

جميع الحقوق محفوظة. لا يسمح بإعادة إصدار هذا الكتاب أو أي جزء منه، أو تخزينه في نطاق استعادة المعلومات، أو نقله بأي شكل من الأشكال دون إذن مسبق من الناشر.

All rights are reserved. No part of this book may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form, or by any means without prior permission in writing from the publisher.

Afaq for Publishing & Distribution

17 Mahmoud Basiony St, 6th floor, from Tallat Harb Sq, Cairo – Egypt
Tel: 00202 25778743 - 00202 25779803 Mobile: +202-01111602787
E-mail: afaqbooks@yahoo.com

١٧ شارع محمود بسيوني – الدور السادس – متفرع من ميدان طلعت حرب – القاهرة – جمهورية مصر العربية
ت: ٢٥٧٧٨٧٤٣ ٠٠٢٠٢ – ٢٥٧٧٩٨٠٣ ٠٠٢٠٢ – موبايل: ٠١١١١٦٠٢٧٨٧

afaqcairo **afaqcairo** **afaqcairopblsh**

چورچ جاموف

السيد تومبكينز في بلاد العجائب
والسيد تومبكينز يستكشف الذرة

ترجمة

أحمد سمير سعد

آفاق للنشر والتوزيع

هذه ترجمة كتاب:

Mr Tompkins in wonderland
First published 1940
Mr Tompkins explores the atom
First published 1945

© Cambridge University Press 1965, 1993

This publication is in copyright. Subject to statutory exception
and to the provisions of relevant collective licensing agreements,
no reproduction of any part may take place without
the written permission of Cambridge University Press.

جميع الحقوق محفوظة
© آفاق للنشر والتوزيع

All rights reserved
© **Afaq** *Publishing House* 2024

إلى صديقي ومحرري

رونالد مانسبريدج

مقدمة المترجم

اطَّلعت في وقتٍ مبكرٍ من عمري على كتابٍ بعنوان (قصة الفيزياء)، وهو كتاب مثير للغاية يروي قصة تطور الفيزياء بأسلوبٍ بسيطٍ وسلسٍ، يناسب غير المتخصص، ومع ذلك يتركه ملمًّا بأهم المحطات والمفاهيم. كان ذلك الكتاب للفيزيائي الروسي چورچ جاموف، المولود في أوكرانيا عام 1904، والمتوفَّى في الولايات المتحدة الأمريكية عام 1968، صاحب المنجزات المهمة والأبحاث في الفيزياء النووية ونظرية الكم وعلم الكونيات. أنجز تفسيرًا عبقريًّا للتحلل الإشعاعي المصحوب بخروج جسيم ألفا، كما أسهم كذلك في تفسير التحلل المصحوب بخروج جسيم بيتا. كان من أوائل المدافعين عن نظرية الانفجار العظيم، وأشار إلى أن بداية الكون كانت ساخنة وكثيفة بشكلٍ لا يمكن تصوُّره. ولم يقف عند ذلك، بل تنبَّأ بأن إشعاعًا حراريًّا قد تخلَّف بالتأكيد عن تلك البداية، وهو منتشر حاليًّا في كل الكون، هذا الإشعاع الذي ثبت وجوده لاحقًا، ونعرفه باسم إشعاع الخلفية الكوني الميكروي، قَدَّر جاموف من حساباته أن حرارة هذا الإشعاع 7 كلفن، وهي الحرارة القريبة جدًّا من الحرارة التي نعرفها حاليًّا، 3 كلفن.

عندما عرف چورچ جاموف باكتشاف واطسون وكريك لتركيب الحمض النووي منزوع الأكسجين، أدرك أنه أمام لحظة فارقة في تاريخ علم الأحياء والحياة نفسها. لذا انشغل بالأمر، ومن الواضح أن انشغاله هذا جعله يكرس طاقته العقلية للإسهام في إماطة اللثام عن لغز الدي إن إيه. أرسل خطابًا إلى واطسون وكريك، وأشار فيه إلى أن ترتيب القواعد النيوتروجينية في جزيء الدي إن إيه يحمل شفرة، هي المسؤولة عن صفات الكائن الحي. في الحقيقة سبق وأشار الفيزيائي الشهير إرفين شرودنجر إلى أمرٍ مشابه حين أشار إلى أن الكائن الحي يحمل بالتأكيد شفرة، هي التي تجعله ما هو عليه، وتُميِّز المعلومات التي تحملها تلك الشفرة شجرة الورد عن الخنفساء عن الفأر عن المرأة. إلا أن شرودنجر لم يكن يعرف وقتها أن الشفرة كامنة في الدي إن إيه، كما أن جاموف بذل مجهودًا كبيرًا في محاولة استنتاج الطريقة التي تعمل بها تلك الشفرة. أوضح أن لدينا عشرين حمضًا أمينيًّا أساسيًّا، ولدينا أربع قواعد نيتروجينية، فكيف يمكن لشفرة من أربعة حروف أن تدل على عشرين حمضًا أمينيًّا. تتكوَّن هذه الشفرة بالتأكيد من ثلاثة تتابعات متتالية على الأقل، لأن الشفرة الزوجية لا يمكنها أن تطرح إلا 16 احتمالًا فقط، في حين تطرح الشفرة الثلاثية 64 احتمالًا. اقترح جاموف نموذجًا رياضيًّا أطلق عليه شفرة اللؤلؤة، لأن لمخططه شكل اللؤلؤة، وهو نموذج ثلاثي حاول من خلاله أن يحل اللغز. وعلى الرغم من أن محاولته لم تكشِف حقيقة الأمر؛ وذلك لافتقاره وافتقار العالَم وقتها إلى كثيرٍ من المعلومات عن آلية تصنيع البروتينات، فإنها مهدت الطريق، ودفعت الكثيرين إلى التفكير في الأمر، لكن نموذج جاموف لم يفشل بصورة مطلقة كاملة؛ إذ ثبتت صحة فرضية الشفرة الثلاثية.

اهتم چورچ جاموف كثيرًا بتبسيط العلوم للعامة، وكتاب (قصة الفيزياء) لم يكن إلا كتابًا واحدًا ضمن كتب عديدة توجَّه بها إلى العامة، منها على سبيل المثال، رائعته العبقرية «واحد.. اثنان.. ثلاثة.. ما لا نهاية»، ومنها كذلك، «ميلاد وموت الشمس» و«قصة الأرض» و«الطاقة النووية في الحياة الكونية والبشرية» و«القمر» و«كوكب اسمه الأرض» و«نجم اسمه الشمس» وغيرها من الكتب التي استقبلها العامة بحفاوة، وحاز بعضها على رضا وإطراء المتخصصين، وهو أمر صعب المنال في أغلب الأحيان.

أما روايتا السيد تومبكينز اللتان ترجمتهما في هذا الكتاب فلهما قصة لطيفة، أود ذكرها. في الحقيقة لم أكن أعرف بهاتين الروايتين الرائعتين والمميزتين على الرغم من شهرتهما العالمية الواسعة، وعلى الرغم من معرفتي الجيدة بجاموف نفسه منذ وقتٍ طويلٍ وإعجابي الشديد به. لذلك عندما وجدت يومًا في مراسلاتي الإلكترونية رسالة من صديق فيزيائي عزيز جدًّا على القلب، د. أحمد فؤاد، مدرس الفيزياء بكلية التربية، جامعة الإسكندرية، تتضمن نسخة إلكترونية بالإنجليزية من هذا الكتاب، وكلمات طيبات منه، تهديني تلك النسخة، تملَّكت مني فرحة شديدة. وعندما اطَّلعت على الكتاب، قررت من فوري ترجمته، وإن تأخر إنجاز تلك الترجمة بعض الشيء إلى حين توفير الوقت اللازم من أجل التفرغ لها والعمل عليها.

لقد توطدت علاقتي بدكتور أحمد فؤاد على مرِّ سنوات، وهو إنسان مميز وقارئ نهم، ولا يلم فقط بأصول علمه وتخصصه، لكنه يدرك كذلك فلسفة هذا العلم، ويمتلك ثقافة موسوعية ومكتبة عامرة، يُطلِق عليها اسم «العنقاء». كان من أوائل من راسلوني مشجعين عندما بدأت

مشروع الترجمة والكتابة العلمية، على الرغم من عدم وجود سابق معرفة ساعتها، ولم يزل مساندًا وداعمًا منذ ذلك الحين. إلا أن أكثر المواقف التي لمستُ فيها محبَّته وعونه حين انتحل أحدهم ترجمة لي، فكان أول من أبلغني حين وقع الكتاب المنتحَل بين يديه، وظل على اتصال دائم بي إلى حين انتهت المسألة، وحُلَّت وسُحِبت الترجمة المنتحلة.

يخوض السيد تومبكينز مغامرات علمية، لا تفتقر إلى المعلوماتية أو خفة الظل أو الإثارة. أدَّت هذه المغامرات إلى فوز جاموف بجائزة كالنيجا لتبسيط العلوم، وهي جائزة تمنحها اليونيسكو. خاض السيد تومبكينز مغامرات أخرى، مغامرات بيولوجية هذه المرة، في كتاب ثالث بعنوان (السيد تومبكينز بداخل نفسه) لكنها لم تحظَ بالشهرة نفسها؛ إذ صادفها سوء حظ. ففي الوقت الذي بقيت فيه المبادئ الأساسية للفيزياء الحديثة دون تغيير كبير منذ كتبَ جاموف روايتَيه الفيزيائيتين، وهو ما أسهم في انتشار الكتاب وشهرته، تغيَّرت مفاهيم الأحياء بصورة ضخمة بعد نشر روايته البيولوجية بوقتٍ قصير؛ إذ اكتُشِف الدي إن إيه، وحدثت ثورة ضخمة في علم الحياة، كأنه ميلاد جديد.

وأخيرًا أود أن أشير إلى أنني وضعت بعض الملحوظات في متن الكتاب بين القوسين [ ]، وذلك حتى لا أقطع استرسال القراءة أو أشوِّش على السرد بالهوامش.

أحمد سمير سعد

القاهرة 2024

توطئة

تَبعَث فيَّ إعادة نشر جورهتَي چورچ جاموف، الخاصتَين بمغامرتَي السيد تومبكينز في العالَمين الرائعين المسحورين، عند تقليل سرعة الضوء أو تكبير ثابت بلانك بسعادة خاصة. على الرغم من أنني قد أجد -في إدراك متأخر- تفاصيل قد أجادل فيها، فإن الإثارة التي أجدها في الحكايتين المبهجتين بشدة ما زالت طازجة مثلما كانت منذ خمسين سنة تقريبًا، عندما صادفتهما للمرة الأولى. على الرغم من أن الفيزياء تقدَّمت من أوجه كثيرة، فإن الفيزياء الأساسية للنسبية ولنظرية الكم لم تتغير. يستطيع جاموف، عن طريق إبداعه ومهاراته السردية، تحويل بعض الأحجيات الملغزة والغامضة لهذه الفيزياء الأساسية -التي لا تزال في حقيقة الأمر حديثة- إلى قصص ساحرة وآسرة للأطفال.

أتذكر جيدًا عندما كنت أقرأ (أو يقرؤون لي) قصتَي تومبكينز وأنا طفل صغير. أوقن من أن سحرهما مسؤول بدرجة ملحوظة عن الإثارة العظيمة التي حملتها الفيزياء الأساسية لي طوال حياتي الباقية. لا أزال أتذكر بوضوحٍ تامٍّ نمور الأدغال الكمية، وصناديق نحات الخشب العجوز المحتوية على الكرات الملونة الغامضة (النيوكليونات)، والدراجة المسطحة نسبويًّا، والبروفيسور الذي يهتف: «استلقِ وارصد»

عندما رأى والسيد تومبكينز الكون الصغير ينهار إلى الداخل عليهما. جعل السيد تومبكينز الفيزياء الحديثة زاهية وواقعية بالنسبة إليَّ وأنا طفل، وأنا في يقين من أنه سيواصل القيام بالأمر نفسه لآخرين كثيرين جدًّا.

كُتِبت «السيد تومبكينز» في أوائل أربعينيات القرن العشرين (وحُدِّثت في عام 1965)، اهتم جاموف في الأساس بالمبادئ العامة للنسبية وعلم الكونيات، والمبادئ العامة لنظرية الكم وفيزياء الجسيمات. هل عفا الزمن على شرحه؟ لم تتغير أساسات هذه الفيزياء باستثناء تفاصيل معينة، ولذلك تبقى توصيفات جاموف حتى اليوم حديثة في جوهرها. ربما تنتمي النواحي الأساسية التي تقدمت فيها الفيزياء منذ زمن جاموف إلى فيزياء الجسيمات. نعرف الآن جسيمات أكثر من التي كانت معروفة في زمن جاموف، إلا أن لدينا اليوم نظريات جيدة لوصفها. نعرف شيئًا عن البنية التحتية للنيوكليون (من حيث الكواركات) والتآثرَين القوي والضعيف للجسيمات (من حيث «نظريات المقياس» التي تكمن وراء ما يُعرَف «بالنموذج القياسي!»). صار النيوترينو -الذي كان وجوده لا يزال مبهمًا عندما كتب جاموف للمرة الأولى- متأصلًا تمامًا نظريًّا وتجريبيًّا في الوقت الحالي. أما فيما يتعلق بالنسبية، فمن البديهي أن توصيفات جاموف للدراجات المسطحة ومباني المدينة مفيدة، لكنها لا تُقَدِّم ما يراه الراصد بالفعل. لو أخذنا في الاعتبار سرعة الضوء المحددة، فلن تبدو الأجسام الصغيرة مسطحة، عندما تلوح مارَّة بالجوار، بل سوف تبدو كأنما أُديرت. [طرح

روجر بنروز وجيمس إدوارد تيريل هذا التصور، كلٌّ على حدة؛ إذ أشارا إلى أن الجسم عندما يتحرك بسرعة مقاربة لسرعة الضوء يبدو للراصد كأنه أُدير هندسيًّا، وذلك بسبب أن الضوء سيصل إلى الراصد من الأجزاء المختلفة للجسم المتحرك في توقيتات مختلفة تؤدي إلى هذا التشوه في شكل الجسم] كتب جاموف هذا الكتاب قبل أن نفهم الثقوب السوداء، وهو أمر مؤسف بالنظر إلى قدرات جاموف على استغلال الثقوب السوداء استغلالًا رائعًا من دون شك في قصتَيه لو كان قد أدرك هذا الفهم. تقودنا حتمية وطبيعة المفردات الكونية التي تحدث في الثقوب السوداء والانفجار العظيم إلى الشك حاليًّا في الطبيعة المتذبذبة للكون المغلق [الكون الذي يتمدد وينكمش في دورات لا تنتهي]. إلا أن أحكام جاموف ونبوءاته بخصوص علم الكونيات وأصل الكون صمدت بشدة أمام اختبار الزمن. ما زلنا لم نحسم ما إذا كان الكون مفتوحًا مكانيًّا أم مُغلَقًا، وهي مسألة لم يحسمها جاموف، إلا أن الحالة الثابتة لم تصمد، كما توقع جاموف، وربح تصوره لأصل الكون من خلال الانفجار العظيم المعركة وأقام الحُجة.

روجر بنروز

أكتوبر 1992

تصدير

كتبت في شتاء عام 1938 قصة قصيرة تخيُّلية علمية (لا تُصَنَّف خيالًا علميًّا)، حاولت فيها أن أشرح للشخص العادي الأفكار الأساسية لنظرية انحناء الفضاء وتمدُّد الكون. عقدت العزم على القيام بذلك عن طريق المبالغة في الظواهر النسبوية الموجودة فعليًّا إلى درجة أن يقدر بطل القصة على رصدها بسهولة، السيد سي. جي. إتش تومبكينز C. G. H. Tompkins، محاسب البنك المهتم بالعلم الحديث. (تعود الحروف البادئة في اسم السيد تومبكينز إلى ثلاثة ثوابت فيزيائية أساسية: سرعة الضوء c وثابت الجاذبية G والثابت الكمي h، وقد كان من اللازم استبدال عوامل كبيرة للغاية بها من أجل جعل تأثيرها ملحوظًا بسهولة لرجلٍ في الشارع.

أرسلت المخطوط إلى مجلة هاربر [مجلة أدبية وثقافية أمريكية]، فعاد إليَّ مع إعلامٍ بالرفض مثلي كمثل كل الكُتَّاب المبتدئين. حذا حذو مجلة هاربر نصف دستة من المجلات الأخرى التي حاولت معها. لذلك وضعت المخطوط في درج مكتبي ونسيت أمره. وخلال صيف العام نفسه، حضرت المؤتمر الدولي للفيزياء النظرية International Conference of Theoretical Physics، الذي تنظمه عصبة الأمم في

وارسو. أخذت أتبادل الحديث مع صديقي القديم السير تشارلز داروين، حفيد تشارلز داروين (صاحب كتاب أصل الأنواع) وبيننا كوب عسل بولندي ممتاز، تحوَّلت دفة الحديث نحو تبسيط العلوم للعامة. أخبرت داروين بالحظ السيئ الذي لاقيته على طول هذا المسار، قال لي: «انظر يا جاموف، عندما تعود إلى الولايات المتحدة استخرج مخطوطك، وأرسله إلى دكتور تشارلز بيرسي سنو [كاتب وفيزيائي إنجليزي وصاحب المحاضرة الشهيرة بعنوان «الثقافتان» التي حاول من خلالها رأب الفجوة بين العلوم والآداب]، إنه محرر مجلة ديسكفري العلمية للعامة التي تطبعها مطابع جامعة كامبريدج».

وهكذا نفَّذت ما قاله بحذافيره، وفي الأسبوع التالي وصلني تلغراف من سنو، كُتِب فيه: «سيُنشر مقالك في العدد التالي. من فضلك أرسل المزيد». وعلى ذلك ظهر في الأعداد اللاحقة لمجلة ديسكفري عددٌ من القصص عن السيد تومبكينز، تُبَسِّط للعامة نظرية النسبية ونظرية الكم. وسرعان ما تسلَّمت -بعد ذلك- خطابًا من مطابع جامعة كامبريدج، يقترح نشر هذه المقالات إلى جانب القليل من الصفحات الإضافية من أجل زيادة عدد الصفحات في شكل كتاب. نشرت مطابع جامعة كامبريدج الكتاب المُعَنوَن «بالسيد تومبكينز في بلاد العجائب» في عام 1940، ومنذ ذلك الوقت أُعيدت طباعته ست عشرة مرة. أتبع هذا الكتاب، الكتاب المكمِّل له «السيد تومبكينز يستكشف الذرة»، الذي نُشِر في عام 1944، وأُعيدت طباعته تسع مرات إلى الآن. بالإضافة إلى ذلك، تُرجِم الكتابان إلى كل اللغات الأوروبية تقريبًا (باستثناء الروسية)، كما تُرجِما إلى الصينية والهندية.

قررت مطابع جامعة كامبريدج مؤخرًا جمع الجزأين الأصليَّين في إصدار واحد، وطلبت مني تحديث المادة القديمة، وإضافة المزيد من القصص التي تعالج تطورات الفيزياء والمجالات ذات الصلة، التي حدثت بعد نشر هذين الكتابين في الأصل. لذلك توجب عليَّ إضافة قصص عن الانشطار والاندماج وكون الحالة الثابتة والمسائل المثيرة المتعلقة بالجسيمات الأولية. تُشَكِّل هذه المواد الكتاب الحالي.

يلزم أن أقول بعض الكلمات عن الرسوم التوضيحية. خَطَّ رسوم المقالات الأصلية المنشورة في مجلة ديسكفري والجزء الأول الأصلي السيد جون هوكهام الذي أبدع ملامح وجه السيد تومبكينز. عندما كتبت الجزء الثاني، كان السيد هوكهام قد تقاعد عن العمل كرسامٍ للرسوم التوضيحية، فقررت أن أخط رسوم الكتاب التوضيحية بنفسي، متَّبعًا أسلوب هوكهام في إخلاص. تعود الرسوم التوضيحية الجديدة في الجزء الحالي إليَّ أيضًا. كتبت الأغاني وأبيات الشعر في هذا الإصدار زوجتي باربارا.

چورچ جاموف

جامعة كولورادو،

بولدر، كولورادو، الولايات المتحدة الأمريكية

شكر وعرفان

نتوجَّه بالشكر إلى الجهات التالية نظير سماحهم لنا بإعادة نسخ المواد التي لها حقوق نشر: نتوجَّه بالشكر إلى شركة إدوارد ماركس الموسيقية لإعداد «أوه، تعالوا يا جميع المؤمنين» O Come, All Ye Faithful (أوه ذرة أولية) و«حكم بريطانيا» Rule, Britannia (بأمرٍ إلهي، لم يتشكَّل الكون قَطُّ في زمن مضى) من «حان وقت الغناء»، كما نتوجه بالشكر إلى شركة ماكميلان نظير صورة الحالة البلورية التي التقطها سير وليم هنري براغ ووليم لورانس براغ.

تقديم

منذ الطفولة الأولى فصاعدًا، ننشأ معتادين العالَمَ المحيط بنا كما ندركه من خلال حواسنا الخمس، تتشكَّل المفاهيم الأساسية للمكان والزمن والحركة في هذه المرحلة للتطور العقلي. وسرعان ما تعتاد عقولنا هذه المفاهيم، وهكذا نميل -لاحقًا- إلى الاعتقاد في أن تصورنا عن العالَم الخارجي القائم على تلك المفاهيم هو التصور الوحيد المحتمَل، وأن أي فكرة لتغيير تلك المفاهيم تبدو متناقضة. إلا أن تطور المناهج الفيزيائية المنضبطة للرصد والتحليل الأعمق للعلاقات المرصودة قاد العلم الحديث إلى أن يستنتج -بشكلٍ قاطع- أن هذا الأساس «الكلاسيكي» يفشل تمامًا عندما يُستَخدَم في التوصيف التفصيلي للظواهر التي يتعذَّر عادة لمسها في أرصاد حياتنا اليومية، وأن من الضروري للغاية إجراء بعض التغييرات في التصورات الأساسية للمكان والزمن والحركة من أجل التوصيف الصحيح والمتسق لخبرتنا الجديدة المنقَّحة.

على الرغم من ذلك، فإن الانحرافات القائمة بين المفاهيم المعتادة والمفاهيم التي تطرحها الفيزياء الحديثة ضئيلة للغاية، ومن الممكن إهمالها ما دمنا معنيين بخبرة الحياة اليومية. ومع ذلك، إذا تخيلنا عوالم

أخرى، تحكمها قوانين الفيزياء نفسها التي تحكم كوننا، إلا أن لثوابتها الفيزيائية التي تقر القيود المفروضة على إمكانية تطبيق المفاهيم القديمة قيمًا مختلفة، تصير عندئذٍ تصورات المكان والزمن والحركة الجديدة والصحيحة، تلك التي لم يصل إليها العلم الحديث إلا بعد تحريات طويلة جدًّا ودقيقة، معرفة شائعة. يمكننا أن نقول إن الهمجي البدائي نفسه سوف يكون في ذلك العالَم ملمًّا بمبادئ النسبية ونظرية الكم، وسوف يستخدمها بهدف الصيد وتلبية احتياجاته اليومية.

ينتقل بطل قصصنا الحالية في أحلامه إلى عوالم عديدة من هذا النوع، حيث تتضخم للغاية الظواهر التي يستحيل على حواسنا العادية لمسها، بحيث نستطيع رصدها بسهولة، كما نرصد أحداث الحياة العادية. يساعده في أحلامه الخيالية، العلمية والصحيحة على الرغم من ذلك، بروفيسور عجوز في الفيزياء (تزوج بطل قصصنا ابنته «مود» في النهاية)، يفسر له البروفيسور بلغة بسيطة الأحداث الشاذة التي يرصدها في عالَم النسبية والكونيات والكم والبنية الذرية والنووية والجسيمات الأولية... إلخ.

من المأمول أن تساعد خبرات السيد تومبكينز الشاذة القارئ المهتم على تشكيل صورة أوضح للعالَم الفيزيائي الفعلي الذي نعيش فيه.

السيد تومبكينز
في بلاد العجائب

1

مدينة حد سرعة الضوء

في يوم عطلة البنك، نام السيد تومبكينز المحاسب ضئيل الحجم، الذي يعمل في بنك يقع في مدينة كبيرة، حتى وقت متأخر، تناول إفطارًا هنيئًا عندما استيقظ. حاول التخطيط ليومه، فكر أولًا في الذهاب إلى مشاهدة فيلم في الظهيرة، عندئذٍ فتح الصحيفة الصباحية، وبحث في صفحة الترفيه. إلا أنه لم يُعجَب بأيٍّ من الأفلام المعروضة. يمقت كل هذه الموضوعات الهوليوودية، الممتلئة برومانسيات لا تنتهي بين النجوم المشاهير.

كل هذه الموضوعات الهوليوودية

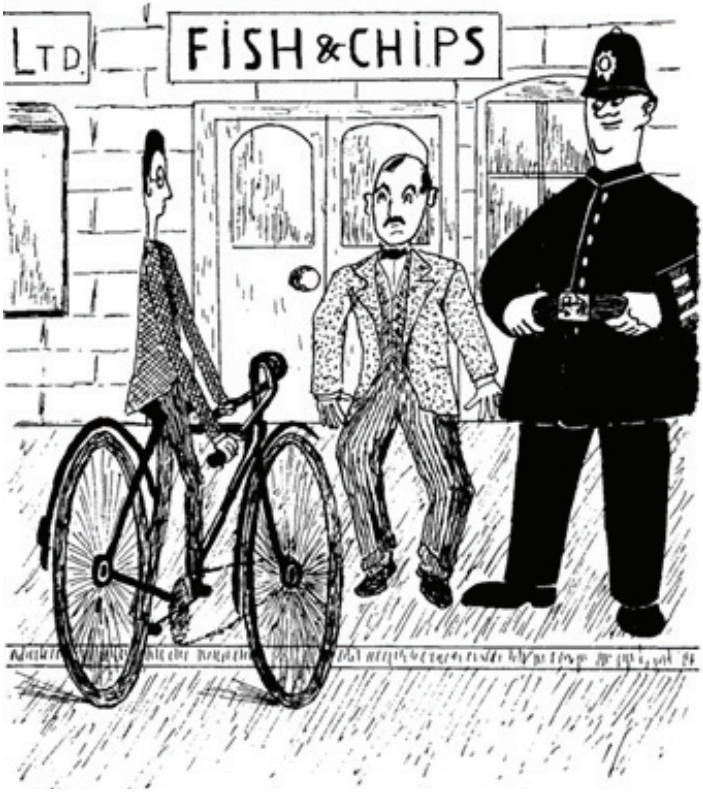
يا ليت ثمة فيلمًا واحدًا على الأقل يدور حول مغامرة واقعية، ويحتوي على شيء مختلف وبديع. من دون مقدمات وقعت عيناه على إعلان صغير في ركن الصفحة. تُعلن الجامعة المحلية عن سلسلة من المحاضرات حول معضلات الفيزياء الحديثة ومحاضرة ظهيرة هذا اليوم عن نظرية النسبية لأينشتاين. حسنًا، قد يكون هذا حدثًا ذا قيمة! لطالما سمع عبارة نصها أن مَن يفهمون نظرية أينشتاين في جميع أنحاء العالم لا يزيدون على الدستة. ربما يصبح الثالث عشر في القائمة!

سوف يذهب إلى المحاضرة بالتأكيد، ربما تكون ما يحتاج إليه تمامًا.

وصل إلى قاعة المحاضرات الكبيرة بالجامعة بعد أن بدأت المحاضرة. امتلأت القاعة بالطلاب، أغلبهم صغير في السن، ينصتون في اهتمامٍ إلى رجلٍ طويل ذي لحية بيضاء، يقف على مقربة من سبورة سوداء، يحاول أن يشرح لجمهوره الأفكار الأساسية في النظرية النسبية. إلا أن السيد تومبكينز لم يتجاوز في فهمه أن بيت القصيد في نظرية أينشتاين يكمن في أن ثمة سرعة قصوى، ألا وهي سرعة الضوء، يستحيل أن يتعداها أي جسم مادي متحرك، وأن هذه الحقيقة تؤدي إلى نتائج غريبة جدًّا وغير مألوفة. مع ذلك، قال البروفيسور إن سرعة الضوء 186,000 ميل لكل ثانية [300,000 كيلومتر لكل ثانية]، وبالتالي يكاد يستحيل رصد تأثيرات النسبية في أحداث الحياة اليومية. إلا أن طبيعة هذه التأثيرات غير المألوفة كانت أصعب كثيرًا على الفهم، وقد بدت جميعها للسيد تومبكينز منافية للحس المشترك. وبينما يحاول تخيُّل تقلص مساطر القياس والسلوك الشاذ للساعات -تلك التأثيرات التي يجب أن يتوقعها الواحد إذا تحركت المساطر والساعات بسرعة الضوء- سقط رأسه ببطء على كتفه.

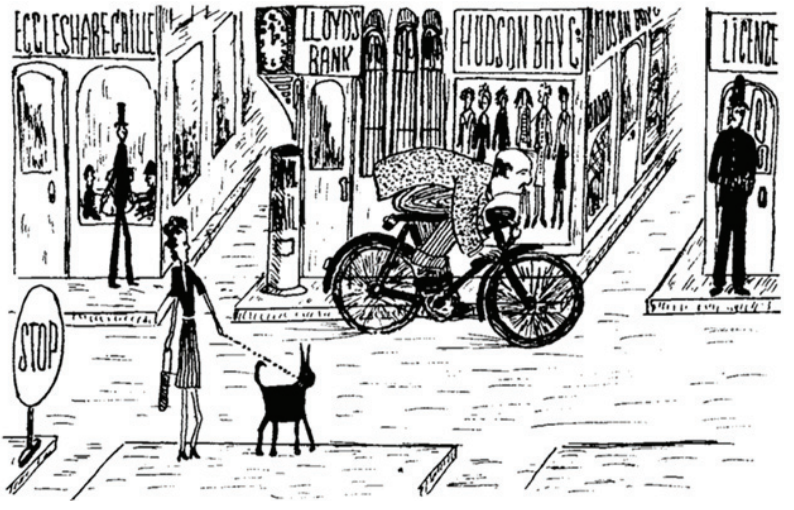
حينما فتح عينيه مرة أخرى، لم يجد نفسه جالسًا في قاعة محاضرات، بل على مقعدٍ أقامته المدينة لراحة الركاب في أثناء انتظار الحافلة. كانت المدينة عتيقة وجميلة، تصطفُّ مبانيها على جوانب الشوارع، وهي مبانٍ على طراز مباني العصور الوسطى. شك في أنه يحلم بالتأكيد، لكنه اندهش؛ إذ لا يحدث أي شيء غير مألوف من حوله، بل إن الشرطي

الواقف في الركن المواجه له، يبدو مثلما يبدو رجال الشرطة في العادة. يشير عقربا ساعة البرج الكبيرة في آخر الشارع إلى الخامسة، وتكاد الشوارع تخلو من المارة. يتقدم نحوه ببطء رجل منفرد على دراجة، وعندما اقترب، اتسعت عينا السيد تومبكينز من الذهول، لأن الدراجة والشاب الجالس عليها تقلَّص طولاهما في اتجاه الحركة، كأنما يراهما عبر عدسة أسطوانية. بلغت ساعة البرج الخامسة، من الواضح أن راكب الدراجة في عجلة من أمره، يحرك البدَّالَين في حمية.



تقلص طولاهما بصورة غير قابلة للتصديق

لاحظ السيد تومبكينز أن راكب الدراجة لم يكتسب سرعة أكبر كثيرًا، إلا أن مجهوده أدَّى إلى أن يتقلص طوله أكثر وأكثر، يمضى نحو آخر الشارع، وقد بدا مثل صورة من ورق مقوَّى. عندئذٍ شعر السيد تومبكينز بفخرٍ شديدٍ، لأنه استطاع فهم ما جرى لراكب الدراجة. إن ما يجري ببساطة هو تقلص الأجسام المتحركة، الذي سمع عنه مؤخرًا. استنتج أن «حد السرعة في الطبيعة أقل هنا بوضوح، لهذا السبب يبدو الشرطي في الركن كسلانًا جدًّا، لا يحتاج إلى أن يراقب السائقين المتهورين». في الحقيقة، يمر تاكسي في اللحظة نفسها في الشارع، يزمجر محركه صانعًا ضجيجًا يصم الآذان، لكنه لا يستطيع أن يتفوق على راكب الدراجة كثيرًا؛ إذ يزحف على طول الشارع بالكا د. قرر السيد تومبكينز أن يلحق براكب الدراجة، الذي بدا رفيقًا صالحًا، أراد أن يسأله عن كل شيء يتعلق بهذا الأمر. تأكد من أن رجل الشرطة ينظر إلى الاتجاه الآخر، واستعار دراجة قائمة بالقرب من الرصيف، وأسرع بها.



تقلص طول مباني المدينة أكثر وأكثر

توقع أن يتقلص طوله في الحال، وابتهج جدًّا بذلك لأن ازدياد حجمه مؤخرًا سَبَّب له بعض الضيق. إلا أنه ذُهِل للغاية، لم يحدث شيء له أو لدراجته. على الجانب الآخر، تغيَّرت الصورة من حوله تمامًا. قَصُرت الشوارع، بدأت نوافذ المتاجر تبدو مثل شقوق ضيقة، وأصبح رجل الشرطة عند الركن أنحف إنسان رآه يومًا.

صاح السيد تومبكينز في إثارة: «يا إلهي، إنني أفهم اللغز الآن. من هنا جاءت كلمة «نسبية». يبدو لي أن كل ما يتحرك بالنسبة إليَّ أقصر طولًا، بغض النظر عمن يستخدم البدَّالين!» كان جيدًا في قيادة الدراجات، وقد بذل قصارى جهده ليلحق بالشاب. لكنه اكتشف أن زيادة سرعة هذه الدراجة ليست أمرًا سهلًا على الإطلاق. مهما أدار

البدَّالين بأقصى ما يستطيع، جاءت زيادة السرعة بمقدارٍ ضئيلٍ للغاية، يكاد يُهمَل. بدأت ساقاه تؤلمانه، لكنه لا يزال غير قادر على تجاوز عمود إنارة في الركن بسرعة أكبر من تلك التي بدأ بها. بدا أن كل جهوده التي بذلها لكي يتحرك أسرع، لم تؤدِ إلى أي نتيجة. فهم جيدًا الآن، لماذا لم يستطع راكبا الدراجة وسيارة الأجرة اللذان قابلهما للتوِّ القيام بما هو أفضل، وتذكر كلمات البروفيسور عن استحالة تجاوز حد سرعة الضوء. إلا أنه لاحظ أن طول مباني المدينة تقلَّص أكثر وأكثر، وأن راكب الدراجة أمامه لا يبدو بعيدًا الآن. لحق براكب الدراجة عند المنعطف الثاني، وعندما صارا يقودان الدراجتَين جنبًا إلى جنب لوهلة، اندهش حين رأى راكب الدراجة طبيعيًّا تمامًا، شابًّا رياضيًّا. استنتج: «أوه، ذلك بالتأكيد لأننا لا نتحرك بالنسبة إلى أحدنا الآخر».

توجَّه إلى الشاب. قال: من فضلك يا سيدي! ألا تجد أنه من المتعب أن تعيش في مدينة لها مثل هذا الحد الصغير للسرعة؟

ردَّ الشاب في دهشة: حد للسرعة؟ ليس لدينا أي حدٍّ للسرعة هنا. يمكنني الذهاب حيثما أشاء بالسرعة التي أريدها، أو على الأقل أستطيع ذلك إذا كنت أملك دراجة بخارية بدلًا من تلك الدراجة العتيقة عديمة النفع!

قال السيد تومبكينز: لكنك كنت تتحرك ببطء شديد عندما مررتَ بي منذ لحظات. لقد ركزت نظري عليك.

قال الشاب في استياء: أوه، هل قمت بذلك حقًّا؟ أظن أنك لم تلاحظ أننا مررنا بخمسة مبانٍ منذ توجهت بالحديث إليَّ في البداية، أليس ذلك سريعًا بما يكفي لك؟

جادله السيد تومبكينز: ولكن الشارع يصير أقصر.

«وما الفارق بأي حال، سواء تحركنا أسرع أو صارت الشوارع أقصر؟ يتوجب عليَّ أن أعبر عشرة مبان كي أصل إلى مكتب البريد، وعندما أحرك البدَّالين بحمية أكبر، يتقلص طول المباني، وأصل إلى مقصدي أسرع». قال الشاب وهو ينزل من فوق دراجته، «في الحقيقة، ها نحن قد وصلنا».

نظر السيد تومبكينز إلى ساعة مكتب البريد، أشارت إلى الخامسة والنصف. ألمح في انتصار: حسنًا! لقد استغرقت نصف الساعة لكي تعبر عشرة مبانٍ، عندما رأيتك في البداية أشارت الساعة إلى «الخامسة تمامًا!».

سأل رفيقه: «وهل شعرت بنصف الساعة تلك؟» اتفق معه السيد تومبكينز على أن النصف ساعة مرَّت به كأنها دقائق معدودة. علاوة على ذلك، عندما نظر إلى ساعة يده وجد أنها تشير إلى الخامسة وخمس دقائق. قال: أوه! هل تُسرع ساعة مكتب البريد؟

«تُسرع بالتأكيد، أو تُبطئ ساعتك كثيرًا، لأنك تحركت بسرعة كبيرة. ماذا بك، على أي حال؟ هل هبطت من القمر؟» دخل الشاب مكتب البريد.

بعد هذه المحادثة، أدرك السيد تومبكينز كم هو سيئ الحظ لأنه لا يستطيع الوصول إلى البروفيسور الطاعن في السن ليشرح له كل هذه الأحداث الغريبة. من الواضح أن الشاب مواطن أصلي، اعتاد مثل هذه الأمور من قبل أن يتعلم المشي. لذلك أُجبِر السيد تومبكينز على

استكشاف هذا العالم الغريب بنفسه. وضع ساعته بجوار ساعة مكتب البريد، ولكي يتأكد من أنها تعمل على ما يرام، انتظر عشر دقائق. لم تُبطئ ساعته. استكمل رحلته عبر الشارع، رأى في النهاية محطة السكك الحديدية، وقرر أن يتحقق من ساعته مرة أخرى. اندهش عندما اكتشف أنها أبطأت قليلًا. استنتج السيد تومبكينز: «حسنًا، لا بد أن هذا أحد تأثيرات النسبية كذلك». قرر أن يسأل عن ذلك شخصًا أذكى من الشاب راكب الدراجة.

لاحت له الفرصة سريعًا جدًّا. خرج من القطار سيدٌ مهذبٌ في العقد الخامس من عمره، وبدأ يتحرك نحو المَخرج. قابلته سيدة طاعنة جدًّا في السن، ذُهِل السيد تومبكينز حين وجدها تناديه «جدي العزيز». يفوق هذا طاقة السيد تومبكينز كثيرًا. بدأ حوارًا متذرعًا بالمساعدة في حمل الأمتعة، قال، «اعذراني إذا كنت أقتحم شؤونكما العائلية، ولكن هل أنت بالفعل جد هذه السيدة العجوز اللطيفة؟ فكما تريان، أنا غريب هنا، ولم....»

قال السيد المهذب، وقد اتسعت ابتسامته تحت شاربه: «أوه، أرى ذلك. لعلَّك تظنني «اليهودي التائه» [شخصية أسطورية عن رجلٍ ضرب السيد المسيح فحُكم عليه بأن يهيم على وجهه إلى الأبد في الأرض.] أو شخصًا على هذه الشاكلة. إلا أن المسألة بسيطة تمامًا. يتطلَّب عملي السفر الكثير جدًّا، ونظرًا إلى أنني قضيتُ أغلب حياتي في القطار، يزداد عمري بمعدل أبطأ كثيرًا من أقاربي الذين يعيشون في المدينة. إنني سعيد للغاية لأنني عدت في الوقت المناسب لأجد حفيدتي العزيزة لا تزال حية! ولكن

اعذرني، من فضلك، يجب أن أنصرف إليها وأركب معها التاكسي». أسرع مبتعدًا تاركًا السيد تومبكينز بمفرده مع مشكلاته مرة أخرى. عزَّز «ساندوتشان» تناولهما من «بوفيه» المحطة من قدراته الذهنية، بل بلغ به الحال أن ادَّعى أنه عثر على التناقض في المبدأ الشهير للنسبية.

فكَّر وهو يرتشف قهوته: «نعم، بالتأكيد، إذا كان كل شيء نسبيًّا، فسوف يبدو هذا المسافر إلى أقاربه عجوزًا جدًّا، وسوف يبدون له عجائز جدًّا، على الرغم من أن الجانبَين كليهما قد يكونان صغيرين في السن بوضوح. إلا أن ما أقوله الآن ما هو إلا هراء بالتأكيد: لا يمكن أن يكون للواحد شعر رمادي نسبيًّا!» لذلك قرر أن يحاول لآخر مرة من أجل اكتشاف الكيفية التي تجري بها الأمور فعليًّا، استدار نحو رجلٍ وحيد، يرتدي زي السكك الحديدية، ويجلس في البوفيه.

بدأ حديثه: هل من الممكن أن تتفضَّل وتتعطف وتخبرني مَن المسؤول عن أن ركاب القطار يكبرون في العمر بمعدل أبطأ كثيرًا من الأشخاص الذين يمكثون في مكان واحد؟

قال الرجل ببساطة شديدة: أنا المسؤول عن ذلك.

صاح السيد تومبكينز: أوه! إذن فقد حللت معضلة حجر الفلاسفة [مادة أسطورية اعتقدوا أنها قادرة على تحويل المعادن الرخيصة إلى ذهب وصنع إكسير الحياة] التي شغلت الخيميائيين القدماء. لا بد أنك مشهور جدًّا في العالَم الطبي. هل تشغل كرسي الطب في الجامعة هنا؟

ردَّ الرجل مصدومًا مما قيل: لا، لست إلا أحد عمال المكابح في هذه السكك الحديدية.

صاح السيد تومبكينز، وقد انهارت الأرضية الصلبة التي يقف عليها: عامل مكابح! تقصد عامل مكابح ... تعني أنك لا تفعل شيئًا سوى تشغيل المكابح عندما يصل القطار إلى المحطة؟

«نعم، ذلك ما أفعله: وفي كل مرة يبطئ فيها القطار، يربح الركاب أعمارًا بالنسبة إلى الأشخاص الآخرين». أضاف في تواضع: «وبالتأكيد يؤدي قائد القاطرة الذي يُسَرِّع القطار دوره كذلك».

سأل السيد تومبكينز في دهشة: ولكن ما علاقته ببقاء الركاب شبانًا؟

قال عامل المكابح: حسنًا، لا أعرف بالضبط، ولكن هكذا تجري الأمور. عندما سألت بروفيسورًا جامعيًّا سافر في قطاري ذات مرة، كيف يحدث هذا، بدأ حديثًا طويلًا جدًّا وغير مفهوم، وفي النهاية قال إنه شيء يشبه الانزياح الأحمر الجذبوي عند الشمس – أظن أنه دعاه بهذا الاسم. هل سمعت أي شيء عن هذه الانزياحات نحو الأحمر؟

قال السيد تومبكينز متشككًا بعض الشيء: «لا»، ابتعد رجل المكابح وهو يهز رأسه.

وإذ فجأة هزَّت يدٌ كتفه، اكتشف السيد تومبكينز أنه لا يجلس في مقهى المحطة، بل في كرسي قاعة المحاضرات، التي كان يستمع فيها إلى محاضرة البروفيسور. خفت الضوء وخلت الحجرة. قال الفرَّاش الذي أيقظه: «إننا نُغلق يا سيدي، إذا أردت أن تخلد إلى النوم، من الأفضل أن تذهب إلى البيت». نهض السيد تومبكينز، وبدأ يمشي صوب المَخرج.

2

محاضرة البروفيسور عن النسبية التي تسبَّبت في حلم السيد تومبكينز

السيدات والسادة:

في مرحلة بدائية جدًّا من تاريخ التطور، شَكَّل العقل البشري مفاهيم محددة عن المكان والزمن، واعتبرهما الإطار الذي تقع فيه مختلف الأحداث. حملت هذه المفاهيم أجيالٌ من وراء أجيال على مر الزمن، من دون تغيير جوهري، وقد أُرسيت هذه المفاهيم في أساسات الوصف الرياضي للكون منذ بدأ تطور العلوم المنضبطة. ربما قدَّم **نيوتن** العظيم أول صياغة واضحة للمفاهيم الكلاسيكية للمكان والزمن، كتب في مؤلفه «الأصول»:

«يبقى المكان المطلق في جوهره كما هو دائمًا، ومن دون ارتباط بأي شيء في الخارج». وكذلك: «يتدفق الزمن المطلَق الحقيقي والرياضي في جوهره باطرادٍ من دون أي ارتباطٍ بأي شيء في الخارج».

من الغريب جدًّا الاعتقاد في الصحة المطلَقة لهذه التصورات الكلاسيكية عن المكان والزمن، تَمَسَّك بها الفلاسفة واعتبروها بديهيات، ولم يفكر أحد من العلماء في التشكيك فيها.

على الرغم من ذلك، صار من الواضح في بداية القرن الحالي أن عددًا من النتائج التي حصلنا عليها عن طريق المناهج المنقحة للفيزياء التجريبية، تقود إلى تناقضاتٍ واضحة إذا فُسِّرت ضمن الإطار الكلاسيكي للمكان والزمن. أوحت هذه الحقيقة إلى أحد أعظم العلماء المعاصرين **ألبرت أينشتاين** بفكرة ثورية، تذهب إلى أنه لا تكاد توجد أسباب -باستثناء اتِّباع الموروث- تبرر اعتبار المفاهيم الكلاسيكية عن المكان والزمن صحيحة صحة مطلقة، كما تذهب إلى أن المفاهيم قد تتغيَّر، بل يجب أن تتغير لتناسب تجاربنا الحديثة الأدق. في الحقيقة، صيغت المفاهيم الكلاسيكية للمكان والزمن على أساس الخبرة البشرية بالحياة العادية؛ لذا لا يجب أن نتفاجأ من أن مناهج الرصد المنقحة المعاصرة القائمة على تقنيات تجريبية متطورة للغاية، أشارت إلى أن تلك المفاهيم القديمة غير دقيقة أو منضبطة بتاتًا، أمكن استخدام تلك المفاهيم القديمة في حياتنا العادية، وفي المراحل المبكرة لتطور الفيزياء لا لشيء إلا لأن انحرافها عن المفاهيم الصحيحة كان ضئيلًا بما يكفي. ولا يجب أن نتفاجأ كذلك من أن اتساع مجال استكشافات العلوم المعاصرة قد أوصلنا إلى مناطق، تصبح فيها هذه الانحرافات كبيرة للغاية؛ بحيث لا يمكن استخدام هذه المفاهيم الكلاسيكية على الإطلاق.

تتمثَّل أهم نتيجة تجريبية قادت إلى النقد الجوهري للمفاهيم الكلاسيكية في اكتشاف أن سرعة الضوء في الفراغ تمثِّل الحد الأقصى لكل السرعات الفيزيائية الممكنة. جاء هذا الاستنتاج المهم وغير المتوقع بالأساس من تجارب الفيزيائي الأمريكي **ميكلسون**، الذي حاول في نهاية القرن المنقضي [القرن التاسع عشر] رصد تأثير حركة الأرض في سرعة انتشار الضوء، أصابه الذهول، كما أصاب كل المجتمع العلمي حين اكتشف عدم وجود مثل هذا التأثير، إذ يتبيَّن دائمًا أن سرعة الضوء في الفراغ هي نفسها دائمًا، ولا تعتمد على النظام الذي تُقاس منه أو حركة المصدر الذي يخرج منه الضوء. لا حاجة إلى شرح أن مثل هذه النتائج شاذة للغاية، وتنافي مفاهيمنا الأساسية عن الحركة. في الحقيقة، إذا تحرك شيء بسرعة، وتحركتَ أنتَ كأنك ستلتقي به، سوف يصطدم بك الجسم المتحرك بسرعة نسبية أكبر، مساوية لمجموع سرعتَي الجسم والراصد. على الجانب الآخر، إذا هرعت مبتعدًا عنه، فسوف يضربك من الخلف بسرعة أقل، مساوية للفارق بين السرعتين.

وكذلك، إذا تحركت -فلنقل في عربة- لتلتقي بالصوت الذي ينتشر عبر الهواء، فسوف تكون سرعة الصوت المقاسة في العربة أكبر بمقدار سرعة قيادتك، أو سوف تكون أصغر بما يتناسب مع سرعة قيادتك، إذا كان الصوت يلاحقك. نطلق على ذلك نظرية جمع السرعات، وقد اعتقدوا دائمًا أنها أمر بديهي.

مع ذلك، أشارت التجارب المتقنة إلى أن هذا الأمر لم يعُد صحيحًا في حالة الضوء، تبقى سرعة الضوء في الفراغ ثابتة دائمًا، وتساوي

300,000 كم لكل ثانية (نشير إليها عادة بالرمز c)، وذلك بغض النظر عن السرعة التي يتحرك بها الراصد نفسه.

سوف تقول: نعم، ولكن هل من الممكن إنشاء سرعة تفوق سرعة الضوء عن طريق جمع سرعات صغيرة عديدة، يمكن الحصول عليها فيزيائيًّا؟

على سبيل المثال، من الممكن أن نتخيل قطارًا يتحرك بسرعة كبيرة للغاية، فلنقل ثلاثة أرباع سرعة الضوء، ومتشردًا يركض على طول سطح العربات بسرعة تقدَّر بثلاثة أرباع سرعة الضوء.

بحسب نظرية الجمع، يجب أن تكون السرعة الكلية مرة ونصفًا قدر سرعة الضوء، ويستطيع المتشرد الراكض أن يتجاوز شعاع الضوء الصادر من مصباح إشارة. إلا أن ثبات سرعة الضوء حقيقة تجريبية، وبالتالي يجب أن تكون السرعة الناتجة في حالتنا أقل مما نتوقع – يستحيل أن تتعدى السرعة الحرجة c، وهكذا نستنتج أن النظرية الكلاسيكية للجمع خاطئة بالنسبة إلى السرعات الأقل كذلك.

تقود المعالجة الرياضية للمسألة -التي لا أريد الدخول في تفاصيلها هنا- إلى معادلة جديدة بسيطة جدًّا لحساب السرعة الناتجة عن حركات متراكبة.

إذا كانت v_1 و v_2 هما السرعتين المجموعتين، فستكون السرعة الناتجة عن ذلك:

$$V = \frac{v_1 \pm v_2}{\mathrm{I} \pm \frac{v_1 v_2}{c^2}} \qquad (1)$$

ترى من هذه المعادلة أن السرعتين الأصليتين إذا كانتا صغيرتين، أعني صغيرتين بالمقارنة بسرعة الضوء، فمن الممكن إهمال الحد الثاني في مقام المعادلة (1) أمام الواحد الصحيح، وهكذا تحصل على النظرية الكلاسيكية لجمع السرعات. مع ذلك إذا لم تكن v_1 و v_2 سرعتين صغيرتين، نجد أن النتيجة أصغر دائمًا من المجموع الحسابي للسرعتين. في مثالنا الذي تخيلنا فيه متشردًا يركض على سطح القطار نجد أن $v_1 = 3/4\ c$ و $v_2 = 3/4\ c$ وتشير معادلتنا إلى أن السرعة الناتجة $V = 24/25\ c$ وهي لا تزال أقل من سرعة الضوء.

ثمة حالة خاصة، عندما تكون إحدى السرعتين الابتدائيَّتين c، تشير المعادلة (1) إلى أن السرعة الناتجة تساوي c بغض النظر عن مقدار السرعة الثانية. وهكذا، مهما رَكَّبنا السرعات بعضها فوق بعض، يستحيل أن نتجاوز سرعة الضوء.

قد تهتم كذلك بمعرفة أن هذه المعادلة ثبتت تجريبيًّا، ووجدنا بالفعل أن السرعة الناتجة عن سرعتين تكون أصغر دائمًا -بصورة ما- من مجموعهما الحسابي.

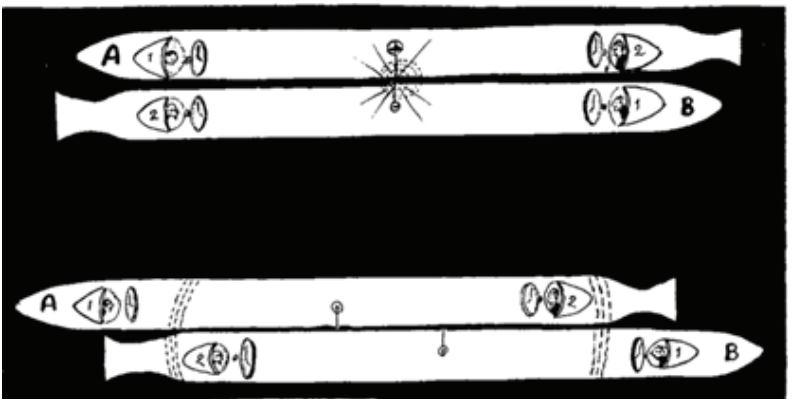
وبعد أن أدركنا وجود سرعة الحد الأقصى، يمكننا أن نبدأ في نقد التصورات الكلاسيكية عن المكان والزمن، لنوجه أول ضرباتنا إلى مفهوم التزامن القائم على تلك التصورات.

عندما تقول إن: «الانفجار في المناجم بالقرب من كيب تاون حدث في اللحظة نفسها تمامًا التي قُدِّم فيها البيض ولحم الخنزير في شقتك في لندن» تظن أنك تعرف ما تقصده. سوف أوضح لك -على الرغم من ذلك- أنك لا تعرف، وأن هذه الجملة لا تحمل معنى محددًا. في الحقيقة، ما الوسيلة التي قد تستخدمها لتتحقق مما إذا كان حدثان في مكانين مختلفين متزامنَين أم لا؟ قد تقول إن الساعتين في المكانين كليهما يشيران إلى الوقت نفسه، ولكن يبزغ بعدئذٍ سؤال، كيف تضبط الساعتين المتباعدتين بحيث يشيران إلى الوقت نفسه في تزامن، وها نحن من جديد أمام السؤال الأصلي مرة أخرى.

بما أن استقلال سرعة الضوء في الفراغ عن حركة مصدره أو عن النظام الذي تُقاس فيه هو إحدى الحقائق التجريبية الثابتة تمامًا، يجب اعتبار الوسائل اللاحقة لقياس المسافات وضبط الساعات بدقة في محطات رصدية مختلفة أمرًا نسبيًّا تمامًا، ستوافق على أن ذلك هو المنهج الوحيد المعقول بعد إمعان التفكير في الأمر.

تُرسَل إشارة ضوئية من المحطة A، وفور استقبالها في المحطة B، تُعاد إلى A مرة أخرى. نُعَرِّف المسافة بين A وB على أنها نصف الزمن المُسجَّل عند المحطة A بين إرسال الإشارة وعودتها، مضروبًا في السرعة الثابتة للضوء.

يُقال إن الساعتين في المحطتين A وB مضبوطتان بدقة إذا أشارت الساعة الموجودة في B عند لحظة وصول إشارة الضوء إليها، إلى متوسط الزمنَين المسجَّلين في A في لحظتَي إرسال واستقبال الإشارة.



منصتان طويلتان تتحركان في اتجاهين مختلفين

نصل أخيرًا إلى الإطار المرجعي المطلوب باستخدام هذه الوسيلة للربط بين محطتين رصديتين مختلفتين مثبتتين على جسم صلب، ويمكننا إجابة أسئلة تتعلق بالتزامن بين حدثين يقعان في مكانين مختلفين أو بالفترة الزمنية الفاصلة بينهما.

ولكن هل يستدل الراصدون في أنظمة أخرى على هذه النتائج نفسها؟ لكي نجيب عن هذا السؤال دعنا نفترض أن إطارَي الإسناد هذين قائمان على جسمَين صلبَين مختلفَين، فلنقل صاروخَا فضاء يتحركان بسرعة ثابتة في اتجاهين مختلفين، والآن دعنا نرى كيف يتوافق الإطاران معًا. افترض أن أربعة راصدين متموضعون في مقدمة ومؤخرة الصاروخين ويريدون أولًا وقبل كل شيء ضبط ساعاتهم بدقة. يمكن لكل زوجين من الراصدين أن يستخدما على صاروخهما تعديلًا للوسيلة المذكورة سابقًا عن طريق إرسال إشارة ضوئية من منتصف

الصاروخ (حسبما قيس بعصا قياس) وضبط نقطة الصفر على ساعتَيهما عندما تصل الإشارة القادمة من منتصف الصاروخ إلى نهايتَي الصاروخ [المقدمة والمؤخرة]. وهكذا أسس كلٌّ زوجين من الراصدين الأربعة لمعيار التزامن في نظامهما الخاص، وضبطا ساعتيهما بشكل صحيح من منظورهما بالتأكيد وفق التعريف السابق.

قرَّرا بعدئذٍ أن يريا إذا كانت القراءات الزمنية على صاروخهما تتوافق مع القراءات على الصاروخ الآخر. على سبيل المثال، هل تشير ساعتان لراصدين على صاروخين مختلفين إلى الوقت نفسه، عندما يمر أحدهما بالآخر؟ من الممكن اختبار هذا من خلال الوسيلة اللاحقة: ثبَّتوا في المنتصف الهندسي لكل صاروخ من الصاروخين موصلًا مشحونًا كهربيًّا، بحيث تقفز شرارة بين الموصلين، عندما يمر الصاروخان أحدهما بالآخر، وتنطلق الإشارتان الضوئيتان بالتزامن من منتصف كل منصة نحو مقدمتها ومؤخرتها. عند وصول إشارتَي الضوء اللتين تسافران بسرعة محددة مقتربة من الراصدين، يكون الصاروخان قد غيَّرا من وضعهما النسبي، ويصبح الراصدان في 2A و2B أقرب إلى مصدر الضوء من الراصدين في 1A و1B.

من الواضح أن الراصد 1A سوف يكون أبعد إلى الخلف عندما تصل إشارة الضوء إلى الراصد في 2A، وبالتالي تستغرق الإشارة وقتًا إضافيًّا لكي تصل إليه. وهكذا، إذا ضُبِطت الساعة في 1B بحيث تشير إلى الصفر عند وصول الإشارة، فسوف يصر الراصد في 2A على أن ذلك متأخر عن الوقت الصحيح.

في الوقت نفسه، يستنتج راصد آخر، ذلك الذي في 1A، أن الساعة في 2B التي استقبلت الإشارة قبله، متقدمة عن الوقت الصحيح. وبما أن ساعتيهما مضبوطتان بشكلٍ صحيحٍ بحسب تعريفهما للتزامن، سوف يتفق الراصدان على الصاروخ A على وجود اختلاف بين ساعتَي الراصدَين على الصاروخ B. إلا أننا لا يجب أن ننسى أن الراصدَين على الصاروخ B سوف يعتبران أن ساعتيهما مضبوطتان بشكلٍ صحيحٍ للأسباب نفسها تمامًا، لكنهما سوف يدَّعيان أن ثمة اختلافًا في ضبط الساعتين على الصاروخ A.

ونظرًا إلى أن الصاروخين متكافئان تمامًا، يمكن فض هذه المشاحنة بين مجموعتَي الراصدين بأن نقول إن المجموعتين كلتيهما على صوابٍ، كل واحدة من منظورها، لكن التساؤل عمن فيهما على صواب، لا معنى فيزيائيًّا له.

أخشى أن أكون قد أرهقتكم بهذه التأملات، لكنكم إذا تتبعتموها بعناية، فسوف يتضح لكم أن مفهوم التزامن المطلَق يتلاشى فور تبني وسيلتنا لقياس الزمان – مكان [الزمكان]، وأن حدثين في مكانين مختلفين يعتبران متزامنين في أحد أنظمة الإسناد، تفصل بينهما فترة زمنية مؤكدة من منظور نظام آخر.

تبدو هذه الأطروحة شاذة تمامًا في البداية، ولكن هل تبدو لك شاذة إذا قلت، إنك حين تناولت عشاءك على قطار، شربت شوربتك وأكلت وجبتك الخفيفة في الموضع نفسه من غرفة الطعام، لكنك فعلت ذلك في موضعَين متباعدين كثيرًا على مسار السكك الحديدية؟ مع ذلك،

من الممكن صياغة هذه الإفادة بخصوص عشائك في القطار عن طريق أن تقول إن حدثين يقعان في زمنين مختلفين في الموضع نفسه لأحد أنظمة الإسناد، تفصلهما مسافة مكانية من منظور نظام آخر. إذا قارنت هذه الأطروحة «البسيطة» بالأطروحة السابقة «المتناقضة»، ترى أنهما متماثلتان تمامًا، ومن الممكن تحويل إحداهما إلى الأخرى ببساطة عن طريق تبديل كلمتَي «الزمن» و«المكان».

ها هو المغزى الكامل لمنظور أينشتاين: بينما اعتُبِر الزمن في الفيزياء الكلاسيكية مستقلًّا تمامًا عن المكان والحركة «يتدفق... باطرادٍ من دون أي ارتباط بأي شيء بالخارج» (نيوتن)، يرتبط المكان والزمن بصلة وثيقة في الفيزياء الحديثة، ولا يمثِّلان إلا مقطعين عرضيين مختلفين في «المتصل الزمكاني المتجانس» الذي تقع فيه كل الأحداث القابلة للرصد. إن تقسيم هذا المتصل رباعي الأبعاد إلى ثلاثة أبعاد مكانية وبُعدٍ زمني واحد اعتباطي تمامًا، ويعتمد على النظام الذي تُجرى الأرصاد منه.

إذا فصلت مسافة l مكانيًّا بين حدثَين وفصلت بينهما زمنيًّا الفترة t عند رصدهما في أحد الأنظمة، فإنه تفصل بينهما مسافة أخرى l' وفترة زمنية أخرى t' عند النظر إليهما من نظام آخر، على ذلك من الممكن أن يتحدث الواحد بطريقة ما عن تحول المكان إلى زمن والعكس بالعكس. كذلك، من غير العسير رؤية السبب الذي يجعل تحوُّل الزمن إلى مكان -كما في مثال تناول العشاء في القطار- مفهومًا معتادًا تمامًا بالنسبة إلينا، في حين يبدو تحول المكان إلى زمن -الذي

يؤدي إلى نسبية التزامن- شاذًّا تمامًا. المغزى أننا إذا قسنا المسافتين، فلنقل «بالسنتيمترات»، يجب ألا تكون وحدة الزمن المقابلة «الثانية» المعتادة، بل «وحدة زمنية نسبية»، تمثِّلها الفترة الزمنية اللازمة للإشارة الضوئية لتعبر مسافة مقدارها سنتيمتر واحد، أي، 0.000,000,000,03 ثانية.

لذلك، يؤدي تحوُّل المسافات المكانية إلى فتراتٍ زمنية في محيط خبراتنا العادية إلى نتائج غير قابلة للرصد عمليًّا، تبدو كأنها تدعم المنظور الكلاسيكي الذي يرى الزمن مستقلًّا تمامًا وثابتًا.

ولكن عند دراسة حركات لها سرعات كبيرة جدًّا، مثل حركة الإلكترونات المندفعة من أجسامٍ نشِطة إشعاعيًّا أو حركة الإلكترونات داخل ذرة، حيث تكون المسافة المقطوعة في فترة زمنية محددة من الرتبة نفسها التي للزمن الذي تُعبِّر عنه الوحدات النسبية، يلتقي الواحد بالضرورة بكلا التأثيرين المشار إليهما سابقًا، وتصير نظرية النسبية ذات أهمية عظيمة. بل يمكن رصد التأثيرات النسبوية في مناطق ذات سرعاتٍ صغيرة نسبيًّا، مثل حركة الكواكب في نظامنا الشمسي، بسبب الدقة الشديدة للقياسات الفلكية؛ إذ يتطلَّب رصد التأثيرات النسبوية قياس تغيُّرات الحركة الكوكبية المقدَّرة بجزءٍ من الثانية الزاوية في السنة.

حاولت أن أشرح لك، أن نقد مفهومَي المكان والزمن يؤدي إلى استنتاجٍ أن المسافات المكانية يمكن تحويلها جزئيًّا إلى فتراتٍ زمنية والعكس بالعكس، وهو ما يعني أن القيمة العددية لمسافة ما أو فترة زمنية ما تختلف إذا قيست من أنظمة متحركة مختلفة.

يؤدي تحليل رياضي بسيط نسبيًّا لهذه المسألة –وهو التحليل الذي لا أريد الدخول فيه في هذه المحاضرات– إلى معادلة محدَّدة لتغيُّر هذه القيم. تشير إلى أن أي جسم طوله l يتحرك بالنسبة إلى الراصد بسرعة v، سوف يقل طوله بمقدارٍ يعتمد على سرعته، وسوف يكون طوله المُقاس،

$$l' = l \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \qquad (2)$$

بالمثل، فإن أي عملية تستغرق وقتًا t تُرصَد من النظام الذي يتحرك نسبيًّا كأنها تستغرق وقتًا أطول t'، نحصل عليه كالتالي:

$$t' = \frac{t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad (3)$$

هذا هو «انكماش المكان» و«تمدد الزمن» الشهيران في نظرية النسبية.

في المعتاد، عندما تكون v أقل كثيرًا من c تصبح التأثيرات صغيرة جدًّا، ولكن فيما يتعلق بالسرعات الكبيرة بما يكفي، تصير الأطوال المرصودة من نظامٍ متحركٍ أقصر بصورة طاغية، وتصير الفترات الزمنية أطول بصورة طاغية.

أريدك ألَّا تنسى أن التأثيرَين كليهما نظامان متماثلان تمامًا؛ إذ بينما يتساءل الركاب على قطار يتحرك بسرعة لماذا يبدو الناس على

متن القطار الواقف نحفاء ويتحركون ببطء، يتراءى للركاب على متن القطار الواقف الأمر نفسه بخصوص الناس على متن القطار المتحرك.

تتصل نتيجة أخرى مهمة لوجود السرعة القصوى الممكنة بكتلة الأجسام المتحركة.

تُحَدِّد كتلة جسم -وفق الأساس العام للميكانيكا- الصعوبة في دفعه إلى التحرك أو في تسريع الحركة الموجودة بالفعل، كلما زادت الكتلة، أصبحت زيادة السرعة أصعب.

يستحيل أن يتجاوز أي جسم تحت -أي ظرف- سرعة الضوء، يقودنا ذلك مباشرة إلى استنتاج أن مقاومة الجسم للمزيد من التسارع -بمعنى آخر كتلته- تزداد بالتأكيد بلا حدود عندما تقترب سرعته من سرعة الضوء. يقود التحليل الرياضي إلى معادلة خاصة بهذا الارتباط، تناظر المعادلتين (2) و(3). إذا كانت m_0 هي الكتلة عند سرعات ضئيلة جدًّا، نحصل على الكتلة عند السرعة v عن طريق المعادلة التالية:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad (4)$$

وتصير مقاومة المزيد من التسارع لا نهائية عندما تقترب v من c.

من الممكن رصد هذا التأثير للتغير النسبوي للكتلة تجريبيًّا بسهولة على الجسيمات المتحركة بسرعة كبيرة للغاية. على سبيل المثال، كتلة الإلكترونات المنبعثة من الأجسام النشطة إشعاعيًّا (بسرعة تقدَّر

بـ 99٪ من سرعة الضوء) أكبر بمراتٍ عديدة من كتلتها، وهي في حالة سكون، وكتل الإلكترونات التي تشكِّل ما يطلَق عليه الأشعة الكونية تتحرك بسرعة تقدَّر بـ 99.98٪ من سرعة الضوء، أكبر بـ 1000 مرة. تصبح الميكانيكا الكلاسيكية عند تلك السرعات غير قابلة للتطبيق مطلقًا، وندخل في النطاق الصرف للنظرية النسبية.

3

السيد تومبكينز في إجازة

استمتع السيد تومبكينز بمغامراته في المدينة النسبوية، لكنه أَسِف لأن البروفيسور لم يكن بصحبته ليفسر له الأشياء الغريبة التي لاحظها: أرَّقه على وجه الخصوص اللغز المتعلق بقدرة عامل مكابح السكك الحديدية على منع الركاب من التقدم في العمر. ذهب إلى فراشه في ليالٍ عديدة على أمل أن يرى هذه المدينة المثيرة مرة أخرى، لكن أحلامه كانت نادرة ومزعجة في أغلب الأحيان، حلم في آخر مرة بمدير البنك يطرده بسبب اللا يقين الذي أدخله في الحسابات البنكية... لذلك قرر أن من الأفضل أن يذهب في إجازة، ويغادر لمدة أسابيع إلى مكان على البحر. هكذا وجد نفسه جالسًا في مقصورة بقطار، ينظر عبر النافذة إلى الأسطح الرمادية لضواحي المدينة التي تحوَّلت -تدريجيًّا- إلى مروج ريفية خضراء. التقط صحيفة، وحاول دفع نفسه إلى الاهتمام بأمر الصراع في فيتنام؛ إلا أن الأخبار كلها بدت مضجرة، هدهدته عربة السكك الحديدية بلطف.

عندما أنزل الصحيفة، ونظر عبر النافذة إلى الخارج مرة أخرى، تغيَّر المشهد بصورة ملفتة. بدت أعمدة التلغراف قريبة جدًّا بعضها من بعض كأنها سياج، وقمم الأشجار رفيعة جدًّا أشبه بشجر سرو البحر المتوسط.

يجلس قبالته صديقه القديم البروفيسور، ينظر عبر النافذة في اهتمام كبير. دخل على الأغلب في أثناء انشغال السيد تومبكينز بصحيفته.

قال السيد تومبكينز: إننا في أرض النسبية، ألسنا كذلك؟

صاح البروفيسور: آه! إنك تعرف الكثير حقًّا! أين تعلمت هذا؟

«لقد جئت إلى هنا مرة من قبل، لكنني لم أحظَ ببهجة صحبتك وقتئذٍ».

قال العجوز: إذن قد تكون مرشدي هذه المرة.

ردَّ السيد تومبكينز في حسم: يجب أن أقول لا. رأيت الكثير من الأشياء الشاذة، ولكنَّ السكان المحليين الذين تحدثت إليهم لم يفهموا ما يزعجني على الإطلاق.

قال البروفيسور: طبيعي تمامًا. وُلِدوا في هذا العالم، ويعتبرون كل الظواهر التي تحدث من حولهم بديهية تمامًا، ولكنني أتوقع أنهم سيتفاجؤون تمامًا لو صادف وذهبوا إلى العالم الذي تعتاد العيش فيه. سوف يبدو مميزًا جدًّا بالنسبة إليهم.

قال السيد تومبكينز: هلا لي أن أطرح سؤالًا؟ في آخر مرة كنت فيها هنا، التقيت عامل مكابح في السكك الحديدية، أصر على أن الركاب يزدادون في العمر أبطأ من الناس في المدينة بسبب توقف القطار وانطلاقه مرة أخرى. هل هذا سحر، أم أمر يتسق مع العلم الحديث؟

قال البروفيسور: لا يوجد أي عذر يسمح بطرح السحر كتفسير. يتبع هذا الأمر قوانين الفيزياء مباشرة. أوضحه أينشتاين، فوفق أسس تحليله

لمفاهيم المكان والزمن الجديدة (أم يجب أن أقول القديمة بالنسبة إلى العالم ولكنها مكتَشفة حديثًا)، تُبطئ كل العمليات الفيزيائية عندما يغير النظام الذي تحدث تلك العمليات فيه من سرعته. تكون هذه التأثيرات في عالمنا صغيرة، تكاد لا تُلاحَظ، ولكن التأثيرات هنا واضحة جدًّا في العادة، بسبب صِغَر سرعة الضوء. إذا حاولت -على سبيل المثال- أن تسلق بيضة هنا، وبدلًا من أن تترك القدر ساكنًا على الموقد، حركته إلى الأمام وإلى الخلف، مَغَيِّرًا من سرعته باستمرار، فلن يستغرق سلق البيضة جيدًا خمس دقائق بل ستًّا. كما تُبطئ كل عمليات الجسد البشري كذلك، إذا جلس الشخص (على سبيل المثال) في كرسي هزاز أو في قطار يغيِّر من سرعته، نعيش حياة أبطأ في تلك الظروف. بسبب تباطؤ كل العمليات بالقدر نفسه، يُفضِّل الفيزيائيون أن يقولوا إن الزمن في نسقٍ غير منتظم الحركة يتدفق بصورة أبطأ.

«ولكن هل يرصد العلماء بالفعل مثل هذه الظواهر في عالمنا الذي نسكنه؟»

«يفعلون، لكن يحتاج الأمر إلى مهارة كبيرة. من الصعب عمليًّا الحصول على التسارع اللازم، لكن الظروف الموجودة في نسقٍ غير منتظم الحركة تناظر -أم يجب أن أقول تماثل- عمل القوى الجذبوية الكبيرة جدًّا. لعلك لاحظت ذلك عندما تكون في مصعد، يزيد من سرعته إلى الأعلى، يبدو لك كأنك تزداد في الوزن، على العكس من ذلك إذا بدأ المصعد ينزل (تدرك ذلك على النحو الأفضل إذا انقطع الحبل) تشعر كأنك تفقد الوزن. يكمن التفسير في أن المجال الجذبوي

الذي يخلقه التسارع يُضاف إلى جاذبية الأرض أو يُطرح منها. حسنًا، إن جهد الجاذبية على الشمس أكبر كثيرًا مما هو على سطح الأرض، ولذلك يجب أن تتباطأ كل العمليات هناك. يرصد الفلكيون هذا».

«لكنهم لا يستطيعون الوصول إلى الشمس لكي يرصدوا ذلك؟»

«ليسوا في حاجة إلى الذهاب إلى هناك. يرصدون الضوء القادم نحونا من الشمس. ينبعث هذا الضوء عن طريق تذبذب الذرات المختلفة في الغلاف الشمسي. إذا أبطأت كل العمليات هناك، تتباطأ سرعة التذبذبات الذرية، وعن طريق مقارنة الضوء المنبعث من مصدر شمسي وذلك المنبعث من مصدر أرضي، يمكن للواحد أن يرى الفارق» قاطع البروفيسور نفسه: «بالمناسبة، هل تعرف ما اسم هذه المحطة الصغيرة التي نمر بها الآن؟»

أخذ القطار يمر برصيف محطة ريفية صغيرة خالية تمامًا باستثناء ناظر المحطة وحمَّال شاب جالس على عربة أمتعة يقرأ صحيفة. وإذ فجأة رفع ناظر المحطة يديه وسقط على وجهه. لم يسمع السيد تومبكينز صوت ضرب النار؛ إذ ربما أخفته ضوضاء القطار، إلا أن بركة الدماء التي تكونت حول جسد ناظر المحطة لم تترك مجالًا للشك. جذب البروفيسور من فوره حبل الطوارئ وتوقف القطار مع وثبة. عندما خرجا من المقصورة، كان الحمَّال الشاب يجري نحو الجسد، وكان شرطي البلدة يقترب.

قال الشرطي بعد أن ألقى نظرة على الجسد: «اخترقت الرصاصة القلب» وضع يدًا ثقيلة فوق كتف الحمَّال، واستكمل حديثه: ألقي القبض عليك بتهمة قتل ناظر المحطة.

صرخ الحمَّال التعيس: لم أقتله، كنت أقرأ الجريدة عندما سمعت إطلاق النار. من المحتمل أن هذين السيدين من القطار شاهدا كل ما حدث وقد يشهدان ببراءتي.

قال السيد تومبكينز: نعم، رأيت بأم عينَي هذا الرجل يقرأ صحيفته عند إطلاق النار على ناظر المحطة. من الممكن أن أُقسم على الإنجيل.

قال الشرطي بنبرة سلطوية: «لكنك كنت في قطار متحرك، وبالتالي لا يُعد ما رأيته دليلًا على الإطلاق. فمن الرصيف قد نرى الرجل يطلق النار في اللحظة نفسها. ألا تعرف أن التزامن يعتمد على النظام الذي ترصد منه؟» التفت إلى الحمَّال: «تعالَ معي بهدوء».

قاطعه البروفيسور: اعذرني، سيدي الشرطي، لكنك مخطئ بالتأكيد، ولا أظن أنهم سيعجبون بجهلك في القيادة العليا. من الصحيح بالتأكيد أن مفهوم التزامن نسبي تمامًا في بلدتك. ومن الصحيح كذلك أن حدثين في مكانين مختلفين قد يكونان متزامنين أو لا، بناء على حركة الراصد. ولكن في بلدتك نفسها، لا يمكن لراصدٍ أن يرى النتيجة قبل السبب. لم تستقبل يومًا تلغرافًا قبل إرساله، أليس كذلك؟ أو ثملت قبل أن تفتح الزجاجة؟ وكما فهمت منك، تفترض أننا قد نرى إطلاق النار متأخرًا كثيرًا عن تأثيره بسبب حركة القطار، وعندما خرجنا من القطار في التو رأينا ناظر المحطة يسقط، وما زلنا لم نرَ إطلاق النار نفسه. أعرف أنهم علَّموك في الشرطة أن تُصَدِّق في المكتوب في تعليماتك فقط، ولكن فلتنظر فيها؛ إذ ربما تجد شيئًا عن ذلك.

أثَّرت نبرة البروفيسور في رجل الشرطة، أخرج كُتيب التعليمات

من جيبه، وبدأ يتصفَّحه ببطء. وسرعان ما ارتسمت ابتسامة إحراج على وجهه الكبير المحمر.

قال: ها هي. الباب 37، القسم 12 الفقرة هـ: «أي دليل جازم على رؤية المتهم من نظام متحرك -أيًّا ما كان- في مكان آخر في لحظة وقوع الجريمة أو خلال فترة زمنية ± cd (حيث c الحد الطبيعي للسرعة و d المسافة من موقع الجريمة، يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار ويعتبر ذريعة في صالح المتهم».

قال للحمَّال: «أنت حر أيها الرجل الصالح» ثم التفت إلى البروفيسور: «شكرًا لك يا سيدي، لأنك أنقذتني من مشكلة مع القيادة العليا. إنني جديد في قوة الشرطة، ولم أعتد بعد كل هذه القواعد. لكنني يجب أن أُبلِّغ بالقتل على أي حال» سار نحو كابينة التليفون. بعد دقيقة، صاح عبر الرصيف: «كل شيء على ما يرام الآن! أمسكوا بالقاتل الحقيقي، في أثناء هروبه من المحطة. شكرًا لك مرة أخرى!».

قال السيد تومبكينز عندما تحرك القطار مرة أخرى: قد أكون غبيًّا جدًّا، ولكن ما كل هذا الذي يدور في شأن التزامن؟ وهل هو بلا معنى بالفعل في هذه البلدة؟

جاءته الإجابة: «بل له معنى، ولكن ضمن حدود معينة، بغير ذلك، لم أكن لأستطيع مساعدة الحمَّال على الإطلاق. كما ترى، ثمة حد طبيعي لسرعة حركة أي جسم أو انتشار أي إشارة، يجعل التزامن بحسب فهمنا المعتاد للكلمة يفقد معناه. قد ترى الأمر بصورة أسهل بهذه الطريقة. افترض أن لديك صديقًا يعيش في مدينة بعيدة،

تتواصل معه عن طريق الخطابات، إذ إن قطار البريد هو أسرع وسيلة اتصال. افترض أن شيئًا حدث لك يوم الأحد، وأنك عرفت أن الشيء نفسه سوف يحدث لصديقك. من الواضح أنك لا تستطيع أن تجعله يتصرف حيال الأمر قبل يوم الأربعاء. على الجانب الآخر، إذا عرف هو مسبقًا عن الشيء الذي سيحدث لك، فإن آخر يوم لكي يخبرك عن الأمر الخميس السابق. وهكذا، لا يستطيع صديقك أن يؤثر في قدرك يوم الأحد أو أن يعرف عنه، لمدة ست أيام من الخميس حتى الأربعاء. من منظور السببية، يمكننا أن نقول إنه حُرِم من الاتصال بك لمدة ستة أيام».

اقترح السيد تومبكينز: «وماذا عن التلغراف؟

«حسنًا، لقد سَلَّمت بأن سرعة قطار البريد هي أقصى سرعة ممكنة، وهو الأمر الصحيح في هذه البلدة. أما حيث نسكن، فإن سرعة الضوء هي الحد الأقصى للسرعة، ولا يمكنك أن ترسل إشارة أسرع منها عن طريق الراديو».

قال السيد تومبكينز: لكن حتى لو استحال تجاوز سرعة قطار البريد، فما علاقة ذلك بالتزامن؟ ما زال في إمكاننا أنا وصديقي تناول وجبات العشاء أيام الآحاد في تزامن، أليس كذلك؟

«لا، لن يكون لهذه الجملة أي معنى حينئذٍ، سوف يوافق أحد الراصدين على ذلك، ولكنْ ثمة آخرون يجرون أرصادهم من قطارات مختلفة، سيصرون على أنك تناولت عشاءك يوم الأحد في الوقت نفسه الذي تناول فيه صديقك إفطار يوم الجمعة أو غذاء الثلاثاء، ولكن

لا يمكن بأي حالٍ أن يرصدكما أي شخص وأنتما تتناولان وجبتَين متزامنتين يفصل بينهما ما يزيد على الثلاثة أيام».

صاح السيد تومبكينز في ذهول: ولكن كيف قد يحدث هذا كله؟

«بطريقة سهلة جدًّا، لعلك لاحظتها من محاضراتي. يجب أن يبقى الحد الأعلى للسرعة هو نفسه عند رصده من أنظمة متحركة مختلفة. إذا قبلنا بهذا يجب أن نستنتج...»

ولكن قاطع محادثتهما وصول القطار إلى المحطة التي يجب أن يغادره فيها السيد تومبكينز.

نزل السيد تومبكينز من القطار ليتناول إفطاره في الشرفة الزجاجية الطويلة للفندق، انتظرته مفاجأة عظيمة صبيحة اليوم التالي ليوم وصوله إلى ساحل البحر. جلس البروفيسور العجوز إلى طاولة في الركن المقابل ومعه فتاة جميلة تخبره بشيء ما في ابتهاجٍ، وتنظر في اتجاه الطاولة التي يجلس إليها السيد تومبكينز.

فكر السيد تومبكينز: «أظن أنني ظهرت في مظهر غبي جدًّا عندما نمت في القطار» ازداد غضب السيد تومبكينز من نفسه أكثر وأكثر. «وربما لا يزال البروفيسور يتذكر سؤالي الغبي الذي طرحته عليه عن أولئك الذين يبدون صغارًا في السن. إلا أن ذلك يمنحني على الأقل فرصة أن أتعرف عليه بشكل أفضل، وأن أسأله عن أشياء ما زلت لا أفهمها» لم يعترف ولو بينه وبين نفسه أن التحاور مع البروفيسور لم يكن الشيء الوحيد الذي يفكر فيه.

قال البروفيسور وهم يغادرون غرفة الطعام: أوه، نعم، نعم، أظن أنني أتذكر أني رأيتك في محاضراتي. هذه ابنتي، مود. تدرس فن الرسم.

قال السيد تومبكينز: «سعيد جدًّا بلقائك آنسة مود» فكر في أن هذا الاسم هو أفضل اسم سمعه يومًا. «أعتقد أن المناظر الطبيعية المحيطة سوف تمنحك مادة لرسومك».

قال البروفيسور: سوف تريك رسومها في وقت ما، ولكن أخبرني، هل استوعبت الكثير من الاستماع إلى محاضرتي؟

«أوه، نعم، استوعبت الكثير للغاية – وفي الحقيقة اختبرت بنفسي كل هذه الانكماشات النسبوية للأجسام المادية والسلوك المجنون للساعات عندما زرت مدينة، فيها سرعة الضوء عشرة أميال في الساعة تقريبًا فقط».

قال البروفيسور: إذن من المؤسف أنك فَوَّت محاضرتي التالية عن انحناء الفضاء وعلاقته بقوى الجاذبية النيوتنية. ولكننا نمتلك الوقت هنا على الشاطئ، لذلك يمكنني أن أشرح لك كل ذلك. على سبيل المثال، هل تفهم الفارق بين الانحناء الموجب والسالب للفضاء؟

قالت الآنسة مود وهي تمط شفتيها: أبي، لو ستتحدث في الفيزياء مرة أخرى، أظن أنني سأذهب لأعمل قليلًا.

قال البروفيسور وهو يغوص في كرسي وثير: «وهو كذلك يا فتاتي. أرى أنكَ لم تدرس الكثير من الرياضيات أيها الشاب، لكنني أظن أنني أستطيع شرح الأمر لك بسهولة، من أجل التبسيط، خذ مثال السطح. تخيل أن السيد شيل –الرجل الذي يمتلك محطات الوقود– قرر أن يرى

إذا كانت محطاته موزعة بانتظام في بلدة ما، ولنقل أمريكا. ولكي يفعل ذلك، أصدر أوامره إلى مكتبه في مكان ما في منتصف الدولة (أظن أن مدينة كانساس تُعتَبر قلب أمريكا)، أن يحصي عدد المحطات في نطاق مائة ميل من المدينة، ومائتي ميل وثلاث مئات ميل وهكذا. يَذكر من أيام المدرسة أن مساحة الدائرة تتناسب مع مربع نصف قطرها، وهكذا يتوقع أن المحطات إذا توزعت في انتظام، يجب أن يزداد عدد ما يُحصى وفق المتتالية العددية 1، 4، 9، 16، وهكذا.

محطات تموين الوقود في الولايات المتحدة

عندما جاءه التقرير، أصابه ذهول شديد حين رأى أن عدد المحطات الفعلي يزداد بصورة أبطأ كثيرًا، فلنقل إنه يمضي وفق المتتالية التالية 1 ،3.8 ،8.5 ،15.0، وهكذا. يصيح: «يا لها من فوضى، لا يعرف المديرون في أمريكا عملهم. ما الفكرة العظيمة وراء تركيز المحطات بالقرب من مدينة كانساس؟» ولكن هل هو مصيب في استنتاجه؟»

كرر السيد تومبكينز: «هل هو مصيب؟» كان يفكر في شيء آخر.

قال البروفيسور في جزع: لا، ليس مصيبًا. لقد نسي أن سطح الأرض ليس مستويًا بل كرويًّا. وعلى الكرة تزداد المساحة بصورة أبطأ مع ازدياد نصف القطر مقارنة بازديادها على السطح المستوي. ألا ترى ذلك بالفعل؟ حسنًا، خذ الكرة الأرضية كمثالٍ، وحاول أن ترى ذلك بنفسك. إذا كنت على القطب الشمالي، فإن الدائرة التي نصف قطرها مساوٍ لنصف خط الطول هي خط الاستواء، والمساحة المُضَمَّنة هي نصف الكرة الشمالي. زد من نصف القطر مرتين وسوف تُضَمِّن سطح الأرض بأكمله، تزداد المساحة إلى الضعف فقط بدلًا من أن تزداد إلى أربعة أمثال كما يحدث في حالة السطح المستوي. أليس الأمر واضحًا لك الآن؟

قال السيد تومبكينز باذلًا قصارى جهده لينتبه: واضح. وهل هذا الانحناء موجب أم سالب؟

«يُطلَق عليه انحناء موجبٌ، وكما رأيت في مثال الكرة الأرضية، يتوافق مع سطح متناه، له مساحة متناهية. أما السرج فمثال للانحناء السالب».

كرر السيد تومبكينز: السرج؟

«نعم، السرج، أو المنخفض بين جبلين على سطح الأرض. افترض أن عالِم نباتات يعيش في كوخ جبلي مكانه ذلك المنخفض وهو مهتم بكثافة نمو أشجار الصنوبر حول الكوخ. إذا أحصى عدد أشجار الصنوبر النامية في نطاق مائة قدمٍ ومائتَي قدم وهكذا من الكوخ، فسوف يجد أن عدد أشجار الصنوبر يزداد أسرع من ازدياد مربع المسافة، المغزى أن المساحة المُضَمَّنة في نطاق نصف قطر معين على سطح منخفض بين جبلين أكبر من تلك المُضَمَّنة على سطح مستوٍ. يُقال إن لمثل تلك الأسطح منحنى سالبًا. إذا حاولت نشر سطح سرج على سطحٍ مستوٍ، عليك أن تصنع طيات فيه، في حين إذا حاولت أن تنشر سطحًا كرويًّا على سطحٍ مستوٍ فمن المحتمل أن تمزقه، إذا لم يكن مرنًا».

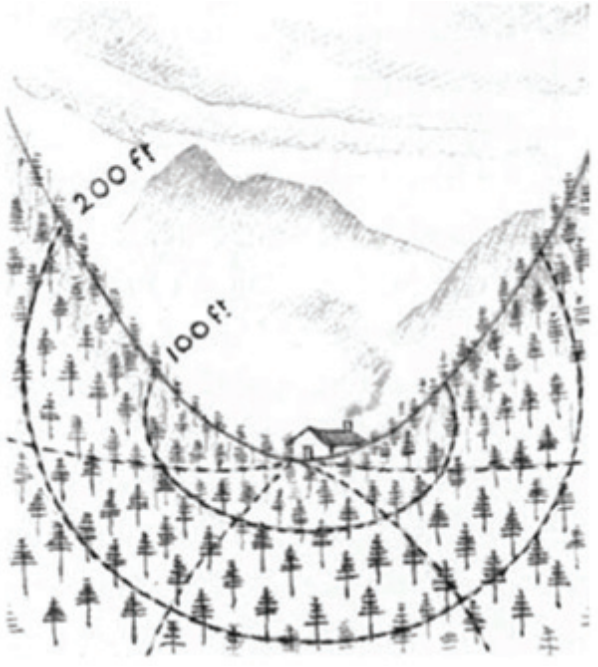
قال السيد تومبكينز: فهمت، وتقصد أن تقول إن سطح السرج لا نهائي على الرغم من أنه منحنٍ.

أيَّده البروفيسور: بالضبط. يمتد سطح السرج إلى ما لا نهاية في جميع الاتجاهات، ولا ينغلق أبدًا على نفسه. في مثالي يتوقف سطح المنخفض بين الجبلين عن أن يمتلك انحناء سالبًا فور أن تمشي خارج الجبلين بالطبع، إذ تمضي نحو سطح الأرض المنحني انحناء موجبًا، ولكنك تستطيع بالتأكيد أن تتخيل سطحًا يحتفظ بانحنائه السالب في كل مكان.

«ولكن كيف ينطبق هذا على الفضاء ثلاثي الأبعاد؟»

«بالطريقة نفسها تمامًا. تخيل أن لديك أشياء موزعة بانتظامٍ عبر

الفضاء، أقصد بالطريقة التي تجعل المسافة بين شيئين متجاورين متماثلة دائمًا، وافترض أنك أحصيت عددها في نطاق مسافات مختلفة منك. لو أن هذا العدد يزداد مثلما يزداد مربع المسافة، فإن الفضاء مسطح، لو أن العدد يزداد أبطأ أو أسرع، فللفضاء انحناء موجب أو سالب».



كوخ جبلي في منخفض بين جبلين

قال السيد تومبكينز في دهشة: وهكذا يكون للفضاء حجم أصغر في نطاق مسافة معينة في حالة الانحناء الموجب، أما في حالة الانحناء السالب فيكون للفضاء حجم أكبر؟

ابتسم البروفيسور: كما قلت تمامًا. أرى أنك فهمتني بشكلٍ صحيح. لكي نتحقق من إشارة انحناء الكون العظيم الذي نعيش فيه، على الواحد أن يحصي عدد الأجسام البعيدة. لعلك سمعت عن السُّدُم، إنها مبعثرة بانتظامٍ عبر الفضاء ومن الممكن رؤيتها لمسافة تمتد إلى آلاف ملايين السنوات الضوئية، تمثل أجسامًا مناسبة للغاية لمثل هذا التحري عن انحناء العالَم.

«وهكذا تبيَّن أن كوننا متناهٍ ومغلق على نفسه؟»

قال البروفيسور: حسنًا، ما زالت المشكلة قائمة. نصَّ أينشتاين في ورقته الأصلية في علم الكونيات على أن الكون متناهٍ في الحجم، مغلق على نفسه، ولا يتغير في الزمن. بعد ذلك، أوضح الرياضي الروسي ألكسندر ألكسندروفيتش فريدمان أن معادلات أينشتاين الأساسية تسمح بإمكانية تمدد الكون أو تقلصه كلما ازداد عمره. أكد هذا الاستنتاج الرياضي الفلكي الأمريكي إدوين هابل، الذي استخدم تلسكوب الـ 100 بوصة لمرصد جبل ويلسون، ووجد المجرات تبتعد بعضها عن بعض، أي أن كوننا يتمدَّد. ولكن لا تزال لدينا مشكلة، هل سيستمر هذا التمدد إلى ما لا نهاية أم سيصل إلى قيمة عظمى ويتحوَّل إلى تقلص في مستقبل بعيد. لا يمكن الإجابة عن هذا السؤال إلا عن طريق أرصاد فلكية تمدنا بالمزيد من التفاصيل.

بينما يتحدث البروفيسور، حدث تغيُّر غريب جدًّا من حولهما: صَغُر أحد طَرَفَي بهو الفندق للغاية، اعتصر كل الأثاثات به، في حين

ازداد حجم الطرف الآخر كثيرًا، بحيث بدا للسيد تومبكينز كأن الكون برمته قد يجد مكانًا له فيه. اخترقت عقله فكرة مريعة: ماذا لو تمزق جزء من الشاطئ حيث ترسم الآنسة مود، وانجرف مبتعدًا عن بقية الكون؟ لن يستطيع حينها أن يراها مرة أخرى! عندما اندفع نحو الباب سمع صوت البروفيسور يصيح من ورائه: «احترس! جُنَّ جنون الثابت الكمي أيضًا!» عندما وصل إلى الشاطئ بدا له مزدحمًا جدًّا في البداية. تندفع فتيات في فوضى في جميع الاتجاهات الممكنة. فكر: «كيف يمكنني العثور على السيدة مود في هذا الزحام؟» لكنه بعدئذٍ لاحظ أنهن جميعًا يشبهن ابنة البروفيسور تمامًا، وأدرك أن ما يحدث ليس إلا مزحة مبدأ اللا يقين. في اللحظة التالية كانت موجة الثابت الكمي الكبير في شذوذ قد مرَّت، وكانت الآنسة مود تقف على الشاطئ وفي عينيها نظرة خائفة.

غمغمت في ارتياح: أوه، إنه أنت! ظننت أن جمعًا غفيرًا من الناس يهرعون نحوي. من المحتمل أنه تأثير هذه الشمس اللاهبة على رأسي. انتظرني دقيقة حتى أُسرع إلى الفندق وأُحضِر قبعتي اتقاء للشمس.

اعترض السيد تومبكينز: أوه، لا، لا يجب أن يترك أحدنا الآخر الآن. أظن أن سرعة الضوء تتغير كذلك، عندما تعودين من الفندق قد تجدينني طاعنًا في السن!

قالت الفتاة: «هراء» واستمرت في الابتعاد بخفة عن السيد تومبكينز. ولكن في منتصف المسافة إلى الفندق اجتاحتهما موجة أخرى للا يقين، وانتشر السيد تومبكينز والفتاة في جميع أنحاء الشاطئ. في الوقت نفسه، بدأت طية كبيرة من الفضاء تنتشر من التلال القريبة،

تحني الصخور المحيطة ومنازل الصيادين في أشكال مضحكة. حرَّف المجال الجذبوي الشديد أشعة الشمس، اختفت تمامًا من الأفق، وغرق السيد تومبكينز في ظلام دامس.

مرَّ قرن قبل أن يعيد صوت عزيز عليه حواسه إليه.

قالت الفتاة: أوه، أرى أن حديث أبي معك حول الفيزياء جعلك تغفو. ألا تود أن تأتي وتسبح معي، الماء لطيف جدًّا اليوم؟

قفز السيد تومبكينز من الكرسي الوثير كأن له نوابض. بينما ينزلان نحو الشاطئ، فكر: إذن كان حلمًا في النهاية. أم لعل الحلم بدأ للتو؟

4

محاضرة البروفيسور عن الفضاء المنحني والجاذبية والكون

السيدات والسادة:

أناقش اليوم مشكلة الفضاء المنحني وعلاقته بظاهرة الجاذبية. لا يخالجني الشك في أن أيًّا منكم يمكنه بسهولة أن يتخيل خطًّا منحنيًا أو سطحًا منحنيًا، ولكن عند ذكر سطح فضائي منحنٍ ثلاثي الأبعاد تتجهم وجوهكم وتميلون إلى الاعتقاد في أن ذلك شيء شاذٌّ للغاية، ويكاد يكون خارقًا للطبيعة. ما سبب هذا «الفزع» العام المتعلق بالفضاء المنحني، وهل هذا المفهوم أصعب حقًّا من مفهوم السطح المنحني؟ إذا فكرتم قليلًا في الأمر، فقد يقول الكثيرون منكم إنهم وجدوا أن تخيل فضاء منحنٍ أمرٌ صعب لأنهم لا يستطيعون النظر إليه «من الخارج» مثلما ينظرون إلى سطح منحنٍ على الكرة الأرضية، أو إلى السطح المنحني المميز للسرج، كمثال آخر. إلا أن أولئك الذين يقولون هذا يُدينون أنفسهم بالجهل بالمعنى الرياضي الصارم للمنحنى، الذي يختلف في الحقيقة عن الاستخدام الشائع للكلمة. نقول نحن الرياضيين على السطح إنه منحنٍ، إذا اختلفت خواص الأشكال الهندسية المرسومة

عليه عن خواص الأشكال الهندسية المرسومة على السطح المستوي، ونقيس الانحناء من خلال الانحراف عن القوانين الكلاسيكية لإقليدس. إذا رسمت مثلثًا على قصاصة ورقية مسطحة، فإن مجموع زواياه -كما تعرف من الهندسة الأولية- يساوي مجموع زاويتين قائمتين [180 درجة]. يمكنك أن تطوي قصاصة الورق تلك على هيئة أسطوانة أو مخروط أو أشكال أعقد، إلا أن مجموع زوايا المثلث المرسوم عليها يبقى هو نفسه دائمًا، ويساوي مجموع زاويتين قائمتين.

لا تتغير هندسة السطح مع هذه التشوهات، ومن منظور الانحناء «الداخلي»، فإن الأسطح التي نحصل عليها (المنحنية بالمفهوم الشائع) مسطحة مثلها كمثل الأسطح المستوية. لكنك لا تستطيع توفيق قصاصة ورقية على سطح كرة أو سرج من دون أن تمطها، وإذا حاولت رسم مثلث على الكرة الأرضية (أي مثلث كروي) لن تسعفك النظريات البسيطة لهندسة إقليدس. على سبيل المثال، للمثلث المكوَّن من النصفين الشماليين لخطَّي طول والجزء من خط الاستواء الواقع بين خطَّي الطول زاويتان قائمتان عند قاعدته وزاوية اعتباطية عند القمة.

ستُذهَل عندما تجد العكس على سطح السرج؛ إذ إن مجموع زوايا المثلث أصغر دائمًا من مجموع زاويتين قائمتين.

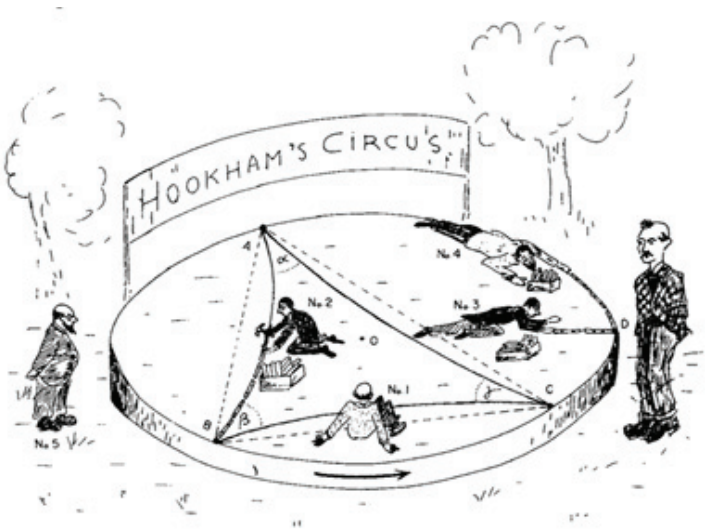
وهكذا، من أجل تحديد انحناء سطح، لا بد من دراسة الهندسة على ذلك السطح؛ إذ إن النظر من الخارج مضلل دائمًا. عندما تكتفي بالنظر، قد تضع سطح الأسطوانة في الفئة نفسها مع سطح الجرس، في حين أن الأول مسطح فعليًّا والثاني منحنٍ لا محالة. فور أن تعتاد هذا المفهوم

الصارم للانحناء لن تجد صعوبة في فهم ما يعنيه الفيزيائي عندما يناقش ما إذا كان الفضاء الذي نعيش فيه منحنيًا أم لا. تتلخص المسألة في اكتشاف ما إذا كانت الأشكال الهندسية المتشكلة في الفضاء الفيزيائي خاضعة أم غير خاضعة للقوانين المعتادة لهندسة إقليدس.

مع ذلك، بما أننا نتحدث عن فضاء فيزيائي حقيقي، علينا أولًا وقبل كل شيء أن نقدم التعريفات الفيزيائية للمصطلحات المستخدمة في الهندسة، وننص خصوصًا على ما ندركه عن مفهوم الخطوط المستقيمة التي تتكوَّن منها أشكالنا.

أفترض أنكم جميعًا تعرفون أن الخط المستقيم يُعرَّف في العموم باعتباره أقصر مسافة بين نقطتين، يمكن الحصول عليه عن طريق شد حبلٍ بين نقطتين، أو عن طريق عملية مكافئة لكنها ذات تفاصيل أكثر، تتمثل في العثور -عن طريق التجربة- على خط بين نقطتين محددتين يمكن وضع أقل عدد من مساطر القياس ذات الطول المحدد عليه.

من أجل توضيح أن نتائج مثل هذه الوسيلة للعثور على خط مستقيم تعتمد على المُحدِّدات الفيزيائية، دعنا نتخيل منصة كبيرة مستديرة تدور بانتظامٍ حول محورها، ومُجَرِّب (رقم 2) يحاول العثور على أقصر مسافة بين نقطتين موجودتين على طرف هذه المنصة. لديه صندوق به عدد كبير من مساطر القياس، طول كل منها 5 بوصات، يحاول صفها بين النقطتين بحيث يستخدم أقل عدد منها.



يقيس العلماء شيئًا على منصة دوارة[1]

إذا لم تكن المنصة تدور، سوف يضع المساطر على طول خط مُوَضَّح في شكلنا بخطٍّ منقط. ولكن بسبب دوران المنصة تعاني مساطر القياس الخاصة به من انكماش نسبوي، كما أوضحت في محاضرتي السابقة، وتنكمش تلك المساطر القريبة من طرف المنصة بصورة أكبر من تلك الموضوعة بالقرب من المركز (إذ إن لها سرعات خطية أكبر بسبب وجودها عند الطرف). لذلك من الواضح أن الواحد يجب أن يضع المساطر أقرب إلى المركز بقدر الإمكان من أجل أن يغطي أكبر

(1) يرجع اسم سيرك هوكهام Hookham's Circus إلى السيد جون هوكهام John Hookham الذي عمل رسامًا في مطابع جامعة كامبريدج، وقبل تقاعده أنتج العديد من الرسوم التي تزين نسختها الحالية.

مسافة ممكنة بكل مسطرة قياس. ولكن بما أن نهايتَي الخطين كليهما مثبتتان على الطرف، من الضار كذلك تحريك المساطر في منتصف الخط لتقترب كثيرًا من المركز.

وهكذا نصل إلى النتيجة عن طريق التوفيق بين هذين المُحدِّدين، وفي النهاية يمثِّل منحنى محدبٌ قليلًا نحو المركز المسافة الأقصر.

إذا شد مُجرِّبنا حبلًا بين النقطتين موضع البحث بدلًا من استخدام مساطر منفصلة، نصل إلى النتيجة نفسها بوضوح، لأن كل جزء من الحبل سيعاني من الانكماش النسبوي نفسه مثل المساطر المنفصلة. أود هنا أن أؤكد أن هذا التشوه الذي يعاني منه الحبل المشدود عندما تبدأ المنصة في الدوران، لا علاقة له بالتأثيرات المتعارف عليها لقوة الطرد المركزي، في الحقيقة لا يغير هذا التشوه من قوة شد الحبل، ولا حاجة إلى ذكر أن قوة الطرد المركزي المعتادة تعمل في الاتجاه المعاكس.

والآن، يقرر الراصد على المنصة التحقق من نتائجه عن طريق مقارنة «الخط المستقيم» الذي حصل عليه بشعاع الضوء، يجد أن الضوء ينتشر بالفعل على طول الخط الذي صنعه. بالتأكيد، لن يبدو شعاع الضوء للراصدين الواقفين بالقرب من المنصة منحنيًا على الإطلاق، يفسرون نتائج الراصد المتحرك من خلال تراكب دوران المنصة وانتشار الضوء في خطوط مستقيمة، وسوف يخبرونك أنك إذا خدشت أسطوانة جراموفون عن طريق تحريك يدك عليها في خط مستقيم، يأتي الخدش على الأسطوانة منحنيًا دائمًا بالتأكيد.

مع ذلك، فمن المقبول تمامًا بالنسبة إلى الراصد على المنصة الدوارة

أن يطلق مصطلح «الخط المستقيم» على المنحنى الذي حصل عليه: إنه أقصر مسافة، ويتوافق مع شعاع الضوء في نظامه المرجعي. افترض أنه اختار الآن ثلاث نقاط على الطرف، وربط بينها بخطوطٍ مستقيمة، صانعًا بذلك مثلثًا. مجموع الزوايا في هذا المثلث أقل من مجموع زاويتين قائمتين، ويستنتج بشكل صحيح أن الفضاء منحنٍ من حوله.

ومن أجل مثال آخر، دعنا نفترض أن راصدَين آخرين على المنصة (رقم 3 ورقم 4) قرَّرا حساب العدد π عن طريق قياس محيط المنصة وقطرها. لن تتأثر مساطر قياس الراصد رقم 3 بالدوران لأن حركة الدوران عمودية دائمًا على الطول. على الجانب الآخر تنكمش دائمًا مساطر قياس الراصد رقم 4 ويحصل على طول للحافة أكبر مما يحصل عليه في حالة منصة لا تدور. وبقسمة نتيجة الراصد رقم 4 على نتيجة الراصد رقم 3، يحصل الواحد على قيمة أكبر من قيمة π التي تنص عليها الكتب في المعتاد، وذلك أيضًا نتيجة انحناء الفضاء.

لا يقتصر تأثير الدوران في قياس الأطوال. تتحرك ساعة موضوعة على الطرف بسرعة أكبر، ووفقًا للاعتبارات التي أشرنا إليها في المحاضرة السابقة، تبطئ مقارنة بالساعة الموجودة في منتصف المنصة.

إذا ضبط المُجرِّبان (رقم 4 و5) ساعتيهما في مركز المنصة، وبعد ذلك جلب رقم 5 ساعته لبعض الوقت إلى الطرف، يجد عند عودته إلى المركز أن ساعته بطيئة جدًّا مقارنة بالساعة التي ظلت في المركز طوال الوقت. يستنتج من ذلك أن العمليات الفيزيائية كلها تجري بمعدلاتٍ مختلفة في الأماكن المختلفة على المنصة.

افترض الآن أن مُجرِّبينا توقفوا وفكروا قليلًا في سبب النتائج الغريبة التي حصلوا عليها للتو في أثناء قياساتهم الهندسية. افترض كذلك أن منصتهم مغلقة، عبارة عن حجرة دوَّارة من دون نوافذ، وهكذا لا يستطيعون رؤية حركتهم بالنسبة إلى العالَم المحيط. هل في إمكانهم تفسير كل النتائج المرصودة على أنها ترجع فقط إلى المُحدِّدات الفيزيائية على منصتهم من دون الإحالة إلى دورانها بالنسبة إلى «الأرض الصلبة» المُثَبَّتة عليها المنصة؟

عندما يبحثون عن فارق بين المُحدِّدات الفيزيائية على منصتهم والمُحدِّدات الفيزيائية على «الأرض الصلبة»، يمكن عن طريقها تفسير التغيُّرات المرصودة في الهندسة، يلاحظون في الحال أن ثمة قوة جديدة موجودة، تميل إلى سحب كل الأجسام من مركز المنصة نحو الطرف. من الطبيعي أن يَعزُوا التأثيرات المرصودة لعمل هذه القوة، يقولون -على سبيل المثال- إن الساعة الأبعد عن المركز في اتجاه حركة هذه القوة الجديدة تتحرك ببطء مقارنة بالساعة الأخرى.

ولكن هل هذه القوة جديدة بالفعل، غير قابلة للرصد على «الأرض الصلبة»؟ ألا نرصد دائمًا أن كل الأجسام تُسحَب نحو مركز كوكب الأرض عن طريق ما نطلق عليها اسم قوة الجاذبية؟ بالطبع، لدينا في إحدى الحالتين انجذاب نحو طرف القرص، وفي الحالة الأخرى انجذاب نحو مركز كوكب الأرض، ولكن هذا لا يعني إلا فارقًا في توزيع القوة. مع ذلك، من السهل ضرب مثالٍ آخر فيه القوة «الجديدة» الناتجة عن الحركة غير المنتظمة لنظام مرجعي تبدو مماثلة تمامًا لقوة الجاذبية في هذه الحجرة.

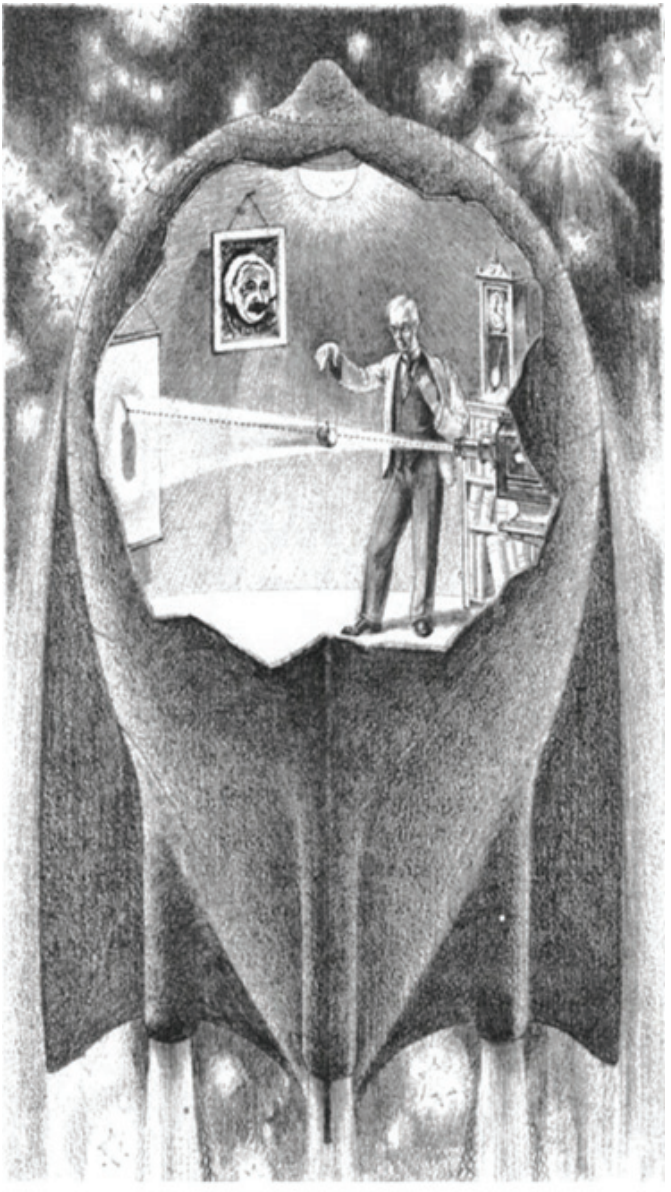
افترض أن سفينة صاروخية، مصمَّمة من أجل السفر بين النجوم، تطفو بحرية في مكان ما في الفضاء، بعيدًا جدًّا عن نجوم مختلفة، بحيث لا وجود لقوى جاذبية داخلها. وهكذا لن يكون لكل الأجسام داخل السفينة الصاروخية والمُجَرِّب المسافر داخلها أي وزن، وسوف تطفو بحرية بالطريقة نفسها تمامًا التي طفا بها ميشيل أردينت ورفاقه المسافرون إلى القمر في القصة الشهيرة لجول فيرن.

اشتغلت المحركات، وبدأت السفينة الصاروخية في الحركة، واكتسبت السرعة تدريجيًّا. ما الذي حدث بالداخل؟ من السهل أن نرى أنه طوال فترة تسارع السفينة، تُظهِر الأجسام بالداخل ميلًا إلى الحركة نحو الأرضية، أو بمعنى آخر، تتحرك الأرضية نحو هذه الأجسام. على سبيل المثال، إذا أمسك مُجرِّبنا بتفاحة في يده ثم تركها، تستمر التفاحة في الحركة (بالنسبة إلى النجوم المحيطة) بسرعة ثابتة؛ السرعة التي كانت تتحرك بها السفينة الصاروخية في اللحظة التي تُرِكَت فيها التفاحة. إلا أن السفينة الصاروخية نفسها تسارعت، وبالتالي تسارعت أرضية المقصورة، تحركت أسرع وأسرع طوال الوقت، لتلحق بالتفاحة في النهاية وتضربها، ابتداء من هذه اللحظة وصاعدًا، تبقى التفاحة على اتصالٍ دائمٍ بالأرضية، يضغطها التسارع إلى الأرضية.

إلا إن هذا يبدو بالنسبة إلى المُجرِّب كأن التفاحة «تسقط» بتسارعٍ معينٍ، وبعد أن تصطدم بالأرضية، تبقى مضغوطة إليها تحت تأثير ثقلها. عندما يلقي بأجسام مختلفة، يلاحظ علاوة على ذلك أنها جميعًا تسقط بتسارعات متساوية تمامًا (إذا أهمل احتكاك الهواء) ويتذكر أن هذه هي

قاعدة السقوط الحر التي اكتشفها **جاليليو جاليلي**. في الحقيقة لن يستطيع ملاحظة الفارق بين الظاهرة في مقصورته المتسارعة وظاهرة الجاذبية المعتادة. يستطيع أن يستخدم الساعة ذات البندول، وأن يضع كتبًا على رفٍّ من دون أن يخشى تحليقها مبتعدة، وأن يُعَلِّق على مسمارٍ رسمًا لوجه **ألبرت أينشتاين**، الذي كان أول من أشار إلى تكافؤ تسارع النظام المرجعي ومجال الجاذبية، وطَوَّر على هذا الأساس ما يُطلَق عليه نظرية النسبية العامة.

لكننا نلاحظ هنا مثلما لاحظنا في المثال الأول للمنصة الدوارة ظاهرة لم يعرفها جاليليو ونيوتن في دراستيهما للجاذبية. ينحني شعاع الضوء المار عبر المقصورة، ويضيء شاشة معلَّقة على الحائط المقابل في أماكن مختلفة بناء على تسارع السفينة الصاروخية. يفسر راصدٌ بالخارج هذا باعتباره نتيجة تراكب حركة الضوء المنتظمة في خط مستقيم والحركة المتسارعة للمقصورة المرصودة. تخفق الهندسة كذلك؛ إذ يزيد مجموع زوايا المثلث الذي تشكِّله أشعة الضوء الثلاثة عن مجموع زاويتين قائمتين، وتزيد النسبة بين حدود الدائرة وقطرها عن العدد π. بحثنا هنا اثنين من أبسط أمثلة الأنظمة المتسارعة، إلا أن التكافؤ المنصوص عليه فيما سبق يعمل في حالة أي حركة لنظام مرجعي جاسئ أو قابل للتشكل.



تلحق الأرضية بالتفاحة في النهاية وتصطدم بها

نصل الآن إلى مسألة ذات أهمية كبيرة للغاية. رأينا للتوِّ أن عددًا من الظواهر التي يمكن رصدها في نظام مرجعي متسارع لم تكن معروفة عن مجال الجاذبية المعتاد. هل هذه الظواهر -مثل انحناء شعاع ضوء أو تباطؤ ساعة- توجد كذلك في مجالات جذبوية تنتجها كتلة قابلة للقياس؟ أو بمعنى آخر، هل تأثير التسارع وتأثير الجاذبية ليسا متشابهين كثيرًا فقط، بل هما متماثلان؟

من الواضح أن الإجابة الحاسمة لا يمكن أن تأتي إلا عن طريق تجارب مباشرة، على الرغم من أن الأمر مغرٍ جدًّا للقبول بتماثلٍ تامٍّ بين التأثيرين بدافع الرغبة في الإعلان عن كشفٍ جديدٍ. أثبتت التجارب وجود هذه الظواهر الجديدة في المجال المعتاد للجاذبية كذلك، وهو ما يرضي عقلنا البشري الباحث عن قوانين كونية بسيطة ومتسقة. من المؤكد أن التأثيرات التي تتوقعها فرضية تكافؤ المجالَين التسارعي والجذبوي صغيرة جدًّا: ولهذا السبب لم يكتشفها العلماء إلا حين بدؤوا البحث عنها خصيصى.

يمكننا عن طريق استخدام مثالَي النظامين المتسارعين المذكورَين سابقًا، حساب مقدار أهم ظاهرتين نسبويتين للجاذبية بسهولة: تغيُّر معدل حركة الساعة وانحناء شعاع الضوء.

دعنا في البداية ننظر في مثال المنصة المتحركة. من المعروف من الميكانيكا الأولية أننا نحصل على مقدار قوة الطرد المركزية العاملة على جسيم كتلته وحدة واحدة وموضوع على بُعد r من المركز من خلال المعادلة،

$$F = r\omega^2, \qquad (1)$$

حيث ω السرعة الزاوية الثابتة لدوران منصتنا. وعلى ذلك فالشغل الكلي الذي تقوم به هذه القوة خلال حركة الجسيم من المركز إلى الطرف هي:

$$W = \frac{1}{2} R^2\omega^2, \qquad (2)$$

حيث R نصف قطر المنصة.

ووفق مبدأ التكافؤ الذي نصصنا عليه سابقًا، علينا أن نفكر في أن F تماثل قوة الجاذبية على المنصة، وW تماثِل فارق الجهد الجذبوي بين المركز والطرف.

والآن، يجب أن نتذكر كما رأينا في المحاضرة السابقة أننا نحصل على تباطؤ الساعة التي تتحرك بسرعة v من العامل:

$$\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = 1 - \frac{1}{2}\left(\frac{v}{c}\right)^2 + \ldots \qquad (3)$$

إذا كانت v صغيرة مقارنة بـ c يمكننا إهمال الحدود الأخرى. وفق تعريف السرعة الزاوية فإن $v = R\,\omega$ ويصير عامل التباطؤ:

$$1 - \frac{1}{2}\left(\frac{R\omega}{c}\right)^2 = 1 - \frac{W}{c^2}, \qquad (4)$$

يمدُّنا بالتغيُّر في معدل سير الساعة من حيث اختلاف الجهود الجذبوية بين مواضعها.

إذا وضعنا ساعة في قبو برج إيفل، والأخرى في قمته (ارتفاع البرج 1000 قدم)؛ فإن فارق الجهد بينهما سيكون صغيرًا جدًّا بحيث تسير الساعة في القبو أبطأ بعاملٍ يقدَّر بـ 0.999,999,999,999,97 فقط.

على الجانب الآخر، يكون الفارق في الجهد الجذبوي بين سطح كوكب الأرض وسطح الشمس أكبر كثيرًا، ويتسبَّب في تباطؤ مقداره 0.999,999,5، ومن الممكن رصده عن طريق قياسات منضبطة جدًّا. من المؤكد أن أحدهم لن يضع ساعة عادية على سطح الشمس ويراقبها وهي تسير! لدى الفيزيائيين وسائل أفضل كثيرًا. يمكننا باستخدام منظار الطيف رصد الفترات الزمنية لتذبذبات الذرات المختلفة على سطح الشمس ومقارنتها بالفترات الزمنية لذرات العناصر نفسها بعد وضعها في لهب موقد بنزن في المعمل. يجب أن تتباطأ تذبذبات الذرات على سطح الشمس وفق العامل الذي نحصل عليه من المعادلة رقم (4)، ويجب أن يكون الضوء المنبعث منها أكثر احمرارًا بطريقة ما من الضوء المنبعث من المصادر الأرضية. رُصِد هذا «الانزياح نحو الأحمر» في أطياف الشمس والعديد من النجوم الأخرى، التي يمكن قياس أطيافها بدقة، واتفقت النتائج مع القيم التي نحصل عليها من المعادلات النظرية.

وهكذا برهن وجود الانزياح نحو الأحمر على أن العمليات على الشمس تحدث بصورة أبطأ بالفعل بسبب الجهد الجذبوي الأكبر على سطحها.

من أجل قياس انحناء شعاع الضوء في مجال الجاذبية، من الأنسب استخدام مثال السفينة الصاروخية المذكور سابقًا. إذا كانت l المسافة التي يقطعها الضوء عبر المقصورة، فإن الزمن الذي يستغرقه الضوء للقيام بذلك، نحصل عليه من:

$$t = \frac{l}{c}. \qquad (5)$$

في خلال ذلك الوقت، تقطع السفينة التي تتحرك في تسارعٍ مسافة مقدارها L، نحصل عليها من المعادلة التالية في الميكانيكا الأولية:

$$L = \frac{1}{2} gt^2 = \frac{1}{2} g \frac{l^2}{c^2}. \qquad (6)$$

وهكذا تكون قيمة الزاوية التي تمثِّل التغيُّر في اتجاه شعاع الضوء:

$$\phi = \frac{L}{l} = \frac{1}{2} \frac{gl}{c^2} \text{ راديان} \qquad (7)$$

وتزيد الزاوية كلما زادت المسافة l التي ارتحلها الضوء في المجال الجذبوي. يُتَرجَم تسارع السفينة الصاروخية g هنا إلى تسارع الجاذبية بالطبع. إذا أرسلت شعاعًا ضوئيًّا عبر حجرة المحاضرات هذه، قد أجعل l تساوي 1000 سم تقريبًا. تسارع الجاذبية على سطح كوكب الأرض 981 سم/ ث^2 وc تساوي 3×10^{10} سم/ ث، وهكذا نحصل على:

$$\phi = \frac{100 \times 981}{2 \times (3 \cdot 10^{10})^2} = 5 \cdot 10^{-16} \text{ راديان} = 10^{-10} \text{ ثانية قوسية} \qquad (8)$$

وهكذا يمكنك أن ترى استحالة رصد انحناء الضوء في مثل هذه المُحدِّدات. إلا أن g بالقرب من سطح الشمس تساوي 27,000، والمسار الكامل الذي يرتحله الضوء في المجال الجذبوي للشمس كبير جدًّا. تُظهِر الحسابات المنضبطة أن قيمة انحراف شعاع الضوء المار بالقرب من سطح الشمس يجب أن تكون "1.75، وهي القيمة نفسها تمامًا التي يرصدها الفلكيون لإزاحة المواضع الظاهرية للنجوم المرئية بالقرب من الطرف الشمسي في أثناء كسوف كلي. ترى هنا كذلك أن الأرصاد أظهرت تماثلًا تامًّا بين تأثيرات التسارع والجاذبية.

والآن، قد نعود إلى مشكلتنا المتعلقة بانحناء الفضاء. تتذكر أننا عند استخدام أكثر تعريفات الخط المستقيم عقلانية، وصلنا إلى استنتاج أن الهندسة التي نحصل عليها في الأنظمة المرجعية المتحركة في غير انتظام تختلف عن هندسة إقليدس، كما يجب اعتبار فضاءاتها فضاءات منحنية. وبما أن أي مجال جذبوي يكافئ تسارعًا ما للنظام المرجعي، إذن فإن أي فضاء فيه مجال جذبوي هو فضاء منحنٍ، أو قد نذهب أبعد من ذلك لنقول إن ذلك قد يعني أن المجال الجذبوي هو عَرَض فيزيائي لانحناء الفضاء. وعلى ذلك، يتحدد انحناء الفضاء في كل نقطة عن طريق توزع الكتل، ويجب أن يصل انحراف الفضاء بالقرب من الأجرام الثقيلة إلى قيمته القصوى. لا يمكنني أن أدخل في تفاصيل رياضية معقدة لوصف خواص الفضاء المنحني وخضوعه لتوزع الكتل. يجب أن أذكر فقط أن هذا الانحناء لا يتحدد في العموم من خلال عدد واحد بل عشرة أعداد مختلفة، تُعرَف عادة بمكونات الجهد الجذبوي $g_{\mu\nu}$

وتمثِّل تعميمًا للجهد الجذبوي للفيزياء الكلاسيكية الذي أطلقت عليه W فيما سبق. يوصَف انحناء كل نقطة عن طريق عشرة أنصاف أقطار انحناء مختلفة، يُشار إليها عادة بـ $R_{\mu\nu}$. تتصل أنصاف أقطار الانحناء هذه بتوزع الكتل من خلال المعادلة الأساسية لأينشتاين:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}\, g_{\mu\nu} R \;=\; -\,kT_{\mu\nu}, \qquad (9)$$

حيث تعتمد $T_{\mu\nu}$ على كثافات وسرعات وخواص المجال الجذبوي الذي تنتجه كتل قابلة للقياس.

في نهاية هذه المحاضرة، أود أن أشير إلى واحدة من أهم نتائج المعادلة رقم (9). إذا تصورنا فضاءً ممتلئًا بالكتل في انتظام، مثل فضائنا الذي يمتلئ في انتظامٍ بنجومٍ وأنظمة نجمية، سنصل إلى استنتاج أن الفضاء يجب أن يميل إلى الانحناء في اتساقٍ عبر المسافات الكبيرة، باستثناء الانحناءات الكبيرة العارضة بالقرب من النجوم المتفرقة. ثمة حلول رياضية عديدة مختلفة، يتوافق بعضها مع فضاءٍ ينغلق في النهاية على نفسه وبالتالي له حجم متناهٍ، يُمَثِّل بعضها الآخر الفضاء اللا نهائي الذي يشبه سطح السرج الذي ذكرته في بداية هذه المحاضرة. يتمثَّل ثاني النتائج المهمة للمعادلة (9) في أن الفضاءات المنحنية يجب أن تكون في حالة تمدُّد أو تقلُّص مستمرَّين، وهو ما يعني -فيزيائيًّا- أن الجسيمات التي تملأ الفضاء يبتعد بعضها عن بعض أو على العكس من ذلك، يقترب بعضها من بعض. علاوة على ذلك، قد تُظهر الفضاءات المغلقة التي لها حجم متناهٍ تمددًا وانكماشًا، يتبع كلٌّ منهما الآخر

بشكلٍ دوري – يُطلَق على هذه الفضاءات العوالم النابضة. على الجانب الآخر، تكون الفضاءات اللانهائية «شبيهة السرج» في حالة تمدد أو انكماش دائم.

لن تجيب الفيزياء عن سؤال، ما الاحتمال الرياضي من بين كل هذه الاحتمالات الرياضية المختلفة يتوافق مع الفضاء الذي نعيش فيه، بل سيجيب الفلك، ولن أناقش ذلك هنا. لن أذكر إلا أن الدليل الفلكي يشير حتى الآن إلى أن كوننا يتمدد بالتأكيد، على الرغم من أننا لم نستقر بعد على إجابة لسؤال ما إذا كان هذا التمدد قد ينقلب إلى انكماش، أو على إجابة لسؤال ما إذا كان الفضاء متناهيًا في الحجم أم لا نهائيًّا.

5

الكون النابض

بعد عشاء الليلة الأولى على شاطئ الفندق الذي تحدث فيه البروفيسور العجوز عن علم الكونيات، وثرثرت فيه ابنته عن الفن، عاد السيد تومبكينز أخيرًا إلى حجرته، وانهار على فراشه، وسحب الغطاء فوق رأسه. تداخل في دماغه المُجهَد بوتيتشيلي [رسام إيطالي من عصر النهضة] وبوندو [رسام إيطالي من العصر القوطي وبدايات عصر النهضة]، سلفادور دالي [رسام إسباني سريالي] وفريد هويل [عالم كونيات ورياضيات بريطاني]، لوميتر [راهب وفلكي بلجيكي] ولافونتين [أشهر كاتب قصص خرافية فرنسي]، وأخيرًا سقط في نوم عميق...

استيقظ في وقتٍ ما في منتصف الليل، ينتابه شعور غريب بأنه ينام على شيء صلب، لا مرتبة مرنة. فتح عينيه، ووجد نفسه ممددًا على ما ظنَّه في البداية صخرة كبيرة على شاطئ بحر. اكتشف لاحقًا أنها في الحقيقة صخرة كبيرة جدًّا، قطرها 30 قدمًا تقريبًا، معلَّقة في الفضاء من دون دعامات. تغطي الصخرة بعض الطحالب الخضراء، وتنمو في أماكن قليلة شجيرات صغيرة تبزغ من شقوق في الصخرة. ينير الفضاء

المُترَّب للغاية حول الصخرة وميض خافت. في الحقيقة، احتوى الهواء على غبار لم يرَ مثله قطُّ، حتى في الأفلام التي تعرض العواصف الترابية للمنطقة الغربية الوسطى. ربط منديله حول أنفه، شعر بعد أن فعل ذلك براحة شديدة. إلا أن المكان المحيط به احتوى على أشياء أخطر من الغبار. تدور في الفضاء المحيط به بالقرب من صخرته صخور كثيرة في حجم رأسه وأكبر، تصطدم بصخرته عرضًا، ليصدر صوت خافت غريب. لاحظ كذلك صخرة أو اثنتين في حجم صخرته تقريبًا، تمر عبر الفضاء بعيدًا عنه. يتشبَّث في قوة ببعض الحواف الناتئة طوال الوقت الذي أخذ يراقب فيه ما حوله، يخشى أن يسقط ويضيع في الأعماق المُترَّبة في الأسفل. إلا أنه، سرعان ما صار أجرأ، وحاول الزحف نحو حافة صخرته، ليتأكد من عدم وجود أي شيء تحتها، يدعمها. بينما يزحف بهذه الطريقة، ذُهِل حين لاحظ أنه لم يسقط من عليها، بل بقي وزنه يضغط جسده إلى سطح الصخرة طوال الوقت، على الرغم من أنه سار الآن ما يزيد على ربع محيطها. نظر من وراء نتوء من حجارة سائبة إلى أسفل الموضع الذي وجد نفسه فيه في الأصل، اكتشف أن الصخرة معلَّقة في الفضاء بلا عمد. لكنه ذُهِل حين كشف الوميض الخافت عن الهيئة الطويلة لصديقه البروفيسور العجوز، يقف وقد تدلَّى رأسه إلى الأسفل، يسجل بعض الملاحظات في مفكرته.

بدأ السيد تومبكينز الآن يستوعب الأمر ببطء. تذكر أنه لُقِّن هذا في المدرسة، الأرض صخرة كبيرة مستديرة، تتحرك بحرية في الفضاء حول الشمس. يتذكر كذلك صورة لشخصين، يقف كلٌّ منهما على الجانب

المقابل للآخر من الكرة الأرضية. نعم، ليست صخرته إلا جرم صغير بين النجوم ، يجذب كل شيء إلى سطحه، وهو والبروفيسور العجوز ساكنا هذا الكوكب الصغير الوحيدان. شعر ببعض العزاء بسبب هذا، على الأقل لا خوف من السقوط من فوق الصخرة!

قال السيد تومبكينز لكي يُحَوِّل انتباه العجوز عن حساباته: صباح الخير.

رفع البروفيسور عينيه عن مفكرته. قال: «لا صباح هنا، لا شمس ولا نجمة واحدة لامعة في هذا الكون. من حسن الحظ أن الأجرام هنا تكشف عن عمليات كيميائية على سطحها، من دون ذلك، لم أكن سأستطيع رصد تمدُّد هذا الفضاء»، عاد مرة أخرى إلى مفكرته.

انزعج السيد تومبكينز تمامًا من أن الشخص الحي الوحيد الذي التقاه في الكون كله غير اجتماعي! وعلى غير المتوقع، خدمه أحد الشهب، ضرب الحجر المفكرة التي يمسك بها البروفيسور بين يديه، وصدر عن ذلك صوت اصطدام، ألقى الحجر بالمفكرة، لتمضي سريعًا عبر الفضاء مبتعدة عن كوكبهما الصغير. بينما تحلق المفكرة عبر الفضاء وتصغر وتصغر في الحجم، قال السيد تومبكينز: «لن تراها مرة أخرى أبدًا».

ردَّ البروفيسور: على العكس. فكما ترى، الفضاء الذي نقف فيه ليس فضاء لا نهائيًّا في امتداده. أوه، نعم، نعم، أعرف أنهم لَقَّنوك في المدرسة أن الفضاء لا نهائي، وأن الخطَّين المتوازيين لا يلتقيان أبدًا. إلا أن هذا غير صحيح في حالة الفضاء الذي نعيش فيه الآن، وفي حالة الفضاء الذي

تعيش فيه بقية البشرية كذلك. إن الأخير كبير جدًّا حقًّا، يُقَدِّر العلماء أبعاده الحالية بـ 10,000,000,000,000,000,000,000 ميل تقريبًا [قطر الكون المنظور يُقدَّر حاليًّا بـ 540,000,000,000,000,000,000,000 ميل]، يبدو ذلك لا نهائيًّا تمامًا بالنسبة إلى عقل عادي.

لا صباح هنا

إذا فقدت مفكرتي هناك، فسوف تستغرق وقتًا طويلًا يستحيل تصوُّره لكي تعود. إلا أن الأمر مختلف هنا. قبل أن تفلت المفكرة من يدي، توصلت إلى أن قطر هذا الفضاء خمسة أميال تقريبًا فقط، على الرغم من أنه يتمدد سريعًا. أتوقع أن تعود المفكرة فيما لا يزيد على نصف الساعة.

غامر السيد تومبكينز: هل تقصد أن مفكرتك ستتصرف مثل بَمرَنج

[عصا خشبية معقوفة، تُستَخدم في الصيد وتعود بعد إلقائها مرة أخرى إلى راميها] سكان أستراليا الأصليين، تمضي على طول مسار منحنٍ لتسقط عند قدميك؟

أجابه البروفيسور: لا يحدث الأمر على تلك الصورة قَطُّ. إذا أردت أن تفهم ما يحدث حقًّا، فَكِّر في اليوناني القديم الذي لم يعرف أن الأرض كرة. افترض أنه أصدر تعليماته لأحدهم لكي يسير في خط مستقيم باستمرار نحو الشمال. تخيل ذهوله عندما عاد إليه عداؤه من الجنوب. لا يعرف اليوناني القديم مفهوم السفر حول العالَم (أقصد حول الكرة الأرضية في هذه الحالة)، ولن يشك في أن عداءه ضل طريقه ومضى في طريق منحنٍ، أعاده من حيث جاء. في الواقع، سار هذا الرجل طوال الوقت في خط مستقيم، يمكن للواحد أن يرسمه على سطح كوكب الأرض، لكنه ارتحل حول العالَم وهكذا عاد من الاتجاه المعاكس. سوف يحدث الأمر نفسه لمفكرتي، ما لم يصطدم بها في أثناء رحلتها حجر آخر، ومن ثَمَّ يحرفها عن مسارها المستقيم. خذ هذه النظارة المعظمة وانظر إذا كنت لا تزال تستطيع رؤيتها.

وضع السيد تومبكينز النظارة أمام عينيه، ونجح أن يرى عبر الغبار الذي يحجب المشهد كله مفكرة البروفيسور، ترتحل بعيدًا بعيدًا. اندهش من اللون الوردي الذي يصبغ كل الأشياء البعيدة بما فيها المفكرة.

صاح بعد برهة: لكن مفكرتك تعود، أراها تزداد في الحجم.

قال البروفيسور: لا، ما زالت تبتعد. ترى أنها تزداد في الحجم

كأنها عائدة بسبب تبئير الفضاء الكروي المغلق لأشعة الضوء، وهو تأثير مميز. دعنا نرجع إلى اليوناني القديم. إذا استطاعت أشعة الضوء مواصلة التحرك على طول السطح المنحني لكوكب الأرض -فلنقل عن طريق كسر الغلاف الجوي لتلك الأشعة- فسوف يستطيع اليوناني القديم أن يرى عداءه طوال رحلته باستخدام نظارته المعظَّمة القوية. إذا ألقيت نظرة على الكرة الأرضية، فسوف ترى أن الخطوط المستقيمة على سطحها، خطوط الطول، تتباعد من أحد القطبين، ولكنها تتقارب تجاه القطب الآخر بعد أن تعبر خط الاستواء. إذا ارتحلت أشعة الضوء على طول خطوط الطول، ووقفت عند أحد القطبين على سبيل المثال، فسوف ترى الشخص الذي يبتعد عنك يصغر ويصغر، حتى يعبر خط الاستواء. بعد هذه النقطة، تراه يكبر، وسوف يبدو لك كأنه عائد، يرجع إلى الخلف. عندما يصل إلى القطب المقابل، سوف تراه كبيرًا كأنه يقف إلى جوارك. على الرغم من ذلك، لن تستطيع لمسه، مثلما لا تستطيع لمس الصورة في مرآة كروية. يمكنك على أساس هذا التناظر ثنائي الأبعاد أن تتخيل ما يحدث لأشعة الضوء في فضاء ثلاثي الأبعاد منحنٍ بغرابة. أظن أن صورة المفكرة قريبة تمامًا الآن.

تخلى السيد تومبكينز عن نظارته المعظمة، استطاع أن يرى المفكرة على بُعد ياردات قليلة فقط منه. لكنها بدت غريبة جدًّا حقًّا! محيطها غير محدد، باهت، من الصعب التعرف على المعادلات التي كتبها البروفيسور على صفحاتها، وبدا الكتاب بأكمله كصورة فوتوغرافية غائمة وغير مكتملة الإعداد.

قال البروفيسور: ترى الآن أن هذه ليست إلا صورة المفكرة، مشوهة تمامًا بسبب ارتحال الضوء عبر نصف الكون. إذا أردت أن تستيقن من ذلك، لاحظ كيف يمكن رؤية الصخور خلف المفكرة من خلال صفحاتها.

حاول السيد تومبكينز الوصول إلى المفكرة، إلا أن يده مرَّت عبر الصورة من دون أي مقاومة.

قال البروفيسور: إن هذه المفكرة نفسها قريبة جدًّا الآن من القطب المقابل للكون، وما تراه هنا ما هو إلا صورتان لها. الصورة الثانية خلفك تمامًا، وعندما تتطابق الصورتان، سوف تكون المفكرة الفعلية في القطب المقابل بالضبط. لم يسمعه السيد تومبكينز، استغرق تمامًا في أفكاره، يحاول أن يتذكر كيف تتكوَّن صور الأشياء بواسطة المرايا والعدسات المقعرة في علم البصريات الأولي. عندما تخلى عن تلك الأفكار، بدأت الصورتان في التراجع مرة أخرى في الاتجاهين المتقابلين.

سأل البروفيسور: ولكن ما الذي يجعل الفضاء منحنيًا ويُوَلِّد كل هذه التأثيرات المرحة؟

جاءته الإجابة: وجود كتلة قابلة للقياس. عندما اكتشف نيوتن قانون الجاذبية، ظن أن الجاذبية ليست إلا قوة عادية، على سبيل المثال، من نوع القوى نفسه الذي ينتج عن حبل مرن مشدود بين جسمين. مع ذلك، تبقت حقيقة غامضة، لكل الأجسام -بغض النظر عن وزنها وحجمها- التسارع نفسه وتتحرك بالطريقة نفسها تحت تأثير الجاذبية، بشرط أن تتخلص من احتكاك الهواء ومثل هذه الأشياء. كان أينشتاين

أول من أوضح أن التأثير الأساسي للمادة القابلة للقياس يتمثل في توليد انحناء الفضاء، وبالتالي التسبب في انحناء مسارات كل الأجسام التي تتحرك في مجال الجاذبية، إذ إن الفضاء نفسه منحنٍ. لكنني أظن أنه يصعب عليك جدًّا فهم هذا من دون أن تعرف ما يكفي من الرياضيات.

قال السيد تومبكينز: يصعب عليَّ ذلك بالفعل. ولكن أخبرني، لو لم توجد مادة، هل كنا سنجد الهندسة التي تعلمناها في المدرسة، ولن تلتقي الخطوط المتوازية قَطُّ؟

قال البروفيسور: لن تلتقي، ولكن لن توجد كذلك مخلوقات مادية لتتحقق من الأمر.

«حسنًا، ربما لم يوجد إقليدس قَطُّ، وبالتالي لم تنشأ هندسة فضاء فارغ قَطُّ؟»

ولكن يبدو أن البروفيسور لم يحب الدخول في هذا النقاش الميتافيزيقي.

في الوقت نفسه، ابتعدت صورة المفكرة مرة أخرى في الاتجاه الأصلي، وبدأت تعود للمرة الثانية. صارت تالفة أكثر من قبل، ويصعب التعرف عليها على الإطلاق، فسَّر البروفيسور ذلك بأن أشعة الضوء ارتحلت هذه المرة حول الكون بأكمله.

قال للسيد تومبكينز: إذا التفت برأسك مرة أخرى، سوف ترى مفكرتي تعود أخيرًا بعد أن أكملت رحلتها حول العالَم» مد يده وأمسك بالمفكرة، ودسَّها في جيبه. قال: «كما ترى، يوجد الكثير من الغبار

والحجارة في هذا الكون، بحيث تستحيل الرؤية حول العالَم. ربما تلاحظ من حولنا ظلالًا بلا شكلٍ واضح، ومن المرجح أنها صورتانا وصور الأشياء من حولنا. إلا أنها مشوهة للغاية بسبب الغبار وعدم انتظام انحناء الفضاء إلى درجة أنني لا أعرف أي صورة تخص أي شيء.

سأل السيد تومبكينز: هل يحدث التأثير نفسه في الكون الكبير الذي اعتدنا أن نعيش فيه من قبل؟

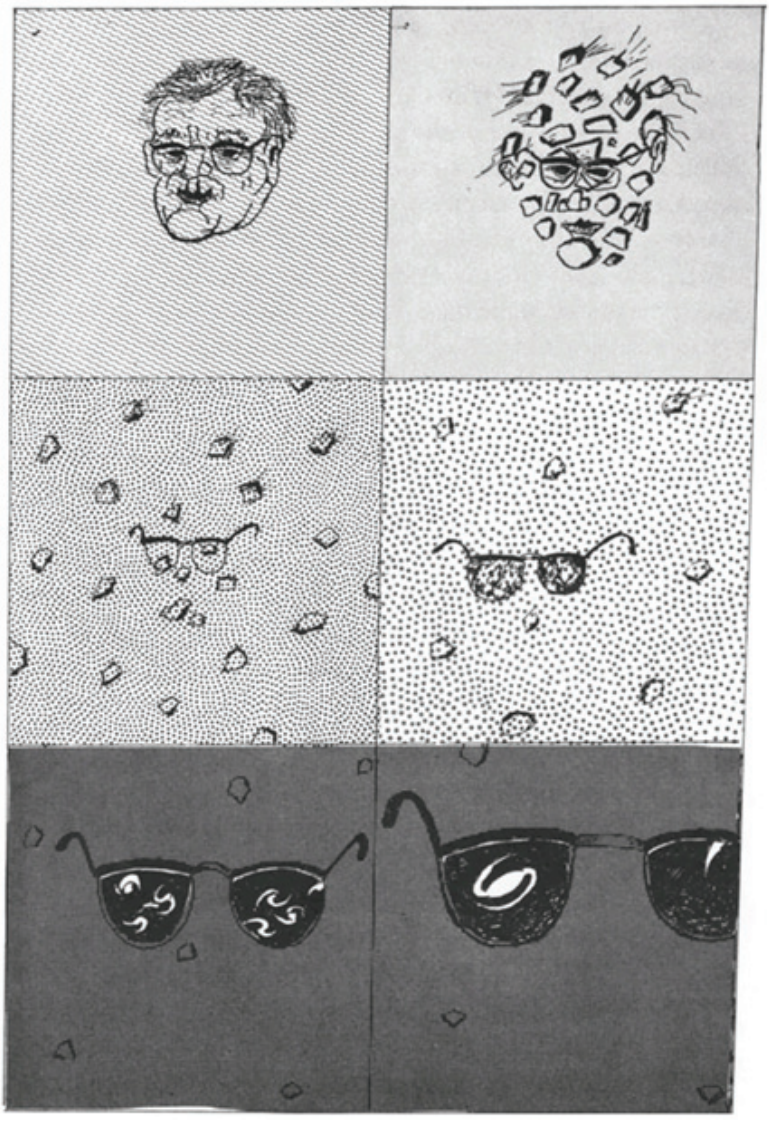
جاءته الإجابة: أوه، نعم، ولكن الكون كبير جدًّا، يستغرق الضوء مليارات السنين لكي يدور. قد ترى قصة الشعر على مؤخرة رأسك من دون مرآة، ولكن بعد مليارات السنين من ذهابك إلى الحلاق. إلى جانب ذلك، من المرجح أن الغبار الموجود بين النجوم سوف يحجب الصورة بالكامل. بالمناسبة، افترض فلكي إنجليزي ذات مرة -مازحًا على الأرجح- أن بعض النجوم التي قد نراها في السماء حاليًّا ليست إلا صور النجوم التي وُجِدت منذ فترة طويلة.

نظر السيد تومبكينز حوله بعد أن أتعبه المجهود الذي بذله في فهم كل هذه التفسيرات، لاحظ في ذهول أن صورة السماء تغيَّرت بشكلٍ لافت. بدا أن الغبار قلَّ، نزع منديله الذي كان لا يزال مربوطًا حول وجهه. تمر الأحجار الصغيرة بوتيرة أقل كثيرًا، وتصطدم بسطح صخرتهم بقوة أقل كثيرًا. كما ابتعدت الصخور الكبيرة القليلة التي كانت في حجم صخرته التي لاحظها في البداية، وصارت رؤيتها على البعد صعبة.

فكر السيد تومبكينز: حسنًا، من المؤكد أن الحياة تمضي نحو أن تكون أكثر راحة. خشيت طوال الوقت من أن تضربني واحدة من تلك الصخور المرتحلة» التفت إلى البروفيسور، وقال: «هل يمكنك أن تفسر التغيُّر الذي حدث في محيطنا؟

«هذا سهل للغاية، يتمدد كوننا الصغير بسرعة كبيرة، ازدادت أبعاده عما كانت عليه حين جئنا هنا. ازدادت من خمسة أميال إلى مائة ميل. فور أن وجدت نفسي هنا، لاحظت هذا التمدد من احمرار الأجسام البعيدة».

قال السيد تومبكينز: حسنًا، أرى كذلك أن كل شيء يصبح ورديًّا من بُعد، ولكن لماذا يدل هذا الأمر على التمدد؟



أخذ الكون يتمدد ويبرد مجاوزًا كل الحدود (رسم كارتوني مقتبس من الدايلي تلغراف (سيدني) 16 يناير 1960)

قال البروفيسور: هل لاحظت يومًا أن صفير القطار المقترب يكون حادًّا جدًّا، ولكن بعد أن يمر القطار بك، يُصبِح جَرسه أغلظ بصورة ملحوظة؟ إن هذا هو ما يُطلَق عليه تأثير دوبلر: اعتماد النغمة على سرعة المصدر. عندما يتمدد الفضاء برمته، يبتعد كل جسم فيه بسرعة تتناسب مع بعده عن الراصد. وعلى ذلك يصبح الضوء المنبعث من تلك الأجسام أكثر احمرارًا، وهو الضوء المناظر للنغمة الأغلظ. كلما ابتعدت الأجسام، تحركت أسرع، وبدت لنا أكثر احمرارًا. في كوننا الطيب القديم، المتمدد كذلك، يسمح هذا الاحمرار أو ما ندعوه بالانزياح نحو الأحمر للفلكيين بحساب المسافة التي تبعُدها سحب النجوم عنا. على سبيل المثال، تُظهِر واحدة من أقرب السحب –ما ندعوها سديم أندروميدا– احمرارًا قدره 0.05 ٪، وهو ما يتوافق مع ضوء يقطع مسافة قدرها ثمانمائة ألف سنة [من المعروف حاليًّا أن أندروميدا تُظهر انزياحًا نحو الأزرق، أي أن الضوء الصادر عنها يبدو أكثر زرقة لأنها تقترب منا، والضوء الأزرق يناظر النغمة الحادة، من المعروف كذلك أن بُعد أندروميدا عنا يُقدَّر حاليًّا بـ 2.5 مليون سنة ضوئية تقريبًا]، ولكن ثمة سديم يقع ضمن حدود قوة التلسكوبات الحالية، يُظهِر احمرارًا يُقدَّر بـ 0.15 ٪، وهو ما يتوافق مع مسافة تُقدَّر بعدة مئات الملايين من السنوات الضوئية. من المحتمل أن هذه السدم تقع في منتصف المسافة عند خط استواء هذا الكون الكبير، ويمثِّل الحجم الكلي للفضاء المعروف للفلكيين الأرضيين جزءًا ملحوظًا من الحجم الكلي للكون [يُقدَّر قطر الكون المنظور حاليًّا بـ 93 بليون سنة

ضوئية]. يُقدَّر معدل التمدد الحالي للكون بـ 0.000,000,01 ٪ لكل عام، وعلى ذلك يزيد نصف قطر الكون كل ثانية بمقدار عشرة ملايين ميل [معدل توسع الكون المعروف حاليًّا 46 ميلًا في الثانية لكل فرسخ نجمي (الفرسخ النجمي 3.26 مليون سنة ضوئية)]. ينمو كوننا الصغير هنا بمعدل أسرع نسبيًّا، إذ تزداد أبعاده بـ 1 ٪ تقريبًا كل دقيقة.

سأل السيد تومبكينز: ألن يتوقف هذا التمدد أبدًا؟

قال البروفيسور: سوف يتوقف بالتأكيد. وبعدئذٍ سوف يبدأ الانكماش. ينبض كل كون متنقلًا بين نصف قطر صغير جدًّا ونصف قطر كبير جدًّا. تستغرق هذه الدورة في كون كبير فترة زمنية طويلة، تصل إلى عدة آلاف ملايين السنين، إلا أن الدورة تستغرق في كوننا هذا ساعتين فقط تقريبًا. أظن أننا نرصد الآن أوسع تمدد للكون. هل تلاحظ مدى برودته؟

في الحقيقة، يمد الإشعاع الحراري الذي يملأ الكون كوكبهما الصغير بقدرٍ ضئيلٍ جدًّا من الحرارة؛ إذ يتوزع حاليًّا على حجم كبير جدًّا، ودرجة الحرارة عند نقطة التجمد تقريبًا.

قال البروفيسور: من حسن حظنا أن الإشعاع الذي كان موجودًا بالأصل يكفي ليمدَّنا بالحرارة عند هذه المرحلة من التمدد. بغير ذلك، كانت البرودة ستجعل الهواء من حول الصخرة يتكثف إلى سائل، وكنا سنتجمَّد حتى الموت. إلا أن الانكماش بدأ بالفعل، وسرعان ما يسود الدفء مرة أخرى.

نظر السيد تومبكينز إلى السماء، لاحظ أن كل الأجرام البعيدة تغيَّر

لونها من الوردي إلى البنفسجي، وبحسب البروفيسور فقد حدث هذا لأن كل الأجرام النجمية بدأت التحرك نحوهما. تذكر كذلك التشبيه الذي عقده البروفيسور مع النغمة الحادة لصافرة قطار مقترب، وارتجف من فرط الرعب.

سأل البروفيسور قلقًا: إذا انكمش كل شيء، ألا نتوقع أن كل الصخور الكبيرة التي تملأ الكون سوف تلتقي قريبًا، وأننا سننسحق بينها؟

أجابه البروفيسور بهدوء: تمامًا، لكنني أظن أن الحرارة سترتفع كثيرًا قبل هذا، وأننا سنتحلل إلى ذرات منفصلة. هذه صورة مصغرة لنهاية كون كبير؛ سيمتزج كل شيء في كرة غازية ساخنة منتظمة، ولن تبدأ حياة جديدة مرة أخرى إلا مع تمدد جديد.

غمغم السيد تومبكينز: أوه يا إلهي! نحظى في كون كبير بمليارات السنين -كما ذكرت- قبل النهاية، لكن الأمور تجري هنا بسرعة شديدة للغاية بالنسبة إليَّ! أشعر بسخونة بالفعل، في داخل ملابس النوم نفسها.

قال البروفيسور: من الأفضل لك ألا تخلعها، لن يساعد ذلك. ارقد وارصد لأطول فترة ممكنة.

لم يحرِ السيد تومبكينز جوابًا، صار الهواء ساخنًا إلى درجة لا تُطاق. تراكم الغبار الذي صار كثيفًا جدًّا الآن من حوله، وشعر كأنما يلتف في غطاء ناعم دافئ. تحرك ليحرر نفسه، وخرجت يده إلى هواء بارد.

أول الأفكار التي خطرت بباله: «هل صنعت فجوة في ذلك الكون غير المضياف؟» أراد أن يسأل البروفيسور عن الأمر، لكنه لم يجده في أي مكان. بدلًا من ذلك، مَيَّز في ضوء الصباح الخافت أبعاد الأثاث المألوف في حجرة نومه. كان ينام في فراشه، ملفوفًا بإحكامٍ في غطاء صوفي، ونجح للتوِّ في تحرير إحدى يديه منه.

فكر متذكرًا كلمات البروفيسور العجوز: «تبدأ حياة جديدة مع التمدد. حمد لله أننا لا نزال نتمدد!» ومضى ليأخذ حمامه الصباحي.

6

الأوبرا الكونية

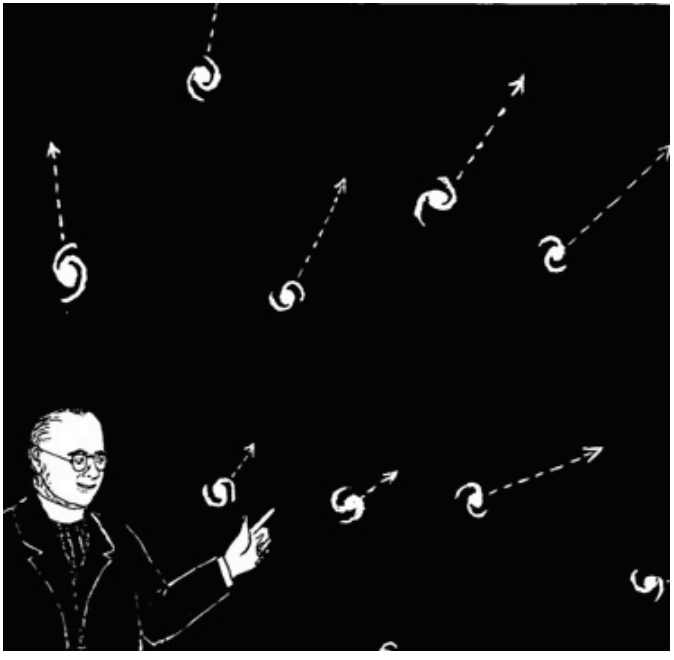
في إفطار ذلك الصباح، أخبر السيد تومبكينز البروفيسور عن حلم الليلة السابقة، أنصت العجوز في تشكك.

قال: انهيار الكون، يا لها من نهاية درامية بالتأكيد، لكنني أظن أن سرعة التراجع المشترَك للمجرات كبيرة جدا بحيث لن يتحول التمدد الحالي إلى انهيار أبدًا، وبحيث يستمر الكون في التمدد فيما وراء أي حد ويصير توزيع المجرات في الفضاء مهلهلًا أكثر فأكثر. عندما تنطفئ كل النجوم التي تشكِّل المجرات بسبب نفاد الوقود النووي، يصير الكون حفنة من تجمعات سماوية باردة ومظلمة تتناثر إلى ما لا نهاية.

«إلا أن لبعض الفلكيين شأنًا آخر. يطرحون ما يطلق عليه علم كونيات الحالة الثابتة، ووفق ذلك فالكون يبقى بلا تغيُّر في الزمن: وُجِد على الصورة نفسها تقريبًا التي نراها عليه اليوم منذ ما لا نهاية في الماضي، وسوف يبقى على هذه الصورة إلى ما لا نهاية في المستقبل. يتماشى هذا بالتأكيد مع المبدأ الجيد العتيق للإمبراطورية البريطانية الذي ينص على الإبقاء على الحالة الراهنة للعالَم، لكنني لا أميل إلى الاعتقاد في صحة نظرية الحالة الراهنة. بالمناسبة، أحد مؤصلي هذه النظرية الجديدة، بروفيسور في الفلك النظري في جامعة كامبريدج،

وقد كتب أوبرا عن هذا الموضوع، سوف يكون عرضها الافتتاحي في كوفنت جاردن الأسبوع المقبل. لِمَ لا تحجز تذكرتين لمود ولك وتذهبان للاستماع لها؟ قد تكون ممتعة للغاية».

بعد أيام قليلة من العودة من الشاطئ، إذ أصبح مثله كمثل شواطئ القناة باردًا ومطيرًا، جلس السيد تومبكينز ومود في استرخاء في كرسيين من كراسي الأوبرا المكسوة بقطيفة حمراء، ينتظران رفع الستار. بدأت المقدمة الموسيقية في عجالة شديدة للغاية *precipitevolissimevolmente*، وتوجب على قائد الأوركسترا تغيير ياقة بدلته الرسمية مرتين قبل أن تنتهي. عندما ارتفع الستار فجأة، توجب على كل الحضور تغطية أعينهم بباطن أيديهم، إذ كانت إضاءة خشبة المسرح ساطعة جدًّا.



رأى السيد تومبكينز رجلًا يرتدي زيًّا كهنوتيًّا أسود وياقة إكليريكية

سرعان ما ملأت الإضاءة الشديدة المنبعثة من خشبة المسرح القاعة بأكملها، وأصبحت أرضية القاعة والبلكون مغمورة بيضاء ساطعة كذلك. خفتت الإضاءة اللامعة العامة تدريجيًّا، ووجد السيد تومبكينز نفسه طافيًا في فضاء معتم، تضيئه كشافات عديدة لاهبة تدور بسرعة، تشبه عجلات اللهب المستخدَمة في الاحتفالات الليلية. بدأت موسيقى الأوركسترا الخفية تصدح مثل موسيقى أرغن، ورأى السيد تومبكينز بالقرب منه رجلًا يرتدي زيًّا كهنوتيًّا أسود وياقة إكليريكية. بحسب كتاب الأوبرا (الليبريتو)، كان الكاهن چورچ لوميتر من بلجيكا أول من طرح نظرية تمدد الكون، التي يُطلَق عليها في الغالب نظرية «الانفجار العظيم».

لا يزال السيد تومبكينز يتذكر أول مقاطع لحنه:

أوه، ذرة أولية!

ذرة تحوي كل شيء!

انحلت إلى شظايا صغيرة للغاية.

تشكَّلت مجرات،

لكل منها طاقة ابتدائية!

أوه، ذرة نشطة إشعاعيًّا!

أوه، ذرة تحوي كل شيء!

أوه، ذرة كونية،

صنيع الرب!

تُحَدِّث رحلة النشوء الطويل

بالألعاب النارية الجبارة

التي انتهت إلى رماد وحفن محترقة.

نقف على بقايا الاحتراق

نواجه الشموس المتلاشية،

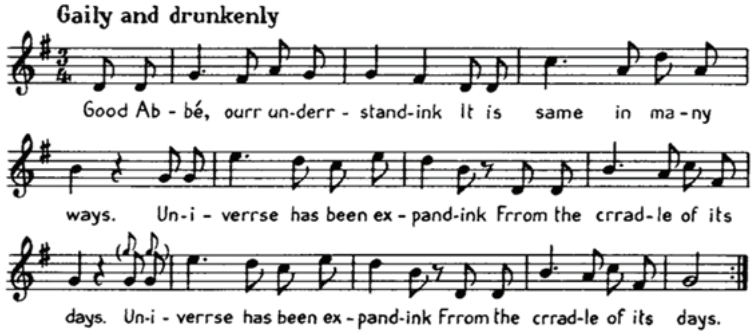
نحاول أن نتذكر

بهاء الأصل.

أوه، ذرة كونية –

صنيع الرب!

بعد أن انتهى الأب لوميتر من لحنه، ظهر رفيق طويل القامة، الفيزيائي الروسي، چورچ جاموف (بحسب ما جاء في كتاب الأوبرا (الليبريتو))، كان قد قضى العقود الثلاثة الأخيرة في إجازة في الولايات المتحدة الأمريكية. هذا ما غنَّاه:



أبي الطيب، إن فهمنا

هو نفسه من أوجه عديدة.

أخذ الكون يتمدد،

منذ كان في المهد

أخذ الكون يتمدد،

منذ كان في المهد.

أخبرتنا أنه اكتسب حركة.

آسف إذ لا نتفق،

ونختلف في مفاهيمنا،

بخصوص كيف جاء.

ونختلف في مفاهيمنا،

بخصوص كيف جاء.

كان سائلًا نيوترونيًّا –

لا ذرة أولية – كما حَدَّثت.

إنه مجاوز للحدود، أبدًا

إنه مجاوز للحدود عتيق.

إنه مجاوز للحدود، أبدًا

إنه مجاوز للحدود عتيق.

في فسطاط لا حدود له

لقي الغاز مصيره في انهيار،

منذ (آلاف ملايين) السنين

وصل إلى أكثف حالاته.

منذ (آلاف ملايين) السنين

وصل إلى أكثف حالاته.

صار كل الفضاء لامعًا فوق العادة

في تلك اللحظة الجوهرية.

جاوز الضوء المادة

ميزان شعري من أجل التقفية

لكل طن من الإشعاع

أوقية من المادة،

حتى انبعثت نبضة نحو التضخم

في ذلك الزمن السحيق.

حتى انبعثت نبضة نحو التضخم

في ذلك الزمن السحيق.

أخذ الضوء عندئذٍ يخفت ببطء،

مرَّت مئات ملايين السنين...

توفَّرت إمدادات المادة،

فوق الضوء السائد.

توفَّرت إمدادات المادة،

فوق الضوء السائد.

ثم بدأت المادة تتكثف

(إنها فرضية جينس [جيمس جينس الفلكي البريطاني])

توزعت السحب الغازية الضخمة،

المعروفة بالمجرات الأولية.

توزعت السحب الغازية الضخمة،

المعروفة بالمجرات الأولية.

انتشرت المجرات الأولية،

حلَّقت نحو الخارج في الليل.

تكوَّنت النجوم منها، وتفرقت

وامتلأ الفضاء بالضوء.

تكوَّنت النجوم منها، وتفرقت

وامتلأ الفضاء بالضوء.

لَفَّت المجرات أبدًا،

تحترق النجوم لآخر شرارة،

إلى أن يرق كوننا

ويصير بلا حياة، باردًا ومظلمًا.

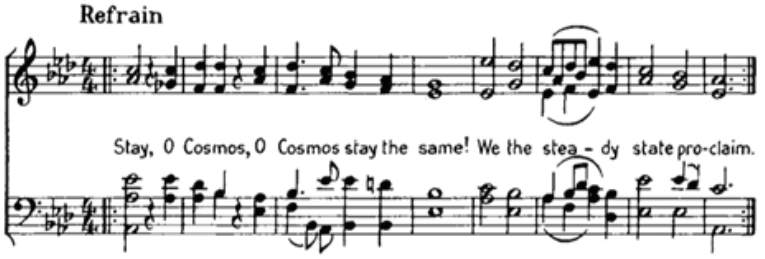
إلى أن يرق كوننا

ويصير بلا حياة، باردًا ومظلمًا.

يتذكر السيد تومبكينز اللحن الثالث، أنشده مؤلف الأوبرا نفسه، تجسَّد فجأة من العدم في الفضاء بين المجرات اللامعة بشدة. أخرج من جيبه مجرة مولودة حديثًا، وأخذ يغني:

جلال

لازمة



بأمرٍ إلهي، لم يتشكل

الكون قَطُّ في زمن مضى،

لكنه بقي ويبقى وسيبقى –

كما قلت وقال بوندي وجولد.

يبقى الكون، أوه الكون، هو نفسه!

نحن دعاة الحالة الثابتة.

تتناثر المجرات الطاعنة في السن،

تحترق وتخرج من المشهد.

لكن الكون باقٍ طوال الوقت،

بقي ويبقى وسيبقى

يبقى الكون، أوه الكون، هو نفسه!

نحن دعاة الحالة الثابتة.

وما زالت مجرات جديدة تتكثف

من العدم كما فعلت من قبل.

(لا إساءة لشخصيكما، لوميتر وجاموف!)

يبقى الكون، أوه الكون، هو نفسه!

نحن دعاة الحالة الثابتة.

ولكن على الرغم من هذه الكلمات الملهمة أخذت المجرات في الفضاء المحيط تتلاشى تدريجيًّا، وأُنزِل الستار المصنوع من القطيفة أخيرًا، واتخذت الشمعدانات أماكنها في قاعة الأوبرا الكبيرة.

سمع مود تقول: أوه، سيريل، أعرف أنك عرضة للخلود إلى النوم في أي مكان وأي زمان، ولكن لا يجب أن تغفو في كوفنت جاردن! لقد نمت طوال العرض!

عندما أعاد السيد تومبكينز، مود إلى منزل أبيها، كان البروفيسور يجلس في مقعده الوثير وبين يديه العدد الجديد من مجلة مانثلي

نوتيسيز (الإشعارات الشهرية)، سأله: «حسنًا، كيف كان العرض؟».

قال السيد تومبكينز: أوه، رائع! لقد تأثرت بشكل خاص باللحن المتعلق بالكون الموجود أبدًا. بدا مُطَمئنًا جدًّا.

قال البروفيسور: «كن حذرًا بالنسبة إلى هذه النظرية. ألا تعرف القول المأثور: «ليس كل ما يلمع ذهبًا»؟ أقرأ للتوِّ مقالًا كتبه عالِم آخر من كامبريدج يُدعى مارتن رايل، بنى تلسكوبًا راديويًّا ضخمًا، يمكنه تحديد أماكن مجرات تبعد عدة مرات عن نطاق تلسكوب مرصد جبل بالومار البصري، ذي 200 بوصة. أوضحت أرصاده أن تلك المجرات البعيدة جدًّا تقع أقرب بعضها لبعض من المجرات المجاورة لنا».

سأل السيد تومبكينز: هل تعني أن منطقتنا من الكون تحتوي على ندرة من المجرات، وأن كثافة المجرات تزداد عندما نبتعد ونبتعد؟

قال البروفيسور: لا أقصد ذلك على الإطلاق، تتذكر بالتأكيد أنك عندما تنظر بعيدًا في الفضاء، تنظر بعيدًا إلى الوراء في الماضي كذلك، بسبب سرعة الضوء المتناهية. على سبيل المثال، نظرًا إلى أن الضوء يستغرق ثماني دقائق لكي يصل إلينا من الشمس، يرصد فلكيو الأرض توهجًا على سطح الشمس بعد ثماني دقائق من حدوثه.

تكشف الصور الفوتوغرافية لأقرب جارٍ فضائي لنا، مجرة حلزونية في مجموعة أندروميدا -التي رأيتها بالتأكيد في كتب الفلك وتقع على بُعد مليون سنة ضوئية- عن كيف بدت تلك المجرة منذ مليون سنة. لذلك، يتوافق ما رآه رايل -أو بالأحرى سمعه- عبر تلسكوبه الراديوي مع الوضع الذي كان موجودًا في الجزء البعيد من الكون منذ

آلاف ملايين السنين. إذا كان الكون في حالة ثابتة بالفعل، فلن تتغير الصورة بمرور الزمن، ويجب أن نرى المجرات البعيدة جدًّا موزعة في الفضاء مثلها كمثل المجرات الموجودة على مسافات قصيرة منا، يجب ألا تكون أكثف أو أندر. تُظهِر أرصاد رايل أن المجرات البعيدة تبدو مكدسة، وهو ما يعني أن المجرات في كل مكان كانت مكدسة وأقرب بعضها إلى بعض في الماضي البعيد منذ آلاف ملايين السنين. يناقض هذا نظرية الحالة الثابتة، ويدعم المنظور الأصلي الذاهب إلى أن المجرات تتفرق، وأن كثافتها تقل. لكننا يجب أن نستقبل نتائج رايل في حرص وننتظر مزيدًا من التأكيد.

استكمل البروفيسور حديثه وهو يستخرج قصاصة ورقية مطوية من جيبه: بالمناسبة، ها هنا مقطوعة شعرية، كتبها مؤخرًا أحد زملائي المغرمين بالشعر حول هذا الموضوع.

سمع التالي:

قال رايل لهويل،

«سنوات كدك وكدحك،

ضاعت سدى، صدقني.

عفى الزمن

على الحالة الثابتة.

إلا إذا خدعتني عيناي،

حطَّم تلسكوبي

آمالك،

دحض معتقداتك.

فلأوجز لك:

يصير كوننا

أقل كثافة كل يوم!»

قال هويل، «لاحظت

أنك تقتبس من لوميتر

وجاموف. حسنًا، انساهما!

تلك العصابة الضالة

وانفجارها العظيم –

لماذا تساعدهما وتدعمهما؟

فكما ترى، يا صديقي،

لا نهاية للكون

ولا بداية له،

وهو ما أعتقده

ويعتقد بوندي وجولد

إلى أن يتساقط شعرنا!

صاح رايل في كدر،

«على العكس من ذلك».

ضيق الخناق عليه،

«يرى الواحد

المجرات

مكدسة للغاية، الواحدة جنب الأخرى!»

انفجر هويل،

«تجعلني أغلي!»

قال ما معناه،

«تولد مادة جديدة،

في كل مساء وصباح،

لا تتغير الصورة!»

«تجاوز ذلك يا هويل!

ما زلت أنوي

إحباطك» (إذ يبدأ المرح)

استكمل رايل حديثه،

«في وقت قصير،

سوف أعيد إليك عقلك!»[1]

قال السيد تومبكينز: «حسنًا، من المثير أن نرى ما سيسفر عنه هذا النزاع». قَبَّل وجنة مود، وتمنى لها وللبروفيسور ليلة سعيدة.

---

(1) قبل أسبوعين من تاريخ نشر الطبعة الأولى من هذا الكتاب ظهر مقال، كتبه فريد هويل بعنوان: «تطورات حديثة في علم الكونيات» Recent Developments in Cosmology (Nature, Oct. 9, 1965, p.111). كتب هويل: «أحصى رايل وشركاؤه المصادر الراديوية... دل هذا الإحصاء الراديوي على أن الكون كان أكثف في الماضي مقارنة به الآن». إلا أن المؤلف قرر الإبقاء على الأبيات الشعرية «للأوبرا الكونية»؛ إذ فور أن تُكتَب الأوبرا، تُصبح كلاسيكية. في الحقيقة، تغني ديدمونة لحنًا جميلًا قبل أن تموت، بعد أن يخنقها عطيل.

السيد تومبكينز يستكشف الذرة

7

البلياردو الكمي

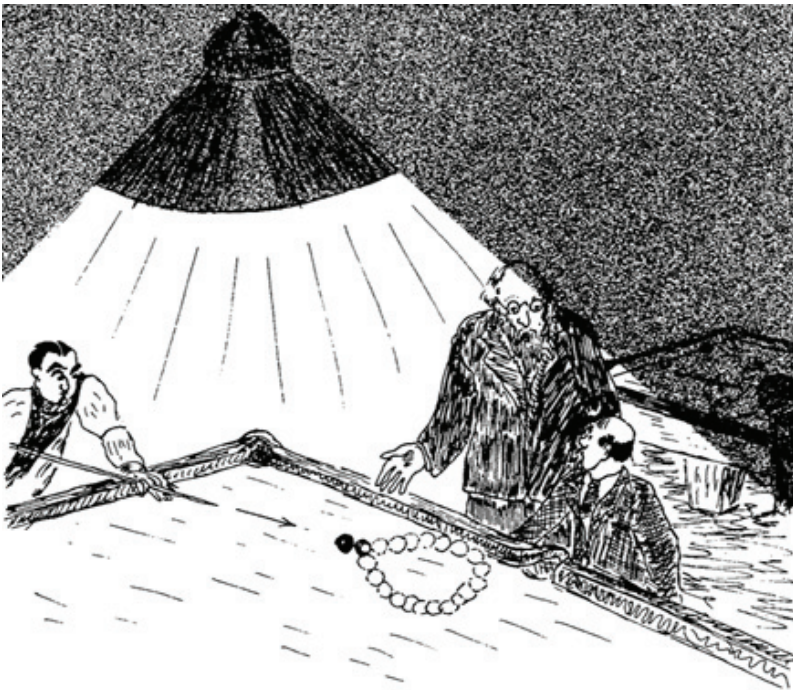
في أحد الأيام، وفي أثناء عودة السيد تومبكينز إلى بيته متعبًا بعد يوم عمل طويل في البنك، الذي يضطلع بمهام هائلة، مرَّ بحانوت وقرر الدخول من أجل كوب جعة. أتبع الكوب الآخر، وسرعان ما شعر السيد تومبكينز ببعض الدوار. في مؤخرة الحانوت حجرة بلياردو ممتلئة برجالٍ يرتدون قمصانًا قصيرة الأكمام، يلعبون على طاولة البلياردو. بزغت في رأسه ذكرى مشوَّشة لوجوده هنا من قبل، حينما اصطحبه أحد زملائه المحاسبين لكي يعلِّمه البلياردو. اقترب من الطاولة، وبدأ يشاهد اللعبة. تنطوي على شيء شاذ! وضع لاعب الكرة على الطاولة وضربها بعصا البلياردو. نظر السيد تومبكينز إلى الكرة المتدحرجة، أصابه الذهول حين لاحظ أن الكرة بدأت «تنتشر». إنه التعبير الوحيد الذي استطاع العثور عليه ليصف سلوك الكرة الغريب، التي تحركت عبر الحلبة الخضراء، بدا أنها تبهت وتبهت، تفقد حدودها الواضحة. بدا كأنما لا تتدحرج كرة واحدة عبر الطاولة، بل عدد أكبر من الكرات،

تخترق كل كرة منها الكرات الأخرى جزئيًّا. لاحظ السيد تومبكينز ظواهر مشابهة من قبل، لكنه لم يتناول اليوم قطرة واحدة من الويسكي، ولا يفهم لماذا يحدث هذا الأمر الآن. فكر: «حسنًا، فلنرَ كيف تصطدم عصيدة الكرات هذه بكرة أخرى».

من الواضح أن اللاعب الذي ضرب الكرة خبير في اللعب، ارتطمت الكرة بالكرة الأخرى رأسًا كأنما تستهدفها. صدر صوت ارتطام صاخب، واندفعت الكرتان كلتاهما، تلك التي كانت ساكنة، والتي كانت متحركة (لا يعرف السيد تومبكينز يقينًا أيهما كانت ساكنة وأيهما كانت متحركة)، «في جميع الاتجاهات المختلفة». نعم، إنه أمر غريب جدًّا، لم تعودا كرتين تبدوان كأنما صُنِعتا من عصيدة، بل صارتا بدلًا من ذلك كرات عديدة لا تُحصى، تندفع كلٌّ منها بشكلٍ مبهمٍ كأنها مصنوعة من عصيدة ضمن زاوية تقدر بـ 180° حول اتجاه الاصطدام الأصلي. تشبه موجة مميزة تنتشر من نقطة الاصطدام.

إلا أن السيد تومبكينز لاحظ أن ثمة تدفقًا أقصى للكرات في اتجاه التصادم الأصلي.

قال صوت مألوف من ورائه: تشتت الموجة.



ذهبت الكرة البيضاء في كل الاتجاهات

تعرف السيد تومبكينز على البروفيسور، صاح: والآن، هل يوجد شيء منحنٍ هنا أيضًا؟ تبدو الطاولة مسطحة تمامًا.

أجابه البروفيسور: هذا صحيح تمامًا، الفضاء هنا مسطح تمامًا، وأنت ترصد ظاهرة ميكانيكية كمية.

غامر السيد تومبكينز، وقال ساخرًا: أوه، المصفوفة!

قال البروفيسور: «أو بالأحرى، لا يقين الحركة. جمع مالك حجرة البلياردو أجسامًا عديدة، تعاني من «تَفَيُّل كمي» – إذا كان لي

أن أستخدم هذا التعبير. في الحقيقة، تخضع كل الأجسام في الطبيعة إلى قوانين الكم، إلا أن ما يُطلَق عليه الثابت الكمي الذي يحكم هذه الظواهر صغير جدًّا، في الحقيقة، لقيمته العددية سبعة وعشرون صفرًا بعد العلامة العشرية. مع ذلك، بالنسبة إلى هذه الكرات هنا هذا الثابت أكبر كثيرًا -يقترب من الواحد- ويمكنك أن ترى بأم عينيك بسهولة الظواهر التي لم ينجح العلم في اكتشافها إلا عن طريق استخدام وسائل حساسة ومعقدة للغاية من أجل الرصد» تأمل البروفيسور لوهلة.

استكمل حديثه: لا أقصد أن ألوم أحدًا، لكنني أود أن أعرف من أين جاء الرجل بهذه الكرات. أقصد أن هذه الكرات لا توجد في عالمنا؛ إذ إن للثابت الكمي القيمة الصغيرة نفسها بالنسبة إلى كل الأجسام في عالمنا.

اقترح السيد تومبكينز: ربما استوردها من عالَم آخر.

إلا أن البروفيسور لم يكن راضيًا عن التفسير، وبقي متشككًا. استكمل حديثه: «لعلك لاحظت أن الكرات «انتشرت»، وهو ما يعني أن موضعها على الطاولة غير محدد تمامًا. لا يمكنك أن تشير إلى موضع الكرة بالضبط، أفضل ما يمكنك أن تقوله إن الكرة «هنا على الأرجح» و«في موضع آخر جزئيًّا»».

تمتم السيد تومبكينز: هذا غير معتاد أبدًا.

أصر البروفيسور على موقفه: على العكس، هذا معتاد تمامًا، بمعنى أنه يحدث دائمًا لأي جسم مادي. لا يلاحظ الناس عدم التحدد هذا، بسبب القيمة الصغيرة للثابت الكمي وافتقار وسائل الرصد العادية إلى الدقة. وصلوا إلى استنتاج خاطئ، يرى أن الموضع والسرعة كميتان

محددتان دائمًا. في الحقيقة، الكميتان كلتاهما غير محددتين بدرجة ما دائمًا، وكلما تحددت إحداهما، صارت الأخرى أكثر انتشارًا. يحكم الثابت الكمي العلاقة بين هذين اللا يقينَين. انظر هنا، سوف أفرض قيودًا محددة على موضع هذه الكرة عن طريق وضعها داخل مثلث خشبي.

وفور أن وُضِعت الكرة داخل الحيز، صارت المساحة داخل المثلث كلها ممتلئة بالعاج اللامع.

قال البروفيسور: وكما ترى! عيَّنت موضع الكرة ضمن حدود أبعاد المثلث، أي ضمن مساحة تُقدَّر بعدة بوصات. يؤدي هذا إلى لا يقين ملحوظ في السرعة، تتحرك الكرة سريعًا داخل نطاق المثلث.

قال السيد تومبكينز: هل يمكنك إيقافها؟

«لا، يستحيل هذا فيزيائيًّا. لكل جسم في فضاء مقيد حركة معينة -نطلق عليها نحن الفيزيائيون حركة النقطة صفر. مثل حركة الإلكترونات في أي ذرة».

وبينما يراقب السيد تومبكينز الكرة تسرع ذهابًا وإيابًا في فضائها المقيد مثل نمر في قفص، حدث شيء شاذ. «تسربت» الكرة عبر جدار المثلث، وتدحرجت في اللحظة التالية نحو الركن البعيد للطاولة. يتمثل الأمر الغريب في أنها لم تقفز فوق الحاجز الخشبي، لكنها مرَّت عبره فعليًّا، لم ترتفع عن الطاولة.

قال السيد تومبكينز: حسنًا، ها أنت ذا، هربت «حركة النقطة صفر»، هل يتفق هذا مع القواعد؟

قال البروفيسور: بالتأكيد، في الحقيقة، إنها إحدى نتائج نظرية الكم شديدة الإثارة. من المستحيل الإمساك بشيء داخل حيز مغلق شريطة وجود طاقة تكفي للهرب بعد عبور الحاجز، سوف «يتسرب» الجسم عاجلًا أو آجلًا ويبتعد.

قال السيد تومبكينز في عزم: «إذن، لن أذهب إلى حديقة الحيوان أبدًا» رسمت مخيلته النشطة في الحال مشهدًا مرعبًا لأسود ونمور «تتسرب» عبر جدران أقفاصها. ثم اتخذت أفكاره منحى آخر: فكر في سيارة مغلقة بإحكامٍ في مرأب سيارات، تتسرب خارجة من خلال حوائط المرأب مثل شبح قديم طيب من العصور الوسطى.

سأل البروفيسور: ما المدة التي يجب أن أنتظرها حتى تتسرب سيارة مصنوعة من الصلب المعتاد، لا من هذا النوع من المواد، عبر جدران مرأب مبني -فلنقل- من الطوب؟ أود أن أرى ذلك بالفعل!

مثل شبح قديم طيب من العصور الوسطى

كان البروفيسور جاهزًا بالإجابة بعد أن أجرى بعض الحسابات السريعة في رأسه: «سوف تستغرق 000,000 ... 1,000,000,000 عام تقريبًا.

وعلى الرغم من اعتياد السيد تومبكينز الأعداد الكبيرة في الحسابات البنكية، نسي عدد الأصفار التي ذكرها البروفيسور – إلا أن العدد كان طويلًا بما يكفي لكي لا يقلق بخصوص هروب سيارته.

«افترض أنني أصدق كل ما قلته، على الرغم من ذلك، لا أفهم كيف يُمكن رصد هذه الأمور إذا لم تكن لدينا هذه الكرات الموجودة هنا».

قال البروفيسور: اعتراض معقول. لا أقصد بالتأكيد أن من الممكن رصد الظواهر الكمية في حالة الأجسام الكبيرة مثل تلك التي تتعامل معها عادة. إلا أن الأمر يتلخص في أن تأثيرات القوانين الكمية تصبح ملحوظة بصورة أكبر عند تطبيقها على كتلٍ صغيرة للغاية مثل الذرات أو الإلكترونات. بالنسبة إلى تلك الجسيمات، تكون التأثيرات الكمية كبيرة جدًّا بحيث تصير الميكانيكا المعتادة غير قابلة للتطبيق قَطُّ. يبدو التصادم بين ذرتين مماثلًا تمامًا للتصادم الذي شاهدته للتوِّ بين الكرتَين، وتشبه حركة الإلكترونات داخل ذرة «حركة النقطة صفر» لكرة بلياردو، وُضِعت داخل المثلث الخشبي.

سأل السيد تومبكينز: وهل تهرب الذرات من المرأب كثيرًا؟

«أوه نعم، تفعل ذلك. سمعت بالتأكيد عن الأجسام النشطة إشعاعيًّا، تلك التي تتحلل ذراتها تلقائيًّا، مصدِرة جسيمات سريعة جدًّا. تشبه هذه الذرة أو بالأحرى مركزها الذي نطلق عليه النواة الذرية مرأبًا، فيه السيارات أي الجسيمات الأخرى مخزَّنة. وتهرب عن طريق التسرب عبر جدران هذه النواة، لا تبقى بالداخل في بعض الأحيان لثانية واحدة. تصبح الظواهر الكمية في هذه الأنوية معتادة للغاية!»

شعر السيد تومبكينز بتعبٍ شديدٍ بعد هذه المحادثة الطويلة، وأخذ ينظر حوله مشوَّشًا. تركز انتباهه على ساعة كبيرة عتيقة ببندول قائمة في ركن الحجرة. يتأرجح البندول قديم الطراز ببطء ذهابًا وإيابًا.

قال البروفيسور: أرى أنك مهتم بهذه الساعة. إنها آلية غير معتادة أبدًا كذلك، لكن عفا عليها الزمن. تمثِّل الساعة الطريقة التي اعتاد الناس التفكير بها في الظواهر الكمية في البداية. يُعد بندول الساعة بحيث يزداد مداه عن طريق خطوات متناهية فقط. إلا أن صناع الساعات يفضلون حاليًّا البندول الذي ينفرج منفتحًا.

صاح السيد تومبكينز: أوه، أتمنى أن أقدر على فهم كل هذه الأمور المعقدة!

رد البروفيسور في حسم: حسنًا، لقد نزلت بهذا الحانوت وأنا في طريقي إلى محاضرتي عن نظرية الكم لأنني رأيتك من خلال النافذة. والآن حان وقت ذهابي، حتى لا أتأخر عن محاضرتي. هل تهتم بمرافقتي؟

قال السيد تومبكينز: أوه نعم، أهتم بذلك!

وكالعادة تكدست قاعة المحاضرات الكبيرة بالطلاب، كان السيد تومبكينز مسرورًا على الرغم من أنه جلس على السلالم.

السيدات والسادة – بدأ البروفيسور محاضرته –

حاولت في محاضرتَي السابقتين أن أوضح لكم كيف وصل بنا اكتشاف الحد الأعلى لكل السرعات الفيزيائية وتحليل مفهوم الخط المستقيم إلى إعادة تشكيل كاملة للأفكار الكلاسيكية بخصوص المكان والزمن.

إلا أن هذا التطور للتحليل النقدي لأسس الفيزياء لم يقف عند هذه المرحلة، ولا تزال في انتظارنا اكتشافات واستنتاجات مذهلة. أحيل إلى فرع من الفيزياء معروف باسم نظرية الكم التي لا تُعنى كثيرًا بخواص المكان والزمن نفسيهما مثلما تُعنى بالتفاعلات المتبادلة وحركات الأجسام المادية في المكان والزمن. كان من المقبول دائمًا في الفيزياء الكلاسيكية كأمرٍ بديهي أننا نستطيع أن نجعل التفاعلات بين أي جسيمين فيزيائيين صغيرة بقدر ما يتطلَّب الأمر من خلال ظروف التجربة، ومن الممكن تقليلها إلى الصفر عند الضرورة. على سبيل المثال، إذا كنا بصدد التحري عن الحرارة الناجمة عن عمليات معينة، يخشى الواحد من أن إدخال مقياس للحرارة قد يُقصي كمية معينة من الحرارة، وبالتالي يبث اضطرابًا في المسار الطبيعي للعملية المرصودة، كان المُجَرِّب على يقين دائمًا من أن استخدام مقياس أصغر للحرارة، أو مزدوج حراري، يقلل هذا الاضطراب إلى نقطة دون حدود الدقة المطلوبة.

سادت قناعة بأن أي عملية فيزيائية قد تُرصَد -من حيث المبدأ- بأي درجة مطلوبة من الدقة، من دون بث الاضطراب فيها بسبب هذا الرصد، كانت القناعة من القوة بحيث لم ينزعج أحد من صياغة هذه الفرضية بوضوح، كما عُولجَت كل المشكلات من هذا النوع دائمًا باعتبارها صعوبات تقنية بحتة. إلا أن حقائق تجريبية جديدة تراكمت منذ بدايات القرن الحالي، ودفعت الفيزيائيين بثباتٍ نحو استنتاج أن الوضع أكثر تعقيدًا بكثير بالفعل، وأنه يوجد في الطبيعة حدٌّ أدنى معين «للتفاعل»، لا

يمكن تجاوزه أبدًا. هذا الحد الطبيعي للدقة صغيرة بدرجة يمكن إهمالها بالنسبة إلى كل أنواع العمليات التي نألفها في حياتنا العادية، لكنه يصبح مهمًّا للغاية عندما نتعامل مع تفاعلات تحدث في أنظمة كمية ضئيلة جدًّا مثل الذرات والجزيئات.

في عام 1900، بينما كان الفيزيائي الألماني **ماكس بلانك** يتحرى نظريًّا عن شروط التوازن بين المادة والإشعاع، وصل إلى استنتاجٍ مدهشٍ أن هذا التوازن مستحيل بغير افتراض أن التفاعل بين المادة والإشعاع لا يحدث في تواصل، كما افترضنا دائمًا، بل يحدث في صورة تتابع من «الصدمات» المنفصلة، تنتقل كمية محددة من الطاقة من المادة إلى الإشعاع أو العكس بالعكس في كل تفاعل أولي. من أجل الحصول على التوازن المرغوب، ومن أجل الوصول إلى اتفاق مع الحقائق التجريبية، كان من الضروري طرح علاقة رياضية بسيطة للتناسب بين كمية الطاقة المنتقلة في كل صدمة وتردد العملية (معكوس الزمن الدوري للعملية) التي تؤدي إلى انتقال الطاقة.

وهكذا، أُجبِر بلانك على القبول بأن أدنى جزء من الطاقة المنقولة أو أدنى كمٍّ نحصل عليه من العلاقة التالية، وذلك عند الإشارة إلى معامل التناسب بالرمز h،

$$E = hv, \qquad (1)$$

حيث ترمز **v** إلى التردد. القيمة العددية للثابت h تساوي 6.547×10^{-27} إرج × ثانية، ويُطلق عليه عادة ثابت بلانك أو الثابت

الكمي. يؤدي صغر قيمته العددية إلى عدم رصد الظواهر الكمية عادة في حياتنا اليومية.

يعود الفضل في تطوير أفكار بلانك إلى أينشتاين، الذي توصَّل بعد سنوات قليلة إلى استنتاج أن الإشعاع لا يصدر في صورة أجزاء متفرقة محددة فقط، بل يوجد دائمًا على هذه الصورة، ويتكوَّن من عددٍ من حزم الطاقة «المنفصلة» التي أطلق عليها اسم كمات الضوء.

ما دامت كمات الضوء تتحرك، يجب أن تمتلك زخمًا ميكانيكيًّا محددًا، إلى جانب طاقتها hv، ويجب أن يساوي هذا الزخم وفق الميكانيكا النسبوية طاقتها مقسومة على سرعة الضوء c. تتذكر أن تردد الضوء يرتبط بطوله الموجي λ من خلال العلاقة $v = c / \lambda$، إذن يمكننا الحصول على الزخم الميكانيكي لكمات الضوء كالتالي:

$$P = \frac{hv}{c} = \frac{h}{\lambda} \qquad (2)$$

وبما أننا نحصل على الفعل الميكانيكي المتولد عن اصطدام الأجسام المتحركة من خلال زخمها، نستنتج أن فعل كمات الضوء يزداد بانخفاض الطول الموجي.

حصلنا على أحد أفضل البراهين التجريبية الدالة على صحة فكرة كمات الضوء والطاقة والزخم المعزوين لها من خلال أبحاث الفيزيائي الأمريكي **آرثر كومبتون** الذي درس التصادمات بين كمات الضوء والإلكترونات، ووصل إلى أن الإلكترونات التي تُدفَع للحركة بفعل

شعاع ضوء، تتصرف كأنها ارتطمت بجسيمٍ له الطاقة والزخم اللذان تشير إليهما المعادلة السابقة. تعاني كمات الضوء نفسها بعد التصادم مع الإلكترونات من تغيرات محددة كذلك (في ترددها)، تتفق تمامًا مع تنبؤات النظرية.

يمكننا أن نقول في الوقت الحالي إن الخاصية الكمية للإشعاع مثبَتة كحقيقة تجريبية، فيما يتعلق بتفاعله مع المادة.

يعود المزيد من تطوير الأفكار الكمية إلى الفيزيائي الدنماركي الشهير **نيلز بور** الذي كان أول من أشار في عام 1913 إلى فكرة أن الحركة الداخلية لأي نظام ميكانيكي قد تمتلك مجموعة متفرقة من قِيَم الطاقة الممكنة فقط، ويمكن أن تغير الحركة من حالتها عن طريق خطوات متناهية فقط، تُشَع كمية محددة من الطاقة في كل انتقال. إن القواعد الرياضية التي تحدد الحالات الممكنة للأنظمة الكمية أكثر تعقيدًا من تلك الخاصة بالإشعاع ولن ندخل في صياغتها. سوف نشير فقط إلى أنه كما يُحدَّد الزخم من خلال الطول الموجي للضوء في حالة كمات الضوء، يرتبط زخم أي جسيم متحرك في النظام الميكانيكي بالأبعاد الهندسية للمنطقة من الفضاء التي يتحرك فيها، نحصل على مقداره من المعادلة التالية:

$$P_{\text{جسيم}} \cong \frac{h}{l} , \qquad (3)$$

تدل l هنا على الأبعاد الخطية لمنطقة الحركة. وبسبب الصغر الهائل لقيمة الثابت الكمي، فلا أهمية للظواهر الكمية إلا في حالة الحركة التي تحدث في أماكن صغيرة للغاية مثل في داخل الذرات والجزيئات، كما

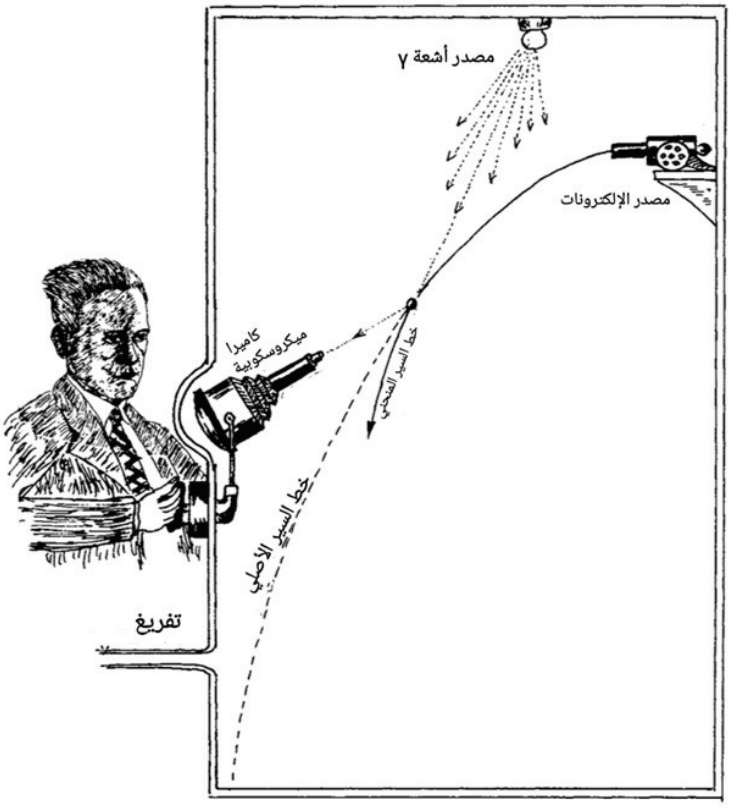
تلعب تلك الظواهر دورًا مهمًّا جدًّا في معرفتنا بالتركيب الداخلي للمادة.

حصلنا على أحد أفضل البراهين المباشرة الدالة على وجود سلسلة من الحالات المتفرقة لهذه الأنظمة الكمية من خلال تجارب **جيمس فرانك** و**جوستاف هرتز** اللذين ضربا الذرات بإلكترونات لها طاقات متنوعة، ولاحظا حدوث تغيرات محددة في حالة الذرة عندما تصل طاقة الإلكترونات المقذوفة إلى قيم معينة متفرقة فقط. إذا جاءت طاقة الإلكترونات تحت حدٍّ معين، لا يُرصَد أي تأثير في الذرات لأن كمية الطاقة التي يحملها كل إلكترون لا تكفي للارتقاء بالذرة من الحالة الكمية الأولى إلى الحالة الثانية.

وهكذا، بنهاية هذه المرحلة التمهيدية لتطور نظرية الكم، قد نصِف الوضع، لا باعتباره تعديلًا لمفاهيم ومبادئ أساسية للفيزياء الكلاسيكية، بل باعتباره تقييدًا مصطنعًا بدرجة ما من خلال شروط كمية غامضة تمامًا، تنتخب من التنوع المتواصل للحركات الكلاسيكية الممكنة مجموعة متفرقة من الحركات «المسموحة» فقط. مع ذلك، إذا نظرنا بصورة أعمق إلى الصلة بين قوانين الميكانيكا الكلاسيكية، وتلك الشروط الكمية التي تتطلَّبها خبرتنا الممتدة، نكتشف أن النظام الذي نحصل عليه عن طريق التوحيد بينهما يعاني من تناقض منطقي، وتُفَرِّغ القيود الكمية التجريبية المفاهيم الأساسية التي تنهض عليها الميكانيكا الكلاسيكية من معناها. في الحقيقة، يتمثَّل المفهوم الأساسي المتعلق بالحركة في النظرية الكلاسيكية في أن أي جسيم متحرك يشغل موضعًا محددًا في الفضاء عند أي لحظة زمنية ويمتلك سرعة محددة، تصف التغيُّر الزمني في موضعه عبر مساره.

تقوم هذه المفاهيم الأساسية للموضع والسرعة والمسار التي يتأسس عليها البناء المتقن للميكانيكا الكلاسيكية على رصد الظواهر من حولنا (مثلها في ذلك مثل كل مفاهيمنا الأخرى)، وهي عرضة -مثل المفاهيم الكلاسيكية للمكان والزمن- لتعديلات طائلة فور أن تتوسَّع خبرتنا نحو مناطق جديدة، لم تُستكشف من قبل.

إذا سألت أحدهم لماذا يعتقد أن أي جسيم متحرك يشغل موضعًا معينًا في أي لحظة زمنية، وأن تلك المواضع تصِف على مر الزمن خطًّا محددًا، يُطلَق عليه المسار، يجيب في الغالب: «لأنني أراه بهذه الطريقة، عندما أرصد الحركة». دعنا نحلل هذه الوسيلة لتكوين المفهوم الكلاسيكي للمسار، ولنرَ إذا كان يقود حقًّا إلى نتيجة محددة. من أجل هذا الهدف، نتخيل فيزيائيًّا، أمددناه بأكثر الأجهزة حساسية، يحاول تتبُّع حركة جسم مادي صغير، أُلقي من حائط معمله. يقرر أن يجري أرصاده عن طريق «رؤية» كيف يتحرك الجسم، ومن أجل هذا الهدف يستخدم مزواة (أداة لقياس الزوايا) صغيرة ولكنها دقيقة جدًّا. لكي يرى الجسم المتحرك عليه إضاءته بالطبع، ونظرًا إلى أنه يعرف أن الضوء في العموم يُوَلِّد ضغطًا على الجسم، وقد يبث الاضطراب في حركته، يقرر أن يستخدم ومضات قصيرة في اللحظات التي يجري عندها أرصاده فقط. يقرر في محاولته الأولى أن يرصد عشر نقاط فقط على المسار، وهكذا اختار مصدرًا ضعيفًا جدًّا للوميض بحيث يكون التأثير الكامل لضغط الضوء خلال عشر ومضات متتالية ضمن حدود الدقة التي يحتاج إليها. وهكذا عندما أضاء كشافه عشر مرات خلال سقوط جسمه، حصل على عشر نقاط على المسار، ضمن حدود الدقة المطلوبة.



ميكروسكوب هايزنبرج لأشعة γ

والآن يريد أن يعيد التجربة، وأن يحصل على مائة نقطة. يعرف أن مائة ومضة متتالية سوف تبث اضطرابًا هائلًا في الحركة، لذلك يجهز من أجل مجموعة الأرصاد الثانية كشافًا أضعف عشر مرات. يرغب في أن يحصل على ألف نقطة في مجموعة أرصاده الثالثة، يجعل ومضات كشافه أخفت مائة مرة من ومضات كشافه الأصلية.

يواصل على هذا النحو، يقلل باستمرارٍ من شدة الإضاءة، ويحصل على نقاط عديدة على المسار بقدر ما يريد، من دون أن يزيد من الخطأ المحتمل فوق الحد الذي اختاره في البداية. يمثِّل هذا الإجراء المثالي للغاية، والممكن تمامًا من حيث المبدأ، الطريقة المنطقية تمامًا لبناء مسار حركة عن طريق «النظر إلى جسم متحرك»، وهكذا ترى أن ذلك ممكن في إطار الفيزياء الكلاسيكية.

ولكن دعنا نرى الآن ما يحدث إذا أدخلنا القيود الكمية، وأخذنا في الحسبان أن فعل أي إشعاع يمكن نقله في صورة كمات ضوء فقط. لقد رأينا أن راصدنا أخذ يقلل باستمرار كمية الضوء التي تضيء الجسم المتحرك، ونتوقع الآن بالتأكيد أنه سيكتشف استحالة مواصلة القيام بما يفعل فور أن يصل إلى كمٍّ واحد. إما أن ينعكس كم الضوء كله من الجسم المتحرك، وإما لا ينعكس كله، وفي الحالة الثانية من المستحيل إجراء الرصد. لقد رأينا بالفعل أن تأثير التصادم بكم ضوء يقل بازدياد الطول الموجي، ويعرف راصدنا هذا الأمر كذلك، سيحاول بالتأكيد استخدام ضوء له طول موجي متزايد لكي يُعادل التأثير الناتج عن زيادة عدد مرات القياس. لكنه يلاقي عندئذٍ صعوبة أخرى.

من المعروف جيدًا أننا عندما نستخدم ضوءًا له أطوال موجية معينة، لا يستطيع الواحد أن يرى تفاصيل أصغر من الطول الموجي المستخدم، في الحقيقة لا يستطيع الواحد أن يرسم منمنمة فارسية باستخدام فرشة دهان للحائط! وهكذا، عندما يستخدم موجات أطول وأطول، سوف يفسد تقديره لكل نقطة منفردة، وسرعان ما سيصل إلى

مرحلة يكون فيها كل تقدير لا يقيني بمقدارٍ ملحوظٍ، يُقارن بحجم معمله كله أو يزيد. وهكذا سيُجبَر في النهاية على المواءمة بين العدد الكبير للنقاط المرصودة ولا يقين كل تقدير، ولن يستطيع أبدًا الوصول إلى مسارٍ منضبطٍ مثله كمثل الخط الرياضي الذي يحصل عليه رفاقه الكلاسيكيون. أفضل نتائجه شريط عريض باهت، وإذا أسس مفهومه عن المسار على نتيجة خبرته، فسوف يختلف كثيرًا عن المفهوم الكلاسيكي.

أجراس صغيرة على نوابض

ناقشنا هنا وسيلة بصرية، ومن الممكن أن نجرب الآن احتمالًا آخر، باستخدام وسيلة ميكانيكية. من أجل ذلك، يخترع مُجَرِّبنا أداة ميكانيكية صغيرة، فلتقل أجراسًا صغيرة على نوابض، تسجل مرور الأجسام المادية، إذا مرَّت بالقرب منها. يمكنه أن ينشر عددًا كبيرًا من هذه «الأجراس» عبر الفضاء الذي يتوقع أن يمر الجسم المتحرك خلاله، وعند مروره يدل «رنين الأجراس» على خط سيره. تستطيع الفيزياء الكلاسيكية أن تجعل «الأجراس» صغيرة وحساسة كيفما يشاء الواحد، من الممكن صياغة مفهوم المسار وفق أي درجة مرغوبة من الدقة في الحالة التقييدية التي تحتوي على عددٍ لا نهائي من الأجراس متناهية الصغر. إلا أن القيود الكمية المفروضة على الأنظمة الميكانيكية سوف تفسد الوضع مرة أخرى. إذا كانت «الأجراس» صغيرة للغاية، فسوف تحصل من الجسم المتحرك على قدرٍ كبيرٍ للغاية من الزخم، وفق المعادلة (3)، وسوف تضطرب الحركة كثيرًا، ولو بعد أن يُضرَب جرس واحد. إذا كانت الأجراس كبيرة للغاية، فسوف يكون اللا يقين بخصوص كل موضع كبيرًا جدًّا؛ نستنبط في النهاية مسارًا في صورة شريط منتشر!

أخشى أن كل هذه الاعتبارات المتعلقة بمُجرِّبنا الذي يحاول أن يرصد المسار، قد تُخَلِّف فيك انطباعًا يتمحور حول التقنية، وقد تميل إلى الظن في أن راصدنا لا يستطيع تقدير المسار بواسطة الوسائل التي يستخدمها، ولكن قد يؤدي جهاز أكثر تعقيدًا إلى النتيجة المرجوة. إلا أنني يجب أن أذكِّرك أننا لا نناقش هنا تجربة معينة، تُجرى في معملٍ

للفيزياء، بل نناقش فكرة الوصول بأعم صور مسألة القياس الفيزيائي إلى أقصى درجات المثالية. بقدر ما يُصَنَّف أي تأثير موجود في عالمنا باعتباره نتيجة مجال إشعاعي أو ظاهرة ميكانيكية بحتة، يُختَزل أي مخطط تفصيلي للقياس بالضرورة إلى العناصر الموصوفة في هاتين الوسيلتين، ونصل في النهاية إلى النتيجة نفسها. بقدر ما يستطيع «جهاز القياس» المثالي تضمين كل العالَم الفيزيائي، نصل في النهاية بالتأكيد إلى استنتاج أن مثل هذه الأشياء على غرار الموضع المنضبط والمسار ذي الشكل الدقيق، لا مكان لها في عالَم خاضع لقوانين الكم.

دعنا نعود الآن إلى مُجَرِّبنا، ونحاول الحصول على الشكل الرياضي للقيود التي تفرضها الشروط الكمية. لقد رأينا بالفعل أن ثمة تضاربًا بين تعيين الموضع وبث الاضطراب في سرعة الجسم المتحرك في الوسيلتين المستخدمتين كلتيهما. في الوسيلة البصرية، يُدخِل التصادم بكم من الضوء بسبب قانون الحفظ الميكانيكي لا يقينًا في زخم الجسيم يتناسب مع زخم كم الضوء المستخدَم، وهكذا يمكننا باستخدام المعادلة (2) كتابة لا يقين زخم الجسيم.

$$\Delta P_{\text{جسيم}} \cong \frac{h}{\lambda} , \qquad (4)$$

وإذا تذكَّرنا أننا نحصل على لا يقين موضع الجسيم عن طريق الطول الموجي ($\Delta q \cong \lambda$) نستنتج أن:

$$\Delta P_{\text{جسيم}} \times \Delta q_{\text{جسيم}} \cong h. \qquad (5)$$

أما في حالة الوسيلة الميكانيكية، فإن زخم الجسيم المتحرك يصير لا يقينيًّا بفعل المقدار الذي تأخذه «الأجراس». إذا استخدمنا معادلتنا (3) وتذكرنا أننا نحصل في هذه الحالة على لا يقين الموضع عن طريق حجم الجرس ($\Delta q \cong l$)، نعود مرة أخرى إلى المعادلة المحددة نفسها مثلما كان الأمر في الحالة السابقة. وعلى ذلك، تمثِّل العلاقة (5) اللا يقين الجوهري، وهي العلاقة الخاصة بنظرية الكم، التي صاغها للمرة الأولى الفيزيائي الألماني فيرنر هايزنبرج -- كلما عُيِّن الموضع بدقة أكبر، صار الزخم أقل تحددًا، والعكس بالعكس.

$$\Delta v_{\text{جسيم}} \times \Delta q_{\text{جسيم}} \cong \frac{h}{m_{\text{جسيم}}} \qquad (6)$$

وإذا تذكرنا أن الزخم ناتج عن كتلة الجسم المتحرك وسرعته، يمكننا أن نكتب:

تكون قيمة ذلك صغيرة للغاية بالنسبة إلى الأجسام التي نتعامل معها في العادة. يمكننا قياس كلٍّ من موضع وسرعة أخف ذرات الغبار التي تقدر كتلتها ب 0.000,000,1 جرام بدقة 0.000,000,01 ٪! إلا أن ناتج ضرب $\Delta q \Delta v$ بالنسبة إلى إلكترون (كتلته 10^{-28} جرام) يجب أن يكون في حدود 1. يجب تعيين سرعة إلكترون داخل ذرة في حدود $\pm 10^{8}$ سم/ ث على الأقل، وإلا سوف يهرب من الذرة. نحصل من هذا

على لا يقين موضع يقدَّر بـ 10^{-8} سم، أي أبعاد الذرة بالكامل. وعلى ذلك، ينتشر مدار إلكترون في ذرة بدرجة تجعل «سُمك» المسار مساويًا «لنصف قطره»، وعلى ذلك يظهر الإلكترون في اللحظة نفسها محيطًا بالنواة تمامًا.

حاولت أن أرسم لكم خلال العشرين دقيقة الماضية صورة للنتائج الكارثية الناجمة عن نقدنا للتصورات الكلاسيكية فيما يخص الحركة. تتهشم المفاهيم الكلاسيكية الأنيقة والمحددة بدقة، وتفسح المجال إلى ما أطلق عليه عصيدة بلا شكل. ربما من الطبيعي أن تسألني كيف يمكن للفيزيائي بأي حالٍ أن يصِف أي ظاهرة في ضوء محيط اللا يقين هذا، الإجابة هي أننا إلى الآن لم نقُم إلا بتحطيم المفاهيم الكلاسيكية، لكننا لم نصل بعد إلى صيغة محددة للمفاهيم الجديدة.

سوف نمضي قُدُمًا في هذا الأمر الآن. من الواضح أننا إذا لم نستطع في العموم تعيين موضع جسم مادي بواسطة نقطة رياضية، وتعيين حركته بواسطة خط رياضي نظرًا إلى أن الأشياء تنتشر، يجب أن نستعمل أساليب أخرى للوصف، تعطينا -على سبيل المثال- «كثافة العصيدة» في نقاط مختلفة في المكان. يعني ذلك رياضيًّا استعمال الدوال المتصلة (مثل تلك المستخدمة في الهيدروديناميكا)، ويستلزم هذا منا فيزيائيًّا أن نعتاد عبارات مثل «هذا الجسم في الغالب هنا، لكنه جزئيًّا هناك، بل ربما أبعد»، أو «هذه العملة في جيبي بنسبة 75 ٪، وفي جيبك بنسبة 25 ٪». أعرف أن مثل هذه الجمل سوف تصيبك بالرعب، ولكنك لن تحتاج إليها مطلقًا في الحياة اليومية بسبب قيمة الثابت الكمي

الصغيرة. إلا أنك إذا كنت بصدد دراسة الفيزياء الذرية، أنصحك بشدة أن تعتاد مثل تلك العبارات أولًا.

يجب أن أحذِّرك هنا من التصور الخاطئ الذي يرى أن الدالة التي تصف «كثافة الوجود» واقعية ماديًّا في الفضاء المعتاد ثلاثي الأبعاد. في الحقيقة، إذا وصفنا سلوك -فلنقل- جسيمين، يجب أن نجيب عن السؤال المتعلق بوجود جسيمنا الأول في مكان واحد، ووجود جسيمنا الثاني في اللحظة نفسها في مكان ما آخر، لكي نقوم بذلك، علينا أن نستخدم دالة، لها ستة متغيرات (إحداثيات جسيمين) لا يمكننا «تعيينها» في فضاء ثلاثي الأبعاد. وما زلنا في حاجة إلى استخدام دوال لها أعداد أكبر من المتغيرات من أجل أنظمة أعقد. وبذلك، تشبه «دالة ميكانيكا الكم» «دالة الجهد» لنظام جسيمات في الميكانيكا الكلاسيكية أو «إنتروبيا» نظام في الميكانيكا الإحصائية. تصف الحركة فقط وتساعدنا على التنبؤ بنتيجة أي حركة معينة تحت ظروف معطاة. أما الواقعية الفيزيائية فتلازم الجسيمات التي نصف حركتها.

تستلزم الدالة التي تصِف إلى أي مدى الجسيم أو نظام الجسيمات موجود في أماكن مختلفة رمزًا رياضيًّا، وقد أشار إليها الفيزيائي النمساوي إرفين شرودنجر الذي كان أول من كتب معادلة تحدد سلوك هذه الدالة بالرمز Ψ.

لن أدخل هنا في الإثبات الرياضي لمعادلته الأساسية، لكنني سأوجِّه انتباهكم إلى المتطلبات التي قادت إلى اشتقاقها. إن أهم هذه المتطلبات أمرٌ غير معتاد تمامًا: يجب أن تُكتَب المعادلة بحيث تُظهِر الدالة التي تصف حركة الجسيمات المادية كل خواص الموجة.

كان الفيزيائي الفرنسي لويس دي برولي أول من أشار إلى ضرورة عزو خواص موجية إلى حركة الجسيمات المادية، مؤسِّسًا ذلك على دراساته النظرية لبِنية الذرة. ترسخت بشدة في السنوات اللاحقة الخواص الموجية لحركة الجسيمات المادية بواسطة تجريبيين عديدين، موضحين تلك الظاهرة في صورة حيود شعاع إلكترونات يمر عبر فتحة صغيرة، وفي صورة ظاهرة التداخل التي تحدث للجسيمات بل تحدث للجسيمات الكبيرة نسبيًّا والمعقدة مثل الجزيئات.

لم تكن الخواص الموجية المرصودة للجسيمات المادية مفهومة إطلاقًا من منظور التصور الكلاسيكي للحركة، وأُجبِر دي برولي نفسه على منظور غريب تمامًا: يذهب إلى أن الجسيمات «تصاحبها» موجات معينة، «توجِّه» حركتها إذا جاز التعبير.

إلا أن الحاجة إلى خاصية موجية صارت مفهومة بصورة أكبر، فور أن حُطِّمت المفاهيم الكلاسيكية، ووصلنا إلى فهم الحركة من خلال دوال متصلة. تنص على أن انتشار دالتنا ψ لا يشبه (فلنقل) انتشار الحرارة عبر حائط سُخِّن من أحد الجانبين، بل انتشار التشوه الميكانيكي (الصوت) عبر الحائط نفسه. يستلزم ذلك رياضيًّا صورة محددة أكثر تقييدًا من أجل المعادلة التي نبحث عنها. من الناحية العملية، فإن هذا الشرط الجوهري وكذلك المُتَطَلَّب الإضافي اللازم لمعادلاتنا لكي تجد سبيلها إلى معادلات الميكانيكا الكلاسيكية عند تطبيقها على جسيمات ذات كتلة كبيرة يصير عندها التأثير الكمي مهملًا، يختزلان معضلة العثور على المعادلة إلى تدريب رياضي بحت.

إذا كنتم مهتمين بالكيفية التي تبدو بها المعادلة في شكلها الأخير، ففي إمكاني أن أكتبها لكم هنا. ها هي ذا:

$$\nabla 2\psi + \frac{4\pi mi}{h}\ \psi - \frac{8\pi^2 m}{h}\ U\psi = 0. \quad (7)$$

تمثِّل الدالة U في هذه المعادلة جهد القوى العاملة على الجسيمات (التي لها كتلة m)، وهي تعطي حلًّا لمسألة الحركة لأي توزيع للقوة. سمح تطبيق «معادلة شرودنجر الموجية» هذه للفيزيائيين طوال الأربعين عامًا التي وُجِدَت فيها بتطوير أكمل الصور وأكثرها اتساقًا لكل الظواهر التي تحدث في عالَم الذرات.

قد يتعجب بعضكم من أنني لم أستخدم كلمة «مصفوفة» إلى الآن، وهي الكلمة التي تُسمَع عادة في اتصال مع نظرية الكم. يجب أن أعترف بأنني شخصيًّا لا أحبذ هذه المصفوفات، وأفضِّل إنجاز الأمر من دونها. ولكنني سأقول كلمة أو كلمتين عنها، لكي لا أترككم جاهلين تمامًا بهذا التطبيق الرياضي لنظرية الكم. توصَف حركة جسيم أو نظام ميكانيكي مركب دائمًا بواسطة دوال موجية متصلة معينة، كما رأيتم. هذه الدوال مركبة إلى حدٍّ ما في الغالب، ومن الممكن تمثيلها على أنها مكوَّنة من عددٍ من الاهتزازات الأبسط، يُطلَق عليها «دوال ذاتية» proper function، يشبه ذلك كثيرًا تَشَكُّل صوتٍ مركبٍ من عدد من النغمات المتناسقة البسيطة. من الممكن أن يصف الواحد الحركة المركبة بأكملها عن طريق التزويد بسعات مكوناتها المختلفة. وبما أن عدد المكونات (النغمات التوافقية) لا نهائي، يجب أن نكتب جداول لا نهائية للسعات في صورة:

$$\begin{matrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & \cdots \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} & \cdots \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} & \cdots \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots & & & \end{matrix} \qquad (8)$$

يُطلَق على مثل هذه الجداول الخاضعة لقواعد بسيطة نسبيًّا للعمليات الرياضية اسم «مصفوفة» مقابلة لحركة ما، ويفضِّل بعض الفيزيائيين التجريبيين العمل مستعينين بالمصفوفات بدلًا من العمل بالاستعانة بالدالة الموجية نفسها. لذلك «فميكانيكا المصفوفات» -كما يطلقون عليها أحيانًا- ليست إلا تحويلات رياضية «للميكانيكا الموجية» المعتادة، وفي هذه المحاضرة المكرسة بالأساس للمسائل الرئيسية، لا حاجة بنا إلى الدخول بتعمُّق أكبر في هذه الأمور.

إنني آسف جدًّا؛ إذ لا يسمح لي الوقت بأن أصف لكم التطور اللاحق لنظرية الكم في علاقتها بنظرية النسبية. استجلب هذا التطور، الذي يعود الفضل فيه بالأساس إلى عمل الفيزيائي البريطاني بول أدريان موريس ديراك، عددًا من النقاط المثيرة جدًّا، وقادت كذلك إلى بعض الاكتشافات التجريبية المهمة للغاية. ربما أستطيع العودة في وقتٍ ما آخر إلى هذه الأمور، لكنني في الوقت الحالي يجب أن أتوقف هنا، وأعرب عن أملي في أن تكون هذه السلسلة من المحاضرات قد ساعدتكم في الحصول على صورة أوضح للتصور الحالي عن العالَم الفيزيائي، وقد أثارت فيكم اهتمامًا نحو المزيد من الدراسات.

8

الأدغال الكمية

في الصباح التالي، وبينما يغفو السيد تومبكينز في فراشه، انتبه لوجود شخص في الحجرة. نظر حوله فاكتشف أن صديقه القديم البروفيسور يجلس على الكرسي ذي الذراعين، مستغرقًا في دراسة خريطة مفرودة على ركبتَيه.

سأل البروفيسور وهو يرفع رأسه: هل ستأتي؟

قال السيد تومبكينز وهو لا يزال يتساءل عن كيفية دخول البروفيسور إلى حجرته: آتي إلى أين؟

«لترى الأفيال بالتأكيد، وبقية حيوانات الأدغال الكمية. أخبرني مالك حجرة البلياردو التي زرناها مؤخرًا سرَّه بخصوص المكان الذي جاء منه العاج المصنوعة منه كرات البلياردو. هل ترى المنطقة التي حددتها بالقلم الرصاص الأحمر على الخريطة؟ يبدو أن كل شيء داخلها خاضع لقوانين كمية لها ثابت كمي كبير جدًّا. يظن السكان الأصليون أن هذا الجزء كله من البلدة تسكنه الشياطين، وأخشى أننا قد لا نعثر بسهولة على دليلٍ، لكنك إذا رغبت في المجيء، فمن الأفضل أن تسرع؛ سوف يبحر القارب في خلال ساعة، وما زال علينا أن نُقِل السير ريتشارد في طريقنا».

سأل السيد تومبكينز: من السير ريتشارد؟

من الواضح أن البروفيسور أصابته المفاجأة: ألم تسمع به مطلقًا؟ إنه صائد نمور شهير، وقد قرر أن يجيء معنا عندما وعدته ببعض الصيد المثير.

وصلوا إلى المرفأ في الوقت المناسب تمامًا ليروا شحن عدد من الصناديق الطويلة التي تحتوي على بنادق السيد ريتشارد والرصاصات الخاصة المصنوعة من مادة الرصاص التي حصل عليها البروفيسور من مناجم الرصاص بالقرب من الأدغال الكمية. بينما يرتب السيد تومبكينز أمتعته في القمرة، أخبرته اهتزازات القارب المتواصلة أنهم انطلقوا. مرَّت الرحلة البحرية بلا أحداث جديرة بالملاحظة، وبالكاد لاحظ السيد تومبكينز مرور الوقت حتى وصلوا إلى ساحل مدينة شرقية فاتنة، أقرب مكان مأهول للمناطق الكمية الغامضة.

قال البروفيسور: والآن علينا أن نشتري فيلًا من أجل رحلتنا البرية. وبما أنني أظن أن أيًّا من السكان الأصليين لن يوافق على القدوم معنا، علينا أن نسوق الفيل بأنفسنا، وأنت يا عزيزي السيد تومبكينز، عليك أن تتقن هذه الوظيفة؛ سوف أنشغل للغاية بأرصادي العلمية، وسيتوجب على السير ريتشارد التعامل مع الأسلحة النارية.

كان السيد تومبكينز غير راضٍ مطلقًا عندما وصلوا إلى سوق الفيلة القائم في ضواحي المدينة، شاهد الحيوانات الضخمة، وعليه أن يسوس أحدها. اختار السير ريتشارد الذي يعرف الكثير عن الأفيال فيلًا كبيرًا لطيفًا، وسأل المالك عن ثمنه.

قال ابن البلدة وقد ظهرت أسنانه اللامعة: هراب هانويكو هوبوت هوم. هاجوري هو، هاراهام أوه هوهوهوهي.

ترجم السير ريتشارد: يريد الكثير من المال ثمنًا له، لكنه يقول إن هذا الفيل من الأدغال الكمية، ولذلك فهو أغلى؛ هل نأخذه؟

أوضح لهما البروفيسور الأمر: نأخذه بكل السُّبل. سمعت على متن القارب أن الأفيال تجيء أحيانًا من الأراضي الكمية، ويمسك بها السكان الأصليون. إنها أفضل كثيرًا من أفيال المناطق الأخرى، وفي حالتنا سوف نحصل على مزية لأن الحيوان سيشعر أنه في موطنه في الأدغال.

فحص السيد تومبكينز بناظرَيه الفيل من جميع الجوانب، إنه حيوان كبير وجميل جدًّا، ولكن لا يميز سلوكه أي اختلاف ملحوظ عن سلوك الأفيال التي رآها في حديقة الحيوان. التفت إلى البروفيسور: لقد قلت إنه فيل كمي، لكنه يبدو بالنسبة إليَّ مثل فيل عادي تمامًا، ولا يتصرف بأسلوبٍ غريب، مثل كرات البلياردو المصنوعة من أنياب بعض أقاربه. لماذا لا ينتشر في جميع الاتجاهات؟

قال البروفيسور: تُظهِر بطئًا غريبًا في الفهم. يرجع ذلك إلى كتلته الكبيرة جدًّا. أخبرتك في وقت سابق أن كل اللايقين في الموضع والسرعة يعتمد على الكتلة، كلما كبرت الكتلة، قل اللايقين. هذا هو السبب وراء أن القوانين الكمية لم تُرصَد في العالم المعتاد ولو في حالة أخف الأجسام مثل ذرات الغبار، لكنها تصير مهمة بالنسبة إلى الإلكترونات، الأخف بمليارات مليارات المرات. أما في حالة الأدغال الكمية، فالثابت الكمي كبير إلى حد ما، لكنه ليس كبيرًا بما يكفي ليُوَلِّد

تأثيرات لافتة في سلوك حيوان ثقيل مثل الفيل. لا تُمكِن ملاحظة لا يقين موضع الفيل الكمي إلا عن طريق النظر في تفحصٍ إلى محيط جسمه الخارجي. ربما لاحظت أن سطح جلده ليس محددًا تمامًا، ويبدو غير واضح قليلًا. بمرور الوقت يزداد هذا اللا يقين ببطء شديد، وأظن أن هذا هو مصدر الأسطورة المحلية التي تقول إن كل فيل عجوز من الأدغال الكمية يملك وبرًا طويلًا. لكنني أتوقع أن كل الحيوانات الأصغر حجمًا تُظهِر تأثيرات كمية جديرة جدًّا بالملاحظة.

فكر السيد تومبكينز: أليس من اللطيف أننا لا نقوم بهذه الرحلة الاستكشافية على صهوة جواد؟ إذا جرى الأمر على تلك الصورة، فمن المحتمل أنني لم أكن لأعرف مطلقًا ما إذا كان الجواد بين ركبتَي أم في الوادي التالي.

بعد أن تسلق البروفيسور والسير ريتشارد مصطحبًا بنادقه إلى السلة المثبتة على ظهر الفيل، واتخذ السيد تومبكينز مكانه عند رقبة الفيل وفق إمكاناته الجديدة كفَيَّال وتشبَّث بالمهماز في إحدى يديه، تحركوا نحو الأدغال الغامضة.

أخبرهم أهل المدينة أنهم سوف يستغرقون ساعة من أجل الوصول إلى وجهتهم، قرر السيد تومبكينز الذي يحاول أن يحافظ على اتزانه بين أذنَي الفيل أن يستغل الوقت في تعلم المزيد عن الظاهرة الكمية من البروفيسور.

استدار نحو البروفيسور وسأله: هل يمكنك أن تخبرني من فضلك، لماذا تتصرف الأجسام ذات الكتل الصغيرة بغرابة شديدة، وما المعنى السليم لهذا الثابت الكمي الذي تتحدث عنه دائمًا؟

قال البروفيسور: أوه، من غير العسير للغاية أن تفهم. يرجع السلوك الغريب لكل الأجسام التي ترصدها في العالَم الكمي إلى أنك تنظر إليها فقط.

ابتسم السيد تومبكينز: هل هي خجولة للغاية؟

قال البروفيسور واجمًا: خجولة ليست الكلمة المناسبة، إلا أن الأمر يكمن في أنه عند القيام بأي رصد للحركة ستشوش بالضرورة على هذه الحركة. في الحقيقة، إذا علمت شيئًا عن حركة جسم، فذلك يعني أن الجسم المتحرك قد بذل تأثيرًا على حواسك أو على الجهاز الذي تستخدمه. ونظرًا إلى تساوي الفعل ورد الفعل، يجب أن نستنتج أن جهاز القياس الخاص بك قد عَمِل كذلك على الجسم، «أفسد» حركته -لو جاز التعبير- طارحًا لا يقينًا فيما يتعلق بموضعه وسرعته.

قال السيد تومبكينز: حسنًا، إذا لمست الكرة في حجرة البلياردو بإصبعي، فمن المؤكد أنني شوشت على حركتها، لكنني نظرت إليها فقط، هل يشوش ذلك عليها؟

«يشوش عليها بالتأكيد. لا يمكنك أن ترى الكرة في الظلام، لكنك إذا أضأت النور، سوف تبذل أشعة الضوء المنعكسة عن الكرة فعلًا عليها -تقوم بضغطات بسيطة كما نطلق عليها- يجعلها ذلك مرئية و«يفسد» حركتها».

«ولكن افترض أنني استخدمت أدواتٍ دقيقة وحساسة جدًّا، ألا يمكنني أن أجعل الفعل الذي تبذله أدواتي على الجسم المتحرك صغيرًا جدًّا بحيث يمكن إهماله؟»

«هذا تمامًا هو ما ظنناه في الفيزياء الكلاسيكية قبل اكتشاف كم الفعل. في بداية هذا القرن، صار من الواضح أن الفعل الواقع على أي جسم يستحيل تقليله عن حدٍّ معين، نطلق عليه الثابت الكمي، وعادة ما نرمز إليه بالرمز «h». كم الفعل هذا صغير جدًّا في العالَم المعتاد، نعبِّر عنه وفق الوحدات المتعارف عليها بعددٍ له سبعة وعشرون صفرًا بعد العلامة العشرية، وهو ذو أهمية فقط بالنسبة إلى الجسيمات الخفيفة مثل الإلكترونات، التي تتأثر بأفعال صغيرة جدًّا بسبب كتلها الصغيرة جدًّا. إن فعل الكم في الأدغال الكمية التي نقترب منها الآن كبير جدًّا. إنه عالَم قاسٍ حيث الأفعال الرقيقة غير ممكنة. إذا حاول شخص في هذا العالَم تدليل قطيطة، فإما أنها لن تشعر بأي شيء على الإطلاق، وإما سينكسر عنقها بفعل أول كم للتربيت.

قال السيد تومبكينز متفكرًا: هذا كله جيد جدًّا، ولكن عندما لا ينظر أحد، هل تتصرف الأجسام على النحو المناسب، أقصد، هل تتصرف بالطريقة التي اعتدنا أن نظن فيها؟

قال البروفيسور: عندما لا ينظر أحد، فلا أحد يمكنه أن يعرف كيف تتصرف، ولذلك فسؤالك بلا معنى فيزيائي.

صاح السيد تومبكينز: حسنًا، حسنًا، من المؤكد أن ذلك يبدو بالنسبة إليَّ مثل الفلسفة!

«يمكنك أن تطلق عليها فلسفة إذا أردت» -بدا البروفيسور مستاء- «إلا أن هذا هو المبدأ الجوهري للفيزياء الحديثة في حقيقة الأمر - لا تتحدث بتاتًا عن الأمور التي لا تعرفها. تتأسس النظرية الفيزيائية الحديثة

في مجملها على هذا المبدأ، في حين يتغاضى عنه الفلاسفة عادة. على سبيل المثال، أنفق الفيلسوف الألماني الشهير كانط وقتًا طويلًا إلى حد ما، يتأمل في خواص الأجسام، لا كما «تبدو لنا» بل كما «هي في نفسها» أما بالنسبة إلى الفيزيائي الحديث فلا أهمية إلا لما نطلق عليه «الأشياء القابلة للرصد» (أي الخواص القابلة للرصد، بالأساس)، كما تقوم الفيزياء الحديثة بأكملها على العلاقات المتبادلة فيما بين تلك الأشياء القابلة للرصد. أما الأشياء التي لا يمكن رصدها فلا تصلح إلا للتفكير البليد؛ لا قيود عليك في اختراعها، ولا إمكانية للتحقق من وجودها، أو لاستغلالها على أي وجه. يجب أن أقول...»

وفي هذه اللحظة ملأت الهواء زمجرة مرعبة، وانتفض فَيلهم في عنفٍ شديدٍ حتى كاد السيد تومبكينز يسقط. أخذ قطيع من النمور في مهاجمة الفيل، تقفز من جميع الاتجاهات في الوقت نفسه. انتزع السير ريتشارد بندقيته وضغط الزناد، مصوبًا مباشرة بين عينَي النمر الأقرب إليه. في اللحظة التالية سمعه السيد تومبكينز يغمغم بتعبيرٍ قوي شائع بين الصيادين، أطلق الرصاصة مباشرة عبر رأس النمر من دون أن يتسبب في أي ضرر للحيوان.

صرخ البروفيسور: أطلق مزيدًا من الرصاصات! وزِّع نيرانك في كل مكان حولك، ولا تهتم بالتصويب الدقيق! ثمة نمر واحد فقط، لكنه منتشر حول فيلنا، وأملنا الوحيد أن يتجلى الهاميلتوني!

التقط البروفيسور بندقية أخرى، وامتزج إطلاق النيران بزمجرة النمر الكمي. بدا للسيد تومبكينز أن دهرًا مرَّ قبل أن ينتهي كل شيء.

أصابت إحدى الطلقات الهدف، اندهش السيد تومبكينز بشدة، ارتمى النمر -الذي صار واحدًا فجأة- بعيدًا في عنف، رسم جسده الميت قوسًا في الهواء، واستقر في مكان ما خلف أيكة النخيل البعيدة.

سأل السيد تومبكينز بعد أن هدأت الأمور: مَن الهاميلتوني؟ هل هو صياد شهير، تريده أن يتجلى من قبره ليساعدنا؟

قال البروفيسور: أوه! آسف جدًّا. في خضم إثارة المعركة بدأت استخدام اللغة العلمية، التي لا يمكنك أن تفهمها! إن الهاميلتوني تعبير رياضي يصف التفاعل الكمي بين الأجسام. سُمِّيَ باسم عالِم الرياضيات الأيرلندي هاميلتون، الذي كان أول مَن استخدم هذه الصيغة الرياضية. أردت أن أقول فقط إننا نزيد من احتمالية التفاعل بين الرصاصة وبين جسم النمر عن طريق إطلاق المزيد من الرصاصات الكمية. كما ترى، لا يمكنك في العالَم الكمي أن تستهدف بدقة وتكون واثقًا من الإصابة. دائمًا ثمة فرصة ضئيلة فقط للإصابة بسبب انتشار الرصاصة والهدف نفسه، لا وجود لليقين بتاتًا. أطلقنا في حالتنا ثلاثين رصاصة على الأقل قبل أن نصيب النمر بالفعل، وعندئذٍ كان فِعل الرصاصة على النمر عنيفًا للغاية بحيث ارتمى جسمه بعيدًا. تحدث الأشياء نفسها في عالَمنا، ولكن على نطاقٍ أصغر كثيرًا. وكما ذكرت لك بالفعل، في عالَمنا المعتاد على الواحد أن يتحرى عن سلوك هذه الجسيمات الصغيرة مثل الإلكترونات من أجل أن يلاحظ أي شيء. لعلك سمعت أن كل ذرة تتكوَّن من نواة ثقيلة نسبيًّا وعدد من الإلكترونات التي تدور حولها. في البداية اعتاد الواحد الظن في أن حركة الإلكترونات حول النواة تشبه

تمامًا حركة الكواكب حول الشمس، لكن التحليل الأعمق أوضح أن التصورات المعتادة بخصوص الحركة عنيفة للغاية بالنسبة إلى نظامٍ صغيرٍ للغاية مثل الذرة. إن للفعل الذي يلعب دورًا مهمًّا داخل ذرة المقدار نفسه الذي للفعل الكمي الأساسي، وهكذا تأتي الصورة العامة منتشرة. تشبه حركة الإلكترون حول نواة الذرة من أوجه عديدة حركة نمرنا، الذي يبدو محيطًا بالفيل من كل جانب.

قطيع كبير من النمور التي تبدو غير واضحة المعالم تهاجم فيلهم

سأل السيد تومبكينز: وهل صوَّب أحدهم على الإلكترون كما صوبنا على النمر؟

«أوه نعم، بالتأكيد، تطلق النواة نفسها كمات ضوء عالية الطاقة أو وحدات فعل أساسية للضوء. يمكنك كذلك أن تصوِّب على الإلكترون من خارج الذرة، عن طريق إضاءتها بشعاع ضوء. ويحدث كل شيء هناك كما حدث لنمرنا هنا تمامًا: يمر الكثير من كمات الضوء عبر مكان الإلكترون من دون أن يؤثر فيه، وما يلبث أن يعمل أحدها على الإلكترون ويلقي به خارج الذرة. يستحيل أن يتأثر النظام الكمي قليلًا، إما لا يتأثر على الإطلاق وإما يحدث تغيير كبير .

استنتج السيد تومبكينز: مثلما هو الأمر مع القطيطة التي لا يمكننا أن ندللها في العالَم الكمي من دون أن نقتلها.

صاح السير ريتشارد وهو يرفع بندقيته: «انظرا! غزلان، الكثير منها!» أخذ قطيع كبير من الغزلان يظهر من أيكة بامبو.

قال السيد تومبكينز: غزلان مدربة. تهرع في صورة تشكيل منظم مثل جنود في استعراض عسكري. أتساءل عما إذا كان هذا تأثيرًا كميًّا كذلك.

تحركت مجموعة الغزلان التي أخذت تقترب من فيلهم سريعًا، وقد استعد السير ريتشارد لإطلاق النار، عندما أوقفه البروفيسور.

قال: لا تهدر خراطيشك، ثمة فرصة ضئيلة للغاية لإصابة حيوان يتحرك في نمط حيود.

صاح السيد ريتشارد: ما الذي تقصده بكلمة «حيوان»؟ ثمة دستات عديدة من الغزلان على الأقل!

«أوه لا! ثمة غزالة واحدة تجري عبر أيكة البامبو لأنها خائفة من شيء. يمتلك «انتشار» الأجسام كلها خاصية تشبه خاصية للضوء، أظهر المرور عبر تتابع منتظم من الفتحات بين سيقان البامبو في الأيكة ظاهرة الحيود ولعلك سمعت عنها في المدرسة، لذلك نتحدث عن الخاصية الموجية للمادة.»

استعد السير ريتشارد لإطلاق النار عندما أوقفه البروفيسور

إلا أن السير ريتشارد والسيد تومبكينز كليهما لم يستطيعا التفكير مطلقًا فيما قد تعنيه كلمة «الحيود» الغريبة، وتوقفت المحادثة عند هذا الحد.

تقدَّم مسافرونا عبر الأرض الكمية، فالتقوا بالكثير من الظواهر الأخرى المثيرة، مثل بعوض كمي، يكاد يستحيل تحديد مكانه، بسبب كتله الصغيرة، وبعض القردة الكمية المسلية. أخذوا حاليًّا في الاقتراب من شيء، يبدو مماثلًا للغاية لقرية محلية.

قال البروفيسور: لم أعرف بوجود سكان من البشر في هذه المناطق. إذا حكمت على الضوضاء، أفترض أنهم يقيمون حفلًا من نوع ما/ استمعا إلى ضجيج الأجراس المطرد.

كان تمييز الهيئات المنفصلة للسكان المحليين صعبًا، من الواضح أنهم يرقصون رقصة جامحة حول نار كبيرة. تستمر أيادٍ بنية تمسك بأجراس ذات أحجام مختلفة في الارتفاع من وسط الحشد. عندما اقتربوا أكثر، بدأ كل شيء في الانتشار، بما في ذلك الأكواخ والأشجار الكبيرة المحيطة، وصار رنين الأجراس غير محتمل بالنسبة إلى أذنَي السيد تومبكينز. مدَّ يده، أمسك بشيء، ثم ألقاه بعيدًا. ارتطم المنبه بكوب الماء القائم على طاولة غرفة النوم، أعاده الماء إلى وعيه. قفز ناهضًا، وبدأ يرتدي ملابسه سريعًا. يجب أن يصل إلى البنك في غضون نصف الساعة.

9

عفريت ماكسويل

وخلال أشهر عديدة من المغامرات غير العادية في الحلقة الدراسية التي حاول البروفيسور عن طريقها تعريف السيد تومبكينز بأسرار الفيزياء، ازداد ولع السيد تومبكينز أكثر فأكثر بمود، وأخيرًا تقدَّم بطلبٍ خجولٍ نوعًا ما للزواج. استُقبِل الطلب على الفور بالموافقة، وأصبحا زوجًا وزوجة. اعتبر البروفيسور أن من واجبه زيادة معارف زوج ابنته بمجال الفيزياء وبأحدث تطوراته، فذلك من ضمن مهام دوره الجديد كحمٍ.

وفي ظهيرة أحد أيام الآحاد، استراح السيد والسيدة تومبكينز في كرسيين لهما ذراعان في شقتهما المريحة، استغرقت هي في أحدث موضوعات فوج [مجلة للأزياء]، وأخذ هو يقرأ مقالًا في إسكوايرِ [مجلة شهيرة للأخبار] (يناير 1940).

صاح السيد تومبكينز فجأة: أوه، ها هنا حيلة ناجحة بالفعل مع ألعاب الحظ!

سألت مود وهي ترفع عينيها في تكاسلٍ عن صفحات مجلة الموضة: هل تظن حقًّا يا سيريل أنها ناجحة، يخبرني أبي دائمًا أنه لا وجود لشيء مثل حيلة موثوقة للمقامرة.

أجابها السيد تومبكينز وهو يريها المقال الذي أخذ يدرسه طوال نصف الساعة الماضية: ولكن انظري هنا يا مود، لا أعرف بشأن أي حيلة آخرى، إلا أن هذه الحيلة قائمة على رياضيات بحتة وبسيطة، ولا أعرف حقًّا كيف من الممكن أن تُخطئ؛ ليس عليك إلا تدوين ثلاثة أرقام

1, 2, 3

على قصاصة من الورق واتِّباع قواعد قليلة بسيطة مكتوبة هنا.

اقترحت مود وقد بدأت تهتم: حسنًا، دعنا نجربه. ما هي القواعد؟

«لكنك يجب أن تفوز هذه المرة!»

«فلنفترض أنك تتبعين المثال المكتوب في المقال، إنها على الأرجح الطريقة المثلى لتعلم الأمر. كمثال توضيحي استخدموا لعبة

الروليت التي تضعين فيها نقودك على الأحمر أو الأسود، وهو ما يماثل الرهان على الملك أو الكتابة عند إلقاء عملة في الهواء. أكتب

1, 2, 3

والقاعدة تنص على أن رهاني يجب أن يكون دائمًا مجموع الرقمَين الخارجيَّين في سلسلة الأرقام. لذلك آخذ واحدًا زائد ثلاثة، أي أربعة أقشطة وأضعها -فلنقل- على الأحمر. إذا فزت أشطب على الرقمَين 1 و3 وسوف يكون رهاني التالي الرقم المتبقي 2. أما إذا خسرت فسأضيف المقدار الذي خسرته إلى نهاية التسلسل، وأطبق القاعدة نفسها لأحصل على رهاني التالي. حسنًا فلنفترض أن الكرة توقفت على الأسود، وسحب مدير مائدة القمار أقشطتي الأربعة نحوه. عندئذٍ سوف تكون سلسلتي التالية:

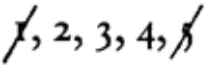
1, 2, 3, 4

أما رهاني التالي فسيكون واحدًا زائد أربعة، أي خمسة. افترضي أنني خسرت مرة ثانية. ينص المقال على أنني يجب أن أستمر وفق الأسلوب نفسه، أضيف الرقم 5 إلى نهاية السلسلة وأضع ست أقشطة على الطاولة».

صاحت مود وقد استثارها الأمر: لكنك يجب أن تربح هذه المرة! يستحيل أن تستمر في الخسارة.

قال السيد تومبكينز: ليس بالضرورة. عندما كنت صبيًّا اعتدت أن

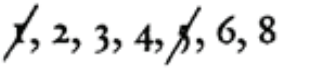
ألقي بالقروش في الهواء مع أصدقائي. وصدقي أو لا تصدقي، رأيت ذات مرة الملك يأتي على الوجه العلوي عشر مرات متتابعة. لكن دعينا نفترض كما يفعل هذا المقال، أنني ربحت هذه المرة. وهكذا جمعت اثني عشر قُشاطًا، ولكن ما زال ينقصني ثلاثة أقشطة مقارنة برهاني الأصلي. عليَّ أن أشطب على الرقمين 1 و5 متبعًا القواعد، مكتوب في سلسلتي الآن



يجب أن يكون رهاني التالي اثنين زائد أربعة أو ستة أقشطة مرة أخرى.

أطلقت مود تنهيدة: «مكتوب هنا أنك خسرت مرة أخرى». كانت تقرأ من فوق كتف زوجها. «يعني ذلك أن عليك إضافة ستة إلى السلسلة، وأن تراهن بثمانية أقشطة في المرة القادمة. أليس كذلك؟»

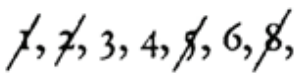
«بلى، هذا صحيح، لكنني أخسر مرة أخرى. سلسلتي الآن:



وعليَّ أن أراهن بعشرة هذه المرة، أربح. أشطب على الرقمين 2 و8، ورهاني التالي ثلاثة زائد ستة أي تسعة، لكنني أخسر مرة أخرى».

قالت مود في استياء: إنه مثال سيئ. خسرت إلى الآن ثلاث مرات، وربحت مرة واحدة فقط، هذا غير عادل!

قال السيد تومبكينز متحليًا بالثقة الهادئة المميزة لساحر: لا عليك، لا عليك. سوف نفوز، وسيكون كل شيء على ما يرام في نهاية الشوط. لقد خسرت تسعة أقشطة في آخر دورة للروليت، لذلك سوف أضيف هذا الرقم إلى نهاية السلسلة، ما يجعلها:



وأراهن باثني عشر قشاطًا. أربح هذه المرة، لذلك أشطب الرقمين 3 و9، وأراهن بمجموع الرقمين الباقيين أو بعشرة أقشطة. يكمل الربح الثاني على التوالي الشوط، إذ صارت كل الأرقام مشطوبة حاليًّا. ولديَّ ستة أقشطة زيادة، على الرغم من أنني ربحت أربع مرات فقط وخسرت خمسًا!

سألت مود في شك: هل أنت واثق بأن لديك ست أقشطة زيادة؟

«متأكد تمامًا. لعلك ترين أن هذه الحيلة معدٌّة بطريقة تجعل معك ستة أقشطة زيادة دائمًا عند اكتمال الشوط. يمكنك إثبات صحتها باستخدام الحساب البسيط، ولهذا السبب أقول إن هذا النهج رياضي، ويستحيل أن يفشل. إذا كنتِ لا تصدقينه، خذي قصاصة من الورق وتحققي من الأمر بنفسك».

قالت مود وهي مستغرقة في التفكير: وهو كذلك. سوف آخذ برأيك في شأنه، أنه ينجح بتلك الطريقة. ولكن من المؤكد أن ستة أقشطة ليست بالربح الكبير جدًّا.

«إنها كذلك، إذا كنتِ واثقة بالفوز بها في نهاية كل شوط. يمكنكِ أن تعيدي العملية مرة تلو الأخرى بادئة في كل مرة بـ 1، 2، 3 حتى تربحي كل المال الذي تريدينه. أليس ذلك عظيمًا؟»

هتفت مود: رائع! ثم يمكنك أن تضع نتاج عملك في البنك، يمكننا الانتقال إلى منزل أفضل، ولقد رأيت معطفًا محببًا من فرو المنك في فاترينة متجر اليوم. لا يتجاوز ثمنه...

«سوف نشتريه بالتأكيد، لكن من الأفضل في المقام الأول أن نذهب إلى مونت كارلو سريعًا. من المؤكد أن كثيرًا من الأشخاص الآخرين قد قرؤوا هذا المقال، وسوف يكون من السيئ للغاية أن نصل إلى هناك لنجد رفيقًا آخر قد سبقنا وتسبب في إفلاس الكازينو».

اقترحت مود: سوف أهاتف خطوط الطيران، وأستكشف موعد مغادرة الطائرة التالية.

قال صوت مألوف في القاعة: «ما سبب كل هذه العجلة؟» دخل والد مود إلى الحجرة، ونظر إلى الثنائي المتحمس في اندهاش.

قال السيد تومبكينز وهو ينهض ليحيي البروفيسور: إننا مغادران إلى مونت كارلو على متن أول طائرة، وسوف نعود إلى بيتنا غنيَّين جدًّا.

ابتسم الأخير، وقد اتخذ جلسة مريحة على كرسي له ذراعان عتيق الطراز بالقرب من المدفأة: لديكما حيلة جديدة للمقامرة؟

احتجَّت مود، ويدها لا تزال على التليفون: لكنها حيلة فعالة هذه المرة يا أبي!

أضاف السيد تومبكينز وهو يناول البروفيسور المجلة: نعم، هذه الحيلة لا يمكن أن تفشل.

قال البروفيسور وهو يبتسم: «ألا يمكن أن تفشل؟ حسنًا، فلنرَ». بعد أن فحص بناظريه المقال فترة قصيرة، استكمل حديثه: «يتمثل الملمَح المميز لهذه الحيلة في القاعدة التي تحكم مقدار رهاناتك، إذ ترفع رهانك بعد كل خسارة، وعلى الجانب الآخر، تخفض رهانك بعد كل فوز. لذلك، إذا ربحت وخسرت بالتبادل وبانتظام كامل، فسوف يتأرجح رأس مالك صعودًا وهبوطًا، إلا أن كل زيادة سوف تكون أكبر قليلًا من الانخفاض السابق. وفي هذه الحالة سوف تصبح بالتأكيد مليونيرًا في لمح البصر. ولكن كما تفهم بلا شك، لا يحدث مثل هذا الانتظام عادة. في الحقيقة، إن احتمالية مثل هذا التسلسل التبادلي المنتظم في ضآلة احتمالية عدد مساوٍ من الربح المباشر. لذلك يجب أن نرى ما يحدث إذا صار لديك تسلسل من الربح المتتالي أو الخسارة المتتالية. إذا حصلت على ما يطلق عليه المقامرون سلسلة من ضربات الحظ، يجبرك القانون على خفض رهانك بعد كل فوز أو على الأقل عدم رفعه، وهكذا لن تكون أرباحك الكلية مرتفعة جدًّا. على الجانب الآخر، يجب أن ترفع رهانك بعد كل خسارة، لذلك قد تكون سلسلة من سوء الحظ أكثر كارثية، وقد تلقي بك خارج اللعبة. يمكنك الآن أن ترى أن المنحنى الممثل لتراوحات رأس مالك يتكون من أجزاء عديدة ترتفع ببطء، تقطعها انخفاضات حادة جدًّا. في بداية اللعبة، من المحتمل أن تتقدم على جزء المنحنى الطويل الصاعد ببطء وتستمتع لبرهة بشعور بسعادة

مشاهدة مالك يزداد ببطء لكن بثبات. إلا أنك إذا مضيت قُدُمًا بما يكفي آملًا في ربح أكبر فأكبر، فسوف تصل بشكل مباغت إلى الانخفاض الحاد الذي قد يكون عميقًا بما يكفي لتراهن بآخر قرش وتخسره. يمكن للواحد أن يوضح بطريقة عامة تمامًا أن احتمالية وصول المنحنى إلى ضعف القيمة مساوٍ لاحتمالية وصوله إلى الصفر مع هذا الأسلوب في المقامرة أو أي أسلوب آخر. بمعنى آخر، إن احتمالات الفوز في النهاية مساوية تمامًا لاحتمالات مضاعفة رأس مالك بلفة واحدة فقط للعجلة أو خسارة كل شيء عندما تضع كل مالك على الأحمر أو الأسود. لا يستطيع هذا الأسلوب إلا إطالة اللعبة ومنحك المزيد من المرح من أجل المال. لكن إذا كان هذا هو كل ما تطمح إليه، فلا حاجة بك إلى أن تجعل الأمر معقدًا للغاية. تعرف أن ثمة ستة وثلاثين رقمًا على عجلة الروليت، ولا شيء يمنعك من تغطية كل الأعداد عدا عددًا واحدًا. عندئذٍ سوف تكون فرص فوزك خمسًا وثلاثين من ست وثلاثين وسوف يدفع لك البنك قشاطًا زيادة على الخمسة والثلاثين التي راهنت بها. إلا أن الكرة سوف تتوقف مرة واحدة تقريبًا كل ست وثلاثين لفة عند العدد المعين الذي اخترت ألا تغطيه بقشاط، وسوف تخسر الأقشطة الخمسة والثلاثين كلها. العب بهذه الطريقة وقتًا طويلًا بما يكفي وسوف يبدو منحنى رأس مالك المتأرجح تمامًا مثل المنحنى الذي سوف تحصل عليه عند اتباع حيلة هذه المجلة.

«ومن الثابت أنني افترضت طوال الوقت أن البنك لا يستقطع جزءًا من المال. في حقيقة الأمر، لكل عجلة روليت رأيتها صفرٌ وغالبًا

صفران، ما يرفع الاحتمالات ضد اللاعب. بغض النظر عن الأسلوب الذي يستخدمه المقامر، يتسرب ماله تدريجيًّا من جيبه إلى ملّاك الملهى لهذا السبب».

قال السيد تومبكينز مغتمًّا: تقصد أن تقول إنه لا وجود لحيلة جيدة للمقامرة، ولا سبيل ممكن إلى كسب المال من دون المجازفة بخسارته واحتمالات الخسارة أكبر قليلًا؟

قال البروفيسور: هذا ما أقصده بالضبط. بالإضافة إلى ذلك، لا ينطبق ما قلته على هذه المسائل غير المهمة نسبيًّا مثل ألعاب الحظ فقط، بل له مظاهر فيزيائية متنوعة، التي يبدو للوهلة الأولى أن لا صلة تجمعها بقوانين الاحتمالات. فيما يتعلق بهذا الأمر، إذا استطعت ابتكار أسلوب للتغلب على قوانين الاحتمالات، فثمة أشياء أكثر إثارة بكثير من ربح المال الذي قد يحققه الواحد. يمكن للواحد أن يصنع سيارات تعمل من دون بنزين، أن ينشئ مصانع تعمل من دون فحم، والكثير من الأشياء المذهلة.

قال السيد تومبكينز: لقد قرأت شيئًا في مكان ما عن مثل تلك الآلات الافتراضية؛ أظن أنها تسمى بالآلات دائبة الحركة. إذا تذكرت بشكل صحيح، تعتبر الآلات المصمَّمة للعمل من دون وقود مستحيلة لأن الواحد لا يستطيع إنتاج الطاقة من لا شيء. على أي حال، لا صلة تجمع مثل هذه الآلات بالمقامرة.

وافقه البروفيسور مسرورًا لأن صهره عرف شيئًا على الأقل عن الفيزياء، عرف بشأن الحركة الدائبة، «أنت محق تمامًا يا ولدي. إن

الآلات الدائبة من «النوع الأول» كما يطلقون عليها، مستحيلة لأنها تعارض قانون حفظ الطاقة. إلا أن الآلات بلا وقود التي أتصورها في عقلي من نوع مختلف تمامًا، وتُعرَف عادة «بآلات الحركة الدائبة من النوع الثاني». وهي غير مصمَّمة لخلق الطاقة من العدم، بل لاستخلاص الطاقة من مخزونات الطاقة المحيطة في الأرض والماء والهواء. على سبيل المثال قد تتخيل سفينة بخارية، لا ينطلق فيها بخار الغلايات عن طريق حرق الفحم بل عن طريق استخلاص الحرارة من الماء المحيط. في الحقيقة، إذا أمكن إجبار الحرارة على التدفق من البرودة نحو السخونة الأشد، بدلًا من العكس، يستطيع الواحد أن ينشئ نظامًا لضخ ماء البحر، وانتزاع محتواه الحراري، والتخلص من قوالب الثلج المتخلفة من فوق المتن. عندما يتجمد جالون من الماء البارد ويتحول إلى ثلج، يولد حرارة كافية لرفع درجة حرارة جالون آخر من الماء البارد إلى نقطة الغليان. وعن طريق ضخ جالونات عديدة من ماء البحر كل دقيقة، يستطيع الواحد بسهولة جمع الحرارة الكافية لتشغيل محرك جيد الحجم. هذه الآلات دائبة الحركة من النوع الثاني مفيدة للغاية في كل الأغراض العملية مثلها كمثل النوع المصمَّم لتخليق الطاقة من العدم. يمكن لكل شخص في العالم، بالاستعانة بمحركات مثل هذه لإنجاز العمل، أن يعيش حياة هانئة مثله كمثل مَن يمتلك حيلةً للعب الروليت لا يمكن التغلب عليها. لسوء الحظ فالأمران على قدر الاستحالة نفسه؛ إذ يخرقان -كلاهما- قوانين الاحتمالات على النحو نفسه».

قال السيد تومبكينز: أعترف بأن محاولة استخلاص الحرارة من ماء البحر من أجل إطلاق البخار في غلايات السفينة فكرة مجنونة.

إلا أنني أفشل في رؤية أي صلة تجمع بين تلك المسألة وبين قوانين الاحتمالات. من المؤكد أنك لا تطرح استخدام أحجار النرد وعجلات الروليت كأجزاء متحركة في هذه الآلات التي تعمل بلا وقود. أليس كذلك؟

ضحك البروفيسور: لا أطرح ذلك بالتأكيد! على الأقل لا أظن أن أكثر مخترعي الحركة الدائبة جنونًا قد طرحوا ذلك بعد. يكمن الأمر في أن العمليات الحرارية نفسها مماثلة للغاية في طبيعتها لألعاب رمي النرد، وعقد الآمال على تدفق الحرارة من الجسم الأبرد إلى الأسخن يشبه عقد الآمال على تدفق المال من بنك الكازينو إلى جيبك.

سأل السيد تومبكينز الذي صار حائرًا تمامًا الآن: هل تقصد أن البنك بارد، وجيبي ساخن؟

أجابه البروفيسور: بطريقة ما، نعم. إذا لم تفوت محاضرتي الأسبوع الماضي، كنت ستعرف أن الحرارة ليست إلا الحركة غير المنتظمة السريعة لجسيماتٍ بلا حصر، تُعرَف بالذرات والجزيئات، التي تتكوَّن منها كل الأجسام المادية. كلما زاد عنف هذه الحركة الجزيئية، بدا الجسم لنا أكثر سخونة. ونظرًا إلى أن هذه الحركة غير منتظمة تمامًا، لذا فهي خاضعة لقوانين الاحتمالات، ومن السهل تبيان أن الحالة الأكثر احتمالًا لنظام مُكَوَّن من عددٍ كبيرٍ من الجسيمات تقابل توزيعًا منتظمًا إلى حد ما بينها جميعًا للطاقة الكلية المتاحة. إذا سُخِّن أحد أجزاء الجسم المادي، أي إذا بدأت الجزيئات في هذه المنطقة في التحرك أسرع، يتوقع الواحد أن هذه الطاقة الإضافية سوف تتوزع

سريعًا بالتساوي بين جميع الجسيمات المتبقية من خلال عدد كبير من الاهتزازات العَرَضية. ولكن نظرًا إلى أن هذه الاهتزازات عَرَضية تمامًا، فثمة احتمالية كذلك أن تجمع عن طريق الصدفة البحتة مجموعة معينة من الجسيمات الجزء الأكبر من الطاقة المتاحة على حساب الجسيمات الأخرى. يرتبط هذا التركيز التلقائي للطاقة الحرارية في جزء معين من الجسم بتدفق الحرارة ضد الانحدار في درجة الحرارة، وهو أمر غير مستثنى من حيث المبدأ. إلا أن الواحد إذا حاول حساب الاحتمالية النسبية لهذا التركز التلقائي الحادث للحرارة، يحصل على قيم عددية صغيرة بحيث يمكننا وسم الظاهرة بأنها مستحيلة عمليًّا.

قال السيد تومبكينز: أوه، أفهم الأمر الآن. تعني أن آلات الحركة الدائبة من النوع الثاني قد تعمل بين الفينة والأخرى، ولكن احتمالات حدوث ذلك ضئيلة بقدر احتمالات رمي حجر النرد والحصول على النتيجة نفسها سبعمائة مرة على التوالي في لعبة رمي النرد.

قال البروفيسور: إن الاحتمالات أصغر كثيرًا من ذلك. في الحقيقة إن احتمالات المقامرة بنجاحٍ ضد الطبيعة ضئيلة للغاية، إلى الحد الذي يجعل العثور على كلماتٍ لوصف تلك الضآلة عسيرًا. على سبيل المثال، يمكنني حساب احتمالات اجتماع كل هواء هذه الحجرة تلقائيًّا تحت الطاولة، مخلفًا فراغًا تامًّا في كل مكان آخر. إن عدد رميات حجر النرد في المرة الواحدة يساوي عدد جزيئات الهواء في الحجرة. لذلك يجب أن أعرف عدد تلك الجزيئات. أذكر أن السنتيمتر المكعب من الهواء عند الضغط الجوي يحتوي على عدد من الجزيئات يعبِّر

عنه عدد مكون من عشرين خانة، لذلك فمجموع جزيئات الهواء في الحجرة بأكملها يجب أن يكون عددًا له سبع وعشرون خانة. يعادل حجم المكان تحت الطاولة واحدًا من المائة تقريبًا من حجم الحجرة، واحتمالات وجود أي جزيء تحت الطاولة، لا في مكان آخر، واحد من مائة بسبب ذلك. وهكذا، من أجل حساب احتمالات وجود الجزيئات كلها تحت الطاولة في وقت واحد، يجب أن أضرب واحدًا من مائة في واحد من مائة وهكذا، لكل جزيء في الحجرة. أحصل على عدد عشري يبدأ بأربعة وخمسين صفرًا.

أطلق السيد تومبكينز تنهيدة: أوه...! من المؤكد أنني لن أراهن ضد تلك الاحتمالات! ولكن ألا يعني كل هذا أن الانحرافات تكافؤ الأجزاء مستحيل ببساطة ؟

اتفق معه البروفيسور: بلى. لن نختنق بسبب وجود كل الهواء تحت الطاولة، يمكنك اعتبار ذلك حقيقة، وبسبب ذلك لن يبدأ السائل الموجود في كوبك الزجاجي الطويل في الغليان من تلقاء نفسه. لكنك إذا اهتممت بدراسة مساحات أصغر، تحتوي على أعداد أصغر من جزيئاتنا النردية، تصبح الانحرافات عن التوزيع الإحصائي أكثر احتمالًا. على سبيل المثال، تتكدس جزيئات الهواء نفسها بين الحين والآخر في نقاط معينة، وهو ما يؤدي إلى لا تجانسات صغيرة، يُطلَق عليها تذبذبات كمية للكثافة. عندما يمر ضوء الشمس عبر الغلاف الجوي للأرض، تتسبب مثل هذه اللا تجانسات في تشتُّت الأشعة الزرقاء في الطيف، وهو ما يمنح السماء لونها المألوف. لو لم توجد هذه التراوحات في الكثافة،

لصارت السماء سوداء تمامًا دائمًا، ولصارت النجوم مرئية بوضوحٍ في الضوء الكامل للنهار. كذلك تصبح السوائل الخفيفة متلألئة قليلًا عندما ترتفع حرارتها مقتربة من نقطة الغليان، بسبب هذه التذبذبات في الكثافة نفسها التي تنتج عن عدم انتظام حركة الجزيئات. ولكن احتمالية هذه التراوحات ضئيلة للغاية على المستويات الكبيرة بحيث قد نراقب لمليارات السنين من دون أن نرى واحدًا.

قال السيد تومبكينز: ولكن لا تزال ثمة فرصة لوقوع الحوادث الشاذة في هذه اللحظة في هذه الحجرة. أليس كذلك؟

«بلى، من المؤكد أن ثمة فرصة، ومن غير المعقول كذلك الإصرار على أن وعاء الشوربة لا يمكنه أن يسكب نفسه في جميع أنحاء مفرش الطاولة بسبب أن نصف جزيئاته قد تلقَّت بشكلٍ عارضٍ سرعات حرارية في الاتجاه نفسه».

تدخلت مود في الحوار، وقد أثار اهتمامها إذ أنهت مجلتها: ما بالي! حدث هذا الأمر تمامًا بالأمس فقط. انسكبت الشوربة، وقالت الخادمة إنها لم تلمس الطاولة.

كتم البروفيسور ضحكاته. قال: في هذه الحالة على وجه الخصوص، أتهم الخادمة، ولا أوجِّه اللوم إلى عفريت ماكسويل.

كرر السيد تومبكينز في اندهاش: عفريت ماكسويل؟ أعتقد أن العلماء هم آخر مَن قد يملكون أفكارًا عن العفاريت وما شابه.

قال البروفيسور: حسنًا، لا نأخذه على محمل الجد كثيرًا. كان

كليرك ماكسويل الفيزيائي الشهير مسؤولًا عن طرح فكرة هذا العفريت الإحصائي كتعبيرٍ مجازي ببساطة. استخدم هذه الفكرة ليوضح النقاشات الخاصة بظاهرة الحرارة. من المفترض أن عفريت ماكسويل رفيق سريع إلى حدٍّ ما، ويستطيع تغيير اتجاه كل جزيء وفق ما تأمر به. لو كان هذا العفريت موجودًا بالفعل، من الممكن جعل الحرارة تتدفق درجة الحرارة والقانون الأساسي للديناميكا الحرارية، لن يساوي مبدأ زيادة الإنتروبيا نكلة».

كرر السيد تومبكينز: الإنتروبيا؟ لقد سمعت تلك الكلمة من قبل. أقام أحد زملائي حفلًا ذات يوم، وبعد كؤوس قليلة من الشراب، بدأ طالب يدرس الكيمياء في الغناء –

«يزيد، ينقص

ينقص، يزيد

ماذا يهمنا بحق الجحيم

بما تفعل الإنتروبيا؟»

على لحن «أوه عزيزي أوغسطين» [أغنية شعبية فينيسية]. ما الإنتروبيا بأي حال؟

"من غير الصعب تفسيرها. إن الإنتروبيا ببساطة مصطلح يُستخدَم لوصف درجة الفوضى في حركة الجزيئات في أي جسم مادي أو في نظام من الأجسام. تميل التصادمات العديدة غير المنتظمة بين الجزيئات إلى زيادة الإنتروبيا دائمًا؛ إذ إن الفوضى المطلقة هي الحالة

الأكثر احتمالًا لأي منظومة إحصائية. إلا أن عفريت ماكسويل إذا بدأ العمل، فسرعان ما يفرض بعض النظام على حركة الجزيئات مثلما يجمع كلب الرعي قطيعًا من الماشية ويوجهها، وهكذا تبدأ الإنتروبيا في النقصان. ويجب أن أخبرك كذلك أنه وفق النظرية H كما يُطلَق عليها، التي استحدثها لودفيج بولتزمان في العلم...»

من الواضح أن البروفيسور نسي أنه يتحدث إلى رجل لا يعرف عمليًّا شيئًا عن الفيزياء، وأنه لا يتحدث إلى طلاب يدرسون الفيزياء المتقدمة، فأخذ يرغي ويستخدم تلك المصطلحات الرهيبة على غرار «المَعلَمات المعممة» و«أنظمة شبه الإرجوديك»، ظانًّا أنه يجعل القوانين الأساسية للديناميكا الحرارية وعلاقتها بصيغة جيبس للميكانيكا الإحصائية واضحة تمامًا. اعتاد السيد تومبكينز تحدُّث حميه بما لا يُفهَم؛ لذا ارتشف من مشروب السكوتش أند صودا في رصانة فيلسوف، وحاول أن يبدو ذكيًّا. إلا أن كل هذه الإضاءات على الفيزياء الإحصائية كانت بالتأكيد فوق طاقة مود التي تكورت في كرسيها، وكافحت لتبقي عينيها مفتوحتين، ولكي تتخلص من النعاس قررت أن تنصرف لتتفقد التقدم في طعام العشاء.

تساءل رئيس الخدم الطويل أنيق الملبس وهو ينحني عندما دخلت مود إلى حجرة الطعام: هل ترغب المدام في شيء؟

قالت: «لا، واصل عملك فقط» تساءلت في عجبٍ عن سبب وجوده هنا. بدا ذلك غريبًا للغاية، لم يوظِّفا رئيسًا للخدم بتاتًا، ومن المؤكد أنهما لا يستطيعان تدبير كلفته. كان الرجل طويلًا ونحيفًا، جلده زيتوني، وأنفه

طويل ومدبب، وعيناه خضراوان تبدوان كأنهما تشتعلان ببريقٍ غريبٍ شديد. سرت قشعريرة في العمود الفقري لمود عندما لاحظت النتوأين المتماثلين اللذين يحجب أغلبهما الشعر الأسود فوق جبينه.

فكرت مود: إما أنني أحلم، وإما أن هذا مفستوفيليس نفسه [الشيطان في رواية فاوست]، وقد جاء مباشرة من الأوبرا الكبرى.

سألت بصوت مرتفع، من أجل أن تقول أي شيء فقط: هل استأجرك زوجي؟

قال رئيس الخدم الغريب وهو يضفي لمسة فنية أخيرة على مائدة الطعام: ليس تمامًا. إنني هنا من تلقاء نفسي لأوضح لأبيك المبجل أنني لست الأسطورة التي يظنني عليها. دعيني أقدم نفسي. إنني عفريت ماكسويل.

تنفَّست مود الصعداء: أوه! إذن فربما لا تكون ملعونًا، مثل العفاريت الآخرين، ولا نية لديك لإيذاء أحد.

قال العفريت وقد اتسعت ابتسامته: بالتأكيد، لست ملعونًا، لكنني أحب المقالب، وأنا على وشك تنفيذ أحدها مع أبيك.

سألت مود وهي لا تزال غير مطمئنة تمامًا: ماذا ستفعل؟

«سأريه فقط أن قانون زيادة الإنتروبيا قد ينكسر، إذا اخترت كسره. كما تطيب لي صحبتك الكريمة، لكي أقنعك بإمكانية ذلك. أطمئنك أن الأمر غير خطير على الإطلاق».

هل يبدو الجحيم على هذه الصورة؟

فور أن نطق بهذه الكلمات، شعرت مود بالقبضة القوية ليد العفريت على مرفقها، وفجأة جن جنون كل شيء حولها. بدأت كل الأشياء المألوفة في حجرة الطعام الخاصة بها تزداد في الحجم بسرعة مرعبة، ألقت نظرة أخيرة على ظهر كرسي يغطي الأفق كله. عندما هدأت

الأشياء أخيرًا، وجدت نفسها تطفو في الهواء مرتكزة على رفيقها. تطن من حولها في جميع الجهات كرات غائمة في حجم كرات التنس إلا أن عفريت ماكسويل حافظ عليها في مهارة من الاصطدام بأي من الأشياء التي تبدو خطيرة. نظرت مود إلى الأسفل، فرأت ما بدا كقارب صيد، تشغل ظهره سمكة لامعة تهتز. ليست سمكة بل عدد لا يُحصى من الكرات الغائمة، تشبه كثيرًا الكرات التي تطير في الهواء بجوارهما. تقدم العفريت بها حتى بدت محاطة ببحرٍ من عصيدة كثيفة، يتحرك بلا نمطٍ محدد. تغلي الكرات متجهة نحو السطح، ويبدو أن بعضها الآخر يُسحَب نحو الأسفل. أحيانًا تصل إحداها إلى السطح بسرعة تجعلها تمرق إلى الفضاء، أو تغوص واحدة من الكرات التي تطير عبر الهواء في العصيدة وتختفي تحت آلاف الكرات الأخرى. نظرت مود إلى العصيدة من كثب، اكتشفت أن الكرات من نوعين مختلفين بالفعل. بدت غالبيتها مثل كرات التنس، أما الأكبر من بينها والأكثر استطالة فتشبه بدرجة أكبر كرات القدم الأمريكية. جميعها شفافة جزئيًّا، ويبدو أن لها بنية داخلية معقدة، لا تستطيع مود تمييزها.

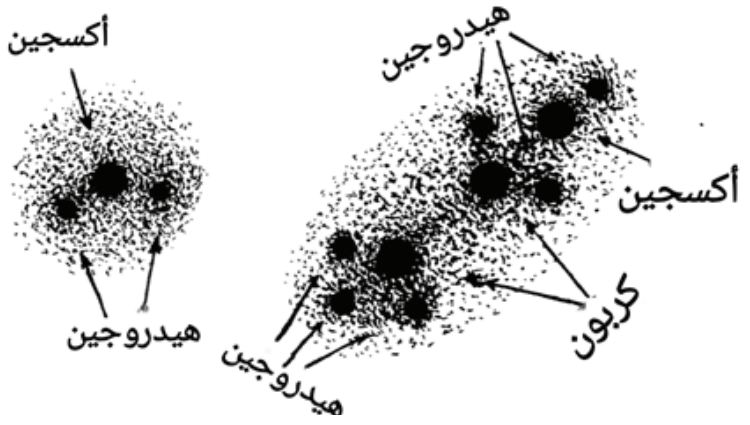
شهقت مود: أين نحن؟ هل يبدو الجحيم على هذه الصورة؟

ابتسم العفريت: لا. لا شيء مذهل مثل هذا. إننا نلقي ببساطة نظرة قريبة على جزء صغير جدًّا من سطح السائل في الكوب الزجاجي الطويل الناجح في إبقاء زوجك مستيقظًا، في أثناء شرح أبيك لأنظمة شبه الإرجوديك. إن كل هذه الكرات جزيئات. تلك الصغيرة المستديرة جزيئات ماء والكبيرة الطويلة جزيئات كحول. إذا أوليتِ عناية إلى

تمييز النسبة بين عدديهما، يمكنك أن تكتشفي مقدار قوة المشروب الذي صبه زوجك لنفسه.

قالت مود في أقصى درجات الصرامة التي جرؤت عليها: مثير جدًّا، لكن ما هذان الشيئان هناك اللذان يبدوان مثل زوجين من الحيتان يلعبان في الماء. يستحيل أن يكونا حوتين ذريين أم لعلهما كذلك؟

نظر العفريت إلى حيث أشارت مود. قال: لا. ليسا حوتَين. في الحقيقة إنهما زوجان من شذرات دقيقة جدًّا لشعير محترق، المكون الذي يمنح الويسكي مذاقه ولونه المميزين. كل شذرة مصنوعة من ملايين وملايين الجزيئات العضوية المركبة الكبيرة والثقيلة نسبيًّا. ترينهما يقفزان بسبب أن جزيئات الماء والكحول التي تمتلئ بالحيوية بفعل الحركة الحرارية تصطدم بهما. إن دراسة مثل هذه الجسيمات متوسطة الحجم، الصغيرة بما يكفي لتتأثر بحركة الجزيئات لكنها لا تزال كبيرة بما يكفي لكي تُرى من خلال ميكروسكوب قوي، هي ما منحت العلماء البرهان المباشر الأول على النظرية الحركية للحرارة. تمكَّن الفيزيائيون من الحصول على معلومات مباشرة بخصوص طاقة الحركة الجزيئية عن طريق قياس كثافة الرقصة الشبيهة برقصة التارانتيلا (رقصة شعبية إيطالية) التي تنفذها هذه الجسيمات الصغيرة المعلقة في السوائل، الحركة البراونية كما يطلق عليها عادة.



قادها العفريت مرة أخرى عبر الهواء حتى بلغا حائطًا هائلًا، يتكوَّن من جزيئات ماء بلا عدد، مرتبة في انتظام وإحكام مثل قوالب البناء.

صاحت مود: يا للإبهار الشديد! تماثل تمامًا الخلفية التي كنت أبحث عنها للوحتي التي أرسمها. ما هذا المبنى الجميل على أي حال؟

قال العفريت: ما بالك، هذا جزء من بلورة ثلجية، واحدة من بين بلورات كثيرة في مكعب الثلج في كوب زوجك. والآن، أستميحك عذرًا، حان وقت البدء في المقلب الذي سأنفِّذه على البروفيسور العجوز الواثق بنفسه.

بعد أن انتهى عفريت ماكسويل من عبارته ترك مود مستقرة على حافة البلورة الثلجية مثل متسلق جبال بائس، وانطلق في عمله. متسلحًا بأداة تشبه مضرب التنس، أخذ يضرب الجزيئات من حوله. يندفع هنا وهناك، يصل دائمًا في الوقت المناسب ليضرب أي جزيء عنيد، يصر على الذهاب في الاتجاه الخاطئ. وعلى الرغم من الخطر الذي يحيق بمود

بسبب مكانها، لم تستطع أن تمنع نفسها من الإعجاب بسرعته الخارقة ودقته، ووجدت نفسها تبتهج من الإثارة عندما ينجح في تغيير اتجاه جزيء سريع للغاية وصعب. عندما تقارن هذا العرض الذي تشاهده بأبطال لعبة التنس، تراهم حمقى بلا حول. في لحظات قليلة، ظهرت نتائج عمل العفريت بوضوحٍ تام. فعلى الرغم من أن جزءًا من سطح السائل تغطى بجزيئات هادئة بطيئة الحركة للغاية، صار الجزء الواقع تحت قدميها مباشرة أكثر اهتياجًا ونشاطًا عما قبل. يزداد سريعًا عدد الجزيئات الهاربة من السطح في عملية التبخر. تهرب حاليًّا الجزيئات معًا في مجموعات مكونة من آلاف الجسيمات، تخترق السطح في صورة فقاعات عملاقة. بعدئذٍ غطت سحابة من البخار مجال رؤية مود بأكمله، لم تعد تستطيع إلا التقاط لمحات للمضرب الطنان أو لذيل ثوب العفريت من بين حشود الجزيئات المجنونة. وفي النهاية، انحسرت الجزيئات في مقعدها البلوري الثلجي فسقطت في سحابات البخار الكثيفة من تحتها...

عندما انقشع السحاب، وجدت مود نفسها جالسة في الكرسي نفسه الذي كانت تجلس فيه قبل أن تمضي إلى حجرة الطعام.

يصرخ أبوها وهو يحدق حائرًا إلى الكوب الطويل الخاص بالسيد تومبكينز: يا أيتها الإنتروبيا المقدسة! إنه يغلي!

تغطى السائل في الكوب بفقاعات تنفجر في عنف، وأخذت سحابة رفيعة من البخار في الارتفاع ببطء نحو السقف. إن الأمر غريب للغاية. يغلي المشروب في مساحة صغيرة نسبيًّا فقط حول مكعب الثلج. أما بقية المشروب فلا تزال باردة تمامًا.

استمر البروفيسور في حديثه بصوتٍ خائفٍ مرتعد: «فكرا في الأمر. بينما أحدثكما عن التذبذبات الإحصائية في قانون الإنتروبيا، نرى واحدًا بالفعل! عن طريق صدفة مذهلة، ربما تحدث لأول مرة منذ نشأة الأرض، جمعت كل الجزيئات الأسرع نفسها عَرَضًا في جزء واحد من سطح الماء، وبدأ الماء يغلي من تلقاء نفسه. وخلال مليارات السنوات القادمة، ربما نظل البشر الوحيدون الذين نالوا يومًا فرصة رصد هذه الظاهرة غير العادية». راقب المشروب الذي أخذ يبرد الآن ببطء. زفر في سعادة: «يا لها من ضربة حظ!»

يا أيتها الإنتروبيا المقدسة! إنه يغلي!

ابتسمت مود لكنها لم تقل شيئًا. لم تهتم بمجادلة أبيها، لكنها تشعر بيقين هذه المرة من أنها تعرف أكثر منه.

10

عشيرة الإلكترونات المرحة

بعد أيام قليلة، وبينما ينتهي السيد تومبكينز من عشائه، تذكر أن محاضرة البروفيسور عن بِنية الذرة موعدها الليلة، وقد وعد بحضورها. إلا أن الكيل فاض به من شروح حميه المطولة؛ لذلك قرر أن يتناسى أمر المحاضرة، ويقضي أمسية مريحة في البيت. لكنه فور أن استقر بصحبة كتابه، قطعت عليه مود سبيل الهروب؛ إذ نظرت إلى الساعة وذَكَّرته في لطفٍ ولكن في حزمٍ بأن الوقت قد حان ليغادر. هكذا وجد نفسه بعد نصف الساعة على مقعد صلب خشبي في قاعة محاضرات الجامعة مع حشد من الطلاب الشباب المتحمسين.

بدأ البروفيسور حديثه وهو ينظر في جدية إليهم من خلف نظارته: السيدات والسادة، وعدت في محاضرتي الأخيرة بأن أمدكم بالمزيد من التفاصيل بخصوص البنية الداخلية للذرة، وأن أشرح لكم كيف تفسر السِّمات الخاصة لهذه البنية خواصها الفيزيائية والكيميائية. تعرفون بالتأكيد أن الذرات لم تعد تعتبر الأجزاء الأولية غير القابلة للتقسيم المُكَوِّنة للمادة، وقد انتقل هذا الدور حاليًّا إلى جسيمات أصغر كثيرًا مثل الإلكترونات والبروتونات [ثبت حاليًّا أن البروتونات تتكوَّن من جسيمات أصغر هي الكواركات إلا أن الكواركات لا تُرصَد منفردة مطلقًا] ... إلخ.

«تعود فكرة الجسيمات الأولية المُكَوِّنة للمادة، التي تمثل آخر خطوة ممكنة لتقسيم الأجسام المادية للفيلسوف اليوناني القديم ديمقريطس الذي عاش في القرن الرابع قبل الميلاد. تأمل ديمقريطس في الطبيعة الخفية للأشياء، ووصل إلى التفكير في مسألة بنية المادة، وواجهه السؤال عما إذا كان وجودها في صورة أجزاء صغيرة غير متناهية ممكنًا أم لا. بما أنه لم يكن من المعتاد حل أي مسألة في تلك الحقبة عن طريق أي منهج باستثناء التفكير البحت، كما أن المسألة على أي حال كانت في ذلك الوقت فيما وراء قدرة المناهج التجريبية على التصدي لها، بحث ديمقريطس عن الإجابة الصحيحة في أعماق عقله. وعلى أساس بعض الاعتبارات الفلسفية الغامضة، وصل أخيرًا إلى استنتاج أنه «لا يمكن تصور» أن المادة قد تنقسم إلى أجزاء أصغر وأصغر من دون أي حد، كما استنتج أن الواحد يجب أن يفترض وجود «أصغر الجسيمات التي يستحيل تقسيمها أكثر». أطلق على هذه الجسيمات «ذرات»، وربما تعرفون أن معناها في اليونانية «غير القابلة للتقسيم».

«لا أريد التقليل من الإسهام العظيم لديمقريطس في تقدم العلم الطبيعي، ولكن من المهم أن نأخذ في اعتبارنا أنه إلى جانب ديمقريطس وأتباعه، ثمة مدرسة أخرى بلا شك للفلسفة اليونانية، ألا وهي معتنقو فكرة أن عملية تقسيم المادة قد تستمر فيما وراء أي حد. هكذا، أمَّنت الفلسفة اليونانية القديمة لنفسها مكانًا مشرفًا في تاريخ الفيزياء بغض النظر عن طبيعة الإجابة التي سيطرحها العلم المنضبط في المستقبل. في زمن ديمقريطس ولقرون لاحقة، مَثَّل وجود تلك الأجزاء غير القابلة

للتقسيم فرضية فلسفية بحتة، ولم يقرر العلماء إلا بحلول القرن التاسع عشر أنهم قد وجدوا أخيرًا أحجار بناء المادة غير القابلة للتقسيم التي سبق وحدَّث بها الفيلسوف اليوناني القديم منذ ما يزيد على الألفَي عام.

«في الحقيقة، أوضح الكيميائي الإنجليزي جون دالتون في عام 1808 أن الحصص النسبية...»

شعر السيد تومبكينز منذ بداية المحاضرة تقريبًا برغبة لا تقاوم في أن يغلق عينيه ويغفو خلال بقية المحاضرة، ولم يمنعه من القيام بذلك إلا الصلابة الأكاديمية للمقعد. إلا أن تصورات دالتون بخصوص قانون «الحصص النسبية» مثَّل القشة الأخيرة، وسرعان ما تخلل قاعة المحاضرات الساكنة شخيرٌ ناعم يأتي من الركن حيث يجلس السيد تومبكينز.

عندما غاص السيد تومبكينز في النوم، بدا أن إزعاج المقعد المتصلب يذوب في شعور ممتع بالطفو في الهواء، فتح عينيه، تفاجأ إذ وجد نفسه يندفع عبر الفضاء بسرعة اعتبرها متهورة للغاية. نظر حوله فرأى أنه ليس وحيدًا في هذه الرحلة المذهلة. إلى جواره عددٌ من الهيئات المبهمة الضبابية تدور بسرعة كبيرة حول شيء كبير وثقيل فيما يبدو في منتصف الحشد. تسافر هذه الكائنات الغريبة في أزواج، تطارد مرحة بعضها بعضًا على طول مسارات دائرية وبيضاوية. وفجأة شعر السيد تومبكينز بوحدة شديدة؛ إذ انتبه إلى أنه الوحيد في المجموعة كلها الذي يفتقر إلى رفيق للعب.

تساءل تومبكينز في وجوم: لماذا لم أجلب مود معي؟ كنا سنحظى بوقتٍ رائعٍ بصحبة هذا الحشد الخالي من الهم. كان المسار الذي يتحرك على طوله خارج كل المسارات الأخرى، وعلى الرغم من رغبته الشديدة في الانضمام إلى الحفل، منعه شعوره المزعج بأنه رجل غريب من القيام بذلك. ولكن عندما مرَّ أحد الإلكترونات (انتبه السيد تومبكينز أنه التحق بشكل إعجازي بالمجتمع الإلكتروني لذرة) بالقرب منه في مساره الممدد، قرر أن يشكو من الوضع.

صاح: لماذا ليس لديَّ من ألعب معه؟

قال الإلكترون وهو يستدير ويغوص عائدًا إلى الحشد الراقص: لأن هذه ذرة فردية، وأنت إلكترون التكافؤؤؤؤ...

صاحت واحدة من معشر الإلكترونات تندفع مسرعة إلى جواره

بصوت سوبرانو حاد النبرة: تحيا إلكترونات التكافؤ وحيدة أو تعثر على رفاق [أو رفيقات] في ذرات أخرى.

غنَّى إلكترون آخر ساخرًا:

«من العادل أن ترغب في رفيق

اقفز إلى الكلور، واعثر هناك على الصديق».

قال صوت ودود من فوقه: «أرى أنك جديد هنا يا بني ووحيد للغاية» رفع السيد تومبكينز عينيه، ورأى هيئة قوية البنية لراهبٍ يرتدي سترة بنية.

استمر الراهب في حديثه: «إنني الأب بوليني». تحرك على طول المسار بصحبة السيد تومبكينز. «تتمثل مهمتي في الحياة في أن أواظب على مراقبة أخلاقيات الإلكترونات وحياتها الاجتماعية في الذرات والأماكن الأخرى. يتمثَّل عملي في أن أحافظ على هذه الإلكترونات اللعوبة موزَّعة بالشكل المناسب بين مختلف الحجيرات الكمية المختلفة للبنية الذرية الجميلة التي أنشأها المعماري العظيم نيلز بور. ولكي أُبقي على النظام وأحافظ على الملكيات، لا أسمح بتاتًا لإلكترونات تزيد على الاثنين بأن تتبع المسار نفسه، تعرف أن «العلاقة الثلاثية» تجلب الكثير من المشكلات. لذلك تجتمع الإلكترونات دائمًا في أزواج لها «لف مغزلي» [خاصية جوهرية للجسيمات تعبِّر عن دوران الجسم حول نفسه] متعاكس وغير مسموح بالدخلاء إذا كانت الحجيرة مشغولة بالفعل. إنها قاعدة جيدة، وقد أضيف أن وصاياي لم يخالفها أي إلكترون حتى الآن».

اعترض السيد تومبكينز: ربما هي قاعدة جيدة لكنها لا تلائمني نوعًا ما حاليًّا.

ابتسم الراهب: أرى ذلك، لكنه حظك التعس فقط، أن تكون إلكترون التكافؤ في ذرة فردية. يحق لذرة الصوديوم التي تنتمي إليها الإمساك بأحد عشر إلكترونًا معًا بفعل الشحنة الكهربية لنواتها (تلك الكتلة الداكنة التي تراها في المركز). حسنًا، لسوء الحظ، فالأحد عشر عدد فردي، وهذه الحالة ليست شاذة عندما تأخذ في اعتبارك أن نصف الأعداد فردية والنصف الآخر زوجية. لذلك، ونظرًا إلى أنك آخر الوافدين، يجب أن تبقى وحيدًا بعض الوقت على الأقل.

سأل السيد تومبكينز في توق: تقصد أن ثمة فرصة لي أن أدخل لاحقًا؟ كأن أركل أحد القدامى خارجًا؟

قال الراهب وهو يلوح بإصبعه الممتلئة نحوه: لا تجري الأمور على هذه الوتيرة، إلا أنه ثمة فرصة دائمًا إذ قد يُلقى بأحد أعضاء الدائرة الداخلية إلى الخارج بفعل اضطراب خارجي، مخلفًا مكانًا خاليًا، غير أنني لن أعتمد على ذلك كثيرًا لو كنت مكانك؟

قال السيد تومبكينز وقد ثبطته كلمات الأب بوليني: لقد أخبروني أنني سأكون أفضل حالًا إذا مضيت نحو الكلور. هل من الممكن أن تخبرني كيف أفعل ذلك؟

صاح الراهب في أسى: أيها الشاب! أيها الشاب! لماذا تصر على العثور على صحبة؟ لِمَ لا تستطيع تقدير قيمة الوحدة وهذه الفرصة التي وهبتها لك السماء لتتأمل نفسك في سلام؟ لماذا يميل الجميع دائمًا نحو الحياة الدنيوية بما فيهم الإلكترونات؟ ومع ذلك إذا أصررت على الرفقة، فسوف أساعدك على تحقيق أمنيتك؟ إذا نظرت إلى حيث أشير، فسوف ترى ذرة كلور تقترب منا، ويمكنك أن ترى على الرغم من بُعد المسافة بقعة غير مشغولة حيث سيكون وجودك مُرحبًا به بكل تأكيد. تقع البقعة الخالية في مجموعة الإلكترونات الخارجية، التي يطلق عليها «الغلاف M»، من المفترض أن يتكوَّن من ثمانية إلكترونات مجتمعة في أزواج. ولكن -كما ترى- ثمة أربعة إلكترونات تلف مغزليًّا في اتجاه، وثلاثة فقط في الاتجاه الآخر، ومكان واحد شاغر. يُعرف الغلافان الداخلان بالغلافين K وL، وهما ممتلئان تمامًا، وستسعد الذرة بالحصول عليك واستكمال غلافها الخارجي. عندما تتقارب الذرتان، ليس عليك سوى القفز، مثلما تفعل إلكترونات التكافؤ عادة. ولتصحبك السلامة يا بني!

وبعد هذه الكلمات تلاشت في الهواء فجأة الهيئة المبجلة لكاهن الإلكترونات.

شعر السيد تومبكينز ببهجة كبيرة إضافية، فاستجمع قواه من أجل أن يقفز قفزة تدق الأعناق إلى مدار ذرة الكلور المارة. تفاجأ حين قفز في رشاقة بسهولة ووجد نفسه في البيئة الطبيعية لإلكترونات الغلاف M في ذرة الكلور.

قالت شريكته الجديدة ذات اللف المغزلي المعاكس التي انزلقت في رشاقة على طول مسارها: يبعث انضمامك إلينا على السرور. منذ اللحظة لن يستطيع أحدهم أن يقول إننا مجتمع غير كامل. يمكننا الآن أن نستمتع معًا!

اتفق معها السيد تومبكينز على أن هذا الأمر ممتع حقًّا -ممتع للغاية- إلا أن قلقًا صغيرًا ظل يتسرب إلى عقله. فكر شاعرًا ببعض الذنب، ولكن ليس لوقت طويل: كيف سأفسر لمود هذا عندما أراها مرة أخرى؟ قرر: من المؤكد أنها لن تنزعج، ففي النهاية، هي مجرد إلكترونات.

سألت رفيقته في تجهم: لماذا لا تبتعد تلك الذرة التي غادرتها؟ هل لا تزال تأمل في استعادتك؟

وفي الحقيقة، التصقت ذرة الصوديوم التي رحل إلكترون التكافؤ الخاص بها بذرة الكلور التصاقًا وثيقًا كأنها تأمل أن يغير السيد تومبكينز رأيه، ويقفز عائدًا إلى مساره منفردًا.

قال السيد تومبكينز في غضبٍ مقطبًا جبينه تجاه الذرة التي استقبلته أولًا في برود شديد: حسنًا كيف ترضون بذلك! إنكم مثل كلب في مَعلَف! [لا يأكل الحبوب ولا يسمح للحصان بأكلها (قصة يونانية قديمة)]

قال عضو محنك في الغلاف M: إنها تتصرف على هذا النحو طوال الوقت. أعرف أن المجتمع الإلكتروني لذرة الصوديوم ليس ما يتوق بشدة إلى رجوعك، بل نواة الصوديوم نفسها هي ما تتوق إلى ذلك. ثمة بعض الخلاف الدائم بين النواة المركزية ومرافقيها الإلكترونات: ترغب النواة في أن تمسك حولها بأكبر قدر تستطيعه من الإلكترونات بواسطة شحنتها الكهربية، في حين تفضِّل الإلكترونات نفسها أن يكون عددها كافيًا لإكمال الأغلفة. ثمة أنواع ذرية قليلة فقط، تُدعى بالغازات النادرة أو الغازات النبيلة كما يدعوها الكيميائيون الألمان، تتناغم فيها تمامًا رغبة النواة الحاكمة والإلكترونات التابعة. تكتفي هذه الذرات مثل الهيليوم والنيون والأرجون بنفسها تمامًا، ولا تلفظ عددًا منها أو تدعو رفاقًا جددًا. إنها خاملة كيميائيًّا، وتنبذ جميع الذرات الأخرى. إلا أن المجتمعات الإلكترونية في كل الذرات الأخرى جاهزة دائمًا لتغيير عضويتها. يحق للنواة في ذرة الصوديوم التي كانت موطنك السابق بفعل شحنتها الكهربية ضم إلكترون إضافي زيادة على العدد اللازم للتناغم في أغلفتها. على الجانب الآخر، فإن العدد الطبيعي المشروط في ذرتنا لا يكفل التناغم التام، لذلك نرحب بوصولك، على الرغم من أن وجودك يثقل على النواة. لكنك ما دمت بقيت هنا، لم تعد ذرتنا

متعادلة، وصار لديها شحنة كهربية زائدة. لذلك تقف ذرة الصوديوم التي غادرتها بالجوار، تمسك بها قوى الجذب الكهربي. سمعت كاهننا العظيم الأب بوليني يقول ذات يوم إن المجتمعات الذرية التي تمتلك إلكترونات إضافية أو التي فقدت إلكترونات تُدعى «أيونات» سالبة وموجبة. استخدم كذلك كلمة «جزيء» ليشير إلى المجموعات المكوَّنة من ذرتين أو أكثر مرتبطة معًا بفعل القوة الكهربية. أطلق على هذا الاجتماع الخاص بذرتَي صوديوم وكلور جزيء «ملح الطعام» أيًّا ما قد يكون هذا؟

قال السيد تومبكينز ناسيًا ماهية ما يتحدث إليه: هل تقصد أن تخبرني أنك لا تعرف ملح الطعام؟ ما بالك! إنه ما تضعه على بيضك المقلي في الإفطار.

سأل الإلكترون المتحفز: ما «البيد المكلي» وما «الإفتار»؟

تلعثم السيد تومبكينز ثم أدرك لا جدوى من محاولة تفسير أبسط تفاصيل حيوات البشر. أخبر نفسه: «لهذا السبب لا أفهم الكثير من حديثهم عن التكافؤ والأغلفة الكاملة» قرر الاستمتاع بزيارته إلى هذا العالَم المذهل من دون أن يكافح لفهمه. إلا أن الابتعاد عن إلكترون ثرثار لم يكن سهلًا؛ إذ كان من الواضح أنه مفعم برغبة عظيمة في نقل كل المعارف التي جمعها خلال حياة إلكترونية طويلة.

واصل حديثه: لا يجب أن تظن أن ارتباط الذرات في جزيئات يتم دائمًا عن طريق إلكترون تكافؤ وحيد. ثمة ذرات مثل ذرة الأكسجين، على سبيل المثال، تحتاج إلى إلكترونَين إضافيَّين لكي تكمل أغلفتها،

وثمة ذرات كذلك تحتاج إلى ثلاثة إلكترونات بل والمزيد. على الجانب الآخر، تمسك النواة في بعض الذرات بإلكترونَين إضافيَّين أو أكثر. عندما تلتقي مثل هذه الذرات تحدث قفزات كثيرة وارتباطات، ينتج عنها تكوُّن جزيئات معقدة تمامًا، تتركب غالبًا من آلاف الذرات. نجد كذلك ما يُطلَق عليها جزيئات «متجانسة القطبية»، وهي جزيئات تتكوَّن من ذرتين متماثلتين، لكنه وضع مزعج للغاية.

سأل السيد تومبكينز وقد استعاد اهتمامه: مزعج، لماذا؟

شرح الإلكترون: تبذل الكثير من العمل لتبقي الذرتين معًا. في وقتٍ سابقٍ، صادف وحصلتُ على المهمة ولم أحصل على لحظة واحدة من أجل نفسي طوال الوقت الذي بقيته هناك. وما المستغرب، يختلف الأمر تمامًا عما عليه الحال هنا، حيث يمتِّع إلكترون التكافؤ نفسه، تاركًا الذرة الجائعة كهربيًّا والمهجورة تقف بالجوار. كلا يا سيدي! لكي يستبقي الإلكترون الذرتين المتماثلتين معًا، يجب أن يقفز ذهابًا وإيابًا، من ذرة إلى الأخرى ثم يعيد الكَرَّة. يا إلهي! يشعر الواحد كأنه كُرة بينج بونج.

اندهش السيد تومبكينز إلى حدٍّ ما مما سمعه، يتحدث الإلكترون من دون تكلف عن البينج بونج، وهو الإلكترون نفسه الذي لا يعرف البيض المقلي.

دمدم الإلكترون الكسول المأخوذ بموجة من الذكريات المزعجة: لن أضطلع بهذا العمل مرة أخرى! إنني مرتاح تمامًا حيث أنا الآن.

صرخ فجأة: «انتظر، أعتقد أنني أرى مكانًا أفضل يمكنني الذهاب إليه، إلى اللقاااااء!» اندفع إلى داخل الذرة بقفزة هائلة.

نظر السيد تومبكينز إلى الاتجاه الذي رحل فيه محاوره، ففهم ما حدث. يبدو أن إلكترونًا غريبًا مسرعًا للغاية، اخترق نظامهم بشكلٍ غير متوقع، ورمى بأحد إلكترونات الحلقة الداخلية إلى الخارج، وصار مكان مريح في الغلاف K مفتوحًا على مصراعيه. بينما يوبِّخ نفسه على فرصة الالتحاق بالحلقة الداخلية التي ضاعت منه، أخذ يراقب باهتمامٍ عظيمٍ مسار الإلكترون الذي كان يتحدث إليه للتوِّ. أسرع الإلكترون السعيد غائصًا أعمق وأعمق في قلب الذرة، تصاحب تحليقه المنتصر أشعة ضوئية لامعة. لم تتوقف هذه الأشعة التي لا تُحتمَل إلا عندما بلغ المدار الداخلي.

سأل السيد تومبكينز وعيناه تؤلمانه من مشهد الظاهرة غير المتوقعة: ماذا كان ذلك؟ لماذا هذا البريق كله؟

شرحت رفيقته المدارية وهي تبتسم من ارتباكه: ليست إلا أشعة إكس المرتبطة بالانتقال. عندما ينجح أحدنا في الغوص عميقًا في قلب الذرة، يجب أن تنطلق الطاقة الفائضة في صورة إشعاع. قفز هذا الزميل المحظوظ قفزة كبيرة حقًّا، وحرَّر الكثير من الطاقة. تُرضينا في أغلب الأحيان قفزات أصغر في الضواحي الذرية وعندئذٍ نطلق على إشعاعنا «الضوء المرئي» – على الأقل هكذا أطلق عليه الأب بوليني.

اعترض السيد تومبكينز: إلا أن هذا الضوء الإكس، أو أيًّا ما كان ما تطلقونه عليه، مرئي كذلك. يجب أن أصف اصطلاحاتكم بأنها مضللة إلى حد ما.

«حسنًا، إننا إلكترونات حساسة لأي نوع من الإشعاع. إلا أن

الأب بوليني يخبرنا بأنه توجد كائنات عملاقة، أطلق عليها «بشرًا»، لا يستطيعون أن يروا الضوء إلا عندما يقع داخل مدى ضيق للطاقة أو للطول الموجي، على حد تعبيره. أخبرنا ذات مرة أن أشعة إكس احتاجت من أجل اكتشافها إلى رجل عظيم، أظن أن اسمه رونتجن، وأنها تُستخدَم حاليًّا بشكلٍ واسعٍ في شيء يُدعى «طبًّا».

قال السيد تومبكينز شاعرًا بالفخر، إذ يستطيع الآن أن يُظهِر معارفه: أوه، نعم. أعرف الكثير للغاية عن هذا الأمر. هل تريدين أن أخبرك بالمزيد عنه؟

قالت الإلكترون وهي تتثاءب: لا، شكرًا. لا أهتم بالفعل. ألا يمكنك أن تشعر بالسعادة من دون أن تتكلم؟ حاول أن تمسك بي!

أخذ السيد تومبكينز لوقت طويل في الاستمتاع بالإحساس اللطيف للسباحة عبر الفضاء مع الإلكترونات الأخرى، وفي ممارسة تأرجحات بهلوانية مجيدة. ثم، أحس إذ فجأة بقشعريرة ورعب شديد، إحساس مرَّ به ذات مرة من قبل خلال عاصفة رعدية في الجبال. كان من الواضح أن اضطرابًا كهربيًّا كبيرًا شديدًا يقترب من ذرته، كاسرًا تناغم الحركة الإلكترونية، مجبرًا الإلكترونات على الانحراف بشدة عن مساراتها الطبيعية. من منظور الفيزيائي البشري، فما هي إلا موجة ضوء فوق بنفسجي تمرُّ عبر المكان حيث تصادف وجود هذه الذرة، لكنها بالنسبة إلى الإلكترونات ضئيلة الحجم عاصفة كهربية مروعة.

هتف أحد رفاقه: «تمسَّكوا بقوة أو ستُلقي بكم قوى التأثير الضوئي!» إلا أن التحذير جاء متأخرًا بالفعل. اختُطِف السيد تومبكينز

من بين رفاقه في حنكة كأن إصبعَين قويتين قد أمسكتا به، اندفع في الفضاء بسرعة مروعة. اندفع مقطوع الأنفاس مبتعدًا أكثر وأكثر عبر الفضاء، يشق سبيله مارًّا بكل أنواع الذرات المختلفة بسرعة كبيرة، لا يكاد يستطيع تمييز الإلكترونات المنفردة. وفجأة لاحت أمامه مباشرة ذرة كبيرة وعرف أن الاصطدام حتمي.

بدأ السيد تومبكينز حديثه في تهذيب: «اعذروني، لكنني واقع تحت التأثير الضوئي، ولا أستطيع...» لكن بقية الجملة ضاعت في خضم اصطدام يصم الآذان؛ إذ ارتطم مباشرة بأحد الإلكترونات الخارجية. تردى الاثنان رأسًا على عقب في الفضاء. غير أن السيد تومبكينز فقد أغلب سرعته في الاصطدام، وصار قادرًا الآن على دراسة محيطه الجديد بدقة أكبر. إن الذرات القائمة من حوله أكبر كثيرًا من أي ذرات رآها من قبل، ويمكنه أن يعد تسعة وعشرين إلكترونًا في كل واحدة منها. إذا كان على علم أكبر بالفيزياء، لتعرَّف عليها وأدرك أنها ذرات نحاس، إلا أن المجموعة في مجملها لم تبدُ في هذه المساحة الضيقة ذرات نحاس على الإطلاق. كما أنها موضوعة بالقرب من إحداها الأخرى مشكِّلة نمطًا منتظمًا، يمتد بعيدًا على مرمى البصر. لكن ما أدهش السيد تومبكينز أن هذه الذرات لم تبدُ دقيقة تمامًا فيما يتعلق بالإمساك بحصتها من الإلكترونات، خصوصًا إلكتروناتها الخارجية. في الحقيقة، كانت المدارات الخارجية فارغة في الغالب، وتنجرف حشود من إلكترونات حرة في كسلٍ عبر الفضاء، تتوقف من حين إلى آخر على مشارف ذرة أو الأخرى، لكنها لا تتوقف وقتًا طويلًا. في البداية حاول السيد تومبكينز بعد أن أتعبته رحلة طيرانه المتهورة عبر

الفضاء أن يحصل على القليل من الراحة في مدارٍ ثابتٍ لإحدى ذرات النحاس. لكنه سرعان ما أصابته عدوى إحساس صعلكة الزحام، والتحق ببقية الإلكترونات في حركتها التي لا تستهدف مكانًا محددًا.

عَلَّق بينه وبين نفسه: الأمور فوضوية كثيرًا هنا، ثمة الكثير للغاية من الإلكترونات التي لا تعتني بعملها. أظن أن الأب بوليني يجب أن يفعل شيئًا في هذا الخصوص.

قال صوت الراهب المألوف الذي تجسَّد فجأة من العدم: لِمَ عليَّ أن أفعل؟ لا تطيع هذه الإلكترونات أي وصايا، وإلى جانب ذلك فهي تقوم بعمل مفيد جدًّا في الحقيقة. قد تهتم بمعرفة أنه إذا حرصت كل الذرات كثيرًا على التمسك بإلكتروناتها كما يفعل بعضها، فلن توجد توصيلية كهربية. ما كان لك أن تمتلك جرسًا كهربيًّا في منزلك ناهيك من الإضاءة أو التليفون.

سأل السيد تومبكينز متشبثًا بأملٍ في أن تتحوَّل المحادثة نحو شيء مألوف إلى حدٍّ ما بالنسبة إليه: أوه، تعني أن هذه الإلكترونات تحمل التيار الكهربي؟ لكنني لا أراها تتحرك في أي اتجاه معين.

قال الراهب في صرامة: أولًا وقبل كل شيء. لا تستخدم ضمير المخاطب يا فتى، استخدم ضمير المتكلم. يبدو أنك تنسى أنك أنت نفسك إلكترون، وفي اللحظة التي يضغط أحدهم الزر الذي يتصل به هذا السلك النحاسي، سوف يتسبب التوتر الكهربي في اندفاعك واندفاع إلكترونات التوصيل الأخرى كذلك لكي تنادي الخادمة لتقوم بما هو مطلوب.

قال السيد تومبكينز في حزمٍ، يشوب نبرة صوته مزاج سيئ: لكنني لا أريد! في الحقيقة تعبت تمامًا من كوني إلكترونًا، وأظن أن هذا الأمر لم يعُد ممتعًا. يا لها من حياة، يجب أن تنجز كل هذه الواجبات الإلكترونية إلى أبد الآبدين!

عارضه الأب بوليني الذي لم يحب بالتأكيد رده الوقح فيما يتصل بالإلكترونات المجردة: ليس بالضرورة إلى الأبد. ثمة فرصة دائمًا أن تفنى ويتوقف وجودك.

كرر السيد تومبكينز، وقد شعر بقشعريرة تسري في بدنه: أ أ أ أفنى؟ لكنني ظننت دائمًا أن الإلكترونات خالدة.

وافقه الأب بوليني مستمتعًا بالتأثير الذي جلبته كلماته: هذا ما اعتاد الفيزيائيون الظن فيه حتى وقت قريب نسبيًّا، لكنه ظنٌّ غير صحيح تمامًا. قد تُولَد الإلكترونات وتموت، مثلها كمثل البشر. بالتأكيد لا تموت بسبب تقدم العمر، يأتي الموت بسبب التصادمات فقط.

قال السيد تومبكينز مستعيدًا القليل من الثقة: حسنًا، لقد مررت بتصادم منذ فترة قصيرة، وقد كان تصادمًا سيئًا أيضًا. وإذا لم ينل مني ذلك التصادم، فلا أتصور تصادمًا يفعل.

صحَّح له الأب بوليني: لا يتعلق الأمر بقوة التصادم، بل بمَن هو الرفيق الآخر. في اصطدامك الأخير، اندفعت على الأرجح نحو إلكترون سالب آخر، مماثل لك تمامًا، ولا تحمل هذه المواجهة أدنى خطورة. في الحقيقة قد تتناطحان مثل كبشَين لسنوات ولن يصيبكما أي مكروه. ولكن ثمة ذرية أخرى من الإلكترونات، الإلكترونات الموجبة

التي لم يكتشفها الفيزيائيون إلا في وقت قريب نسبيًّا. تشبهك هذه الإلكترونات الموجبة، البوزيترونات، تمامًا، يتمثل الاختلاف الوحيد في أن شحنتها الكهربية موجبة وليست سالبة. عندما ترى مثل هذا الرفيق يقترب، تظن أنه ليس إلا عضوًا بريئًا آخر من قبيلتك ، تمضي نحوه مباشرة كي تلقي بالتحية. لكنك تكتشف إذ فجأة أنه لا يدفعك بعيدًا قليلًا ليجتنب الاصطدام، مثلما قد يفعل أي إلكترون طبيعي، بل يسحبك مباشرة إليه. وعندئذٍ يكون الوقت قد تأخر كثيرًا للغاية للقيام بأي شيء.

صاح السيد تومبكينز: يا له من أمر مروع! وكم عدد الإلكترونات المعتادة المسكينة التي قد يلتهمها بوزيترون واحد؟

«إلكترون واحد فقط لحسن الحظ؛ إذ عندما يدمر البوزيترون إلكترونًا سالبًا فإنه يدمر نفسه كذلك. قد يعتبرها الواحد أعضاء في جماعة انتحارية، تبحث عن شركاء في الفناء المتبادل. لا تضر بعضها بعضًا، ولكن فور أن يأتي إلكترون سالب في طريقها، فلا فرصة أمامه للنجاة.

قال السيد تومبكينز متأثرًا كثيرًا بهذا الوصف: إنني محظوظ إذ لم أرتطم بأحد هذه الوحوش بعد. آمل أن عددها ليس كبيرًا، هل عددها كبير؟

«لا، ليس كبيرًا. وذلك لسبب بسيط؛ إذ تبحث دائمًا عن المشكلات، ولذلك تختفي سريعًا للغاية بعد أن تُولَد. إذا انتظرت دقيقة، من المحتمل أن أريك واحدًا».

واصل الأب بوليني حديثه بعد صمت قصير: نعم، ها نحن ذا. إذا نظرت في عناية إلى النواة الثقيلة هناك، سوف ترى ميلاد أحد هذه البوزيترونات.

كان من الواضح أن النواة التي أشار إليها الكاهن تمر باضطراب كهرومغناطيسي قوي، بسبب إشعاع باطش يسقط عليها من الخارج. كان اضطرابًا أعنف كثيرًا من ذلك الذي ألقى بالسيد تومبكينز خارج ذرة الكلور، تشتتت عائلة الإلكترونات الذرية، وحلَّقت مبتعدة مثل أوراق جافة في إعصار.

قال الأب بوليني: «انظر في عناية إلى النواة» رَكَّز السيد تومبكينز انتباهه، ورأى ظاهرة غريبة للغاية تحدث في أعماق الذرة المحطمة. بالقرب من النواة، داخل الغلاف الإلكتروني الداخلي يأخذ ظلان مبهمان شكلهما تدريجيًّا، رأى السيد تومبكينز بعد ثانية واحدة إلكترونين جديدين متلألئين يندفعان بسرعة عظيمة من مكان ميلادهما.

قال السيد تومبكينز مأخوذًا بالمشهد: لكنني رأيت اثنين منها.

وافقه الأب بوليني: ذلك صحيح. تولد الإلكترونات دائمًا في أزواج، بغير ذلك سوف تنتهك قانون بقاء الشحنة الكهربية. إن أحد هذين الجسيمين المولودين تحت تأثير أشعة جاما القوية على النواة إلكترون سالب معتاد، والآخر بوزيترون – إنه القاتل. انطلق الآن يبحث عن ضحية.

عَلَّق السيد تومبكينز متأملًا: حسنًا، إذا صاحب ميلاد كل بوزيترون مُقَدَّر له أن يدمر إلكترونًا، ميلاد إلكترون آخر مجرد، إذن فالأمور ليست سيئة جدًّا. على الأقل، لا يؤدي ذلك إلى فناء عشيرة الإلكترونات، وأنا...

قاطعه الكاهن وهو يدفعه جانبًا في أثناء مرور البوزيترون الوليد على بُعد بوصة بالضبط: احترس للغاية عندما تكون هذه الجسيمات القاتلة من حولك. لكنني أظن أنني أقضي الكثير من الوقت في الحديث معك ولديَّ انشغالات أخرى أهتم بها. يجب أن أعتني بحيواني الأليف «النيوترينو»...

اختفى الكاهن من دون أن يسمح للسيد تومبكينز بمعرفة ما هذا «النيوترينو» وما إذا كان عليه أن يخشاه أيضًا أم لا. هكذا شعر السيد تومبكينز المهجور بوحدة أكبر من تلك التي شعر بها من قبل، عندما يقترب منه أحد الإلكترونات الأخرى في أثناء رحلته في الفضاء، يتعهد أملًا سريًّا مستميتًا ألا يكون تحت المظهر الخارجي البريء قلب قاتل خفي. ولوقت طويل، بدا كقرون بالنسبة إليه، لم تكن مخاوفه وآماله مبررة، وحمل من دون رغبة منه الواجبات المملة لإلكترون توصيل.

وفجأة حدث الأمر، في لحظة لم يتوقع حدوثه فيها. شعر بحاجة شديدة إلى الحديث إلى شخص، حتى لو كان إلكترون توصيل غبي، اقترب من جسيم يتحرك ببطء إلى جواره وكان من الواضح أنه وافد جديد إلى هذا الجزء من السلك النحاسي. لكنه أدرك على الرغم من بُعد المسافة أنه قام باختيار سيئ، وأن قوة تجاذب لا تُقاوم تسحبه، ولا تسمح له بأي انسحاب. حاول لوهلة أن يقاوم وأن يدفع نفسه بعيدًا، إلا أن المسافة أخذت تقل وتقل سريعًا، وبدا للسيد تومبكينز أنه يرى ضحكة شيطانية على وجه آسره.

صرخ السيد تومبكينز بأعلى صوته، مقاومًا بذراعيه وراكلًا بقدميه: «دعني أذهب! دعني أذهب! لا أريد أن أفنى، سوف أوصِّل التيار الكهربي إلى الأبد!» إلا أن ذلك كله كان بلا جدوى، وفجأة أضاء الفضاء المحيط وميض يخطف الأبصار لإشعاع مركز.

فكر السيد تومبكينز: «حسنًا، لم أعد موجودًا، ولكن كيف ما زلت أفكر؟ هل فني جسدي فقط وذهبت روحي إلى جنة كمية؟» ثم شعر بقوة جديدة، ألطف هذه المرة، تهزه في حزم وإصرار، فتح عينيه وتعرف على حارس الجامعة.

قال: «إنني آسف يا سيدي، إلا أن المحاضرة انتهت منذ وقت مضى، وسوف نغلق القاعة الآن» حبس السيد تومبكينز تثاؤبًا، وبدا مرتبكًا.

قال الحارس بابتسامة عطوفة: طابت ليلتك يا سيدي.

10 ½

جزء من المحاضرة السابقة
التي نام السيد تومبكينز في أثنائها

في الحقيقة، أوضح الكيميائي الإنجليزي جون دالتون في عام 1808 أن الحصص النسبية لمختلف العناصر الكيميائية التي نحتاج إليها من أجل تكوين مركبات كيميائية معقدة نستطيع أن نصوغها دائمًا من خلال نسبة بين أعداد غير كسرية، وأرجع هذا القانون التجريبي إلى أن المواد المركبة كلها تنبني من عدد مختلف من الجسيمات التي تمثل عناصر كيميائية بسيطة. دَلَّ فشل خيمياء العصور الوسطة في تحويل عنصر كيميائي إلى عنصر آخر على الاستحالة الواضحة لانقسام هذه الجسيمات، ومن دون تردد كثير عُمِّدت هذه الجسيمات بالاسم اليوناني القديم: «ذرات». تأصل الاسم فور أن أُطلِق، وعلى الرغم من أننا نعرف حاليًّا أن استحالة التقسيم لا تنطبق مطلقًا على «ذرات دالتون» وأنها لا تزال تتكون من عدد كبير من جسيمات أصغر، نغض أبصارنا عن التناقض اللغوي لأسمائها.

وعلى ذلك فالكيانات التي تدعوها الفيزياء الحديثة «ذرات» ليست على الإطلاق وحدات بناء المادة الأولية التي لا تنقسم والتي تصورها

ديمقريطس، ومن الأصوب بالفعل إطلاق مصطلح «الذرة» على تلك الجسيمات الأصغر مثل الإلكترونات والبروتونات، التي تنبني منها «ذرات دالتون». إلا أن تغيير الأسماء يتسبب في الكثير من التشوش ولا يأبه أحد في مجال الفيزياء كثيرًا للاتساق اللغوي على أي حال! هكذا أبقينا على الاسم القديم «للذرات» وفق فهم دالتون، وأشرنا إلى الإلكترونات والبروتونات إلخ باسم «الجسيمات الأولية».

يدل الاسم بالتأكيد على أننا نعتقد في الوقت الحالي أن هذه الجسيمات الأصغر أولية وغير قابلة للتقسيم حقًّا وفق فهم ديمقريطس للكلمة، وقد تسألني عما إذا كان التاريخ لن يكرر نفسه، ولن يُثبِت تقدم العلم أن الجسيمات الأولية في الفيزياء الحديثة مركبة بالفعل. تتلخص إجابتي في أنه على الرغم من غياب أي ضمانة مطلقة بأن هذا لن يحدث، فثمة أسباب جيدة للاعتقاد في أننا هذه المرة على صواب تام [نعرف حاليًّا أن الإلكترونات بالفعل جسيمات أولية إلا أن البروتونات والنيوترونات ثبت أنها تتكوَّن من جسيمات أصغر تُسمى كواركات]. في الحقيقة، ثمة اثنان وتسعون نوعًا مختلفًا من الذرات (تقابل اثنين وتسعين عنصرًا كيميائيًّا مختلفًا) [عدد العناصر المعروفة حاليًّا 118 عنصرًا] ولكل نوع من الذرات خواص مميزة معقدة، وهو وضع يستدعي في حد ذاته بعض التبسيط من خلال اختزال هذه الصورة المعقدة إلى صورة أكثر أولية. على الجانب الآخر، تعترف الفيزياء المعاصرة بأنواع مختلفة قليلة من الجسيمات الأولية: الإلكترونات (جسيمات خفيفة موجبة وسالبة) والنيوكليونات (جسيمات ثقيلة

مشحونة أو متعادلة، تعرف كذلك بالبروتونات والنيوترونات) وربما ما يُطلَق عليه النيوترينوات والتي لم تتضح طبيعتها تمامًا بعد. [نعرف حاليًّا أن عدد الجسيمات الأولية صار أكبر، ويختلف عن هذا التقسيم ولا يضم النيوترونات والبروتونات].

إن خواص هذه الجسيمات الأولية بسيطة للغاية ومن الممكن الحصول على القليل جدًّا من التبسيط عن طريق المزيد من الاختزال، إلى جانب ذلك، كما سوف تدرك لاحقًا، يجب أن تمتلك بعض المفاهيم الأولية لكي تتلاعب بها إذا أردت أن تبني شيئًا أكثر تعقيدًا، ومفهومان أو ثلاثة ليست بالعديد الكبير جدًّا. لذلك، ففي رأيي أن من الآمن تمامًا أن تراهن بآخر دولار لديك على أن الجسيمات الأولية للفيزياء الحديثة سوف تبقى وتحقق التوقعات [وفقًا للنموذج القياسي للجسيمات، فالجسيمات الأولية الحالية هي بوزون هيجز وبزون W وبوزون Z والجلوون والفوتون والكوارك القمي والكوارك القعري والكوارك العلوي والكوارك السفلي والكوارك الساحر والكوارك الغريب والتاو والميون والإلكترون والنيوترينو تاو والنيوترينو ميون والنيوترينو إلكترون].

يمكننا أن نعود الآن إلى السؤال المتعلق بالطريقة التي تنبني بها ذرات دالتون من الجسيمات الأولية. طرح أول إجابة صحيحة عن هذا السؤال الفيزيائي البريطاني الشهير إرنست رذرفورد (لورد نيلسون – رذرفورد لاحقًا) عام 1911؛ إذ درس البنية الذرية عن طريق قصف الذرات المختلفة بقذائف صغيرة للغاية سريعة الحركة،

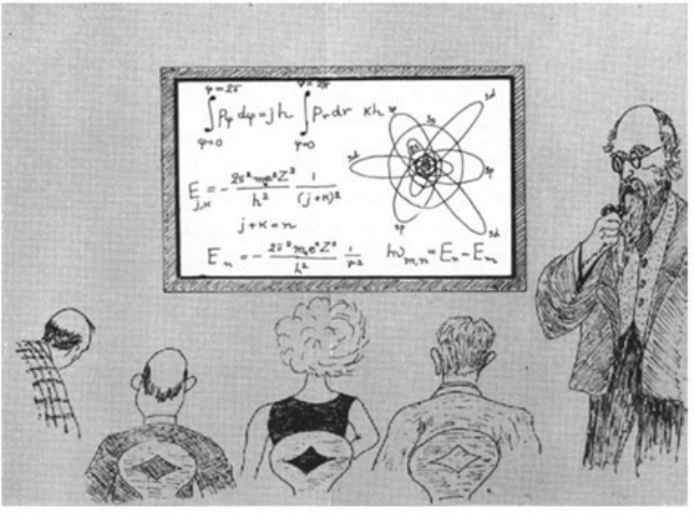
تُعرَف بجسيمات ألفا، تنطلق تلك الجسيمات في أثناء عملية تحلل العناصر النشطة إشعاعيًّا. رصد رذرفورد انحرافات (تشتُّت) هذه المقذوفات بعد أن تمر عبر قطعة من المادة، فاستنتج أن لكل الذرات قلبًا مركزيًّا كثيفًا جدًّا مشحونًا بشحناتٍ موجبة (نواة الذرة)، تحيط به سحابة مخلخلة إلى حدٍّ ما من شحنات سالبة (الغلاف الذري). نعرف حاليًّا أن نواة الذرة تتكوَّن من عددٍ معين من البروتونات والنيوترونات، نعرفها بالاسم الجامع «النيوكليونات»، تمسك بها معًا في إحكام قوى لاصقة شديدة، كما نعرف أن الغلاف الذري يتكون من عددٍ مختلفٍ من الإلكترونات السالبة التي تحلق حول النواة تحت تأثير الجذب الكهروستاتيكي لشحنة النواة الموجبة. يحدد عدد الإلكترونات التي تشكِّل الغلاف الذري كل خواص الذرة الفيزيائية والكيميائية، وتختلف على طول الترتيب الطبيعي للعناصر الكيميائية من الأول (الهيدروجين) وحتى الثاني والتسعين (اليورانيوم: أثقل العناصر المعروفة [وقت إلقاء المحاضرة]).

على الرغم من البساطة الواضحة لنموذج رذرفورد الذري، تبيَّن أن الفهم المُفَصَّل له ليس سهلًا بأي حال. في الحقيقة، يتعيَّن على الإلكترونات سالبة الشحنة التي تدور حول نواة الذرة أن تفقد طاقة حركتها من خلال عملية الإشعاع (إشعاع الضوء) وفق أفضل قناعات الفيزياء الكلاسيكية، وبناء على الحسابات، فإن كل الإلكترونات التي تشكِّل الغلاف الذري يجب أن تنهار على النواة في غضون جزء مهمَل من الثانية، بسبب هذا الفقد المتواصل في الطاقة. إلا أن هذا

الاستنتاج الذي يبدو منطقيًّا، والذي خلصت إليه النظرية الكلاسيكية يعارض الحقيقة التجريبية؛ إذ إن الأغلفة الذرية مستقرة تمامًا، وبدلًا من أن تنهار إلكترونات الذرة على النواة، تواصل اندفاعها حول الجسم المركزي إلى أجلٍ غير مسمى. هكذا نرى خلافًا متجذرًا ينشأ بين التصورات الأساسية للميكانيكا الكلاسيكية، وبين البيانات التجريبية الخاصة بالسلوك الميكانيكي لجزءٍ صغيرٍ من وحدات بناء عالم الذرات. أدَّت هذه الحقيقة بالفيزيائي الدنماركي الشهير نيلز بور إلى إدراك أن الميكانيكا الكلاسيكية التي ادَّعت قرونًا مكانة متميزة وآمنة في نظام العلوم الطبيعية، يجب أن تُعتَبر من الآن فصاعدًا نظرية مُقَيَّدة، تنطبق على العالَم الماكروسكوبي [الكبير] للخبرة اليومية، لكنها تفشل للغاية عند تطبيقها على أنواع أرهف كثيرًا من الحركة، تحدث داخل الذرات المختلفة. طرح بور أن علينا افتراض أن أنواعًا قليلة مختارة خصيصى من بين كل الأنواع التي بلا حصر للحركة التي تهتم بها الفيزياء الكلاسيكية، قد تحدث بالفعل في الطبيعة، ليكون طرحه بمنزلة الأساس المبدئي للميكانيكا المعممة الجديدة التي تنطبق كذلك على حركة الأجزاء المتحركة الصغيرة للآلية الذرية. تُختار أنواع الحركة أو المسارات المسموح بها وفق شروط رياضية معينة، تُعرَف بالشروط الكمية لنظرية بور. لن أدخل هنا في نقاشٍ مفصَّل لهذه الشروط الكمية، لكنني سأذكر فقط أنها اختيرت بحيث تصير كل القيود التي تفرضها بلا أهمية عملية في كل الحالات التي تكون فيها كتلة الجسيمات المتحركة أكبر كثيرًا من الكتل التي نلاقيها في البنية الذرية.

وهكذا، تعطينا الميكانيكا الميكروية الجديدة عند تطبيقها على الأجسام الماكروسكوبية النتائج نفسها التي تعطيها النظرية الكلاسيكية القديمة (مبدأ التناظر)، ولا يصبح الاختلاف بين النظريتين ذا قيمة جوهرية إلا في حالة الآليات الذرية الصغيرة للغاية. ومن دون التعمُّق كثيرًا في التفاصيل، سوف أُرضي فضولكم بخصوص بِنية الذرة من منظور نظرية بور، إذ سأريكم مخطط مدارات بور الكمية في ذرة. (اللوحة الأولى، من فضلكم!) ترون هنا على مقياس مُكَبَّر كثيرًا بالتأكيد، نظامًا لمدارات دائرية وبيضاوية، تمثل أنواع حركة الإلكترونات المُكَوِّنة للغلاف الذري، وهي أنواع لا تسمح شروط بور الكمية إلا بها. بينما تسمح الميكانيكا الكلاسيكية للإلكترون بالحركة لأي مسافة مبتعدًا عن النواة، ولا تضع أي قيود على الانحراف المركزي (أي استطالة) مداره، تشكِّل المدارات المختارة لنظرية بور مجموعة منفصلة متباعدة، لها أبعادها المميزة المحددة بدقة. تشير الحروف والأرقام القائمة بالقرب من كل مدار إلى أسماء المدارات في التصنيف العام، قد تلاحظ على سبيل المثال أن الأرقام الأكبر تناظر المدارات ذات الأقطار الأكبر.

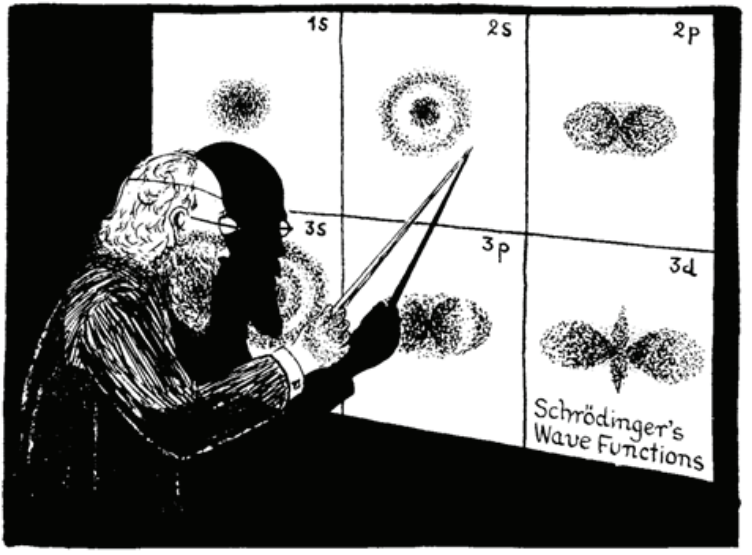
على الرغم من أنه اتضح أن نظرية بور للبنية الذرية مفيدة للغاية في تفسير الخواص المختلفة للذرات والجزيئات، بقي المفهوم الأساسي للمدارات الكمية المنفصلة المتباعدة غير واضح إلى حد كبير، وكلما حاولنا التعمق في تحليل هذا القيد الغريب على النظرية الكلاسيكية، ازداد غموض الصورة الكاملة.



هكذا نحصل على مخطط بور – سومرفيلد الأصلي للمدارات الكمية المسموحة لإلكترون في ذرة هيدروجين

صار واضحًا في النهاية أن عيوب نظرية بور تكمن في أنها بدلًا من أن تغيِّر الميكانيكا الكلاسيكية بطريقة جوهرية، تُقَيِّد ببساطة نتائج هذا النظام بشروط إضافية، وهي شروط غريبة من حيث المبدأ عن البنية الكلية للنظرية الكلاسيكية. لم يأتِ الحل الصحيح للمشكلة برمتها إلا بعد ثلاثة عشر عامًا، في صورة ما أُطلِق عليه «الميكانيكا الموجية»، التي عَدَّلت أساس الميكانيكا الكلاسيكية بأكمله تماشيًا مع المبدأ الكمي الجديد. وعلى الرغم من أن نظام الميكانيكا الموجية قد يبدو للوهلة الأولى أكثر جنونًا من نظرية بور القديمة، تمثل هذه الميكانيكا الميكروية أحد أكثر جوانب الفيزياء النظرية الحالية اتساقًا وقبولًا.

وبما أنني ناقشت بالفعل في إحدى محاضراتي السابقة المبدأ الأساسي للميكانيكا الجديدة وخصوصًا مفهومَي «عدم التحدد» و«انتشار المسارات»، لذا أحيلكم إلى ذاكرتكم أو إلى مدوناتكم، وأعود إلى مسألة البنية الذرية.



ترَون في المخطط الذي أعرضه الآن (اللوحة الثانية، من فضلكم!) الطريقة التي تُصَوِّر بها نظرية الميكانيكا الموجية من منظور «انتشار المسارات» حركة إلكترونات الذرة. تمثل هذه الصورة أنواع الحركة نفسها التي مُثِّلت كلاسيكيًّا في المخطط السابق (بغض النظر عن أن كل نوع من أنواع الحركة قد رُسِم منفصلًا في المخطط الحالي لأسبابٍ تقنية)، لكننا نجد في مخططنا الحالي أنماطًا منتشرة متسقة مع المبدأ الجوهري للا يقين، بدلًا من المسارات المرسومة بدقة. إن رموز الحالات المختلفة للحركة هي نفسها الرموز في المخطط السابق، وعندما تقارنون الاثنين،

تجدون إذا وسعتم خيالكم قليلًا أن أشكالنا السحابية تكرر -في إخلاص إلى حد ما- الملامح العامة لمدارات بور القديمة.

تريكم هذه المخططات -بوضوحٍ تام- ما يحدث للمسارات الجيدة عتيقة الطراز للميكانيكا الكلاسيكية عندما يكون الكم عاملًا، وعلى الرغم من أن الشخص العادي قد يظنه حلمًا عجيبًا، لا يعاني العلماء الذين يعملون في العوالم الميكروية للذرات من أي صعوبات في القبول بهذه الصورة.

بعد هذا المسح القصير لحالات الحركة الممكنة في الغلاف الإلكتروني لذرة، نصل الآن إلى مشكلة مهمة تتعلق بتوزيع الإلكترونات الذرية المختلفة بين الحالات المتنوعة الممكنة للحركة. وهنا نواجه مرة أخرى مبدأ جديدًا، وهو مبدأ غير مألوف على الإطلاق في العالَم الماكروسكوبي. صاغ هذا المبدأ للمرة الأولى صديقي الشاب فولفجانج باولي، وينص على أنه لا وجود لإلكترونَين في مجتمع إلكترونات أي ذرة قد يمتلكان نوعَ الحركة نفسه في اللحظة نفسها. لا أهمية كبيرة لهذا القيد، إذا وُجِد عدد لا نهائي من الحركات الممكنة كما هو الحال في الميكانيكا الكلاسيكية. ونظرًا إلى أن القوانين الكمية تقلل بدرجة بالغة من عدد حالات الحركة «المسموحة»، يلعب مبدأ باولي دورًا مهمًّا جدًّا في العالم الذري، إذ يُؤَمِّن توزيعًا متجانسًا إلى حد ما للإلكترونات حول النواة الذرية، ويمنعها من التزاحم في بقعة معينة.

ولكن لا يجب أن تستنتجوا من الصياغة السابقة للمبدأ الجديد أن كل حالة كمية منتشرة لحركة مُمَثَّلة على مخططي قد «يشغلها» إلكترون

واحد فقط. في الحقيقة، إلى جانب حركة الإلكترون على طول مداره، يلف كل إلكترون مغزليًّا كذلك حول محوره، ولن ينزعج د. باولي على الإطلاق إذا تحرك إلكترونان على طول المدار نفسه، بشرط أن يلفا مغزليًّا في اتجاهين مختلفين. والآن تشير الدراسات بخصوص اللف المغزلي للإلكترونات إلى أن سرعة دورانها حول محاورها هي نفسها دائمًا، وأن اتجاه هذا المحور يجب أن يكون عموديًّا دائمًا على مستوى المدار. لا يترك هذا إلا احتمالين فقط للف المغزلي، نستطيع أن نصفهما باللف المغزلي «مع عقارب الساعة» واللف المغزلي «عكس عقارب الساعة».

هكذا من الممكن إعادة صياغة مبدأ باولي عند تطبيقه على الحالات الكمية في ذرة على النحو التالي: من غير الممكن أن «يشغل» أكثر من إلكترونين الحالة الكمية نفسها للحركة، كما يجب أن يكون اللف المغزلي لهذين الجسيمين في اتجاهين مختلفين. وهكذا، عندما نمضي قُدُمًا على طول الترتيب الطبيعي للعناصر نحو ذرات ذات عدد أكبر وأكبر من الإلكترونات، نجد حالات كمية مختلفة للحركة، تمتلئ تدريجيًّا بالإلكترونات، ويزداد قطر الذرة باستمرار. ويجب أن أذكر هنا في هذا السياق، ومن منظور قوة الارتباط، أن الحالات الكمية المختلفة للإلكترونات الذرية قد تتحد في مجموعات منفصلة (أغلفة) لحالات لها قوة ارتباط متساوية تقريبًا. عندما نمضي على طول الترتيب الطبيعي للعناصر، تمتلئ مجموعة عقب الأخرى، وتتغير خواص الذرات كذلك دوريًّا نتيجة الامتلاء اللاحق للأغلفة الإلكترونية. إن هذا هو تفسير الخواص الدورية المعروفة للعناصر، التي اكتشفها تجريبيًّا الكيميائي الروسي ديمتري مندليف.

12

داخل النواة

كُرِّست المحاضرة التالية التي حضرها السيد تومبكينز لقلب الأنوية التي تشكِّل النقاط المحورية لدوران الإلكترونات الذرية.

قال البروفيسور، سيداتي وسادتي،

بالمُضي أعمق وأعمق داخل بنية المادة، نحاول حاليًّا اختراق قلب النواة الذرية بأعين عقولنا، اختراق تلك المنطقة الغامضة التي تشغل جزءًا واحدًا فقط من ألف مليار جزء من الحجم الكلي للذرة نفسها. ولكن، على الرغم من الصغر المهول لأبعاد مجال تحرينا الجديد، نجده مليئًا بنشاطٍ حيوي كبير جدًّا. في الحقيقة، تمثِّل النواة في النهاية قلب الذرة، وعلى الرغم من صغر حجمها نسبيًّا، تحتوي على 99.97 ٪ من الكتلة الذرية الكلية.

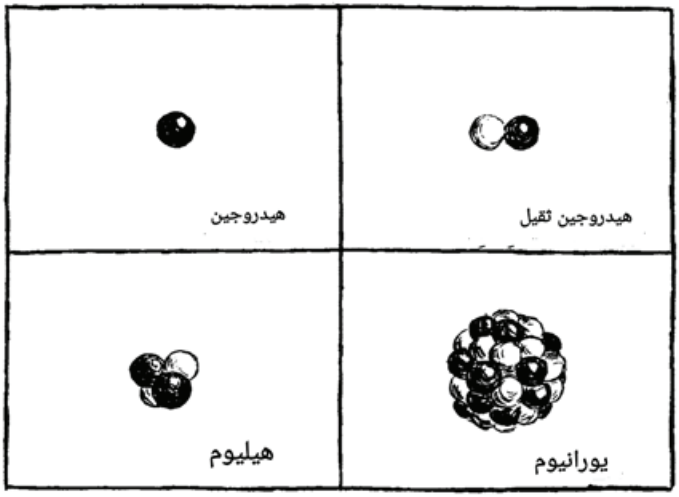
عندما ندخل إلى المنطقة النووية قادمين من غلاف الذرة ذي الكثافة الإلكترونية القليلة، نفاجأ في التوِّ بحالة تكدس سكان هذه المنطقة المحليين. بينما تتحرك إلكترونات الغلاف الذري مسافات تتجاوز في المتوسط مئات آلاف طول أقطارها، تحتك حرفيًّا أكتاف الجسيمات

القائمة داخل النواة بعضها ببعض إن كان لها أكتاف. من هذا المنطلق، تشبه الصورة التي يطرحها قلب النواة بدرجة كبيرة الصورة المعتادة لسائل، باستثناء أننا لا نلتقي هنا بجزيئات بل بجسيمات أصغر للغاية وأكثر أولية جدًّا كذلك، تُعرَف بالبروتونات والنيوترونات. قد نلاحظ هنا أن البروتونات والنيوترونات على الرغم من اسميهما يُعتبران حاليًّا ببساطة حالتين كهربيتين مختلفتين للجسيم الثقيل الأولي نفسه المعروف «بالنيوكليون» [نعرف حاليًّا كما سبق وأشرنا أن البروتونات والنيوترونات ليست جسيمات أولية لكنها تتكوَّن من كواركات. يتكوَّن البروتون من كواركين علويين وكوارك سفلي واحد، ويتكون النيوترون من كواركين سفليين وكوارك علوي واحد]. البروتون نيوكليون مشحون بشحنة موجبة، والنيوترون نيوكليون متعادل كهربيًّا، ولا نستبعد احتمالية وجود نيوكليون سالب كذلك على الرغم من أنه لم يُرصَد مطلقًا بعد [اكتُشِف مضاد البروتون وهو يشبه البروتون من كل جانب فيما عدا اختلاف الشحنة].

فيما يتعلق بالأبعاد الهندسية، لا تختلف النيوكليونات كثيرًا عن الإلكترونات، يُقَدَّر نصف قطرها بـ 0.000,000,000,000,1 سم. لكنها أثقل كثيرًا، ترجح كفة بروتون أو نيوترون أمام كفة 1840 إلكترون. وكما قلت، تتكدس الجسيمات التي تكون نواة الذرة قريبًا للغاية من بعضها، ويرجع ذلك إلى عمل قوى نووية لاصقة خاصة، تشبه تلك العاملة بين جزيئات سائل. وكما هو الحال في السائل، تمنع تلك القوى الجسيمات من أن تنفصل، إلا أنها لا تعوق انزياحها بالنسبة

إلى بعضها البعض. وهكذا تمتلك المادة النووية درجة من درجات السيولة، وتتخذ شكل قطرة كروية حين لا تُشَوِّش عليها قوى خارجية. ترون في المخطط الذي أرسمه لكم الآن أنواعًا مختلفة للأنوية مكونة من بروتونات ونيوترونات. إن أبسطها نواة الهيدروجين التي تتكون من بروتون واحد فقط، في حين أن أعقدها نواة اليورانيوم التي تتكون من 92 بروتونًا و142 نيوترونًا. ما هذه الصور إلا مخططات لتمثيل الموقف الفعلي؛ إذ إن موضع كل نيوكليون «منتشر» بالفعل فوق مساحة النواة بأكملها، نظرًا إلى المبدأ الأساسي للا يقين.

وكما قلت، تمسك بالجسيمات التي تكون نواة الذرة قوى لاصقة قوية، ولكن إلى جانب قوى الجذب هذه، ثمة قوى من نوع آخر كذلك تعمل في الاتجاه المضاد. في الحقيقة، تحمل البروتونات التي تشكِّل نصف عدد الجسيمات النووية تقريبًا شحنة موجبة، ونتيجة ذلك تتنافر بعضها عن بعض بفعل قوى كولوم الكهروستاتيكية. في الأنوية الخفيفة التي تحمل شحنة كهربية صغيرة نسبيًّا، لا عواقب لتنافر كولوم هذا، ولكنه يبدأ في منافسة قوى التجاذب اللاصقة في الأنوية الثقيلة المشحونة بشحنات أكبر. عندما يحدث هذا، لا تعود النواة مستقرة، وتصير عرضة لقذف بعض الأجزاء المكونة لها. هذا ما يحدث تمامًا لعددٍ من العناصر الواقعة في نهاية الجدول الدوري، والمعروفة «بالعناصر النشطة إشعاعيًّا».



قد تستنتج مما سبق أن هذه الأنوية الثقيلة غير المستقرة تطلق بروتونات بالتأكيد؛ إذ إن النيوترونات لا تحمل أي شحنة كهربية، ولذلك فهي ليست عرضة لقوى تنافر كولوم. إلا أن التجارب توضح لنا أن الجسيمات التي تُطلَق فعليًّا هي الجسيمات التي ندعوها جسيمات ألفا (أنوية هيليوم)، أي جسيمات مركبة، يتكون كلٌّ منها من بروتونين ونيوترونين. يكمن تفسير هذه الحقيقة في التنظيم الخاص بالأجزاء المكونة للنواة. يبدو أن اجتماع بروتونين ونيوترونين مكوِّنة جسيم ألفا يحمل استقرارًا من نوع خاص، ولذلك فإن إلقاء مجموعة بأكملها مرة واحدة أسهل من تفتيتها إلى بروتونات ونيوترونات منفصلة.

ولعلكم تعرفون أن ظاهرة الاضمحلال الإشعاعي اكتشفها للمرة الأولى الفيزيائي الفرنسي هنري بيكريل، وطرح الفيزيائي البريطاني

الشهير اللورد رذرفورد الذي أتيت على ذكر اسمه من قبل في سياق آخر والذي يدين له العلم بدينٍ عظيم جدًّا بسبب اكتشافاته المهمة في فيزياء نواة الذرة أن الظاهرة تحدث نتيجة انحلال أنوية الذرة.

تكمن إحدى السمات المميزة لعملية اضمحلال ألفا في الفترات الزمنية الطويلة للغاية أحيانًا اللازمة لجعل جسيمات ألفا «تهرب» من النواة. تُقدَّر هذه الفترة الزمنية فيما يخص اليورانيوم والثوريوم بمليارات السنين، وفيما يخص الراديوم بستة عشر قرنًا تقريبًا، وعلى الرغم من وجود بعض العناصر التي يحدث فيها الاضمحلال في جزء من الثانية، فإن زمنه يعتبر طويلًا جدًّا عند مقارنته بسرعة الحركة داخل النواة.

ما هي تلك القوى التي تُبقي جسيم ألفا داخل النواة لمليارات السنين أحيانًا؟ وإذا بقي طويلًا جدًّا بالفعل لماذا يخرج في النهاية؟

لكي نجيب عن هذا السؤال يجب أن نعرف في البداية المزيد عن قوى التجاذب اللاصقة القوية نسبيًّا، وقوى التنافر الكهروستاتيكية العاملة على الجسيم في طريق خروجه من النواة. أجرى رذرفورد دراسة تجريبية دقيقة لهاتين القوتين، واستخدم من أجل ذلك ما يُدعى بمنهج «القصف الذري». وجَّه رذرفورد في تجربته الشهيرة في مختبر كافندش شعاعًا من جسيمات ألفا تتحرك سريعًا، أطلقتها مادة نشطة إشعاعيًّا، ورصد انحرافات (تشتت) هذه المقذوفات الذرية نتيجة اصطدامها بأنوية المادة المقصوفة. جزمت هذه التجارب بأن المقذوفات إذا كانت على مسافة بعيدة من النواة تتنافر بشدة بفعل القوى الكهربية للشحنة النووية، إلا أن هذا التنافر يتحوَّل إلى انجذاب قوي إذا اقترب المقذوف

كثيرًا من الحدود الخارجية للنواة. يجوز أن تقولوا إن النواة تشبه حصنًا محاطًا من كل جانب بمتراس شاهق منحدر، يمنع الجسيمات من الدخول كما يمنعها من الخروج. إلا أن النتيجة المذهلة لتجارب رذرفورد تكمن في أن جسيمات ألفا التي تخرج من النواة في عملية الاضمحلال الإشعاعي، وكذلك المقذوفات التي تخترق النواة من الخارج، تمتلك فعليًّا طاقة أقل من تلك التي تتناسب مع قمة المتراس، أو «حاجز الجهد» كما ندعوه دائمًا. إنها الحقيقة التي تناقض تمامًا كل التصورات الأساسية للميكانيكا الكلاسيكية. في الحقيقة، كيف يمكنك أن تتوقع أن تعبر كرة قمة تل إذا كنت قد رميتها بطاقة أقل كثيرة من تلك اللازمة لتصل إلى قمة التل؟ لا يمكن للفيزياء الكلاسيكية إلا أن تجحظ عينيها، وتعلن أن ثمة خطأ في تجارب رذرفورد بالتأكيد.

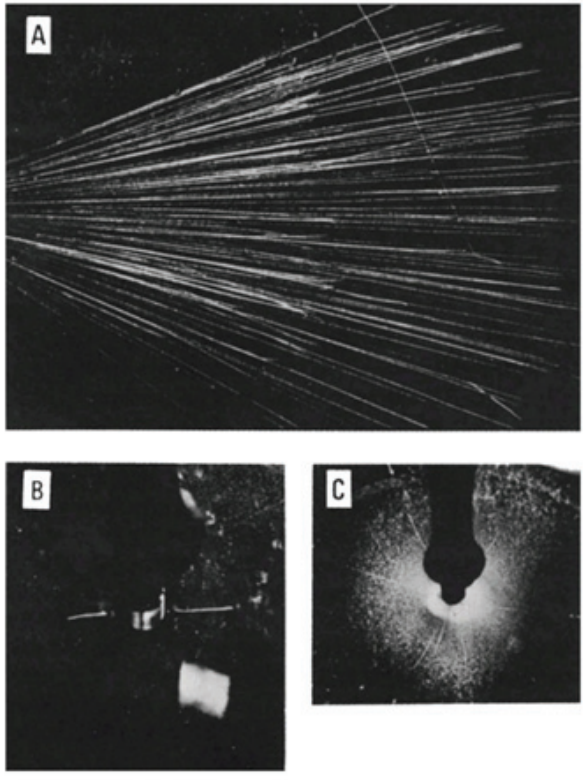
ولكن لا وجود لأي خطأ في الحقيقة، وإذا كان لا بد من مخطئ فهو ليس اللورد رذرفورد بل الميكانيكا الكلاسيكية نفسها. أوضح ذلك صديقي الطيب د. چورچ جاموف بالتزامن مع كل من د. رونالد جورني ود. إدوارد أوهلر كوندون، إذ بيَّن أنه لا وجود لأي صعوبة من أي نوع إذا نظر الواحد إلى المشكلة من منظور الفيزياء الكمية الحديثة. نعرف أن الفيزياء الكمية ترفض حاليًّا المسارات الخطية المحددة بدقة الخاصة بالنظرية الكلاسيكية، وتستعيض عنها بآثار منتشرة شبحية. ومثلما يستطيع شبح طيب عتيق الطراز أن يمر من دون صعوبة عبر الجدران السميكة لمباني قلعة عتيقة، يمكن لهذه المسارات الشبحية أن تخترق حواجز الجهد التي تبدو غير قابلة للاختراق بتاتًا من المنظور الكلاسيكي.

ومن فضلكم، لا تظنوا أنني أمزح: تأتي إمكانية اختراق الجسيمات ذات الطاقة غير الكافية لحواجز الجهد كنتيجة رياضية مباشرة للمعادلات الأساسية لميكانيكا الكم الجديدة، وتمثل أحد أهم الاختلافات بين التصورات الجديدة والقديمة بخصوص الحركة. ولكن على الرغم من أن الميكانيكا الجديدة تسمح بهذه التأثيرات غير المعتادة، فإنها لا تفعل ذلك إلا وفق قيود متينة: إن احتمالات عبور الحاجز ضئيلة للغاية في أغلب الحالات، ويجب أن يلقي الجسيم الحبيس بنفسه نحو الحائط عددًا مذهلًا من المرات قبل أن تنجح محاولته في النهاية. توفر لنا نظرية الكم قواعد منضبطة فيما يخص حساب احتمالية هذا الهروب، وقد اتضح أن الفترات الزمنية المرصودة لاضمحلال ألفا تتفق تمامًا مع تنبؤات النظرية. كما تتفق نتائج حسابات الميكانيكا الكمية بشكل وثيق مع التجربة في حالة المقذوفات التي تُصَوَّب نحو النواة من الخارج.

وقبل المُضي قُدُمًا، أريد أن أريكم بعض الصور الفوتوغرافية التي تعرض عملية اضمحلال أنوية مختلفة، ضربتها مقذوفات ذرية ذات طاقة كبيرة. (اللوحة، من فضلكم!)»

في هذه اللوحة ترون عمليتَي اضمحلال مختلفتين التُقِطَت صورتيهما في الغرفة السحابية التي وصفتها لكم في محاضرتي السابقة. تُظهِر الصورة على اليسار نواة نيتروجين يضربها جسيم ألفا سريع، وهي أول صورة تُلتَقَط لتحول صناعي للعناصر. التقطها باتريك بلاكيت، أحد تلاميذ اللورد رذرفورد. ترون عددًا كبيرًا من مسارات ألفا تنبعث من مصدر قوي للأشعة، ترونه الآن في الصورة. تمر أغلب هذه

الجسيمات عبر مجال الإبصار من دون تصادم واحد مؤثر، إلا أن أحدها نجح بالفعل في ضرب نواة نيتروجين. يتوقف مسار جسيم ألفا هناك، ويمكنكم أن تروا مسارين آخرين، يخرجان من نقطة الاصطدام. يعود المسار الطويل الرفيع إلى بروتون، رُكِل إلى الخارج من نواة النيتروجين، في حين يمثل المسار الكثيف القصير نكوص النواة نفسها. إلا أنها لم تعد نواة نيتروجين، إذ تحوَّلت إلى نواة أكسجين بعد أن فقدت بروتونًا، وامتصت جسيم ألفا الساقط. وعلى ذلك لدينا هنا تحول خيميائي للنيتروجين إلى أكسجين والهيدروجين ناتج ثانوي.



(a) نيتروجين يضربها هيليوم وتتحول إلى أكسجين ثقيل وهيدروجين.

$$_7N^{14} + _2He^4 \rightarrow _8O^{17} + _1H^1$$

(b) ليثيوم يضربها هيدروجين وتتحول إلى اثنتين من الهيليوم.

$$_3Li^7 + _1H^1 \rightarrow 2_2He^4$$

(c) بورون يضربها هيدروجين وتتحول إلى ثلاث من الهيليوم.

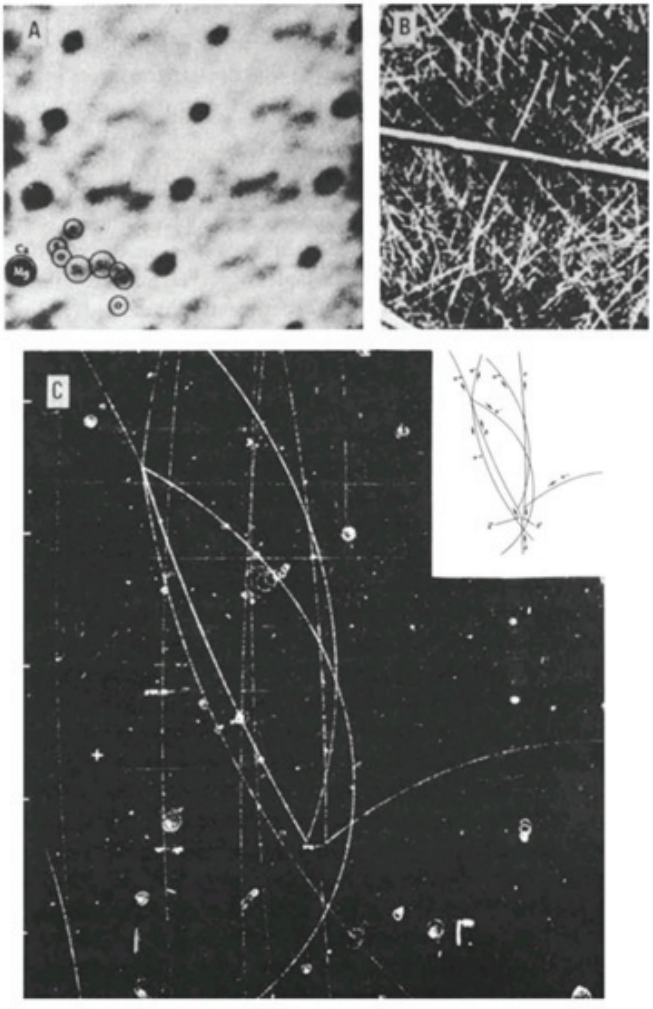
$$_5B^{11} + _1H^1 \rightarrow 3_2H^4$$

تناظر الصورة الفوتوغرافية الثانية الانحلال النووي نتيجة اصطدام بروتون مُسَرَّع صناعيًّا. إذ يُنتَج شعاع بروترنات سريع في آلة خاصة ذات جهد مرتفع ، يعرفها العامة باسم محطم الذرات، ويدخل البروتون الغرفة عبر أنبوب طويل، ترون نهايته في الصورة الفوتوغرافية. يوضع الهدف، وهو في هذه الحالة طبقة رقيقة من البورون، في فتحة الأنبوب السفلية، وعلى ذلك يجب أن تمر الشظايا النووية الناتجة عن الاصطدام عبر الهواء في الغرفة، خالقة مسارات سحابية. وكما ترون في الصورة، تتهشم نواة البورون التي يضربها البروتون إلى ثلاثة أجزاء، وإذا أخذنا في الحسبان توازن الشحنات الكهربية، نستنتج أن كلا من هذه الشظايا جسيم ألفا، أي جزيء هيليوم. يمثِّل التحولان المعروضان في الصورتين الفوتوغرافيتين مثالين نموذجيين من بين مئات من التحولات النووية

الأخرى التي تُدرَس في الفيزياء التجريبية اليوم. في كل التحولات من هذا النوع، المعروفة «بالتفاعلات النووية الإبدالية»، يخترق الجسيم الساقط (البروتون أو النيوترون أو جسيم ألفا) النواة، يركل جسيمات أخرى إلى الخارج، ويبقى هو نفسه في مكانها. لدينا إبدال جسيم ألفا ببروتون وبروتون بجسيم ألفا ونيوترون ببروتون... إلخ. في كل هذه التحولات يمثل العنصر الجديد المتكون في التفاعل جارًا قريبًا للعنصر المقصوف في الجدول الدوري.

ولكن في وقت متأخر نسبيًّا، قبل الحرب العالمية الثانية مباشرة اكتشف كيميائيان ألمانيان، أوتو هان وفريتز شتراسمان، نوعًا جديدًا تمامًا للتحول النووي، وفيه تتهشم نواة ثقيلة إلى جزأين متساويين، ويصاحب ذلك تحرر كمية هائلة من الطاقة. في شريحتي التالية (الشريحة من فضلكم!) ترون في الصورة الفوتوغرافية إلى اليمين شظيتين، تحلقان في اتجاهين متضادين منطلقتين من خيط رقيق من اليورانيوم. لوحِظت هذه الظاهرة المعروفة «بالانشطار النووي» أول مرة في حالة اليورانيوم المقصوف بشعاع من النيوترونات، ولكن سُرعان ما وُجِد أن العناصر الأخرى كذلك القائمة بالقرب من نهاية الجدول الدوري تمتلك خواصَّ مشابهة. في الحقيقة، يبدو أن هذه الأنوية الثقيلة تقع على حافة الاستقرار، وأن أقل استثارة يتسبب فيها الاصطدام بنيوترون كافية لجعلها تتهشم إلى اثنتين، مثل قطرة زئبق مفرطة الحجم. يلقي عدم استقرار الأنوية الثقيلة الضوء على السؤال عن سبب وجود 92 عنصرًا فقط في الطبيعة، في الحقيقة، لن توجد

أي أنوية أثقل من اليورانيوم لأي فترة زمنية، وسوف تتكسر مباشرة إلى شظايا أصغر كثيرًا [نعرف حاليًّا بوجود 118 عنصرًا إلا أن أغلب العناصر ذات العدد الذري الأكبر من اليورانيوم لم تُكتشف في الطبيعة، ولكنها صُنِّعت معمليًّا، وهي غير مستقرة على الإطلاق ولها عمر نصف أقصر كثيرًا من عمر كوكب الأرض]. تعتبر ظاهرة «الانشطار النووي» ظاهرة مثيرة كذلك من المنظور العملي، إذ تفتح الباب لاستخدامات الطاقة النووية. محور الأمر أن الأنوية الثقيلة تطلق كذلك عند تهشمها إلى نصفين عددًا من النيوترونات التي قد تتسبب في انشطار الأنوية المجاورة. قد يؤدي هذا إلى تفاعل انفجاري، تتحرر فيه كل الطاقة المخزنة داخل الأنوية في جزء من الثانية. وإذا تذكرت أن الطاقة النووية المخزنة في رطل من اليورانيوم تعادل محتوى الطاقة في عشرة أطنان من الفحم، فسوف تدرك أن إطلاق هذه الطاقة، يولد تغيرات مهمة جدًّا في الاقتصاد.



(a) صورة براغ الفوتوغرافية لذرات في بلورة ديوبسيد. تبين الدوائر في الركن ذرات الكالسيوم والماغنسيوم والسيليكون والأكسجين المفردة. التكبير نحو 100,000,000.

(b) شظيتا انشطار تحلقان في اتجاهين متضادين من يورانيوم ضربه نيوترون.

(c) تَوَلُّد واضمحلال هايبرونات لامبدا متعادلة وهايبرونات لامبدا مضادة.

على الرغم من أنه لا يمكن الحصول على كل هذه التفاعلات النووية إلا على نطاق ضيق جدًّا، فإنها تمدنا بثروة من المعلومات عن البنية الداخلية للنواة، وإلى وقت قريب نسبيًّا بدا أنه لا أمل في إطلاق كمية هائلة من الطاقة النووية. في عام 1939 اكتشف الكيميائيان الألمانيان أوتو هان وفريتز شتراسمان نوعًا جديدًا تمامًا للتحول النووي. وفيه تتشَّهم نواة يورانيوم ثقيلة ضربها نيوترون مفرد إلى جزأين متساويين تقريبًا مطلقة كمية مهولة من الطاقة، بالإضافة إلى نيوترونين أو ثلاثة، قد تضرب تلك النيوترونات بدورها أنوية يورانيوم أخرى وتهشم كلًّا منها إلى اثنتين، وتحرر كذلك المزيد من الطاقة والمزيد من النيوترونات. قد تؤدي عملية الانشطار المتشعب هذه إلى انفجارات هائلة أو قد توفر -إذا تحكمنا بها- كميات تكاد ألا تنضب من الطاقة. إننا محظوظون للغاية إذ وافق د. تالركين الذي عمل على القنبلة الذرية والمعروف كذلك «بأبي القنبلة الهيدروجينية» على المجيء إلى هنا على الرغم من التزاماته الكثيرة، كما وافق على إلقاء كلمة قصيرة حول موضوع القنابل النووية. من المقرر أن يكون هنا في أي لحظة.

فور أن قال البروفيسور هذه الكلمات، فُتِح الباب، ودخل رجل ذو مظهر مثير للإعجاب، عيناه متقدتان، يعلوهما حاجبان كثيفان داكنان. صافح البروفيسور واستدار إلى الجمهور.

قال:

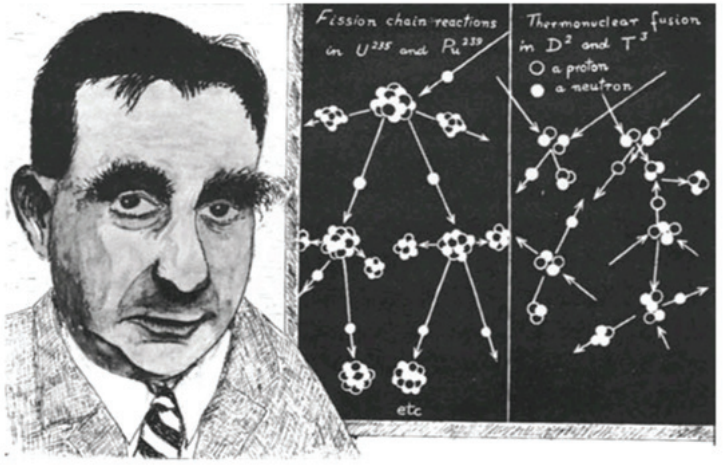
“Hölgyeim és Uraim, Röviden kell beszélnem, mert nagyon sok a dolgom. Ma reggel több megbeszélésem volta Pentagon-ban és a Fehér Ház-ban. Délutan...

صاح: أوه، آسف! أحيانًا أخلط بين اللغات. دعوني أبدأ من جديد. السيدات والسادة! يجب أن أتحدث في إيجاز، فأنا مشغول جدًّا. حضرت في صباح اليوم العديدَ من المؤتمرات في البنتاجون والبيت الأبيض، وفي الظهيرة توجب عليَّ حضور التفجير التجريبي تحت الأرض في فرينش فلات بنيفادا، ويجب عليَّ أن ألقي كلمة في هذا المساء في مأدبة مقامة في قاعدة فاندنبرج الجوية في كاليفورنيا.

بيت القصيد أن الأنوية الذرية متوازنة بفعل نوعين من القوى: قوى التجاذب النووي التي تميل إلى الإمساك بالنواة في وحدة واحدة، وقوى التنافر الكهربي بين البروتونات. تسود في الأنوية الثقيلة مثل أنوية اليورانيوم والبلوتونيوم القوى الأخيرة وتكون النواة على شفا التشقق، والتهشم إلى شظيتين انشطاريتين عند أقل استثارة. قد يتسبب في هذه الاستثارة نيوترون مفرد يضرب النواة.

استدار إلى السبورة واستكمل حديثه: ترون ها هنا نواة قابلة للانشطار، ونيوترونًا يضربها. تحلق شظيتان انشطاريتان مبتعدتين، تحمل كلٌّ منهما ما يقرب من مليون إلكترون فولت من الطاقة، كما تندفع نيوترونات طازجة كذلك؛ نيوترونان تقريبًا في حالة نظير اليورانيوم الخفيف وثلاثة نيوترونات تقريبًا في حالة البلوتونيوم. هكذا إذن تتشقق! تتشقق! ويجري التفاعل كما رسمته هنا على السبورة. إذا كانت قطعة المادة القابلة للانشطار صغيرة، تعبر أغلب نيوترونات الانشطار السطح قبل أن تحظى بفرصة ضرب نواة أخرى قابلة للانشطار ولا يبدأ التفاعل المتسلسل بتاتًا. ولكن عندما تكون القطعة أكبر مما نطلق عليه الكتلة

الحرجة، قطرها ثلاث أو أربع بوصات تقريبًا، تُحبَس أغلب النيوترونات، وينفجر هذا الشيء برمته. هذا ما ندعوه بالقنبلة الانشطارية، التي يشار إليها في الغالب على نحوٍ غير صحيح باسم القنبلة الذرية.



على الرغم من أن الاسمين يبدوان متشابهين [في الإنجليزية]، fission انشطار وfusion اندماج إلا أنهما عمليتان مختلفتان تمامًا.

ولكن من الممكن الحصول على نتائج أفضل عند العمل على النهاية الأخرى للجدول الدوري للعناصر حيث تكون قوى التجاذب النووية أشد من التنافر الكهربي. عندما تتلامس نواتان خفيفتان فإنهما تندمجان معًا مثلما تندمج قطرتا زئبق في صحن. لا يمكن أن يحدث هذا إلا عند درجة حرارة مرتفعة جدًّا؛ إذ يمنع التنافر الكهربي الأنوية الخفيفة التي تقترب من بعضها من التلامس. ولكن عندما تصل درجة الحرارة إلى عشرات الملايين يصير التنافر الكهربي عاجزًا عن منع

التلامس، وتبدأ عملية الاندماج. إن أنسب الأنوية لعملية الاندماج أنوية الديوترون، أي أنوية ذرات الهيدروجين الثقيل. هناك إلى اليمين مخطط بسيط لتفاعلات نووية حرارية في الديوتيريوم. عندما فكرنا للمرة الأولى في القنبلة الهيدروجينية، اعتقدنا أنها ستكون بمنزلة نعمة للعالَم، إذ لا تُوَلِّد نواتج انشطار نشطة إشعاعيًّا، تنتشر عبر الغلاف الجوي للأرض. لكننا لم نستطع إنتاج قنبلة هيدروجينية «خالصة» لأن الديوتيريوم، أفضل وقود نووي يمكن استخراجه من مياه المحيط بسهولة، لا يزال غير جيد بما يكفي ليحترق من تلقاء نفسه. لذلك علينا أن نحيط لب الديوتيريوم بغلاف من اليورانيوم الثقيل. تُنتِج هذه الأغلفة كمية كبيرة من شظايا الانشطار، ويطلق عليها البعض قنابل الهيدروجين «القذرة». نواجه صعوبة مماثلة في تصميم تفاعل الديوتيريوم النووي الحراري المُتَحَكَّم به، وعلى الرغم من كل الجهود المبذولة، ما زلنا لا نملك واحدًا، لكنني واثق بأننا سوف نحل هذه المشكلة عاجلًا أو آجلًا.

سأل واحد من الجمهور: د. تالركين، وماذا عن نواتج الانشطار الناتجة عن تجارب القنابل، التي تتسبب في طفرات مضرة في سكان الكرة الأرضية بأكملها؟

ابتسم د. تالركين: ليست كل الطفرات ضارة، تؤدي قلة منها إلى تحسين النسل. من دون طفرات تحدث في الكائنات الحية، لبقينا أنا وأنت أميبتين. ألا تعرف أن تطور الحياة يرجع بالكامل إلى طفرات طبيعية وبقاء الأصلح؟

صاحت امرأة من بين الجمهور في هيستيريا: تقصد أن علينا جميعًا ولادة أطفال بالدستات، والإبقاء على قلة هي الأفضل وإهلاك بقيتهم؟!

بدأ د. تالكرين الحديث: «حسنًا يا مدام –» فُتِح باب قاعة المحاضرات في تلك اللحظة ودخل رجل يرتدي بدلة طيار.

هتف: أسرِع يا سيدي! الهليكوبتر تنتظرك عند المدخل وإذا لم نبدأ رحلتنا في التو سوف تُفَوِّت موعد طائرتك النفاثة في المطار.

قال د. تالكرين: «آسف، ولكن يجب أن أغادر الآن. Isten velük!» وهرعا كلاهما إلى الخارج.

13

نحات الخشب

كان الباب كبيرًا وثقيلًا، وعليه لافتة مهيبة في منتصفه تمامًا، ممنوع الدخول – جهد مرتفع. إلا أن كلمة «مرحبًا» المكتوبة على سجادة الباب بحجم كبير، خففت قليلًا من الانطباع الأول القاسي، ضغط السيد تومبكينز بعد دقيقة من التردد زر جرس الباب. سمح له مساعد شاب بالدخول وجد السبد تومبكينز نفسه في حجرة كبيرة، شغلت آلة مذهلة الشكل ومعقدة جدًّا جزءًا كبيرًا منها.

شرح له المساعد وهو يضع يدًا محبة على أحد ملفات المغناطيس الكهربي العملاق الذي يمثِّل الجزء الأساسي في أداة الفيزياء الحديثة هذه، ذات المظهر المهيب: إنه السيكلوترون الكبير الخاص بنا أو «مُحَطِّم الذرات»، كما يطلقون عليه في الصحف.

«إنه السيكلوترون الكبير الخاص بنا أو «مُحَطِّم الذرات».»

أضاف في فخر: إنه يُوَلِّد جسيمات، لها طاقة تصل إلى عشرة ملايين إلكترون فولت، ولا توجد أنوية كثيرة يمكنها أن تصمد أمام اصطدام مقذوف يتحرك بهذه الطاقة المرعبة!

قال السيد تومبكينز: حسنًا، لا بد أن هذه الأنوية متينة جدًّا! تخيل أنه يتوجب عليك صناعة شيء عملاق مثل ذلك من أجل أن تكسر نواة صغيرة جدًّا، في ذرة صغيرة جدًّا. كيف تعمل هذه الآلة بأي حال؟

سأل حموه وقد ظهر من خلف الإطار الضخم للسيكلوترون: هل ذهبت يومًا إلى السيرك؟

قال السيد تومبكينز وقد انتابه بعض الحرج بسبب هذا السؤال غير المتوقع: إرر... نعم بالتأكيد. هل تقصد أنك تريد مني أن أذهب معك إلى السيرك الليلة؟

ابتسم البروفيسور: ليس تمامًا، إلا أن ذلك سيساعدك على فهم كيف يعمل السيكلوترون. إذا نظرت بين قطبَي هذا المغناطيس الكبير، فسوف تلاحظ صندوقًا نحاسيًّا دائريًّا، الذي هو بمنزلة حلقة السيرك التي تُسَرَّع عليها مختلف الجسيمات المشحونة المُستخدَمة في تجاربنا الخاصة بالقصف النووي. يقع المصدر الذي تُوَلَّد منه الجسيمات أو الأيونات المشحونة في مركز هذا الصندوق. عندما تخرج، يكون لها سرعات صغيرة جدًّا، يحني المجال القوي للمغناطيس مساراتها ويحوِّلها إلى دوائر صغيرة جدًّا حول المركز. ثم نبدأ في أن نسوطها لتسرع أكثر فأكثر.

قال السيد تومبكينز: أفهم أن تسوط فرسًا، ولكن كيف تفعل هذا

الأمر مع هذه الجسيمات الصغيرة للغاية، إن ذلك فوق قدرتي على الفهم.

«على الرغم من ذلك، فهو أمر بسيط جدًّا. إذا تحرك الجسيم في دائرة، فليس على الواحد إلا أن يعرضه لسلسلة من الصدمات الكهربية في كل مرة يمر فيها عبر نقطة معينة في مساره، مثلما يقف مدرب في السيرك على طرف الحلقة ويسوط الفرس في كل مرة يمر به».

اعترض السيد تومبكينز: ولكن المدرب يمكنه أن يرى الفرس. هل يمكنك أن ترى جسيمًا يدور في هذا الصندوق النحاسي لكي تركله في اللحظة المناسبة تمامًا؟

اتفق معه البروفيسور: لا يمكنني بالتأكيد، إلا أن ذلك غير ضروري. تكمن براعة إعدادات هذا السيكلوترون في أن الجسيم المُسَرَّع ينفذ دورة كاملة في الفترة الزمنية نفسها، على الرغم من تزايد سرعته دائمًا أكثر فأكثر. وكما ترى فتفسير ذلك أنه مع تزايد سرعة الجسيم، يزداد كذلك نصف قطر المسار الدائري له وبالتالي يزداد الطول الكلي للمسار، وهي زيادة تتناسب مع زيادة السرعة. وهكذا يتحرك متتبعًا مسارًا حلزونيًّا، ويصل دائمًا إلى الجانب نفسه من «الحلقة» في فترات زمنية منتظمة. ليس على الواحد إلا أن يضع جهازًا كهربيًّا هناك لكي يعطي الصدمات في فترات زمنية منتظمة، ونقوم بذلك بواسطة دائرة كهربية متذبذبة، تشبه كثيرًا تلك التي قد تراها في أي محطة بث. إن الصدمات الكهربية التي تتولد هنا ليست قوية جدًّا، إلا أن تأثيرها المتراكم يُسَرِّع الجسيم إلى سرعات كبيرة للغاية. إنها الميزة الكبرى لهذا الجهاز، يقارب تأثيره

تأثير ملايين الفولتات، على الرغم من أن هذا الجهد المرتفع غير موجود فعليًّا في نظام الجهاز.

قال السيد تومبكينز ممعنًا التفكير: بارع جدًّا بالفعل. لمَن هذا الابتكار؟

أجاب البروفيسور: صنعه للمرة الأولى إرنست أورلاندو لورانس في جامعة كاليفورنيا قبل عدد من السنوات. ومنذ ذلك الوقت أخذ حجم السيكلوترون في الازدياد، كما انتشر في معامل الفيزياء بسرعة كبيرة مثلما تنتشر الإشاعات بسرعة كبيرة. يبدو أنه أكثر ملاءمة بالفعل من الأجهزة الأقدم التي تستخدم محولات متتابعة أو الآلات القائمة على المبدأ الكهروستاتيكي.

سأل السيد تومبكينز شديد الإيمان بالبساطة، والذي لا يثق بتاتًا بأي شيء أعقد من المطرقة: ولكن ألا يستطيع الواحد حقًّا تحطيم النواة من دون كل هذه الأجهزة المعقدة؟

«بلى بالتأكيد. في الحقيقة عندما أجرى رذرفورد أولى تجاربه الشهيرة بخصوص التحول الصناعي للعناصر، استخدم جسيمات ألفا المعتادة التي تطلقها الأجسام النشطة إشعاعيًّا. إلا أن ذلك كان منذ ما يزيد على العشرين عامًا، وكما ترى أحرزت تقنيات تهشيم الذرات تقدمًا ملحوظًا منذ ذلك الحين.

سأل السيد تومبكينز، الذي يفضِّل رؤية الأشياء بنفسه، عوضًا عن سماع شروح طويلة: هل يمكنك أن تريني ذرة تُهَشَّم فعليًّا؟

قال البروفيسور: بكل سرور. كنا على وشك بدء تجربة. إننا نجري هنا مزيدًا من الدراسات حول اضمحلال البورون تحت تأثير اصطدام البروتونات السريعة. عندما يضرب بروتون ذرة بورون بقسوة كافية، تسمح للمقذوف بخرق حاجز الجهد النووي والدخول، تتحطم إلى ثلاث شظايا متساوية، تحلق جميعًا في اتجاهات مختلفة. من الممكن رصد هذه العملية مباشرة بواسطة ما ندعوه «بالغرفة السحابية» التي تُمَكِّننا من رؤية مسارات كل الجسيمات المشاركة في الاصطدام. إن هذه الحجرة التي تحتوي على قطعة من البورون في المنتصف، متصلة حاليًّا بفتحة غرفة التسريع، وفور أن نبدأ تشغيل السيكلوترون، سوف ترى عملية التحطم النووي بأم عينيك.

قال متوجهًا إلى مساعده: هَلَّا تُشَغِّل التيار من فضلك، وسأحاول ضبط المجال المغناطيسي.

احتاج تشغيل السيكلوترون إلى بعض الوقت، تجوَّل السيد تومبكينز الذي تُرِك وحيدًا في أنحاء المختبر في كسل. شد انتباهه جهاز معقد مكون من أنابيب ضخمة مُكَبِّرة تتوهج بضوء أزرق شاحب. مال إلى الأمام لكي يمعن النظر فيها، غير مدرك تمامًا أن الجهود الكهربية المُوَلِّدة المستخدمة يمكنها أن تطرح ثورًا أرضًا، على الرغم من أنها ليست كبيرة بما يكفي لتحطم نواة.

صدرت فرقعة تشبه ضربة سوط لأسد مُرَوَّض، شعر السيد تومبكينز بصدمة مروعة تجري عبر جسمه كله، وفي اللحظة التالية أظلم كل شيء وفقد الوعي.

عندما فتح عينيه، وجد نفسه مستلقيًا على الأرض حيث ألقت به الشحنة الكهربية. بدت الحجرة من حوله على الصورة نفسها، إلا أن كل الأشياء فيها تغيرت بشكل ملحوظ. رأى السيد تومبكينز طاولة طويلة للأشغال الخشبية مغطاة بأدوات النجارة العادية، بدلًا من مغناطيس السيكلوترون الشاهق والوصلات النحاسية اللامعة ودستات التجهيزات الكهربية المتصلة بكل بقعة ممكنة. لاحظ على الأرفف عتيقة الطراز المثبتة إلى الحائط عددًا كبيرًا من المنحوتات الخشبية المختلفة لأشكال غريبة وغير معتادة. يعمل على الطاولة عجوز، يبدو ودودًا، عندما دقق السيد تومبكينز النظر إلى ملامحه، اندهش من الشبه الكبير بينه وبين كل من العجوز «جيبيتو» في فيلم «بينوكيو» من إنتاج والت ديزني [جيبيتو النجار الذي صنع بينوكيو]، وصورة اللورد رذرفورد من نيلسون المعلقة على حائط مختبر البروفيسور.

قال السيد تومبكينز وهو يرفع نفسه عن الأرض: اعذر تطفلي، لكنني كنت أزور مختبرًا نوويًّا ويبدو أن شيئًا غريبًا حدث لي.

قال العجوز، وهو يضع جانبًا قطعة الخشب التي كان ينحتها: أوه، أنت مهتم بالأنوية. إذن لقد جئت إلى المكان الصحيح تمامًا. إنني أصنع جميع أنواع الأنوية هنا ومن دواعي سروري أن آخذك في جولة في أنحاء ورشتي الصغيرة.

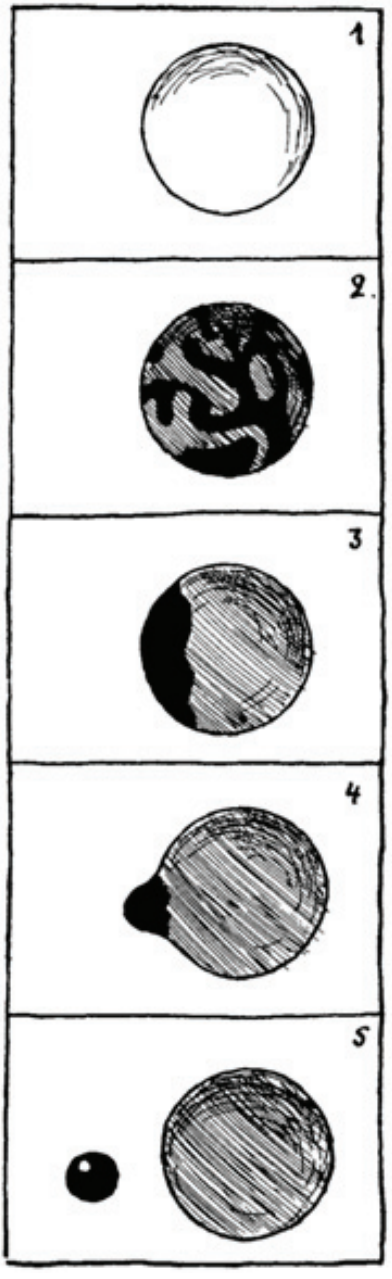
قال السيد تومبكينز ذاهلًا: تقول إنك تصنعها؟

«نعم، بالتأكيد. يتطلب الأمر بالطبع بعض المهارة، خصوصًا في حالة الأنوية النشطة إشعاعيًّا، التي قد تتفكك أجزاؤها قبل حتى أن تحظى بالوقت الكافي لتطليها».

«أطليها؟»

«نعم، أستخدم الأحمر للجسيمات المشحونة بشحنة موجبة والأخضر للجسيمات المشحونة بشحنة سالبة. ولعلك تعرف أن الأحمر والأخضر لونان، نطلق عليهما «لونين متكاملين»، يلغي كلٌّ منهما الآخر إذا مُزِجا معًا (يجب أن ينتبه القارئ إلى أن مزج الألوان يخص أشعة الضوء فقط، لا الطلاء. إذا مزجنا طلاء أحمر وآخر أخضر فسوف نحصل ببساطة على لون موحل. على الجانب الآخر، إذا طلينا النصف العلوي لدمية بالأحمر، والنصف الآخر بالأخضر، ثم لففناها سريعًا، فسوف تبدو بيضاء). يتوافق هذا مع الإلغاء المتبادل للشحنات الكهربية الموجبة والسالبة. إذا تكوَّنت النواة من عددٍ متساوٍ من الشحنات الموجبة والسالبة، تتحرك سريعًا جيئة وذهابًا، فسوف تكون متعادلة كهربيًّا وسوف تبدو بيضاء لك. إذا كان ثمة شحنات موجبة أو سالبة أكثر، فسوف يتلون النسق كله بالأحمر أو الأخضر. بسيط، أليس كذلك؟»

أكمل العجوز حديثه، وهو يُرِي السيد تومبكينز صندوقين خشبيين كبيرين قائمين بالقرب من الطاولة: أحتفظ هنا بالخامات التي أصنع بواسطتها مختلف الأنوية، يحتوي الصندوق الأول على البروتونات، هذه الكرات الحمراء هنا. إنها مستقرة تمامًا وتحتفظ بألوانها بشكل دائم، ما لم تكشطها بسكين أو ما شابه. أعاني من مشكلة أكبر كثيرًا مع ما تُدعى نيوترونات في الصندوق الثاني. طبيعتها أنها بيضاء، أو متعادلة كهربيًّا، لكنها تُظهِر نزوعًا قويًّا نحو التحول إلى بروتونات حمراء. ما دام الصندوق مقفلًا في إحكام، فكل شيء على ما يرام، ولكن فور أن تستخرج واحدًا، انظر ما يحدث.


1
2.
3
4
5

فتح نَحَّات الخشب العجوز الصندوق، أخرج إحدى الكرات البيضاء ووضعها على الطاولة. بدا لوهلة أن لا شيء يحدث، ولكن عندما كاد صبر السيد تومبكينز ينفد، دبَّت الحياة فجأة في الكرة. ظهرت خطوط حمراء وخضراء على سطحها، ولوقت قصير بدت الكرة مثل إحدى كرات البلي الزجاجي الملون التي يحبها الأطفال كثيرًا. ثم تركز اللون الأخضر على أحد الجوانب، وفصل نفسه تمامًا في النهاية عن الكرة، مشكلًا قطرة خضراء لامعة، سقطت على الأرض. أما الكرة فصارت الآن حمراء بالكامل، لا تختلف عن أي من البروتونات حمراء اللون في الصندوق الأول.

قال وهو يلتقط قطرة الطلاء الخضراء من فوق الأرض، وقد صارت صلبة تمامًا ومستديرة: رأيت ما حدث، انفصل اللون الأبيض للنيوترون إلى اللونين الأحمر والأخضر، والنيوترون كله انقسم إلى جسيمين منفصلين، بروتون وإلكترون سالب.

أضاف وهو يرى النظرة المندهشة على وجه السيد تومبكينز: نعم، إن هذا الجسيم ذا اللون الأخضر المزرق هو فقط إلكترون عادي، مثله كمثل أي إلكترون آخر في أي ذرة أو في أي مكان آخر.

صاح السيد تومبكينز: أوه! إن هذا يفوق بالتأكيد أي خدعة منديل ملون رأيتها يومًا. ولكن هل في إمكانك إعادة الألوان مرة أخرى؟

«نعم، يمكنني دهان الطلاء الأخضر مرة أخرى على سطح الكرة الحمراء لأجعلها بيضاء من جديد، إلا أن ذلك يتطلب بعض الطاقة بالتأكيد. ثمة طريقة أخرى للقيام بذلك، تقشير الطلاء الأحمر عن

الكرة، وهو ما يستهلك طاقة أيضًا. وعندئذ يُشَكِّل الطلاء المُقَشَّر عن سطح البروتون كرة حمراء، إنه إلكترون موجب، ولعلك سمعت عنه».

بدأ السيد تومبكينز في الحديث: «نعم عندما كنت أنا نفسي إلكترونًا...» لكنه راجع نفسه سريعًا. قال: «أقصد أنني سمعت أن الإلكترونات الموجبة والسالبة تُفني بعضها بعضًا عندما تلتقي».

«هل من الممكن أن تقوم بتلك الخدعة من أجلي كذلك؟»

قال العجوز: أوه، إنها بسيطة جدًّا. لكنني لن أزعج نفسي بتقشير الطلاء عن البروتون، إذ لديَّ زوجان من البوزيترونات باقيان من عملي الصباحي.

فتح أحد الأدراج واستخرج كرة حمراء ضئيلة لامعة، وضغطها بشدة بين إصبعه والإبهام، وضعها إلى جانب الكرة الخضراء على الطاولة. صدرت ضوضاء حادة، تشبه انفجار المفرقعات، واختفت الكرتان في الحال.

قال نحات الخشب وهو ينفخ في أصابعه التي التهبت قليلًا: رأيت؟ لهذا السبب لا يستطيع الواحد أن يستخدم الإلكترونات في إنشاء الأنوية. حاولت ذلك ذات مرة، لكنني هجرت الفكرة تمامًا. أستخدم حاليًّا البروتونات والنيوترونات فقط.

سأل السيد تومبكينز متذكرًا العرض التوضيحي القريب: لكن النيوترونات غير مستقرة أيضًا، أليست كذلك؟

«بلى، عندما تكون بمفردها. ولكن عندما تتكدس بشدة في داخل

النواة، وتحيط بها جسيمات أخرى، تصبح مستقرة تمامًا. إلا أنه إذا كان ثمة نيوترونات كثيرة للغاية أو بروتونات كثيرة للغاية نسبيًّا، ففي إمكانها تحويل نفسها ويندفع اللون الفائض من النواة في صورة إلكترونات سالبة أو موجبة. نطلق على هذا التغيير تَحَوُّل بيتا».

سأل السيد تومبكينز في اهتمام: هل تستخدم أي غراء في صناعة الأنوية؟

أجاب العجوز: لا أحتاج إلى أي غراء، كما ترى تلتصق هذه الجسيمات بعضها ببعض بنفسها فور أن تجعلها تتلامس. يمكنك أن تجرب بنفسك إذا أردت.

تناول السيد تومبكينز بروتونًا ونيوترونًا، واحدًا في كل يد متَّبعًا نصيحة العجوز، وجمعهما معًا في حرص. وفي الحال شعر بشدٍّ قوي، وعندما نظر إلى الجسيمين لاحظ ظاهرة غريبة للغاية. يتبادل الجسيمان اللونين، يتلوَّنان بالأحمر والأبيض بالتبادل. بدا كما لو أن الطلاء الأحمر «يقفز» من الكرة في يده اليمنى إلى الكرة في يده اليسرى، ويقفز عائدًا مرة أخرى. كانت الحركة اللونية سريعة جدًّا حتى بدا كأن الكرتين متصلتان برباط وردي، يتذبذب اللونان على طولها ذهابًا وإيابًا.

قال السيد العجوز وهو يضحك من دهشة السيد تومبكينز: هذا ما يطلق عليه زملائي النظريون اسم ظاهرة التبادل. تريد الكرتان كلاهما أن تكونا حمراوين، أو أن تمتلكا الشحنة الكهربية، إذا أردت أن تقولها على هذا النحو، وبما أنهما لا تستطيعان أن تمتلكاها في الوقت نفسه، يشدانها ذهابًا وإيابًا بالتبادل. لا ترغب إحداهما في الاستسلام، ولذلك

تلتصقان معًا حتى تفصلهما بالقوة. والآن يمكنني أن أريك مدى بساطة صناعة أي نواة ترغب فيها. ما النواة التي قد ترغب فيها؟

قال السيد تومبكينز متذكرًا طموح خيميائيي العصور الوسطى: الذهب.

تمتم السيد العجوز، الذي التفت نحو جدول كبير معلق على الحائط: الذهب؟ فلنرَ، تزن نواة الذهب مائة وسبعًا وتسعين وحدة، وتحمل تسعًا وسبعين شحنة كهربية موجبة. يعني ذلك أن عليَّ أن آخذ تسعة وسبعين بروتونًا، وأضيف إليها مائة وثمانية عشر نيوترونًا لأحصل على الكتلة الصحيحة.

أحصى عدد الجسيمات السليم، ووضعها في وعاء أسطواني طويل وغطاها كلها بمكبس خشبي ثقيل. ثم دفع المكبس إلى الأسفل بكل ما أوتي من قوة.

شرح للسيد تومبكينز: يجب أن أفعل هذا بسبب التنافر الكهربي الشديد بين البروتونات المشحونة بشحنات موجبة. فور أن أتجاوز التنافر عن طريق ضغط المكبس، تلتصق البروتونات والنيوترونات معًا بسبب تبادل القوى فيما بينها، وتُشَكِّل النواة المطلوبة.

ضغط المكبس لأبعد نقطة ممكنة، أخرجه مرة أخرى، وقلب الوعاء الأسطواني سريعًا رأسًا على عقب. تدحرجت كرة وردية لامعة على الطاولة، لاحظ السيد تومبكينز عندما راقبها من كثب أن اللون الوردي ناتج عن تفاعل الومضات الحمراء والبيضاء بين الجسيمات سريعة الحركة.

صاح: يا للجمال! إذن، هذه ذرة ذهب!

صحح له نحات الخشب العجوز: ليست ذرة بعد، إنها نواة الذرة فقط. لكي تكمل الذرة، يجب أن تضيف العدد المناسب من الإلكترونات لكي تعادل شحنة النواة الموجبة، وتصنع الغلاف الإلكتروني المعتاد حولها. ولكن ذلك سهل وسوف تمسك النواة من تلقاء نفسها بإلكتروناتها فور أن يتواجد بعضها في المحيط.

قال السيد تومبكينز: من الطريف أن والد زوجتي لم يذكر قطُّ أن الواحد يستطيع صناعة الذهب ببساطة شديدة.

صاح العجوز وقد ظهرت مسحة من انزعاج في صوته: أوه، يؤدي والد زوجتك وأولئك الآخرون الذين يُطلَق عليهم فيزيائيون تجريبيون جيدًا، لكنهم في الحقيقة لا يمكنهم إلا أن يحرزوا القليل للغاية. يقولون إنهم لا يستطيعون ضغط البروتونات المختلفة في هيئة نواة معقدة لأنهم لا يستطيعون بذل الضغط العظيم الكافي للقيام بالعمل. بل أجرى أحدهم حسابًا، ووصل إلى أن الواحد يحتاج إلى أن يضغط بكامل وزن القمر من أجل أن يجعل البروتونات تلتصق ببعضها. حسنًا لِمَ لا يأتون بالقمر إذا كانت هذه هي مشكلتهم الوحيدة؟

أبدى السيد تومبكينز ملاحظته في وداعة: لكنهم يقومون ببعض التحولات النووية.

«نعم، بالتأكيد، لكنهم يفعلون بأسلوبٍ أخرق، وعلى نطاقٍ ضيق جدًّا. إن كمية العنصر الجديد التي يحصلون عليها صغيرة جدًّا، يرونها هم أنفسهم بالكاد. سوف أريك كيف يقومون بذلك». أخذ

بروتونًا ورماه بقوة ملحوظة تجاه نواة الذهب الرابضة على الطاولة. أبطأ البروتون قليلًا عندما اقترب من حدود النواة، تردد وهلة ثم غاص داخلها. عندما ابتلعت النواة البروتون، ارتجفت النواة وقتًا قصيرًا كأنها تعاني من حُمَّى شديدة، ثم انفصل منها جزء صغير مع فرقعة.

قال وهو يلتقط الشظية: هل ترى، هذا ما يُطلِقون عليه جسيم ألفا، وإذا دققت النظر فيه من كثب سوف تلاحظ أنه يتكوَّن من بروتونَين ونيوترونَين. تندفع مثل هذه الجسيمات عادة من الأنوية الثقيلة لما يُطلَق عليه عناصر نشطة إشعاعيًّا، إلا أن الواحد يستطيع كذلك أن يركلها إلى خارج الأنوية المستقرة العادية إذا ضربها بقسوة كافية. يجب أن أُنبِّهك كذلك إلى أن الشظية الكبيرة المتبقية على الطاولة لم تعُد نواة ذهب، لقد فقدت شحنة موجبة، وهي الآن نواة بلاتين، العنصر الذي يسبق الذهب في الجدول الدوري. إلا أن البروتون الذي يدخل النواة لا يتسبب في بعض الحالات في شطرها إلى جزأين، ونتيجة ذلك تحصل على النواة التي تلي الذهب في الجدول، أي نواة الزئبق. وعن طريق الجمع بين هاتين العمليتين والعمليات المشابهة يستطيع الواحد بالفعل أن يُحَوِّل أي عنصر إلى أي عنصر آخر.

قال السيد تومبكينز وقد بدأ يفهم: أوه، الآن أفهم، يستخدمون أشعة بروتونات سريعة، يُوَلِّدها السيكلوترون. ولكن لِمَ تقول إن منهجهم غير جيد؟

«لأن فعاليته قليلة للغاية. بادئ ذي بدء، لا يستطيعون توجيه مقذوفاتهم نحو الهدف مثلما أفعل، لذلك تصيب النواة فعليًّا طلقة

واحدة فقط من بين آلاف الطلقات. ثانيًا؛ وحتى في حالة الإصابة المباشرة، من المحتمل جدًّا أن يرتد المقذوف عن النواة بدلًا من أن يخترق قلبها. لعلك لاحظت أن البروتون عندما رميته إلى داخل نواة الذهب تردد بعض الشيء قبل أن يدخل، وظننت وهلة أنه سيرتد عائدًا».

سأل السيد تومبكينز في اهتمام: ما الذي يقبع هناك ويمنع المقذوفات من الدخول؟

قال العجوز: كان في إمكانك أن تخمن ذلك بنفسك، إذا تذكرت أن كلًّا من الأنوية والبروتونات القاصفة تحملان شحنات موجبة. تُكَوِّن قوى التنافر بين هذه الشحنات حاجزًا، عبوره ليس سهلًا على الإطلاق. إذا نجحت البروتونات القاصفة في اختراق الحصن النووي، فلا يرجع ذلك إلا إلى أنها استخدمت شيئًا يشبه أسلوب حصان طروادة، تمر البروتونات عبر الجدران النووية كموجات، لا كجسيمات.

قال السيد تومبكينز في أسى: حسنًا، لقد أُسقِط في يدي. لا أفهم كلمة مما تقول.

قال نحَّات الخشب وهو يبتسم: كنت أخشى من أنك لن تفهم. أصدقك القول، إنني حِرَفِي. أستطيع القيام بهذه الأشياء بيدَي لكنني لست متمكنًا كثيرًا من هذه التعاويذ النظرية. إلا أن المغزى الأساسي للأمر كامن في أن الجسيمات النووية تتشكَّل من مواد كمية، لذا يمكنها أن تمضي دائمًا أو بالأحرى تتسرب، عبر حواجز، تُعتَبر عادة غير قابلة للاختراق.

صاح السيد تومبكينز: أوه، أفهم ما تقصده! أتذكر أنني زرت ذات

مرة، قبل أن ألتقي مود بوقت قصير، مكانًا غريبًا حيث تتصرف كرات بلياردو وفق الطريقة التي تصفها تمامًا.

كرر نحات الخشب العجوز في حماس: كرات بلياردو؟ هل تقصد كرات بلياردو عاجية حقيقية؟

أجاب السيد تومبكينز: نعم، أدرك أنها كانت مصنوعة من أنياب أفيال كمية.

قال العجوز في أسى: حسنًا، هكذا هي الحياة. يستخدمون مثل هذه الخامات الثمينة من أجل ألعاب، ويتوجب عليَّ أن أنحت البروتونات والنيوترونات، الجسيمات الأساسية للكون برمته، من بلوط كمي صِرف!

استكمل حديثه محاوِلًا أن يخفي إحباطه: إلا أن الدمى الخشبية الفقيرة الخاصة بي تقف على قدم المساواة من حيث الجودة مع كل تلك الإبداعات العاجية الثمينة، وسوف أريك كيف يمكنها أن تمر في أناقة عبر أي حاجز. ارتقى مقعدًا، وتناول قطعة منحوتة غريبة جدًّا تشبه نموذج بركان.

استكمل حديثه وهو يمسح عنها الغبار في رفق: «ترى هنا نموذجًا لحاجز قوى التنافر المحيط بأي نواة للذرة. تكافئ المنحدرات الخارجية التنافر الكهربي بين الشحنات، وتكافئ الفوهة قوى التماسك التي تجعل الجسيمات النووية يلتصق بعضها ببعض. إذا نقرت كرة لتصعد المنحدر، لكنني لم أنقرها بقوة تكفي لتصل إلى القمة، من الطبيعي أن تفترض أنها ستتدحرج عائدة مرة أخرى. ولكن ما يحدث فعليًّا...» منح الكرة نقرة بسيطة.

قال السيد تومبكينز عندما رأى الكرة تتدحرج عائدة إلى الطاولة بعد أن صعدت إلى منتصف المنحدر تقريبًا: حسنًا، لا أرى شيئًا غريبًا.

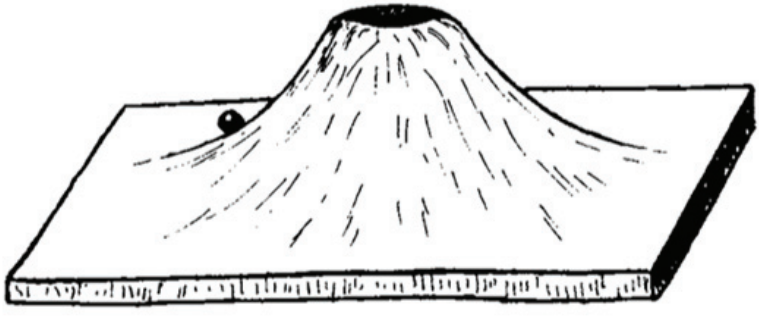
قال نحات الخشب في هدوء: «انتظر، لا يجب أن تتوقع حدوث الأمر من المحاولة الأولى» أرسل الكرة لتصعد المنحدر مرة أخرى. فشلت من جديد، إلا أن الكرة اختفت فجأة عندما صارت في منتصف المنحدر تقريبًا، في المحاولة الثالثة.

قال نحات الخشب العجوز في انتصارٍ متقمصًا روح ساحر: حسنًا، أين تظنها ذهبت؟

سأل السيد تومبكينز: هل تعني أنها داخل الفوهة الآن؟

قال العجوز وهو يستخرج الكرة بأصابعه: نعم، هذا هو مكانها بالضبط.

اقترح قائلًا: «والآن، دعنا نفعل العكس، ونرى إذا كانت الكرة تستطيع الخروج من الفوهة من دون أن تتدحرج من فوق القمة» رمى بالكرة إلى الفجوة مرة أخرى.



لم يحدث شيء لوهلة، ولم يسمع السيد تومبكينز إلا صوتًا خفيضًا لقرقعة الكرة متدحرجة جيئة وذهابًا في الفوهة. ثم ظهرت الكرة فجأة بصورة إعجازية في منتصف المنحدر الخارجي، وتدحرجت هابطة إلى الطاولة.

قال نحات الخشب وهو يعيد النموذج إلى مكانه: ترى هنا تمثيلًا جيدًا جدًّا لما يحدث في اضمحلال ألفا الإشعاعي. الفارق الوحيد أنك تجد هناك حاجز قوى التنافر الكهربي بدلًا من حاجز البلوط الكمي المعتاد. ولكن لا فارق بينهما من حيث المبدأ. أحيانًا، تكون هذه الحواجز الكهربية «شفافة» جدًّا بحيث يهرب الجسيم في جزء صغير من الثانية، وأحيانًا تكون «معتمة» جدًّا بحيث يستغرق الهروب بلايين السنين، كما هو الحال في نواة اليورانيوم، على سبيل المثال.

سأل السيد تومبكينز: ولكن لماذا ليست كل الأنوية نشِطة إشعاعيًّا؟

«لأن قعر الفوهة في أغلب الأنوية تحت المستوى الخارجي، يرتفع القعر في أثقل الأنوية المعروفة فقط بما يكفي لجعل هذا الهروب ممكنًا».

من الصعب أن نحدد عدد الساعات التي قضاها السيد تومبكينز في الورشة بصحبة نحات الخشب العجوز الودود، المتحمس طوال الوقت لنقل معارفه لأي شخص يمر به. رأى الكثير من الأشياء الأخرى الغريبة، ولا سيما صندوق مغلق بعناية، لكنه يبدو فارغًا، كُتِب عليه: نيوترينوات. تعامل معها في حرص ولا تخرجها.

سأل السيد تومبكينز وهو يهز الصندوق بالقرب من أذنه: هل ثمة شيء في الداخل؟

قال نحات الخشب: لا أعرف. يقول البعض نعم، ويقول البعض لا. لكنك لا تستطيع أن ترى أي شيء بأي حال. إنه صندوق وهمي أعطاه لي أحد اصدقائي النظريين، ولا أعرف بتاتًا ماذا أفعل به. من الأفضل أن نتركه جانبًا في الوقت الحالي.

وبينما يواصل السيد تومبكينز فحصه للمكان بعينيه، اكتشف كذلك كمانًا عتيقًا متربًا، بدا قديمًا جدًّا كأنه من صنع جد ستراديفاري [صانع آلات موسيقية إيطالي (1644 – 1737) ميلادية].

التفت إلى نحات الخشب: هل تعزف الكمان؟

أجاب العجوز: نغمات أشعة جاما فقط. إنه كمان كمي، ولا يعزف أي شيء آخر. امتلكت ذات مرة تشيللو كميًّا، يصدح بنغمات بصرية، إلا أن أحدهم استعاره ولم يُعِده مطلقًا.

طلب منه السيد تومبكينز: حسنًا، اعزف لي نغمات أشعة جاما. لم أسمعها من قبل على الإطلاق.

قال نحات الخشب وهو يرفع الكمان ليضعه على كتفه: حسنًا، سوف أعزف لك «النواة في سلم سي الحاد»، ولكن عليك أن تتجهز لسماع لحن حزين جدًّا.

جاءت الموسيقى عجيبة جدًّا حقًّا، لا تشبه أي شيء سمعه السيد تومبكينز من قبل. ثمة صخب مستمر لأمواج محيط تسارع نحو شواطئ رملية، تقطعه بين حين وآخر نغمة مدوية تذكِّره بصفير رصاصة مارة. لم يكن السيد تومبكينز موسيقيًّا بمعنى الكلمة، إلا أن هذه النغمة بذلت عليه تأثيرًا عجيبًا وقويًّا. تمدَّد متخذًا وضعًا مريحًا على كرسي عتيق ذي ذراعين وأغلق عينيه...

14

فجوات في العدم

السيدات والسادة:

أطلب منكم الليلة أن تولوني انتباهًا خاصًّا؛ إذ إن المسائل التي سوف أتعرض لها صعبة بقدر إثارتها للذهول. سوف أتحدث عن جسيمات جديدة، تُعرَف «بالبوزيترونات» تمتلك خواصَّ شديدة الغرابة. من المفيد جدًّا أن أنبِّه على أن التنبؤ بوجود هذا النوع الجديد من الجسيمات قام على أسسٍ واعتبارات نظرية بحتة قبل سنوات عديدة من رصدها فعليًّا، وأن الاستعراض النظري لخواصها الرئيسية ساعد بشكلٍ واسعٍ على اكتشافها تجريبيًّا.

يعود شرف القيام بهذا التنبؤ إلى الفيزيائي البريطاني بول ديراك، الذي سمعتم عنه، الذي وصل إلى استنتاجاته على أساس اعتبارات نظرية غريبة ومذهلة للغاية، رفض أغلب الفيزيائيين تصديقها وقتًا طويلًا جدًّا. من الممكن صياغة الفكرة الرئيسية لنظرية ديراك في هذه الكلمات البسيطة: «لا بد من وجود فجوات في الفضاء الفارغ». أرى أنكم تفاجأتم، حسنًا، تفاجأ بالمثل كل الفيزيائيين عندما نطق ديراك بهذه الكلمات المهمة. كيف من الممكن أن توجد فجوة في فضاء فارغ؟

هل لهذا أي معنى؟ نعم، إذا فرض الواحد أن ما يُطلَق عليه الفضاء الفارغ ليس فارغًا تمامًا بالفعل كما نظن. في الحقيقة يكمن المغزى الأساسي لنظرية ديراك في افتراض أن ما يُطلق عليه فضاء أو فراغ، هو مسكونٌ بكثافة في حقيقة الأمر بعددٍ لا نهائي من الإلكترونات السالبة العادية، مكدسة بطريقة منتظمة ومتجانسة جدًّا. لا حاجة إلى أن أقول إن هذه الفرضية القديمة لم تلح لعقل ديراك نتيجة خيال محض، لكنه كان مدفوعًا إليها إلى حدٍّ ما بسبب عددٍ من الاعتبارات الخاصة بنظرية الإلكترونات العادية. في الحقيقة، تقود النظرية إلى استنتاج حتمي، يذهب إلى وجود عددٍ لا نهائي «لحالات كمية سالبة» خاصة تنتمي إلى الفراغ المحض إلى جانب الحالات الكمية للحركة في الذرات، وإذا لم يمنع الواحد الإلكترونات من الذهاب إلى حالات الحركة «الأكثر راحة» المنتمية إلى الفراغ المحض، فسوف تهجر جميع الإلكترونات ذراتها، وسوف تذوب في الفضاء الفارغ، إذا جاز التعبير. علاوة على ذلك، بما أن الوسيلة الوحيدة لمنع إلكترون من الذهاب إلى حيث يرغب تتمثل في «شغل» هذه البقعة الخاصة بإلكترون ما آخر (تذكر باولي)، يجب أن تمتلئ كل هذه الحالات الكمية في الفراغ بالكامل بعدد لا نهائي من الإلكترونات، الموزعة بشكل متجانس عبر الفضاء كله.

أخشى من أن كلماتي تبدو مثل تعويذة علمية، وأنكم لا تستطيعون معرفة رؤوسكم من أرجلكم في خضم كل هذا، لكن الموضوع صعب جدًّا بالفعل، وليس أمامي إلا أن آمل في أنكم إذا واصلتم الإنصات في انتباه، فسوف تستطيعون في النهاية الحصول على تصور عن طبيعة نظرية ديراك.

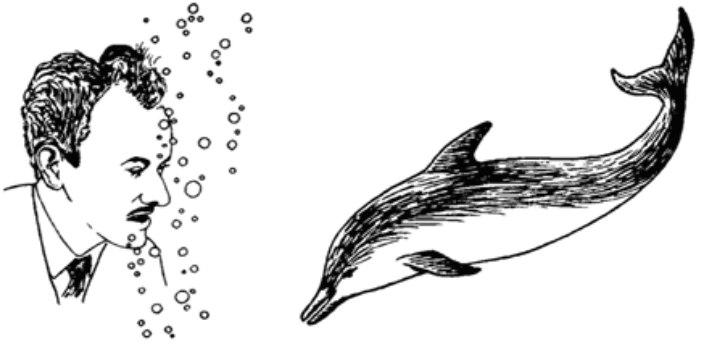
حسنًا، وصل ديراك بطريقة ما أو الأخرى إلى استنتاج أن الفضاء الفارغ ممتلئ بإلكترونات مكدسة، موزعة بشكل متجانس، لكن بكثافة كبيرة لا نهائية. كيف يحدث ذلك ولا نلاحظ تلك الإلكترونات على الإطلاق، ونعتبر الفراغ فضاء خاليًا تمامًا؟

قد تستوعبون الإجابة إذا وضعتم أنفسكم في محل سمكة تحيا في المياه العميقة معلقة في المحيط. هل تدرك السمكة، حتى لو كانت ذكية بما يكفي لتطرح مثل هذا السؤال، أنها محاطة بالماء؟

أعادت هذه الكلمات السيد تومبكينز من الغفوة التي سقط فيها في بداية المحاضرة. ظهر في هيئة صياد سمك، وشعر بنسيم البحر والأمواج الزرقاء المتلاطمة في نعومة. إلا أنه لم يستطع البقاء على السطح، وبدأ يغوص أعمق وأعمق نحو القاع على الرغم من إجادته للسباحة. الغريب أنه لم يشعر بنقصان الهواء بل كان مسترخيًا تمامًا. ربما ظن أن هذا تأثير طفرة متنحية خاصة.

يعود أصل الحياة إلى المحيط بحسب علماء الحفريات، كانت أولى الأسماك الطليعية التي خرجت إلى اليابسة، سمكة تُدعى السمكة الرئوية، زحفت إلى الشاطئ، ماشية على زعانفها. بحسب البيولوجيين، فهذه السمكة الرئوية الأولى، التي يُطلق عليها قرنية أسنان حديثة Neoceratodus في أستراليا، ورحناشة Protopterus في إفريقيا، وذَفَّافة Lepidosiren في أمريكا الجنوبية، تطورت تدريجيًّا إلى حيوانات تسكن الأرض، مثل الفئران والقطط والبشر. إلا أن بعضها مثل الحيتان والدلافين، بعد أن عرفت كل مشكلات الحياة على

اليابسة، عادت إلى المحيط. عندما عادت إلى الماء، استبقت الصفات التي اكتسبتها خلال صراعها على الأرض، وظلت ثدييات، تحمل إناثها ذريتها داخل أجسامها بدلًا من أن تكتفي بإنزال الكافيار ليخصبه الذكور لاحقًا. ألم يكن العالِم المجري الشهير ليو زيلاد مَن قال إن الدلافين أذكى من البشر[1]؟



ينخرط بول أدريان موريس ديراك في حوار مع دولفين

قطعت حبل أفكاره محادثة، تجري في مكان ما عميق تحت سطح المحيط بين دولفين وإنسان عاقل (هوموسابيان) نموذجي، عرف السيد تومبكينز (من الصورة الفوتوغرافية التي رآها يومًا) أنه الفيزيائي بول أدريان موريس ديراك، من جامعة كامبريدج.

(1) ليو زيلارد، صوت الدلافين وقصص أخرى (سيمون وشوستر، نيويورك، Leo Szilard, 1961 The Voice of the Dolphins and Other Stories (Simon and Schuster, New York, 1961).).

قال الدولفين: انظر هنا يا بول، أكدت على أننا لسنا في فراغ، بل في وسط مادي مكوَّن من جسيمات، ذات كتلة سالبة. على حد علمي، لا يختلف الماء على الإطلاق عن الفضاء الفارغ، إنه متجانس تمامًا ويمكنني أن أتحرك بحرية خلاله في جميع الاتجاهات. إلا أنني سمعت أسطورة من أسلاف أسلاف أسلاف أسلاف أسلافي أن اليابسة مختلفة تمامًا. ثمة جبال وأخاديد لا يمكن أن يعبرها الواحد من دون مجهود. هنا في الماء أستطيع أن أتحرك في أي اتجاه أختاره.

أجاب بول أدريان موريس: أنت على صواب فيما يخص ماء المحيط يا صديقي. يبذل الماء احتكاكًا على سطح جسمك، وإذا لم تحرك ذيلك وخياشيمك لن تستطيع أن تتحرك على الإطلاق. وكذلك، بسبب تغير ضغط الماء مع تغير العمق يمكنك أن تطفو إلى الأعلى أو أن تغوص إلى الأسفل عن طريق أن تبسط جسمك أو أن تقلصه. لكن إذا لم يكن للماء احتكاك وتَدَرُّج في الضغط فسوف تصير بلا حول مثل رائد فضاء نفد منه وقود الصاروخ. إن محيطي المكون من إلكترونات ذات كتل سالبة، بلا احتكاك بتاتًا ولذلك فهو غير قابل للرصد. لا يمكن إلا رصد غياب أحد الإلكترونات بواسطة أجهزة فيزيائية؛ إذ إن غياب شحنة كهربية سالبة يكافئ وجود شحنة كهربية موجبة، يستطيع كولوم نفسه أن يلاحظها.

«إلا أننا عند مقارنة محيط الإلكترونات الخاص بي بالمحيط العادي يجب أن نضع استثناء واحدًا مهمًّا لكي لا يحملنا هذا التشبيه بعيدًا للغاية. يكمن الأمر في أن الإلكترونات التي تُكَوِّن محيطي

خاضعة لمبدأ باولي، لذا من غير الممكن إضافة إلكترون واحد إلى المحيط عندما تكون كل المستويات الكمية الممكنة مشغولة. يجب أن يبقى مثل هذا الإلكترون الإضافي فوق سطح محيطي، ويستطيع التجريبيون تعيينه بسهولة. تتمثَّل مثل هذه الإلكترونات الإضافية في الإلكترونات التي اكتشفها للمرة الأولى السير جوزيف جون طومسون أو الإلكترونات التي تدور حول الأنوية الذرية أو تلك التي تحلق في الأنبوب المُفَرَّغ. قبل أن أنشر ورقتي العلمية الأولى في عام 1930 اعتبروا بقية الفضاء خاليًا، كما اعتقدوا أن الواقع الفيزيائي يعود فقط إلى الدفقات العَرَضية فوق سطح الطاقة الصفرية».

قال الدولفين: ولكن إذا كان محيطك غير قابل للرصد بسبب اتصاليته وغياب الاحتكاك، فما مغزى الحديث عنه؟

قال بول أدريان موريس: حسنًا، افترض أن قوة خارجية ما رفعت أحد الإلكترونات ذات الكتلة السالبة من عمق المحيط إلى فوق سطحه. في هذه الحالة، يزيد عدد الإلكترونات القابلة للرصد واحدًا، وهو ما يُعتبَر انتهاكًا لمبدأ الحفظ. إلا أن الفجوة الفارغة في المحيط التي أُزيل الإلكترون منها، صارت قابلة للرصد حاليًّا؛ إذ إن غياب الشحنة السالبة من توزيع متجانس، يُرصَد في صورة وجود كمية مساوية من الشحنة الموجبة. يمتلك هذا الجسيم المشحون بشحنة موجبة كتلة موجبة كذلك، ويتحرك في الاتجاه نفسه الذي لقوة الجاذبية.

سأل الدولفين في دهشة: تعني أنه سيطفو إلى الأعلى بدلًا من أن يغوص إلى الأسفل؟

«بالتأكيد. إنني في يقين من أنك قد رأيت الكثير من الأشياء التي تغوص نحو القاع، تشدها قوى الجاذبية نحو الأسفل: الأشياء التي تُلقى من فوق ظهر السفن، أو السفن نفسها أحيانًا» قطع بول أدريان موريس حديثه وقال: «ولكن انظر هنا! هل ترى هذه الأشياء الفضية الصغيرة التي تصعد إلى السطح؟ تتسبب في حركتها قوة الجاذبية، لكنها تتحرك في الاتجاه المعاكس».

رد الدولفين: لكنها ليست إلا فقاعات. من المحتمل أنها تهرب من شيء يحتوي على هواء، انقلب أو تهشم وهو يصطدم بالصخور في القاع.

«أنت محق، لكنك لن ترى فقاعات تطفو في الفراغ. وبالتالي فمحيطي ليس خاويًا».

قال الدولفين: إنها نظرية حاذقة جدًّا، ولكن هل هي صحيحة؟

قال بول أدريان موريس: عندما طرحتها في عام 1930، لم يصدقها أحد. كان الخطأ خطئي إلى حدٍّ كبير لأنني طرحت في الأصل أن هذه الجسيمات موجبة الشحنة ليست إلا البروتونات، المعروفة للتجريبيين. تعرف بالتأكيد أن البروتونات أثقل من الإلكترونات ب 1840 مرة، لكنني أملت أن أستطيع -مستعينًا بحيلة رياضية- تفسير هذه المقاومة الزائدة للتسارع تحت تأثير القوة المفترضة، وأن أحصل نظريًّا على العدد 1840. إلا أن ذلك لم ينجح، وجاءت الكتلة المادية للفقاعات في محيطي مساوية تمامًا لكتلة إلكترون عادي. أخذ باولي صديقي لأحد عشر عامًا، والذي يتمتع بالتأكيد بروح الدعابة، يتلهى

بإعلان ما أطلق عليه «مبدأ باولي الثاني». قَدَّر أن إلكترونًا عاديًّا إذا اقترب من فجوة تولدت عن إزالة إلكترون من محيطي فسوف يملؤها في فترة زمنية طفيفة. وعلى ذلك، إذا كان بروتون ذرة الهيدروجين «فجوة» حقًّا، فسوف تمتلئ في التو بالإلكترون العادي الذي يدور حولها، وسوف يختفي الجسيمان كلاهما في ومضة ضوء أو يجب أن أقول، ومضة إشعاع جاما. سوف يحدث الأمر نفسه بالتأكيد لذرات كل العناصر الأخرى. أما مبدأ باولي الثاني فيقتضي أن أي نظرية يطرحها فيزيائي تنطبق في الحال على المادة المكونة لجسمه، وعلى ذلك فسوف أفنى قبل أن أحظى بفرصة أن أخبر أي شخص آخر بفكرتي، هكذا بكل بساطة!

يختفي بول أدريان موريس مصحوبًا بومضة إشعاع لامعة.

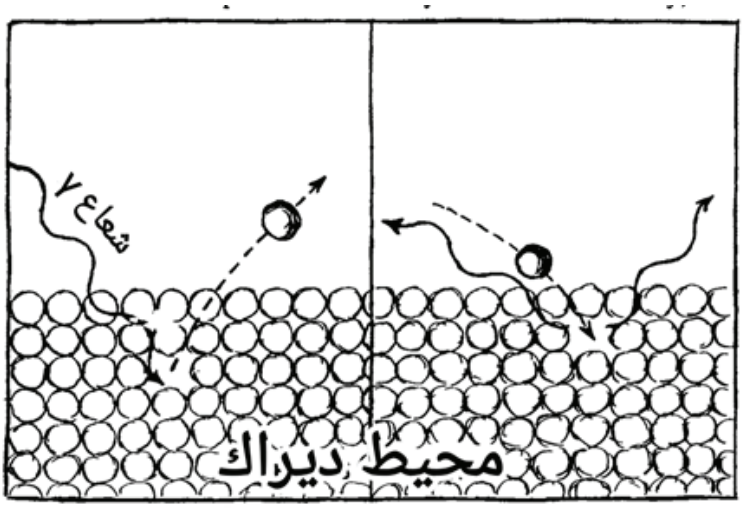
قال صوت ساخط في أذن السيد تومبكينز: سيدي، من حقك أن تنام في المحاضرة، لكن لا يجب أن تصدر شخيرًا؛ لا أستطيع سماع كلمة مما يقوله البروفيسور.

فتح السيد تومبكينز عينيه، فرأى حجرة المحاضرات المزدحمة مرة أخرى والبروفيسور العجوز، الذي أكمل حديثه:

دعونا نرى الآن ما يحدث عندما تلتقي فجوة مرتحلة بإلكترون فائض، يبحث عن مكان مريح في محيط ديراك. من الواضح أن هذا اللقاء سوف يسفر عن سقوط الإلكترون لا محالة في الفجوة ليملأها، وسوف يسجل الفيزيائي المندهش الذي يرصد العملية هذه الظاهرة في صورة فناء متبادل لإلكترون موجب وسالب. تنطلق الطاقة المتحررة

خلال السقوط في صورة إشعاع قصير الموجة، ليكون بمنزلة الذكرى الوحيدة المتبقية من إلكترونين أكلا أحدهما الآخر مثل الذئبين في قصة الأطفال المعروفة.

إلا أن الواحد قد يتخيل كذلك عملية عكسية، يتخلَّق فيها زوجان مكونان من إلكترون موجب وسالب من العدم بفعل إشعاع خارجي قوي. من منظور نظرية ديراك، تنحصر هذه العملية ببساطة في ركل إلكترون من التوزيع المتصل إلى الخارج، ولا يجب اعتباره «خَلقًا» بل بالأحرى انفصال لإلكترونين لهما شحنتان متضادتان. يُصَوِّر المخطط الذي أعرضه لكم الآن، عمليتَي «خلق» و«فناء» إلكتروني بأسلوب تخطيطي بسيط جدًّا، ترون أنه لا شيء غامض فيما يخص هذا الأمر. ويجب أن أضيف هنا أنه على الرغم من أن عملية خلق زوجين قد تحدث في الفراغ المطلَق بالمعنى الدقيق للكلمة، فاحتماليته صغيرة للغاية، قد تقول إن التوزيع الإلكتروني للفراغ سلس للغاية بحيث يصعب انفصال الزوجين. على الجانب الآخر، تزداد احتمالية خلق زوجين بصورة كبيرة ويسهل رصدها في وجود جسيمات مادية ثقيلة؛ إذ تعمل كنقطة داعمة لشعاع جاما الذي ينقب في التوزيع الإلكتروني.



فناء زوجين خلق زوجين

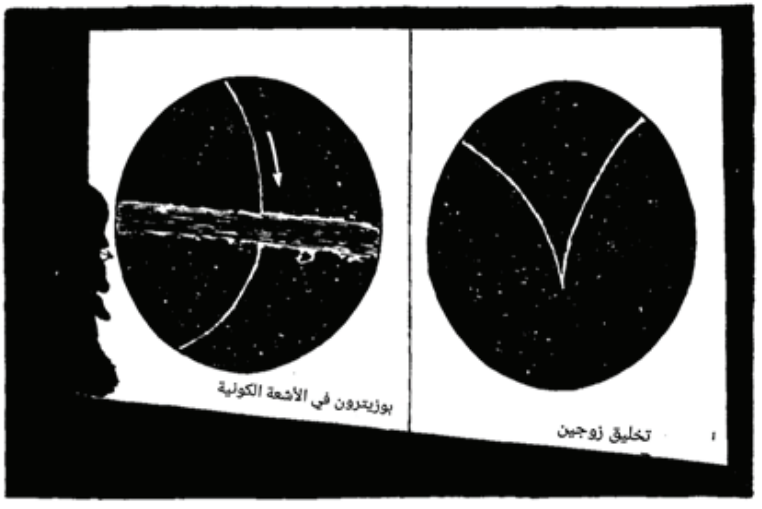
إلا أنه من الواضح أن البوزيترونات المتخلقة وفق الطريقة الموصوفة فيما سبق لن تتواجد لفترة طويلة جدًّا، وسوف تفنى سريعًا عندما تلتقي بأحد الإلكترونات السالبة التي تمتلك تفوقًا عدديًّا كبيرًا في ركننا من الكون. تقف هذه الحقيقة وراء الاكتشاف المتأخر نسبيًّا لهذه الجسيمات المثيرة. في الواقع، لم يظهر أول تقرير بخصوص الإلكترونات الموجبة إلا في أغسطس 1932 (نُشِرت نظرية ديراك في عام 1930) عن طريق الفيزيائي كارل أندرسون من كاليفورنيا، الذي وجد في أثناء دراسته للأشعة الكونية جسيمات، تشبه الإلكترونات العادية من جميع الأوجه فيما عدا اختلافًا وحيدًا مهمًّا أنها تحمل بدلًا من الشحنة الكهربية السالبة شحنة موجبة. وسرعان ما عرفنا بعد ذلك

طريقة بسيطة لإنتاج زوجين من الإلكترونات في ظروف معملية عن طريق إرسال أشعة قوية، لها تردد كبير، (أشعة جاما) خلال أي مادة.

سترون في اللوحة التالية التي سأعرضها لكم ما يُطلق عليه «صور الغرفة السحابية الفوتوغرافية» لبوزيترونات الأشعة الكونية ولعملية تخليق الزوجين نفسها. ولكن قبل ذلك يجب أن أشرح الطريقة التي حصلنا بها على هاتين الصورتين الفوتوغرافيتين. إن الغرفة السحابية أو غرفة ويلسون أحد أنفع أدوات الفيزياء التجريبية الحديثة، وتتأسس على حقيقة أن أي جسيم مشحون كهربيًّا يتحرك عبر غاز يُوَلِّد عددًا كبيرًا من الأيونات على طول مساره. إذا كان الغاز مشبعًا ببخار الماء، فسوف تتكثف قطرات صغيرة من الماء على هذه الأيونات، وبذلك تُكَوِّن طبقة رقيقة من الضباب، تمتد على طول المسار. عن طريق إضاءة هذا الشريط الضبابي بواسطة شعاع ضوء قوي أمام خلفية معتمة، نحصل على صور مثالية، تُظهِر كل تفاصيل الحركة.

الصورة الأولى المعروضة على الشاشة هي الصورة الفوتوغرافية الأصلية التي التقطها أندرسون لبوزيترون الأشعة الكونية، وهي بالمناسبة أول صورة تُلتَقَط لهذا الجسيم على الإطلاق. إن الشريط العريض الأفقي الذي يمر عبر الصورة هو لوح الرصاص السميك الموضوع عبر الغرفة، يُرى مسار البوزيترون في هيئة خدش منحنٍ رفيع يمر عبر اللوح. يظهر المسار منحنيًا لأن الغرفة السحابية وُضِعت في أثناء التجربة في مجال مغناطيسي قوي، يؤثر في حركة الجسيم. يُوَظَّف اللوح الرصاصي والمجال المغناطيسي لتحديد إشارة الشحنة الكهربية

التي يحملها الجسيم، ومن الممكن القيام بذلك على أساس الاستدلال التالي. من المعروف أن انحراف المسار الناتج عن المجال المغناطيسي يعتمد على إشارة الجسيم المتحرك. في هذه الحالة على وجه التحديد وُضِع المغناطيس بحيث تنحرف الإلكترونات السالبة إلى يسار الاتجاه الأصلي للحركة، في حين تنحرف الإلكترونات الموجبة إلى اليمين. وهكذا إذا كان الجسيم في الصورة الفوتوغرافية يتحرك إلى الأعلى فربما تكون شحنته سالبة. ولكن كيف نعرف الاتجاه الذي يتحرك نحوه؟ هنا يأتي دور لوح الرصاص. من المؤكد أن الجسيم يفقد بعض طاقته الأصلية بعد أن يعبر اللوح، وهكذا يصير التأثير الحارِف للمجال المغناطيسي أكبر. في الصورة الفوتوغرافية الحالية ينحرف المسار بشدة أكبر تحت اللوح (لا تكاد تمكن رؤية ذلك للوهلة الأولى، لكنه يتضح عند القياس). إذن يتحرك الجسيم إلى الأسفل وشحنته موجبة.



التقط الصورة الفوتوغرافية الأخرى جيمس تشادويك في جامعة كامبريدج وتُصَوِّر عملية تخليق زوجين في هواء الغرفة السحابية. يدخل شعاع جاما قوي من الأسفل، ولا ينتج عنه أي مسار مرئي في الصورة الفوتوغرافية، يُوَلِّد زوجين إلكترونيين في منتصف الغرفة، ويحلق الجسيمان منفصلين، وقد حرفهما المجال المغناطيسي القوي في اتجاهين متعاكسين. عندما تنظرون إلى هذه الصورة الفوتوغرافية قد تتساءلون لماذا لا يفنى البوزيترون (على اليسار) وهو في طريقه عبر الغاز. طرحت نظرية ديراك إجابة هذا السؤال كذلك، ومن السهل على أي شخص يلعب الجولف أن يفهمها. إذا ضربت كرة الجولف على الأرض العشبية للملعب بقوة كبيرة، لا تسقط في الفجوة حتى لو وجَّهتها بشكلٍ صحيح. في الحقيقة تقفز الكرة التي تتحرك سريعًا فوق الفجوة، تتدحرج من فوقها وتتجاوزها ببساطة. بالطريقة نفسها تمامًا، لا يسقط إلكترون يتحرك سريعًا في فجوة ديراك حتى تقل سرعته بشكلٍ ملحوظ. وهكذا، تزداد فرص فناء البوزيترون في نهاية مساره عندما يبطئ بسبب الاصطدام على طول مساره. في حقيقة الأمر، تكشف الأرصاد الدقيقة أن الإشعاع الذي يصاحب أي عملية فناء يظهر بالفعل عند نهاية مسار البوزيترون. تمثِّل هذه الحقيقة تأكيدًا إضافيًّا لنظرية ديراك.

تتبقى الآن نقطتان عامتان لنناقشهما. أولًا وقبل كل شيء، كنت أشير إلى الإلكترونات السالبة بوصفها فائضة عن محيط ديراك، وإلى البوزيترونات بوصفها فجوات فيه. إلا أن الواحد يستطيع أن يعكس المنظور ويعتبر أن الإلكترونات المعتادة هي الفجوات، مانحًا

البوزيترونات دور الجسيمات الملفوظة. ولكي نقوم بذلك، ليس علينا إلا أن نفترض أن محيط ديراك لا يفيض، بل على العكس من ذلك، ثمة نقص دائم في الجسيمات. في هذه الحالة، قد نتصور توزيع ديراك في هيئة شيء، يشبه الجبن السويسري، الذي يحتوي على الكثير من الفجوات. بسبب النقص العام في الجسيمات، تتواجد الفجوات بشكلٍ دائم، وإذا أُلقي بأحد الجسيمات خارج التوزيع، فسرعان ما سيهوي عائدًا مرة أخرى إلى إحدى الفجوات. إلا أنني يجب أن أنص على أن الصورتين كلتيهما متكافئتان تمامًا من منظور فيزيائي ورياضي كذلك، ولا يهم أي صورة نختارها من بينهما إذ لا تحملان اختلافًا فعليًّا.

يمكننا طرح النقطة الثانية في صورة السؤال التالي: «إذا كانت ثمة غلبة واضحة لعدد الإلكترونات السالبة في الجزء الذي نعيش فيه من العالَم، فهل علينا أن نفترض أن هذا الوضع معكوس في بعض الأجزاء الأخرى من الكون؟» بمعنى آخر، هل يُعَوَّض فيض محيط ديراك في جوارنا بنقصٍ في هذه الجسيمات في مكان آخر؟

من الصعب جدًّا الإجابة عن هذا السؤال المثير للغاية. في الحقيقة، بما أن الذرات المكوَّنة من إلكترونات موجبة تدور حول أنوية سالبة لها الخواص البصرية نفسها التي للذرات العادية، فما من وسيلة لحسم إجابة هذا السؤال عن طريق أي رصدٍ طيفي. على حد علمنا، من المحتمل أن المادة المكونة -فلنقل- لسديم أندروميدا (المرأة المسلسلة) العظيم من هذا النوع المقلوب، إلا أن الوسيلة الوحيدة للبرهنة على ذلك تتمثل في القبض على قطعة من تلك المادة، لنرى ما إذا كانت تفنى أو لا تفنى

عندما تلامس المواد الأرضية. سوف يحدث انفجار مروع بالتأكيد! ثارت مؤخرًا أحاديث حول احتمالية أن تكون بعض الشهب التي تنفجر في الغلاف الجوي للأرض مكونة من هذه المادة المقلوبة، لكنني لا أظن أننا يجب أن نولي ذلك الأمر هذا القدر من الأهمية. في الحقيقة، من المرجح للغاية أن يبقى هذا السؤال بخصوص فيض وجفاف محيط ديراك في مختلف أجزاء الكون غير مجاب إلى الأبد.

15

السيد تومبكينز يتذوق وجبة يابانية

في إحدى إجازات نهاية الأسبوع سافرت مود لزيارة عمتها في يوركشاير، دعا السيد تومبكينز البروفيسور ليتناول العشاء معه في مطعم سوكيياكي الشهير. جلسا على وسادتين طريتين إلى طاولة منخفضة، أخذا يستمتعان بكل أطايب المطبخ الياباني ويرشفان الساكي من كؤوس صغيرة.

قال السيد تومبكينز: أخبِرني، لقد سمعت في ذلك اليوم د. تالركين يقول في محاضرته إن البروتونات والنيوترونات في النواة ممسوكة معًا بقوى نووية من نوع ما. هل هي القوى نفسها التي تمسك بالإلكترونات في ذرة؟

أجاب البروفيسور: أوه، لا! إن القوى النووية شيء مختلف تمامًا. ترتبط إلكترونات الذرة بالنواة عن طريق القوى الكهروستاتيكية المعتادة التي درسها للمرة الأولى بشكلٍ مُفَصَّل الفيزيائي الفرنسي شارل أوجستان دي كولوم، بالقرب من نهاية القرن الثامن عشر. إنها ضعيفة نسبيًّا، وتتناسب عكسيًّا مع مربع المسافة من المركز. أما القوى النووية فمختلفة تمامًا. عندما يقترب بروتون ونيوترون أحدهما من

الآخر، ولكن من دون تلامس مباشر بعد، فمن الناحية العملية لا وجود لقوة بينهما. إلا أنه فور أن يتلامسا، تظهر قوة شديدة للغاية تمسك بهما معًا. يشبه الأمر قطعتين من شريط لاصق، لا يجذب أحدهما الآخر ولو من مسافة قصيرة، لكنهما يلتصقان معًا مثل أخوين فور أن يتماسا. يُطلِق الفيزيائيون على هذه القوى «التآثر القوي». إنها مستقلة عن الشحنة الكهربية للجسيمين، وقوتها متساوية بين بروتون ونيوترون أو بين بروتونين أو بين نيوترونين. [نعرف حاليًّا أن قوى التآثر القوي هي التي تمسك بالكواركات المكونة للبروتونات والنيوترونات، في حين تربط القوة الشديدة المتبقية البروتونات والنيوترونات معًا، وقد سميت بالمتبقية لأنها بالفعل تعتبر بقايا قوى التآثر القوي. نعرف كذلك أن التآثر القوي ينتج عن تبادل الجلوونات بين الكواركات، في حين تعمل القوى القوية المتبقية من خلال ميزونات π و ρ].

سأل السيد تومبكينز: هل ثمة نظريات أخرى تفسر هذه القوى؟

«أوه، نعم، في أوائل الثلاثينيات طرح يوكاوا هيديكي أنها تعود إلى تبادل جسيمات غير معروفة بعد بين النيوكليونات. والنيوكليون اسم جامع للبروتون والنيوترون. عندما يقترب نيوكليونان أحدهما من الآخر، تبدأ تلك الجسيمات الغامضة في القفز ذهابًا وعودة بينهما، ما يؤدي إلى قوة ربط قوية، تمسك بهما معًا. استطاع يوكاوا أن يُقَدِّر كتلة تلك الجسيمات الغامضة نظريًّا، وجاءت أكبر ب 200 مرة من كتلة إلكترون أو أصغر 10 مرات من كتلة بروتون أو نيوترون. لذلك أُطلِق عليها «ميزاترونات». ثم اعترض والد فيرنر هايزنبرج، بروفيسور

اللغات الكلاسيكية على هذا الانتهاك لليونانية. فكما ترون اشتُقَّ اسم «إلكترون» من الكلمة اليونانية ήλεκτρο والتي تعني «كهرمان»، في حين جاء «بروتون» من الكلمة اليونانية πρώτος والتي تعني «أول». إلا أن اسم جسيم يوكاوا مشتق من الكلمة اليونانية μέσος والتي تعني «وسط» والتي لا تحتوي على حرف r فيها. لذلك طرح هايزنبرج تغيير اسم الميزاترونات إلى ميزونات. اعترض بعض الفيزيائيين الفرنسيين، فبغض النظر عن التهجئة، تشبه كلمة ميزون الكلمة الفرنسية maison التي تعني «بيتًا أو منزلًا». إلا أن الغلبة لم تكن للفرنسيين، وترسخ مصطلح ميزون بشدة. ولكن انظر إلى خشبة المسرح! يوشكون على تنفيذ عرض الميزون».

وبالفعل، خرجت ست من فتيات الجيشا، وبدأن في تنفيذ استعراض بيلبوكيه، وفيه يرمين كرة بين كأسين، منهما وإليهما، تمسك كل واحدة منهما بالكأسين، واحدة في كل يد. ظهر وجه رجل في الخلفية يغني:

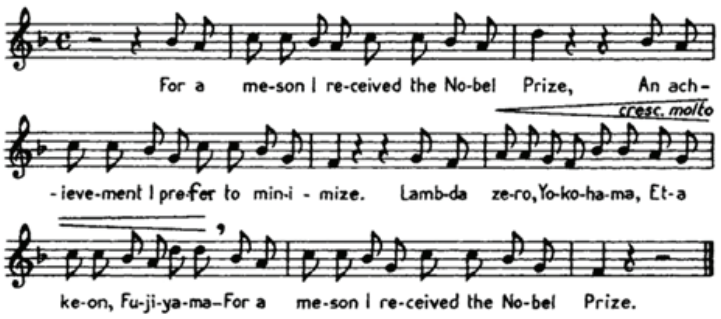
من أجل ميزون حصلت على جائزة نوبل،
إنجاز أُفَضِّل التقليل منه.
لامبدا زيرو، يوكوهاما،
إيتا كاون، فوجياما –
من أجل ميزون حصلت على جائزة نوبل.
اقترحوا أن نطلق عليه يوكون في اليابان.

رفضت، فأنا رجل متواضع جدًّا.

لامبدا زيرو، يوكوهاما،

إيتا كاون، فوجياما –

اقترحوا أن نطلق عليه يوكون في اليابان.



سأل السيد تومبكينز: ولكن لماذا يوجد ستة أزواج من الجيشا؟

قال البروفيسور: تمثل ثلاثة احتمالات لتبادل الميزون. قد يوجد ثلاثة أنواع من الميزونات: موجبة الشحنة وسالبة الشحنة والمتعادلة كهربيًّا. ربما يشارك ثلاثتهم جميعًا في توليد القوى النووية.

قال السيد تومبكينز وهو يعد على أصابعه: إذن يوجد الآن ثمانية جسيمات أولية، النيوترونات والبروتونات (الموجبة والسالبة) والإلكترونات الموجبة والسالبة وأنواع الميزونات الثلاثة.

قال البروفيسور: أوه! ليست ثمانية، لكنها قريبة من الثمانين. في البداية وجدنا نوعين من الميزونات: الثقيلة والخفيفة، ونرمز لهما بالحرفين اليونانيين π و μ وندعوهما بيونات وميوونات. تتولد

البيونات على حواف الغلاف الجوي عن طريق اصطدام البروتونات ذات الطاقة الكبيرة جدًّا بالغازات المكونة للهواء. ولكنها غير مستقرة إطلاقًا، وتتحلل قبل أن تصل إلى سطح الأرض إلى ميوونات. وأغرب الجسيمات على الإطلاق النيوترينوات، التي لا تمتلك كتلة أو شحنة فهي حاملة للطاقة فقط. [نعرف حاليًّا أن للنيوترينو كتلة ضئيلة للغاية فهو أخف من أخف الجسيمات بمليون مرة]. للميوونات عمر أطول بعض الشيء، ميكروثوانٍ قليلة، لذلك تنجح في الوصول إلى سطح الأرض، ويتحلل الميوون تحت أعيننا إلى إلكترون عادي واثنين من النيوترينو. وثمة جسيمات كذلك نرمز إليها بالرمز k وتُعرَف باسم الكاونات.

]نعرف حاليًّا أن الميزونات تتكوَّن كذلك من كواركات (كوارك وكوارك مضاد). أما الجسيمات الأساسية بحسب النموذج القياسي للجسيمات فهي 17.. بوزون هيجز والفوتون وبوزون W وبوزون Z والجلوون والكوارك العلوي والكوارك السفلي والكوارك القمي والكوارك القعري والكوارك الغريب والكوارك الساحر والإلكترون والتاو والميوون ونيوترينو الإلكترون ونيوترينو التاو ونيوترينو الميوون].

ثلاثة من الجيشا أخذن يلعبن مباراة بيلبوكيه غريبة

سأل السيد تومبكينز: ما نوع الجسيمات التي تستخدمها فتيات الجيشا في لعبتهن؟

«أوه، على الأرجح بيونات، النوع المتعادل كهربيًّا منها، إنها الأهم من بينها، لكنني لست متأكدًا. إن أغلب الجسيمات الجديدة التي نكتشفها حاليًّا كل شهر تقريبًا قصيرة العمر جدًّا، حتى تلك المتحركة بسرعة الضوء تتحلل في خلال مسافة تُقدَّر بعدة سنتيمترات من مصدرها، لذلك لا ترصدها الأدوات التي نرسلها إلى الغلاف الجوي على متن المناطيد.

«إلا أن لدينا حاليًّا مسرعات جسيمات قوية، تُسَرِّع البروتونات إلى الطاقة الكبيرة نفسها التي تصل إليها في الأشعة الكونية: آلاف مليون

الإلكترون فولت. يطلق على إحدى هذه الآلات اللورانسترون، تقع على مقربة من هنا، أعلى التل ومن دواعي سروري أن أريها لك».

وصلت بهما رحلة قصيرة بالسيارة إلى مبنى كبير يستضيف آلة تسريع الجسيمات. عندما دخلا إلى المبنى، ذُهِل السيد تومبكينز من تعقيد هذه الأداة العملاقة. إلا أن البروفيسور طمأنه إلى أن هذه الآلة ليست أعقد من حيث المبدأ من المقلاع الذي استخدمه داوود لقتل جالوت. تدخل الجسيمات المشحونة إلى منتصف الأسطوانة العملاقة، وتتحرك على طول المسارات الحلزونية، تُسَرِّعها نبضات كهربية متناوبة، ويبقيها في مسارها مجال مغناطيسي قوي.

قال السيد تومبكينز: أظن أنني رأيت شيئًا مماثلًا لهذا من قبل عندما زرت السيكلوترون، الذي اعتادوا أن يطلقوا عليه «محطم الذرات» منذ عدة سنوات.

قال البروفيسور: أوه، نعم، إن الآلة التي رأيتها من قبل ابتكرها في الأصل د. لورانس. تتأسس الآلة التي تراها هنا على المبدأ نفسه، ولكن بدلًا من تسريع الجسيمات إلى عدة ملايين الفولتات، يمكنها تسريعها إلى عدة آلاف مليون فولت. أُنشئت آلتان منهما مؤخرًا في الولايات المتحدة الأمريكية. إحداهما في بيركلي، كاليفورنيا، ويطلق عليها بيفاترون لأنها تُوَلِّد جسيمات، لها طاقة تُقَدَّر ببلايين الإلكترون فولت. إنه اسم أمريكي تمامًا لأن «البليون» في تلك البلد هو الألف مليون. أما في المملكة المتحدة فالبليون يعني مليون مليون، ولم يحاول أحد في إنجلترا العتيقة الطيبة الوصول إلى تلك الدرجة بعد. يُطلَق على مُسَرِّع

جسيمات أمريكي آخر في بروكهافن، لونج أيلاند اسم كوزموترون، ويحمل نوعًا من المبالغة؛ إذ للأشعة الكونية الطبيعية طاقة أكبر كثيرًا من تلك التي يستطيع الكوزموترون أن يوفرها. [كوزموس في الإنجليزية تعني كونًا] أما في أوروبا، فقد أنشؤوا في سيرن (بالقرب من جنيف) مُسَرِّع جسيمات يشبه الاثنين الأمريكيين. وفي روسيا لا تزال توجد آلة أخرى من النوع نفسه، في مكان غير بعيدٍ عن موسكو، تُعرَف باسم خروتشوفترون، ومن المحتمل أن يعيدوا تسميتها حاليًّا إلى بريجنيفترون». [خروتشوف وبريجنيف رئيسان روسيان، وقد خلف بريجنيف خروتشوف في أوائل ستينيات القرن الماضي].

عندما نظر السيد تومبكينز حوله، لاحظ بابًا يحمل لافتة:

منشأة ألفاريز لحمام الهيدروجين السائل

سأل،: ماذا يوجد هناك؟

قال البروفيسور: أوه! يُوَلِّد اللورانسترون هنا المزيد والمزيد من الجسيمات الأولية المختلفة، بطاقات أكبر وأكبر، وعلى الواحد أن يحللها عن طريق رصد مساراتها وحساب كتلها وعمرها وتفاعلاتها والكثير من الخواص الأخرى مثل الغرابة والتماثل ... إلخ. استخدموا في الأزمنة القديمة ما يُعرَف باسم الغرفة السحابية التي اخترعها تشارلز طومسون ريس ويلسون، الذي نال عنها جائزة نوبل في عام 1927. في ذلك الوقت، أُرسِلت الجسيمات السريعة المشحونة كهربيًّا ذات الطاقة المُقَدَّرة بملايين الإلكترون فولت، التي درسها الفيزيائيون، عبر غرفة

لها قمة زجاجية، وبها هواء مشبع إلى الحد الأقصى ببخار الماء. عند رج قعر الغرفة، يبرد الهواء داخلها بسبب التمدد، ويصير بخار الماء فائق التشبع. وهكذا يجب أن يتكثف جزء من البخار إلى قطرات ماء صغيرة جدًّا. اكتشف ويلسون أن تكثف الماء إلى بخار يجري بوتيرة أسرع حول الأيونات، أي جسيمات الغاز المشحونة كهربيًّا. إلا أن الغاز يتأين على طول مسارات المقذوفات المشحونة كهربيًّا التي تمر عبر الغرفة. وهكذا تصير الشرائط الغائمة الضبابية المضاءة بمصدر ضوئي موجود على جانب الغرفة، مرئية على قعر الغرفة المطلية بالأسود. تَذكُر بالتأكيد استعراضي لتلك الصور الفوتوغرافية في المحاضرة السابقة.

تتضاعف الجسيمات مثل الأرانب

«يختلف الأمر في حالة جسيمات الأشعة الكونية ذات الطاقات الأكبر بآلاف المرات من تلك التي اعتدنا دراستها في السابق، يختلف

الوضع لأن مساراتها أطول كثيرًا بحيث تصير الغرف السحابية أصغر للغاية، ولا يمكنها أن تتتبع المسارات من البداية إلى النهاية، ومن ثَمَّ لا نستطيع رصد إلا جزء صغير فقط من الصورة الكاملة.

«أحرز الفيزيائي الأمريكي الشاب دونالد آرثر جلاسر خطوة واسعة مؤخرًا، أمَّنت له الحصول على جائزة نوبل في عام 1960. بحسب قصته، فقد كان جالسًا ذات مرة مكتئبًا في حانة يشاهد الفقاعات تصعد في زجاجة البيرة القائمة أمامه. فكر إذ فجأة، حسنًا، إذا استطاع تشارلز طومسون ريس ويلسون أن يدرس قطرات سائل في غاز، فلماذا لا أستطيع القيام بما هو أفضل عن طريق دراسة فقاعات غاز في سائل؟» استكمل البروفيسور حديثه: «لن أناقش التفاصيل التقنية هنا، والصعوبات المتعلقة بتصميم الأداة، تفوق جميعها قدرتك على الاستيعاب. ولكن اتضح أن السائل فيما صرنا ندعوه الآن غرفة الفقاقيع يجب أن يكون الهيدروجين السائل، درجة حرارته خمسمائة وخمسين درجة فهرنهايت تحت درجة تجمد الماء، وذلك لكي يعمل بالشكل المناسب. في الغرفة المجاورة وعاء كبير أنشأه لويس ألفاريز، مملوء بالهيدروجين السائل، يطلقون عليه عادة «حوض حمام ألفاريز»».

صاح السيد تومبكينز: برررر... إنه بارد قليلًا بالنسبة إليَّ؟

«أوه، لن تحتاج إلى دخوله. ستشاهد مسارات الجسيمات فقط عبر الجدران الشفافة».

يعمل حوض الحمام كالعادة، تلتقط كاميرات الفلاش الموضوعة في كل مكان حوله سلسلة مستمرة من اللقطات. وُضِع الحوض داخل

مغناطيس كهربي كبير، يحرف المسارات من أجل تقدير سرعة حركتها.

قال ألفاريز: يستغرق توليد صورة فوتوغرافية مفردة دقائق قليلة فقط، تُضاف إلى مئات الصور كل يوم، بشرط ألا يتعطل الجهاز ويحتاج إلى إصلاح. يجب النظر مليًّا بعناية إلى كل صورة فوتوغرافية، يُحَلَّل كل مسار ويُقاس انحرافه بعناية. قد يستغرق ذلك أي قدر من الوقت من عدة دقائق إلى ساعة، بناء على مقدار أهمية الصورة، ومدى السرعة التي تعمل بها الفتاة التي تحللها.

قاطعه السيد تومبكينز: لماذا قلت «فتاة»؟ هل هي وظيفة نسائية بحتة؟

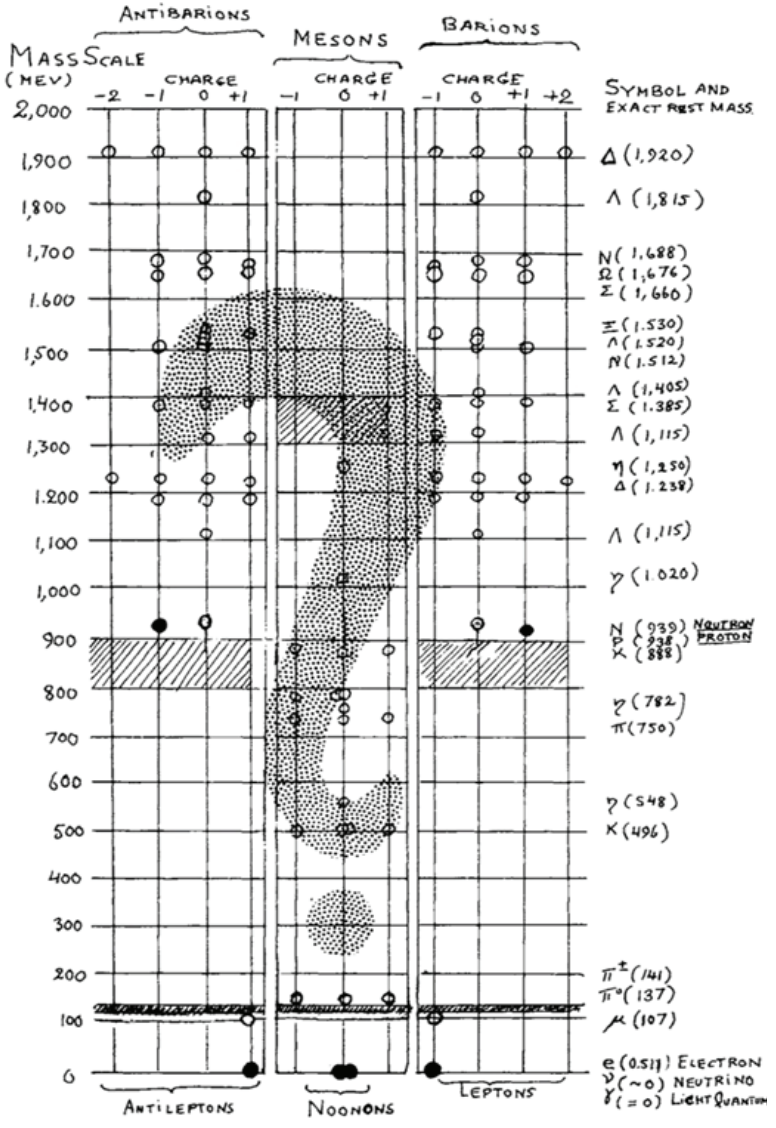
قال ألفاريز: أوه لا، إن كثيرًا من هؤلاء الفتيات فتيان بالفعل. لكننا في هذا النوع من العمل نستخدم مصطلح فتاة بغض النظر عن الجنس، باعتباره ببساطة وحدة الكفاءة والدقة. عندما تفكر في الكتابة على الآلة الكاتبة أو إدارة مكتب، تفكر دائمًا في امرأة، لا رجل، كاتبة على الآلة الكاتبة أو سكرتيرة. حسنًا، نحتاج من أجل أن نحلل في التوِّ كل الصور الفوتوغرافية التي نحصل عليها في المعمل إلى مئات الفتيات، وهو ما يمثِّل مشكلة. لذلك نرسل عددًا كبيرًا من صورنا الفوتوغرافية إلى جامعات أخرى، لا تملك المال الكافي لإنشاء اللورانسترون وحمام الفقاعات، لكنها تستطيع تحمُّل كلفة شراء أدوات تحليل الصور الفوتوغرافية.

سأل السيد تومبكينز: هل أنتم المؤسسة الوحيدة التي تقوم بهذا العمل؟

«أوه، لا! توجد آلات مشابهة في مختبر بروكهافن الوطني في لونج أيلاند، نيويورك، وفي سيرن (المنظمة الأوروبية للأبحاث النووية) المختبر الذي يقع بالقرب من جنيف في سويسرا، وفي مختبر شيلكونشيك (كسارة البندق) بالقرب من موسكو في روسيا. تبحث جميعها عن إبرة في كومة قش، وبفضل الله يجدون واحدة كل حين!».

سأل السيد تومبكينز في دهشة: ولكن لماذا تقومون بكل هذا العمل؟

«من أجل العثور على جسيمات أولية جديدة، وهو أمر أصعب من العثور على إبرة في كومة قش، ومن أجل دراسة التآثر فيما بينها. معلق هنا على الحائط جدول للجسيمات وهو يحتوي بالفعل على عدد منها أكبر من عدد العناصر في جدول مندليف».



أعقد من الجدول الدوري لمندليف! (After G. F. Chow, M. GellMann and A.

(H. Rosenfeld, in Scientific American, February 1964.

سأل السيد تومبكينز: ولكن لماذا تُبذَل مثل هذه الجهود المروعة من أجل العثور على جسيمات جديدة؟

رد البروفيسور: حسنًا، هذا هو العلم، محاولة العقل البشري لفهم كل شيء من حوله، سواء كانت مجرات نجمية عملاقة أو بكتيريا مجهرية أو هذه الجسيمات الأولية. إنه أمر مثير وحماسي ولهذا السبب نقوم به.

«ولكن ألا يخدم تطور العلم أغراضًا عملية عن طريق تحسين رغد ورفاهة الناس؟».

«يفعل بالتأكيد، لكنه غرض ثانوي فقط. هل تظن أن الغرض الأساسي للموسيقى تعليم عازفي البروجي إيقاظ الجنود في الصباح أو دعوتهم إلى وجبات الطعام أو تنظيمهم من أجل الذهاب إلى معركة؟ يقولون «الفضول يقتل القطة»، وأقول «الفضول يصنع عالِمًا».

وعند هذه الكلمات تمنَّى البروفيسور للسيد تومبكينز ليلة طيبة.

الفهرس

مقدمة المترجم 7

تقديم 19

1 – مدينة حد سرعة الضوء 21

2 – محاضرة البروفيسور عن النسبية التي تسبَّبت
في حلم السيد تومبكينز 32

3 – السيد تومبكينز في إجازة 46

4 – محاضرة البروفيسور عن الفضاء المنحنيوالجاذبية والكون 62

5 – الكون النابض 79

6 – الأوبرا الكونية 94

7 – البلياردو الكمي 111

8 – الأدغال الكمية 137

9 – عفريت ماكسويل 149

10 – عشيرة الإلكترونات المرحة 172

½ 10 – جزء من المحاضرة السابقة التي
نام السيد تومبكينز في أثنائها 192

12 – داخل النواة 202

13 – نحات الخشب 219

14 – فجوات في العدم 241

15 – السيد تومبكينز يتذوق وجبة يابانية 256