

# فيزياء الكوانتم

حقيقة أم خيال؟

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

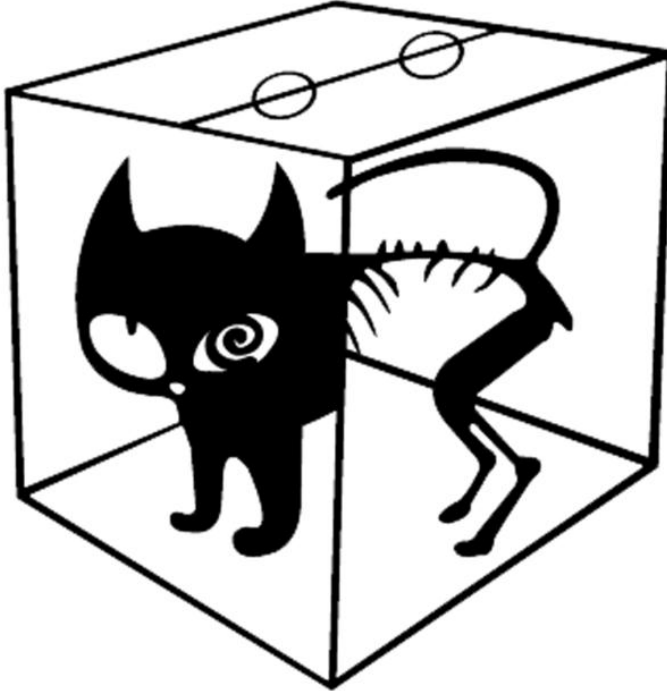


# فيزياء الكوانتم

حقيقة أم خيال؟

ترجمة: أسامة عباس

تأليف: أليستر راهي



تقديم: د. محمد العوضي

## Quantum Physics

Illusion or Reality?

Alastair I. M. Rae

## فيزياء الكوانتم

حقيقة أم خيال؟

أليستر راي

ترجمة: أسامة عباس

مراجعة لغوية: دعاء توفيق

الطبعة الأولى: يناير ٢٠١٦

رقم الإيداع: ٢٣٣٢٥ / ٢٠١٥



الترقيم الدولي: ٩٧٨-٩٧٧-٦٥٤٥-٠١-٤

الآراء الواردة في هذا الكتاب لا تعبر بالضرورة عن وجهة نظر (مركز براهين)، وإنما بالأحرى عن وجهة نظر المؤلف.

مركز براهين للأبحاث والدراسات

أرقام المبيعات: ٠١٠٦٤٨٠٠٠٩٤ - (٠٠٢)٠١٠١٥٥٧٧٤٦٠

بريد المبيعات: sales@braheen.com

صفحات المبيعات: braheen\_books  braheen.bookstore 

يمنع نسخ أو استعمال أي جزء من هذا الكتاب بأية وسيلة تصويرية أو إلكترونية أو ميكانيكية، ويشمل ذلك التصوير الفوتوغرافي والتسجيل على أشرطة أو أقراص مضغوطة أو استخدام أي وسيلة نشر أخرى، بما في ذلك حفظ المعلومات واسترجاعها، دون إذن خطي من الناشر.

Arabic Language Translation Copyright © 2016 for Braheen Center  
Quantum Physics: Illusion or Reality?

By Alastair I. M. Rae

Published by arrangement with **Cambridge University Press**,  
Responsibility for the accuracy of the translation rests solely  
with **Braheen Center** and is not the responsibility of  
**Cambridge University Press**. No part of this book may be  
reproduced in any form without the written permission of  
the original copyright holder.

**Braheen Center for Research and Studies, Ltd.**

للنقاش أو الاستفسار بخصوص  
المسائل العلمية الواردة في الكتاب  
يرجى مراسلتنا على البريد التالي:  
[info+qp@braheen.com](mailto:info+qp@braheen.com)



«مركز براهين» لدراسة الإلحاد ومعالجة النوازل العقديّة هو مركز بحثي مستقل، يعمل كمؤسسة غير ربحية مرخصة في لندن بالمملكة المتحدة، ويعنى فقط بالعمل في المجال البحثي الأكاديمي لتوفير إصدارات متعددة (كتابية - مرئية - سمعية) على درجة عالية من الدقة والموضوعية والتوثيق يسعى من خلالها لتحقيق رسالته.

• رؤية المركز: عالم بلا إلحاد.

• رسالة المركز: المساهمة النوعية في تفكيك الخطاب الإلحادي ونقد مضامينه العلمية والفلسفية وأبعاده التاريخية والأخلاقية والنفسيّة والاجتماعية وبناء التصورات الصحيحة عن الدين والإنسان والحياة ومعالجة النوازل العقديّة انطلاقاً من أصول الشريعة ومحكمات النصوص كل ذلك بلغة علمية رصينة وأسلوب تربوي هادف.

# BRAHEEN CENTER

*for Studying Atheism*  
and Contemporary Issues of Faith

27 Old Gloucester Street, London,  
United Kingdom, WC1N 3AX

رئيس مجلس الإدارة: عبد الله بن سعيد الشهري

المدير العام: م. أحمد محمد حسن

مدير العلاقات العامة والإعلام: د. هشام عزمي

مدير الشؤون الإدارية والتنسيق: عمار سليمان

إدارة الأقسام البحثية: أحمد يحيى (قسم البحوث البيولوجية) -  
رضا زيدان (قسم البحوث الفلسفية) - مصطفى نصر قديح  
(قسم البحوث الفيزيائية) - د. هيثم طلعت (قسم العلوم  
الإنسانية)

إدارة قسم الترجمة: د. مؤمن الحسن - د. موسى إدريس

مستشار الشؤون القانونية: أ. محمود بسيوني عبد الله

الموقع الرسمي: [www.braheen.com](http://www.braheen.com)

للتواصل والاستفسارات: [info@braheen.com](mailto:info@braheen.com)





**هو أعلم!**

**بقلم / د. محمد العوضي**

## هم أعلى!

لَمَّا كَانَ الْعِلْمُ قُوَّةً كَانَتْ أَعْلَى مَظَاهِرِ الْحَضَارَةِ مَنَابِرَ الْعِلْمِ، فَاسْتَعْلَى ذَلِكَ الدَّاعُونَ لِأَيْدِيُولُوجِيَّاتِهِمْ بِصَنْعِ مَنَابِرٍ مَزْخَرَفَةٍ بِالتَّظَاهِرِ وَالتَّعَالِي. فَادْخَلَ هَؤُلَاءِ الْفِيْزِيَاءُ فِي مَعْرَكَةِ الْفَلْسَفَةِ، مَعَ أَنَّ الْفِيْزِيَاءَ عِلْمٌ لَمْ يَحْسَمْ كَلِمَتَهُ النَّهَائِيَّةَ بَعْدَ فِي قَضَايَا كَثِيرَةٍ، فَإِنَّ الْفِيْزِيَاءَ الْمَعَاصِرَةَ كَلَّهَا وَصَلَتْ مِنْ عَقُودٍ إِلَى حُدُودٍ غَيْرِ مَرْتَبَةٍ تُذْهِلُ الْعُلَمَاءَ إِلَى الْآنَ فِيمَا لَا يَقْتَدِرُونَ عَلَى تَفْسِيرِهِ. وَمَعَ أَنَّ مَجَالَ الْفَلْسَفَةِ أَوْسَعَ مِنْ ضَيْقِ التَّجَارِبِ وَمَا نَصَلَ إِلَيْهِ مِنْ عِلَاقَاتٍ فِيْزِيَائِيَّةٍ تَحْقِيقًا أَوْ فَرْضًا.

وَالْمَلَا حِظَّ أَنَّ مِنَ الْفِيْزِيَائِيِّينَ مَنْ يَخُوضُ فِي تَفْسِيرِ وَجُودِ الْعَالَمِ بِنَاءٍ عَلَى نَظَرٍ فِيْزِيَائِيٍّ مَنقُوعٍ عَنِ النَّظَرِ الْمُنطِقِيِّ، لِقَلَّةِ اكْتِرَاطِ أَوْ لِعَدَمِ التَّصْديقِ بِالْحَقِيقَةِ الْمُنطِقِيَّةِ! مَعَ أَنَّ ثُبُوتَ الْفِيْزِيَاءِ فِرْعَ ثُبُوتِ الْمُنطِقِ، فَإِنَّ أَيَّ عِلَاقَةٍ فِيْزِيَائِيَّةٍ لَا تَكُونُ صَحِيحَةً إِلَّا بِثُبُوتِ طَرَفِيهَا وَثُبُوتِ النِّسْبَةِ بَيْنَهُمَا، فَلَوْ اخْتَلَّ الْحُكْمُ الْمُنطِقِيُّ اخْتَلَّتْ الْعِلَاقَةُ الْفِيْزِيَائِيَّةُ نَفْسَهَا.

وَلَيْتَ الْمَشْكَالَةَ فِي الْفِيْزِيَاءِ مَنحَصِرَةً فِي اخْتِلَافِ التَّفْسِيرِ، بَلْ هِيَ قَدْ أُفْحِمَتْ فِي تَدْعِيمِ نَظَرِيَّاتٍ بَلْ فِرْضِيَّاتٍ لِلْوَصُولِ إِلَى أَهْدَافٍ مَعِيْنَةٍ وَاضِحَةٍ، فَلَا تَكُونُ الْفِيْزِيَاءُ مَطْلُوبَةً لِرَفْعِ الْعِلْمِيَّةِ الْإِنْسَانِيَّةِ، بَلْ تَكُونُ مَطِيَّةً بَرَاغِمَاتِيَّةً لِتَحْقِيقِ مَصَالِحِ بَعْضِ النَّاسِ.

وَلِلْأَسْفِ الشَّدِيدِ فَإِنَّ الْوَاقِعَ فِي هَذَا الْعَصْرِ يَشْهَدُ دَعْمًا كَبِيرًا لِأَيْدِيُولُوجِيَا الْإِلْحَادِ بِدَعَايَةِ هَائِلَةٍ، فَتَجْعَلُ هَذِهِ الْأَيْدِيُولُوجِيَا كَأَنَّهَا هِيَ الْعِلْمِيَّةُ الْوَحِيدَةُ، وَأَنَّ كُلَّ مَا يَخَالِفُهَا لَا يَسْتَحِقُّ أَنْ يُنْظَرَ إِلَيْهِ.

هم أعلم بالعلوم الطبيعية؛  
فهم أقدر على الوصول إلى الحقائق... المعرفة والوجودية.

وإنّ من توابع هذا المناخ المغشوش دعائياً في منطقتنا العربية اهتزاز ثقة الإنسان بعلمه ودينه في مقابل تلك الموجة الكبيرة الظاهرة باسم العلم، فيقول أحدنا: هم أعلم بالعلوم الطبيعيّة، فهم أقدر على الوصول إلى الحقائق المعرفيّة والوجوديّة. فيقع الفراغ في حبالهم جهلاً بطريقتهم ظالمًا لنفسه. ذات الإشكال المنطقي المغلوطة الذي لاحظته الغزالي في تهافتة عند فلاسفة المسلمين المتأثرين بالفلسفة اليونانية.

فلذلك يجب على من نظره نصرٌ للحقّ أن يتعاون مع غيره في بيان الصحيح من الزائف ممّا يُسمّى علمًا، وما يكون له مدخليّ في النّظر الفلسفيّ وما لا يكون. وما يكون من باب إحقاق حكم أو جهل بحكم.

وهذه مهمتنا جميعًا، مهمة مجابهة الجهل الذي يظهر علمًا بالعلم الحقيقيّ، لا بمعطيات فيزيائيّة فقط، بل بنظر منطقيّ عقلائيّ صحيح تكون مادّته العلوم الفيزيائيّة ليخوض فيها ويفسرها تفسيرًا منطقيًا صحيحًا ويبنى عليها للتقدّم بالبرشيرة.

من هنا وقع الاختيار على الكتاب الحالي ليقف القارئ على جملة من التصورات التي من شأنها أن تعينه في تحقيق فهم أفضل لأبجديات التعاطي مع فيزياء الكوانتم قبل الجزم بشيء من قضاياها أو البناء عليها في الحكم نفيًا وإثباتًا.

د. محمد العوضي



# لماذا هذا الكتاب؟

بقلم / عبد الله بن سعيد الشهري  
رئيس مجلس إدارة مركز براهين

## لماذا هذا الكتاب؟!

الحمد لله، والصلاة والسلام على رسول الله، وبعد:

ففي بداية القرن العشرين ولدت نظرية فيزياء الكوانتم لحل إشكاليات لم تستطع الفيزياء الكلاسيكية تقديم إجابات لها، وما زال هذا التقدم الفريد في مسيرة الفيزياء غامضاً، لصعوبته من جهة، ولأنه ما زال في طور البناء من جهة أخرى. في تقديمه لكتاب (ست قطع سهلة) ل (ريتشارد فاينمان)، يقول الفيزيائي (بول ديفيز): "ليس من المبالغة القول بأن ميكانيكا الكوانتم قد هيمنت على فيزياء القرن الحادي والعشرين، وأنها إلى حد بعيد أنجح نظرية علمية في الوجود".<sup>(1)</sup>

هذه الحقيقة وحدها كافية لتأكيد أهمية نقل هذا الكتاب إلى العربية. غير أن تشابك العلوم وتداخل المعارف يضطرننا لذكر أهمية أخرى، ألا وهي توظيفات مخرجات العلم الطبيعي في السجال الفلسفي أو اللاهوتي، وهذا يحتم على المشارك في هذه السجلات الإلمام بطبيعة الأفكار المستعملة في سجلات مماثلة، كذلك بطبيعة اللغة التي تحكم مضامينها وإطاراتها. إن فيزياء الكوانتم، كغيرها من النظريات التي كتب لها الاستقرار والانتشار، لها لبٌ صلب يحوطه إطارٌ مرن؛ أما اللب الصلب فهو الجزء الثابت تجريبياً، ذلك الجزء الذي لا يختلف عليه اثنان علمياً، مثل وقوع الطفرات (التغيرات) الجينية، فلا ينكر وجودها إلا جاهل أو مكابر. أما الإطار المرن فهو المستوى التأويلي الفلسفي أو (القراءة الميتافيزيقية) لما يزيد عن اللب الصلب أو يتجاوزه. وهو معترك للخلافات ومحل لنزاعات شتى،

---

(1) Feynman, R. (2011) Six Easy Pieces, Basic Books, p. 15.

بما في ذلك صور النزاع الديني الإلحادي حول ما يمكن أن تدل عليه معطيات العلم في ذلك المستوى تحديداً. ونظراً لافتقار المكتبة العربية الإسلامية لما يعين في ترسُّم سمات هذا النزاع الثلاثي الأطراف (العلم الطبيعي، الدين، الإلحاد)، ونظراً لمركزية الجدل حول فيزياء الكوانتم في نزاع كهذا، وقع اختيار (مركز براهين) على هذا الكتاب المميز، مساهمة منه في سد تلك الحاجة، وإيماناً بأن الحكم السديد على الأمور لا بد أن يستند إلى تصور صحيح لواقع ما يجري. يجدر بنا التأكيد على أن فيزياء الكوانتم لم تسلم من الاختطاف والاعتساف، لتتحول في كثير من الأحيان إلى ضرب من العبث بالعلم الصحيح نفسه، وفي أحيان أخرى إلى نوع من المجون الفكري الفارغ. ولو لم يكن من مثال يذكر على ذلك إلا دعوى انتحار قانون أو مفهوم (السببية) على أعتاب فيزياء (الكوانتم) لكفى به دليلاً على مستوى الانحطاط الفلسفي الذي وصل إليه العقل الإلحادي.

على أننا لا نعفي أو نبرئ الخطاب الديني أيضاً من المشاركة في ليّ أعناق النصوص الشرعية، تارة لتوافق المشكوك فيه من هذا العلم، أو تسليط المشكوك فيه من هذا العلم على النصوص الشرعية، مناوئةً للمخالف، أو ربما تأليفاً لقلبه واستدراراً لوّده. وفي كل هذا إضرار بالمحكم الصحيح من الدين والعلم معا. لقد أحسن فيلسوف الوعي (كن والبر) حين قال ذات مرة: "يوجد علم زائف مثلما يوجد دين زائف، والمعركة ذات الشأن فعلاً هي التي تنشب بين ما هو حق وزائف منهما، لا بين جنس العلم والدين".<sup>(2)</sup>

---

(2) Wilber, K. (2001) Of Shadows and Symbols. In Wilber, K. (Ed.) Quantum Questions: Mystical Writings of the World's Greatest Physicists, p.20.

ختامًا، نحمد الله تعالى أن يسّر إنجاز هذا العمل، وأدعو الله لإخوتي في  
(مركز براهين) أن يشيهم على سعيهم وصبرهم، خاصة أخي مترجم هذا الكتاب،  
الأستاذ الفاضل/ أسامة عباس، فقد اجتهد فأحسن في الترجمة وأجاد في  
التعليقات، والكمال لله وحده، والحمد لله رب العالمين.

**عبد الله بن سعيد الشهري**  
رئيس مجلس إدارة مركز براهين



# مقدمة المؤلف

## مقدمة الطبعة الأولى

فيزياء الكوانتم؛ هي النظرية التي تقوم عليها جميع معرفتنا الحالية تقريبًا عن الكون. ومنذ نشأتها -منذ أكثر من ستين عامًا- اتسع نطاقها لتفسر بنجاح سلوك الجسيمات تحت الذرية، وخصائص أنوية الذرات، وبنية الجزيئات والمواد الصلبة وخصائصها. وظلت نظرية الكوانتم حتى الآن -على الرغم من نجاحاتها- مسكونةً بمشكلات فكرية وفلسفية أدت إلى صعوبة فهمها وجعلت قبولها عسيرًا.

وأثناء دراستي للفيزياء منذ نحو خمسة وعشرين عامًا، كان أحد الأسباب الرئيسية لإعجابي بالكوانتم هو الفجوة الفكرية الكبيرة بينها وبين طريقتنا العادية في النظر إلى الكون. كنا -نحن الطلاب- في حيرة حول هذا الأمر، وكانت الأولوية عند معلمينا وأساتذتنا هي التطبيق النظري للكوانتم لتفسير الظواهر الفيزيائية. وكان من الصعب أن نجد كتبًا تناقش الجوانب الفكرية لهذا الموضوع؛ أو على الأقل تلك التي تناقش مشكلات الكوانتم بعقلانية وإنصاف ويُسّر.

ثم أتاحت لي فرصة تدريس ميكانيكا الكوانتم لطلاب المرحلة الجامعية بعد ذلك بنحو عشرين عامًا، فحاولت أن أضع في المادة العلمية بعض الإشارات إلى الجوانب الفكرية للنظرية ومشكلاتها. وعلى الرغم من وجود العديد من المراجع والمصادر فإن معظمها كان كتبًا متخصصة نوعًا ما، وكانت صعبة على غير المتخصصين.

ومع ازدياد خبرتي زادت قناعتني أن شرح المشكلات الفكرية في نظرية الكوانتم ممكن؛ دون اشتراط الفهم الشامل للمساحات الواسعة من علم الفيزياء المتعلقة بها، وبدون الإلمام بالرياضيات المعقدة التي يراها المتخصصون مفيدة للغاية. وهذا الكتاب هو محاولتي للوصول إلى هذا الهدف.

تناقش الفصول الأربعة الأولى من هذا الكتاب الأفكار الأساسية لنظرية الكوانتم، وتصف المشكلتين الرئيسيتين فيها:

مشكلة "اللامحلية"؛ والمقصود بها أن الأجزاء المختلفة من نظام ما تتبادل التأثير، حتى في حالة تباعدها وحتى في حالة عدم وجود أي تواصل معلوم بينها.

ومشكلة "القياس"؛ التي تنشأ من الفكرة التي تقول إن الأنظمة الكوانتية لا تتصف بصفاتهما إلا عندما تقاس هذه الصفات؛ على الرغم من أنه لا يوجد شيء ما يقع خارج نطاق فيزياء الكوانتم - كما يبدو - لكي يقوم بهذا القياس.<sup>(١)</sup>

وتناقش الفصول التالية من الكتاب الحلول المختلفة المقترحة لحل هاتين المشكلتين. ويتحدى كل حل من هذه الحلول بطريقة ما نظرتنا التقليدية للكون، وكثير من لوازم هذه الحلول والنظريات غير قابل للتصديق. ولم يقع اتفاق أو إجماع في هذا المجال بوجه عام.

وأما الفصل الأخير فيلخص وجهات النظر المختلفة، وأعرض فيه رأيي وموقفي الشخصي.

أود أن أشكر كل من ساعدني في تأليف هذا الكتاب؛ لاسيما «سايمون كابيلن Simon Capelin»، و«كولين كوف Colin Gough»، و«كريستوفر

---

(١) المقصود هنا - كما سيتضح لاحقاً -، أن عملية القياس هذه إما أن تخضع لقوانين الكوانتم أو لا. فإن كانت تخضع لها فيلزم أن أجهزة القياس لن تتصف بصفاتها (كإصدار صوت أو إضاءة مصباح) إلا إذا قيست هذه الصفات أيضاً، فأين تنكسر السلسلة إذن؟ ولو قيل إنها لا تخضع لقوانين الكوانتم فمعنى هذا أن وصف النظرية للكون غير مكتمل، وهذا يرفضه أكثر الفيزيائيين. (المترجم)

إيشام Christopher Isham؛ الذين قرأوا مُسَوِّدة الكتاب ونقدوها نقدًا بناءً كثيرًا. وقد أهدتُ كثيرًا أيضًا من المناقشات التي دارت مع الحضور في إحدى المحاضرات التي ألقيتها تحت رعاية "قسم الفصول الخارجية" في «جامعة برمنغهام University of Birmingham»، وإني ممتنُّ بشدة لاقتراحاتهم حول توضيح «مبرهنة بيل Bell's Theorem» الواردة في الفصل الثالث.

وأود أيضًا أن أشكر شكرًا خاصًا «جودي آستل Judy Astle» التي صفت الكتاب وتعاونت وصبرت على كثرة التعديلات والتنقيحات.

١٩٨٦

## مقدمة الطبعة الثانية

كنت أهدف أثناء الإعداد لهذه الطبعة الثانية إلى تبسيط البحث وتوضيحه قدر الإمكان -من غير تمسيح محتواه- وتحديث المتن في ضوء التطورات العلمية في السنوات السبعة عشرة الأخيرة. ويمثل الفصل الثالث مثلاً جيداً على هذين الهدفين حيث بحثنا "اللامحلية" وعلى وجه التحديد «مبرهنة بيل Bell's Theorem». فأصبح إثبات المبرهنة أبسط بشكل ملحوظ، دون إنقاص من صلاحيته في اعتقادي. كما أشرت إلى عدد من التجارب المهمة التي أجريت خلال العقد الأخير من القرن العشرين.

وأود أن أشكر «ليف فايدمان Lev Vaidman»، حيث نهني على عدم إنصافي في بعض النقد الذي وجهته إلى نظرية «الأكوان المتعددة Many worlds». وأشكره كذلك على محاولاته هو و«سيمون ساندرس Simon Saunders» لمساعدتي في فهم الكيفية التي تعاملت بها النظرية مع مشكلة "الاحتمالات". وفي ضوء ذلك أعدت كتابة جزء كبير من الفصل السادس؛ ولكنني لا أظنهما سيتفقان معي في نتيجته.

كما راجعت الفصل السابع للأخذ في الحسبان نموذج «الانهيار التلقائي Spontaneous Collapse» الذي طوره «جيانكارلو غيرارد Giancarlo Ghirardi» و«ألبرتو ريميني Alberto Rimini» و«توليو فيير Tullio Weber». كما راجعنا بعضاً من التجارب الأخيرة المهمة في هذا المجال.

وأصبح هناك تطور ملحوظ في شرح "اللانعكاسية" في الفصل الثامن والتاسع والعاشر. فبينما تركتُ الفصل التاسع كما هو تقريباً -حيث ناقشت فيه

الأفكار العلمية السائدة في الثمانينيات- فقد تعاملتُ في الفصل العاشر من هذه الطبعة الجديدة مع التطورات العلمية الأخيرة منذ ذلك الحين.

إن هذه الطبعة قد تحسنت كثيراً، وذلك بفضل توجيهات «كريستوفر تيمبسون Christopher Timpson» وملاحظاته، الذي قرأ المُسوّدة وناقشها وانتقدها بعين الفيلسوف الخبير؛ ولا بد أنه سيلاحظ الكثير من اقتراحاته وتعديلاته. ولا بد كذلك أن أعبر عن امتناني للمناقشات النافعة التي جرت مع المستمعين والحضور في مؤتمرات "أسس الفيزياء" السنوية التي تُعقد في المملكة المتحدة. وأشير على وجه الخصوص إلى «يُون سكوايرز Euan Squires»، الذي فقد مجتمع "أسس الفيزياء" بوفاته عام ١٩٩٦ عقلاً ناقداً وصديقاً جيداً للكثيرين منا. واستفاد الكتاب في مرحلة التحرير استفادة كبيرة من ملاحظات «سوزان باركنسون Susan Parkinson» الثاقبة ونقدها البناء.

وإنني مسؤول بالطبع عن الأخطاء والغلطات الباقية في الكتاب.

٢٠٠٤

الفصل الأول

**فيزياء الكوانتة**

## فيزياء الكوانتم

"إن الخالق"، كما يقول «ألبرت أينشتاين Albert Einstein»، "لا يلعب بالنرد". لم تكن هذه المقولة المشهورة -لصاحب نظرية النسبية- تحليلاً لأفعال الخالق، بقدر ما كانت تعبر عن رد فعله تجاه الأفكار العلمية الجديدة في الربع الأول من القرن العشرين، التي تُعرف باسم: فيزياء الكوانتم. وقبل أن نشرح ما الذي أدى بواحد من أعظم علماء الفيزياء ليقول ذلك، لا بد أولاً أن نفهم سياق الأفكار العلمية والفلسفية التي استقرت مع نهاية القرن التاسع عشر، وما الذي جعل "الفيزياء الحديثة" تمثل تحدياً جذرياً لتلك الأفكار المستقرة.

في كثير من الأحيان يُورّخ لبداية عصر العلم الحديث بدءاً من القرن السادس عشر، عندما ذهب «نيكولاس كوبرنيكس Nicolaus Copernicus» إلى أن حركة النجوم والكواكب ينبغي أن توصف باعتبار الشمس هي المركز لحركة المجموعة الشمسية بدلاً من الأرض. وواجهت تلك الفكرة معارضة شديدة -فضلاً عن قمعها واضطهادها- من قبل الكنيسة كما هو معلوم؛ ولكن تلك المعارضة لم تفلح في قمع تلك الثورة في طريقة التفكير التي استمر تأثيرها حتى يومنا هذا. ومنذ ذلك الحين أصبح قبول الحقائق العلمية واعتمادها يرتكز على الملاحظة والتجريب بدلاً من الدوغمائية الدينية والفلسفية.



تطورت أفكار «كوبرنيكس» على يد «كيبلر Johannes Kepler» و«غاليليو Galileo Galilei»، ثم تطورت بالتأكيد تطوراً ملحوظاً في أواخر القرن السابع عشر على يد «إسحاق نيوتن Isaac Newton»، حيث فسر «نيوتن» حركة الكواكب بقانونين:

الأول: قانون الحركة، الذي ينص على أن «التسارع Acceleration» في حركة الجسم يساوي مقدار «القوة Force» التي تدفعه مقسوماً على «كتلة Mass» ذلك الجسم.

والثاني: قانون الجاذبية، الذي ينص على أن قوة الجذب المتبادلة بين أي جسمين ماديين تتناسب طردياً مع كتلتيهما وعكساً مع مربع المسافة بينهما.

وبالإضافة لذلك فقد أدرك «نيوتن» أن تلك القوانين تنطبق أيضاً على حركة الأجسام العادية؛ مثل النفاحة الساقطة من غصن الشجرة؛ حيث تتسارع حركتها بسبب الجاذبية المتبادلة بينها وبين الأرض.

بلورت أعمال «نيوتن» وكتاباته أهمية الرياضيات في فهم الفيزياء. حيث كانت "قوانين الطبيعة" تُكتب في صورة كميات رياضية لاستنتاج تفاصيل الحركة في الأنظمة الفيزيائية. وبهذا استطاع «نيوتن» أن يفسر تحركات القمر والكواكب بما يتسق مع قوانينه، بل إنه فسر أنماط المد والجزر، وحركات المذنبات أيضاً.

امتد هذا المنهج الرياضي الموضوعي في دراسة الظواهر الطبيعية إلى عدد من المجالات العلمية. وأظهر «جيمس كليرك ماكسويل James Clerk Maxwell» في القرن التاسع عشر أن كل ما كان معلوماً عن المجالات الكهربائية والمغناطيسية في ذلك الوقت فمن الممكن استنتاجه باستخدام عدد قليل من

المعادلات (عُرفت لاحقًا باسم «معادلات ماكسويل Maxwell's Equations»). وتوصل «ماكسويل» إلى أن «الموجات الكهرومغناطيسية Electromagnetic Waves» تتكون من مجالين: مجال كهربائي وآخر مغناطيسي؛ ينتشران بسرعة الضوء. ومن هنا لوحظ أن موجات الضوء نفسها ما هي إلا إحدى تلك الموجات الكهرومغناطيسية ولا تختلف عن سائرها (كموجات الراديو، والأشعة تحت الحمراء، وأشعة إكس) إلا في طولها الموجي وترددتها.

إلى هنا بدا للعلماء أن جميع الظواهر الفيزيائية محكومة بميكانيكا «نيوتن» وكهرومغناطيسية «ماكسويل».

يتضح الآن التأثير الفلسفي لهذه التطورات العلمية؛ حيث اعتقد العلماء أن كل شيء في الكون محكوم بهذه القوانين الصارمة، ومن الممكن التنبؤ بمستقبل أي نظام فيزيائي -حتى الكون كله، نظريًا- باستخدام تلك القوانين وبمعرفة حالة النظام الحالية. ولا شك أن الحسابات الدقيقة -أو حتى التقريبية- لمستقبل الأنظمة الفيزيائية المعقدة كانت ولا زالت مستحيلة تمامًا من الناحية العملية (تأمل مثلاً في صعوبة التنبؤ بالطقس في بريطانيا لأكثر من بضعة أيام مقلبة!). ولكن ذلك لم يؤثر في مبدأ «الاحتمية Determinism» الذي ينص على أن مستقبل الكون محكوم بصرامة بالقوانين الفيزيائية. إن هذه الاحتمية كانت نتيجة مباشرة لطريقة تفكير «نيوتن» وسلفه. حتى قال العالم الفيلسوف الفرنسي «بيير سيمون دي لابلاس Pierre Simon de Laplace» في القرن التاسع عشر: "من الممكن أن نعتبر أن حالة الكون الآن نتيجة لماضيه، وهي السبب في مستقبله".

وعلى الرغم من أن العديد من الظواهر الفيزيائية ظلت غير مفهومة على وجه التفصيل بنهاية القرن التاسع عشر؛ فقد كان معظم الفيزيائيين يعتقدون أنه لا مزيد

من القوانين الطبيعية الأساسية، واعتقدوا أن الكون محكوم بقوانين حتمية. ثم أطاحت الثورة العلمية الجديدة خلال الثلاثين عامًا الأولى من القرن العشرين بهاتين الفكرتين. برزت هذه الثورة العلمية - التي تُعرف الآن بنظرية الكوانتم - بشكل أساسي بعد دراسة ظواهر الإشعاع الكهرومغناطيسي، وأدت مشكلاتها الفكرية والفلسفية الكبيرة - مقارنةً بطريقة التفكير المعتادة - إلى مقولة «أينشتاين» التي سبق الإشارة إليها، وهذه المشكلات الفكرية والفلسفية هي موضوع كتابنا هذا. وكما سنرى لاحقًا؛ أدت نظرية الكوانتم إلى رفض الحتمية، أو أدت - على الأقل - إلى رفض صورتها السطحية التي عبرت عنها عبارة «لابلاس»؛ فلم تعد حالة الكون الآن نتيجة مباشرة لماضيه ولا سببًا حتميًا لمستقبله.

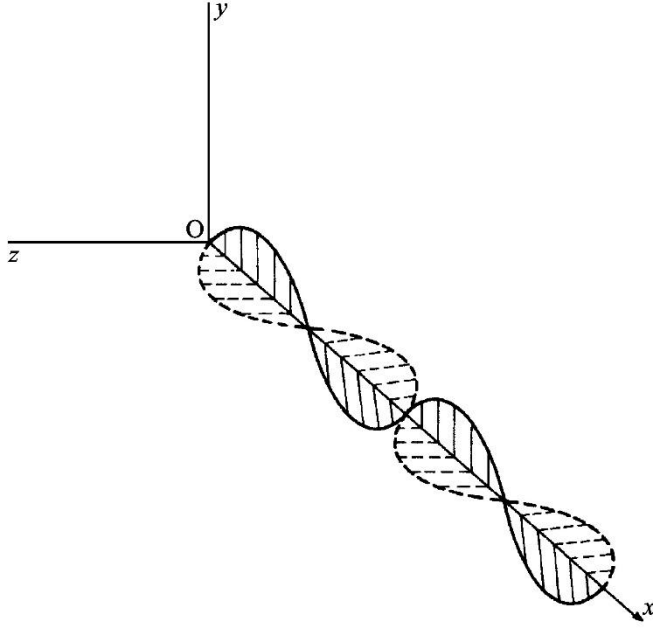
بل إن بعض مضامين فيزياء الكوانتم كانت أكثر تأثيرًا وجذرية مما سبق، حيث كان وصف الواقع أنطولوجيًا هو أحد الأهداف الأساسية للفيزياء الكلاسيكية. وكانت النظرة الأنطولوجية الكلاسيكية تعتمد على مفاهيم «الجسيمات Particles» و«القوى Forces» و«المجالات Fields» التي تتفاعل معًا طبقًا لقوانين معلومة. أما في نظرية الكوانتم؛ فوفقًا للتفسيرات السائدة، من المستحيل أن تتبنى تفسيرًا أنطولوجيًا بمثل هذا الاتساق. فعلى سبيل المثال؛ تخبرنا نظرية الكوانتم أن فعل القياس أو الرصد يؤدي غالبًا إلى تغيير عميق في حالة الشيء المرصود، وأن الصفات التي يُحتمل أن يتصف بها ذلك الشيء ربما تعتمد على ما يجري قياسه بالفعل! ونتيجة لذلك أصبحت صفات النظام الفيزيائي المعين وخصائصه المحددة (كموضع جسيم متحرك أو سرعته) تُسمى بكلمة «مرصودة أو قابلة للرصد Observable»، في إشارة إلى أن هذه الصفات المعينة تستمد واقعيتها من عملية القياس أو الرصد. واندفع البعض لاعتقاد أن الحقيقة الوحيدة هي العقل البشري الراصد؛ وأن سائر الأشياء - بما في ذلك الكون كله - مجرد وهم. ولتجنب تلك النتائج؛ ظهرت عدة نظريات أنطولوجية واقعية تحاول أن تتسق

مع النتائج التجريبية لفيزياء الكوانتم. واقترحت فرضيات أخرى أن كوننا ليس الكون الوحيد وأنا لو سلّمنا بوجود عدد لانهايي من الأكوان فسوف نستعيد الواقعية والحتمية. واقترحت فرضيات أخرى أن نظرية الكوانتم ليست النظرية النهائية المكتملة لفهم الكون؛ على الرغم من نجاحاتها الواضحة؛ وأنا لا نزال في حاجة إلى ثورة علمية أخرى. يهدف كتابنا هذا إلى التطرق إلى تلك النظريات وغيرها مع الكشف عن مضامينها الفلسفية. ومن الضروري قبل ذلك أن نجيب عن سؤال: ما هي فيزياء الكوانتم؟ لذلك سوف نشير في هذا الفصل إلى بعض الأفكار التي تقف وراء فيزياء الكوانتم وسنستعرض بعض نجاحاتها، ثم نشير إلى المشكلات الفكرية الموجودة في تلك النظرية.

## موجات الضوء

برزت الحاجة إلى طريقة جديدة في النظر إلى الأمور بعد دراسة صفات الضوء. وقبل أن نبحت تلك الأفكار الجديدة لابد أولاً من فهم مفصل لنظرية «ماكسويل» حول الضوء والموجات الكهرومغناطيسية التي أشرنا إليها منذ قليل.

لقد أثبت «ماكسويل» أنّ في أي نقطة على الموجة الكهرومغناطيسية مجالين: مجالاً كهربياً ومجالاً مغناطيسياً، وكل منهما متعامد على الآخر ومتعامد أيضاً على اتجاه الموجة، كما هو موضح في (الصورة ١-١). ويهتز هذان المجالان ملايين المرات في كل ثانية ويتغيران دورياً على طول الموجة. ويُسمى عدد هذه الاهتزازات في الثانية الواحدة بـ «التردد Frequency» (ويختصر بالرمز  $f$ ). كما تُسمى المسافة بين كل قمتين متتاليتين بـ «الطول الموجي Wavelength» (ويُرمز إليها بـ  $\lambda$ ).

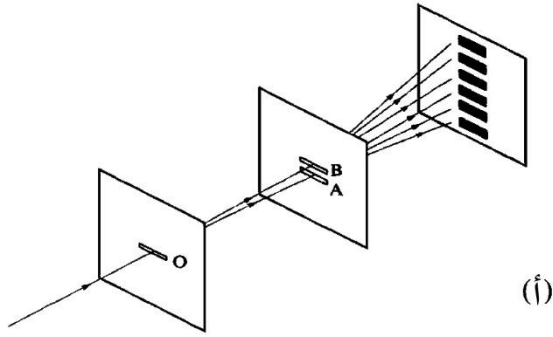


(الصورة ١-١): موجة كهرومغناطيسية تتحرك في الاتجاه Ox، تتكون من مجالين: كهربائي ومغناطيسي، يهتزان اهتزازاً سريعاً في الاتجاهين Oy و Oz على الترتيب.

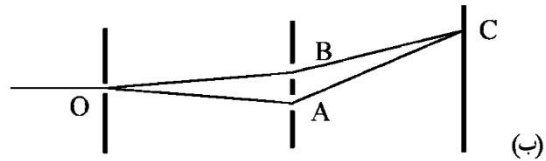
وتبين أن «سرعة Speed» الموجة الكهرومغناطيسية  $c$  تساوي حاصل ضرب التردد في الطول الموجي:

$$c = \lambda f$$

ويمكن الكشف عن وجود المجال الكهربائي في الموجة الكهرومغناطيسية بقياس فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين على مسارها. ولا يمكن أن يقاس هذا بشكل عملي مباشر في حالة موجات الضوء؛ لأن ترددها مرتفع جداً حيث يصل إلى  $10^{14}$  ذبذبة لكل ثانية. وقد أجريت تجربة مماثلة على موجات الراديو التي يبلغ ترددها  $10^6$  ذبذبة لكل ثانية.



(i)



(ب)

$$\begin{array}{rcl}
 & \text{~~~~~} & \text{~~~~~} \\
 + & \text{~~~~~} & + \text{~~~~~} \\
 = & \text{~~~~~} & = \text{—————} \\
 & & \text{(ج)}
 \end{array}$$

(الصورة ١-٢): (أ) نمط التداخل للشق المزدوج. (ب) موجات الضوء التي تصل إلى النقطة C على الشاشة ستكون قد مرت من أحد الشقين A أو B. والفرق بين المسافتين لكلا المسارين هي  $\{AC - BC\}$ . (ج) نرى أن الفرق بين المسارين إذا كان يساوي عددًا صحيحًا ستجتمع الموجتان وتزداد شدتهما، وإذا كان الفرق بين المسارين يساوي عددًا فرديًا مضروبًا في نصف الطول الموجي ستلغي كل موجة أختها. ونتيجة لذلك ستتكون سلسلة من المناطق المضيئة والمظلمة على الشاشة؛ كما يظهر في (أ).

ويمكن عن طريق قياس هذه الأنماط معرفة الطول الموجي للضوء المستخدم في التجربة. ووُجد بهذه القياسات أن الضوء المنظور (أي بالنسبة للعين البشرية) يتراوح بين اللون البنفسجي ذي الطول الموجي الأقصر (نحو ٠.٤ جزء من مليون جزء من المتر) وبين اللون الأحمر ذي الطول الموجي الأطول (نحو ٠.٧ جزء من مليون جزء من المتر).

ومن الخصائص الأخرى المهمة: شدة الموجة؛ وفي حالة الضوء فهي الصفة التي نسميها بالإضاءة أو شدة الإضاءة. وبعبارة تقنية: فإن شدة الموجة أو شدة الإضاءة هي مقدار الطاقة التي تحملها الموجة لكل ثانية. وتتناسب شدة الضوء طرْدًا مع مربع سعة المجال الكهربائي، وسوف نستخدم هذه المعلومات فيما يأتي.

## الفوتونات

من أولى الظواهر الفيزيائية التي أوضحت قصور الفيزياء الكلاسيكية ظاهرة «التأثير الكهروضوئي Photoelectric Effect». حيث يُسلط الضوء في هذه التجربة على سطح معدني محاط بالفراغ؛ وتنبعث نتيجةً لذلك بعض «الإلكترونات Electrons» وهي جسيمات دقيقة ذات شحنة كهربائية سالبة. وكانت النتيجة مفاجئة؛ حيث كانت طاقة تلك الإلكترونات المنبعثة من السطح المعدني لا تتناسب مع شدة الضوء، بل تتناسب مع تردده -أو طول الموجة- فقط. وكما أشرنا سابقاً فإن شدة الضوء -التي هي مقدار الطاقة التي تحملها الموجة- تتناسب مع مربع سعة المجال الكهربائي للموجة، فكان من المتوقع أن تتناسب طاقة الإلكترونات المنبعثة مع شدة الضوء المتسبب في انبعاثها، فإذا كان الضوء أكثر إضاءةً فلا بد أن تكون طاقة الإلكترونات المنبعثة أعلى. ومن الممكن أن نتصور ثلاثة طرق لحدوث هذا: إما أن تزداد الطاقة التي يحملها كل إلكترون، أو أن يزداد عددها، أو أن يحدث كلا الأمرين.

وُجد أن الاحتمال الثاني هو الذي يحدث فعلاً، فكلما زدنا من شدة الضوء زاد عدد الإلكترونات المنبعثة؛ ولكن تظل طاقة كل إلكترون ثابتة بلا زيادة. وسواء كان الضوء الساقط ضعيفاً أو قوياً فطاقة كل إلكترون تساوي  $hf$ ، أي حاصل ضرب تردد الضوء في قيمة الثابت الفيزيائي العام  $h$ ، المعروف بـ «ثابت بلانك Planck's Constant».

استنتج «أينشتاين» (صاحب نظرية النسبية) من هذه الحقيقة العلمية -حقيقة أن الإلكترونات تكتسب الطاقة في كميات صغيرة منفصلة، وأن هذه الكميات مصدرها الضوء الساقط- أن الطاقة في شعاع الضوء مكونة من حزم عُرفت فيما بعد بـ «كوانتا Quanta» أو «فوتونات Photons».

وبما أن قيمة  $hf$  صغيرة للغاية؛ نجد أن عدد هذه الحزم أو الفوتونات في حالة الضوء المعتادة يكون كبيراً لدرجة أن الصفات الفيزيائية لشعاع الضوء لا تختلف كثيراً عن صفات الموجة المتصلة المستمرة. فعلى سبيل المثال: هناك مليون مليون فوتون يمرون كل ثانية في هذه النقطة السوداء الصغيرة (٠) في ضوء الغرفة المعتاد. ولا تظهر الطبيعة الفوتونية للضوء -أو لا يمكن ملاحظتها- إلا في ظروف خاصة، كما هو الحال في تجربة التأثير الكهروفوتوني.

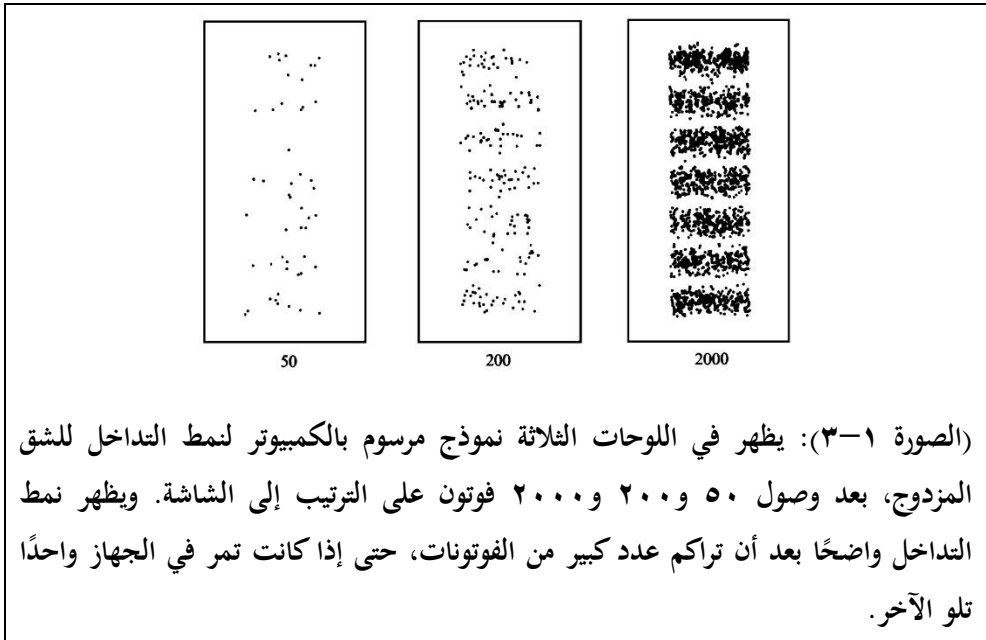
ثم أجريت تجارب أخرى على ظاهرة التأثير الكهروفوتوني لإيضاح بعض الخصائص الأخرى للفوتونات. فعند إجراء التجربة باستخدام ضوء خافت للغاية نجد أن بعض الإلكترونات تنبعث لحظياً بمجرد تشغيل مصدر الضوء وقبل الوقت الذي تحتاجه موجات الضوء لتزويد أي ذرة بالقدر الكافي من الطاقة لتنبعث الإلكترونات. وكان التفسير الوحيد لذلك هو أن طاقة الموجة موزعة على



الفوتونات، بحيث إنه حتى في حالة الضوء الضعيف يظل هناك احتمال كافٍ لبعض تلك الفوتونات أن تقوم بتمرير طاقتها إلى بعض الإلكترونات لكي تبعث من السطح المعدني.

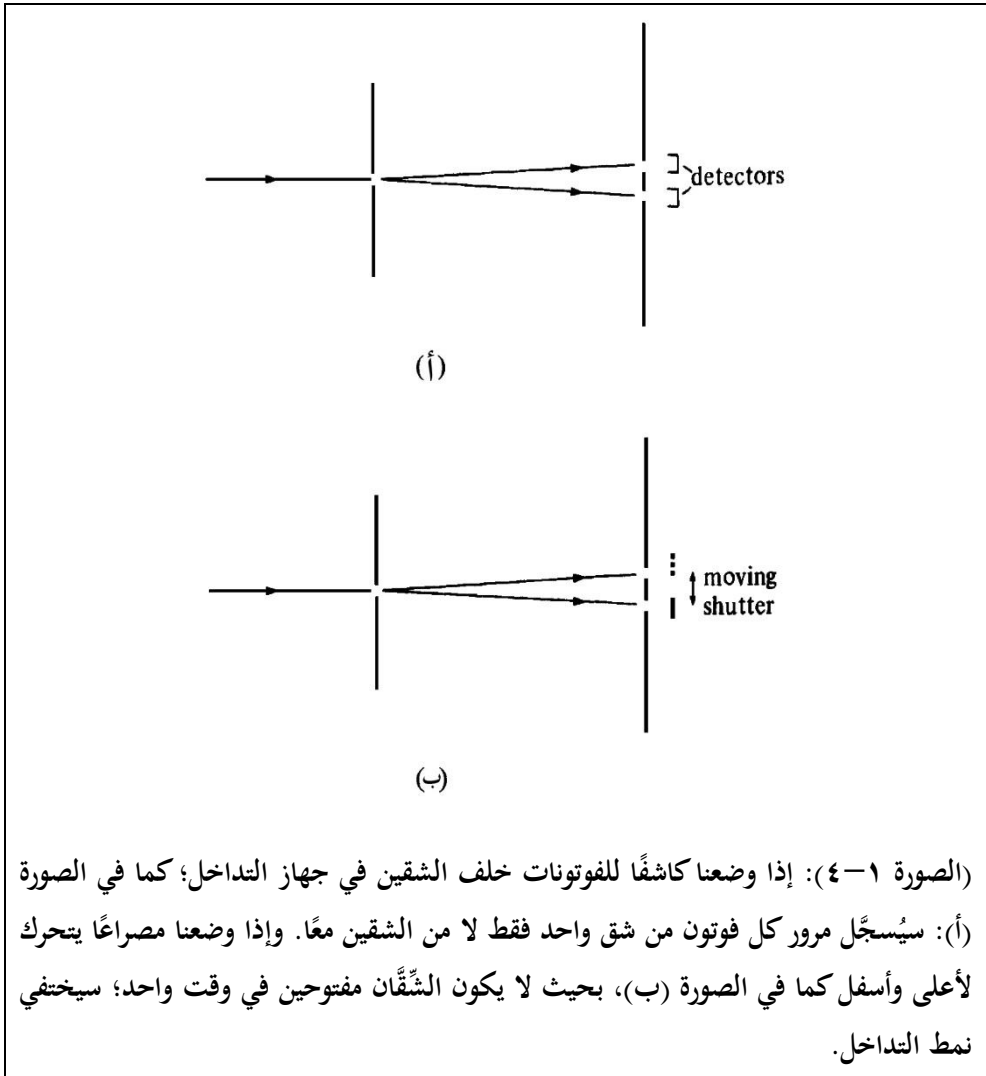
تتصرف الفوتونات في هذا السياق كما لو كانت جسيمات دقيقة! وأصبح مؤكدًا من تجارب أخرى حدوث تصادم بين الفوتونات وبين الإلكترونات والجسيمات الدقيقة الأخرى، مع أطراد قوانين بقاء الطاقة وبقاء كمية الحركة وفق سلوك الجسيمات، لا الموجات.

لدينا الآن إذن نموذجان لوصف الضوء تبعًا للطريقة التي نرصده بها؛ ففي تجربة التداخل نتعامل مع الضوء ونرصده كموجة، وفي تجربة التأثير الكهروضوئي فإن الضوء يتصرف كتيار من الجسيمات. فهل من الممكن إذن أن نجمع بين هذين النموذجين؟



كان أحد الاقتراحات للجمع بين هذين النموذجين، أن النموذج الموجي للضوء كان خطأ منذ البداية. وأن الضوء ما هو إلا تيار من الجسيمات مع بضع خصائص غير عادية تؤدي إلى ظهور نمط التداخل؛ لذلك فمن الخطأ -وفقاً لهذا الاقتراح- أن نعتبر أن الضوء موجة متصلة مستمرة. هذا يعني أن الفوتونات التي مرت من خلال الجهاز في التجربة السابقة في (الصورة ١-٢) قد اصطدمت أو تداخلت مع بعضها البعض بطريقة ما؛ بحيث أدى ذلك إلى تجمعها بأعداد كبيرة في المناطق المضيئة وبأعداد أقل في المناطق المظلمة؛ ليتشكل نمط التداخل المشار إليه. وللتأكد من هذا الاقتراح يجب أن تُعاد التجربة باستخدام شعاع ضوئي ضعيف للغاية؛ بحيث يمر فوتون واحد في المرة عبر المنطقة الواقعة بين الشق والشاشة، ففي هذه الحالة لن تصطم الفوتونات مع بعضها البعض ولن تتداخل فيما بينها. ونتوقع حينئذ -وفقاً للاقتراح نفسه- أن يختفي نمط التداخل. وعلى الرغم من صعوبة إجراء هذه التجربة لكنها ممكنة تماماً، وسوف يُستبدل بالشاشة الأخيرة فيلم أو شاشة فوتوغرافية معزولة عزلاً تاماً عن الضوء الخارجي، ثم ننتظر تراكم عدد كافٍ من الفوتونات المنفردة. ووجد عند إجراء ذلك أن نمط التداخل يظهر بوضوح، تماماً كما سبق!

وعند تكرار التجربة لفترات مختلفة نحصل على نتائج تشبه النتائج المعروضة في (الصورة ١-٣) التي تؤكد الطبيعة الفوتونية لشعاع الضوء، حيث تظهر نقاط متفرقة عندما تتم التجربة لفترة قصيرة. في هذه الحالة تظهر النتائج كما لو كانت عشوائية أو مشتتة، لكن نمط التداخل يظهر بوضوح كلما زادت فترة التجربة وزادت الفوتونات الواصلة إلى الفيلم. وتضطرنا هذه النتائج للتراجع عن الفكرة القائلة بأن سبب حدوث التداخل هو التصادم بين الفوتونات، وتضطرنا كذلك للقول بأن كل فوتون تداخل مع نفسه عند مروره من الشقين (أ) و(ب).



هل هذا يعني أن كل فوتون ينقسم -بطريقة ما- عند مروره من الشاشة ذات الشق المزدوج؟ يمكن التأكد من ذلك عن طريق وضع شاشة فوتوغرافية أو كاشف للفوتونات خلف كل شق، بحيث نحدد هل مر الفوتون من شق واحد فقط؟ أم انقسم فمر من كليهما؟ (انظر الصورة ١-٤). وعندئذ تبيّن أن الفوتون يمر من أحد الشقين ولا ينقسم، وفي تلك الحالة يختفي نمط التداخل! ويجراء اختبار آخر عن

طريق وضع حاجز خلف الشق المزدوج؛ بحيث لا يُفتحان معًا في نفس الوقت: يختفي أيضًا نمط التداخل! يبدو إذن من هذه النتائج أن شعاع الضوء يمر من أحد الشقين كفوتونات منفردة عندما نحاول تحديد مكان مرور الفوتون وبالتالي يختفي نمط التداخل، ويمر من خلال الشقين كموجة في الحالات الأخرى فيظهر نمط التداخل!

إن «الثنائية الموجية-الجسيمية Wave-Particle Duality» هي إحدى الخصائص العامة في فيزياء الكوانتم، ويمكن تلخيصها بأن النموذج الذي سيستخدم لوصف النظام الفيزيائي يعتمد على الأجهزة التي سترصد ذلك النظام! فشعاع الضوء سيتصرف كموجة عند مروره من الشق المزدوج لكنه سيتصرف كتيار من الفوتونات عندما يصطدم بالكاشف أو الفيلم الفوتوغرافي. إن هذه الحقيقة التي تؤكد أن صفات النظام الفيزيائي تعتمد على كيفية رصده هي التي أدت إلى المشكلات الفكرية التي سنناقشها خلال الفصول القادمة من هذا الكتاب. وسوف نناقش في بقية هذا الفصل بعض الآثار المترتبة على نظرية الكوانتم، والخطوط العامة لنجاحاتها في تفسير سلوك الظواهر الفيزيائية.

## مبدأ الاحتمية<sup>(١)</sup> لهايزنبرغ

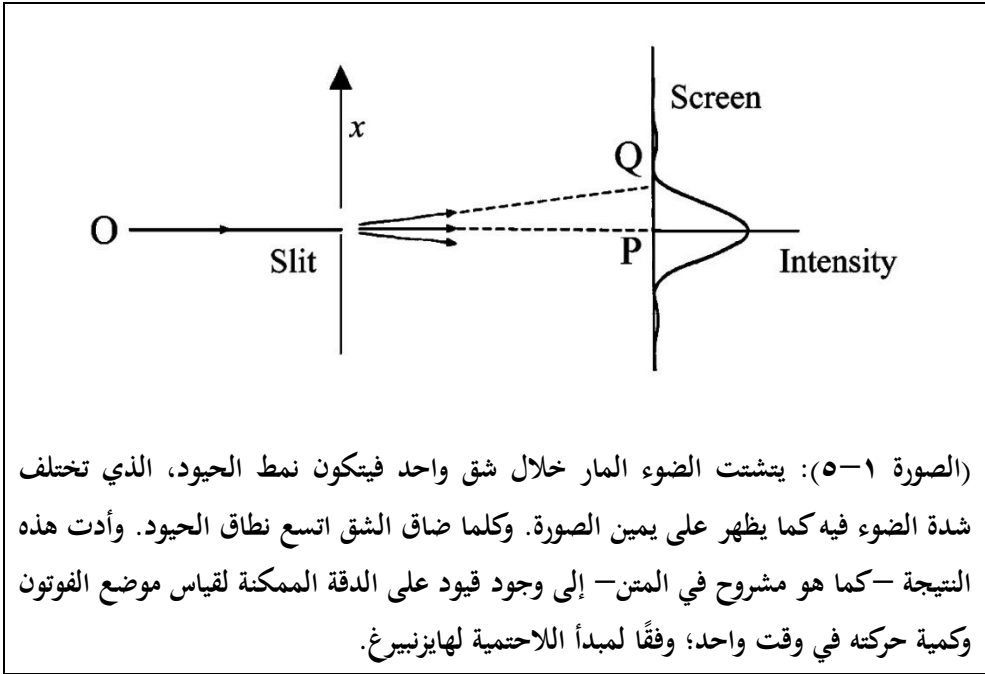
من التبعات التي ترتبت على «الثنائية الموجية-الجسيمية»، أنها وضعت حدوداً على قدر المعلومات التي يمكن معرفتها عن النظام الكوانتي في وقت واحد. فإما أن نختار أن نرصد الخصائص الموجية للضوء عن طريق تمريره عبر الشاشة ذات الشقين بدون أي رصد لمرور الفوتونات من أحدهما، أو أن نختار رصد تلك الفوتونات وهي تمر من أحد الشقين. ومن غير الممكن أن نقوم بالشيئين معاً في نفس الوقت. لاحظ «فيرنر هايزنبرغ Werner Heisenberg»؛ وهو أحد الفيزيائيين الذين ساهموا في تطوير فيزياء الكوانتم في مراحلها المبكرة؛ أن هذا النوع من القياسات -والتقييدات التي تَحُدُّه- يمكن النظر إليه بطريقة أخرى. فمن الممكن أن نعتبر رصد مرور الفوتون من أحد الشقين بمثابة قياسٍ لموضعه، وأن رصد نمط التداخل أقرب لقياس «كمية الحركة Momentum». ومن المستحيل -بسبب «الثنائية الموجية-الجسيمية»- أن يقاس موضع أي جسيم كوانتي -كالفوتون- وكمية حركته معاً في نفس الوقت.

من الممكن تطبيق فكرة «هايزنبرغ» على تجربة الشقين، لكن نظراً للدقة الكبيرة التي يستلزمها ذلك سنلجأ إلى مثال آخر أكثر وضوحاً، حيث سندرس

---

(١) هناك عدة ترجمات لمصطلح «The Uncertainty Principle»، منها: "مبدأ عدم اليقين" أو "اللايقين"، و"مبدأ اللايعين"، و"مبدأ الريبة" أو "مبدأ الشك"؛ لكنني اخترت أقربها للمعنى الذي ترجح عندي -بعد تأمل طويل- أن «هايزنبرغ» أراده. وكثيراً من الخلاف الدائر في الأدبيات العربية حول هذا المبدأ الأساسي الثابت إنما يرجع إلى الخلل في فهمه بسبب سوء تلقيهم للترجمة. وهذا المبدأ ومعناه والخلاف حوله مما يحتاج لبحث وتحرير ليس هذا موضعه. (المترجم)

سلوك الضوء المار من شق واحد ذي عرض محدد. إذا حللنا ذلك السلوك باستخدام النموذج الموجي للضوء؛ سنجد أن الشق سيجعل شعاع الضوء يتشتت وينتشر مكوناً «نمط الحيود Diffraction Pattern»؛ كما يظهر في (الصورة ٥-١). وسنجد أننا كلما ضيقنا ذلك الشق اتسع نطاق الحيود على الشاشة. ومن الممكن أن نجري نفس التجربة باستخدام شعاع ضوئي ضعيف للغاية بحيث ندرس سلوك الفوتونات المنفردة كما فعلنا في تجربة الشق المزدوج. نجد من جديد أن الفوتونات تصل إلى الشاشة النهائية في نقاط ومواضع تبدو عشوائية نوعاً ما؛ لكن نمط الحيود يبدأ في الظهور مع تراكم المزيد من الفوتونات.



يتعلق مبدأ الاحتمية بما يمكننا أن نتوقعه من صفات الفوتون المار بالجهاز. فنحن نعلم أن الفوتون قد مر من خلال الشق لكننا لا نعرف من أين مر على وجه التحديد. فهناك إذن قدر من الاحتمية في موضع ذلك الفوتون وهذا القدر يساوي

$\Delta x$ ، حيث يمثل  $\Delta x$  عرض ذلك الشق. وعندما يغادر الفوتون الشق سيصل إلى الشاشة في نقطة ما، ولكننا لا نعلم مسبقاً أين سيصطدم بها. فلو اصطدم الفوتون بمركز الشاشة المقابل للشق تمامًا فسنعلم أنه مرّ بالخط الواصل بينهما OP. ولكن في حالة وصول الفوتون على نقطة أخرى؛ ولتكن مثلاً النقطة Q؛ سيعني ذلك أن «سرعته المتجهة Velocity» تكوّن زاوية ما مع الخط الأفقي OP. وهذا يعني أن تلك «السرعة المتجهة» (وبالتبعية كمية الحركة للفوتون) لهما مُكوّن في الاتجاه x. وبما أن كل ما نعلمه هو أن الفوتون سيصل إلى مكان ما ضمن حدود نمط الحيود، فإن عرض هذا النمط يمثل مقدار الاحتمية في كمية الحركة.

إذا ضيقنا عرض ذلك الشق لتقليل الاحتمية في موضع مرور الفوتون سيؤدي ذلك ولا بد إلى اتساع عرض نمط الحيود، وبالتالي تزداد الاحتمية في كمية الحركة في الاتجاه x. وتبين أن حاصل ضرب مقداري الاحتمية هو نفسه مهما غيّرنا من عرض الشق، وتبين بمزيد من الحسابات أنه -أي حاصل الضرب- يساوي تقريباً الثابت الكوانتي الأساسي (أي ثابت بلانك h الذي أشرنا إليه بأعلى). واستطاع «هايزنبرغ» أن يثبت أن نظرية الكوانتم تستلزم أن جميع حسابات موضع الجسم وكمية حركته مقيدةً بمثل تلك الاحتمية ومحدودة بها، فلا يمكن أن يقل حاصل ضرب مقداري الاحتمية عن الثابت h مقسوماً على  $4\pi$ . وعبر عن ذلك في المبدأ المشهور: مبدأ الاحتمية، الذي ينص على أن:

$$\Delta x \Delta p > \frac{h}{4\pi}$$

ومن الواضح أن تحليلنا السابق لتجربة الحيود يتفق مع هذا المبدأ.

أدى مبدأ الاحتمية إلى تأثيرات عميقة في نظرتنا إلى القياسات والتجارب العلمية. لقد لوحظ منذ فترة طويلة أن هناك تقييدات عملية تحدد دقة أي عملية قياس؛ ولكن لم يكن هناك من الناحية النظرية -قبل فيزياء الكوانتم- ما يمنع من الوصول إلى الدقة المطلوبة مع تحسين تقنيات القياس. وعلى الرغم من أن مبدأ الاحتمية يتعلق بقدرتنا على التنبؤ بنتائج التجارب والقياسات المتتالية؛ لكنه يضع أيضاً من الناحية العملية قيوداً أساسية على دقة قياس كميتين فيزيائيتين معاً في نفس الوقت؛ مثل موضع الفوتون وكمية حركته. وبعد أن طُرحت هذه الفكرة برزت عدة اقتراحات لتجارب ربما تتيح درجة من الدقة تتجاوز ما يسمح به مبدأ الاحتمية؛ لكن جميع تلك الاقتراحات ثبت أنها مستحيلة. وكما سنرى في الفصول القادمة؛ فإن التفسير السائد لفيزياء الكوانتم يعتبر أنه لا معنى لوصف جسيم -قد علمنا كمية حركته- بأن له موضعاً محددًا. إن مبدأ الاحتمية هو إحدى التبعات الغريبة والثورية لفيزياء الكوانتم وأفكارها الفلسفية التي هي موضوع هذا الكتاب.

## الذرات والموجات المادية

مثلما استقر النموذج الموجي للضوء في الفيزياء الكلاسيكية؛ استقر كذلك -من دون شك تقريباً- في مطلع القرن العشرين أن المادة تتكون من جسيمات صغيرة للغاية أو ما يسمى بالذرات. ونجحت نظرية «دالتون Dalton» الذرية بشكل واضح في تفسير العمليات الكيميائية، واتضح أن ظاهرة «الحركة البراونية Brownian Motion» (التي تتقلب فيها جسيمات الدخان في الهواء تقلبات غير منتظمة) يرجع تفسيرها إلى التصادمات العشوائية بين جزيئات الهواء. كما أن دراسة خصائص أنابيب التفريغ الكهربائي (التي تُعتبر النموذج السابق على أنابيب أشعة الكاثود في أجهزة التلفاز) قادت «طومسون Joseph John Thomson»

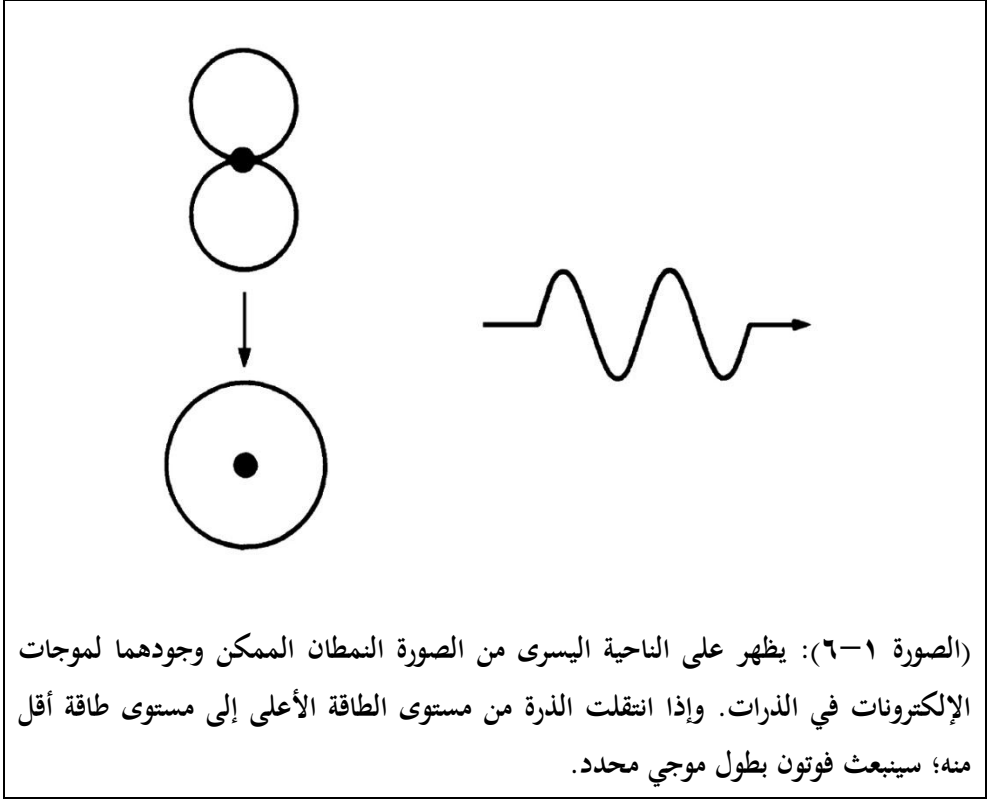


إلى استنتاج وجود جسيمات صغيرة للغاية مشحونة كهربياً - سُميت فيما بعد بالإلكترونات - تبعث من الأسلاك المعدنية بعد تسخينها في الفراغ لدرجات حرارة عالية. وفي وقت مبكر من القرن العشرين برهن «إرنست رذرفورد Ernest Rutherford» على أن الذرة بداخلها نواة صغيرة للغاية مشحونة بشحنة كهربية موجبة وتتركز فيها معظم كتلة الذرة، وتوقع أن تكون الذرة مكونة من هذه النواة الموجبة محاطة بتلك الإلكترونات. وفشلت كل محاولات الفيزياء الكلاسيكية في وصف بنية الذرة بنموذج أكثر تفصيلاً. وكان أحد تلك النماذج يصف دوران الإلكترونات حول النواة كما تدور الكواكب حول الشمس. لكن نظرية «ماكسويل» الكهرومغناطيسية تستلزم أن تُشعّ هذه الإلكترونات المشحونة مقداراً من الطاقة في صورة موجات كهرومغناطيسية، وهذا يستلزم أن تتباطأ الإلكترونات تدريجياً إلى أن تصطدم بالنواة.

وقبل الحرب العالمية الأولى بفترة وجيزة، استطاع «نيلز بور Niels Bohr» -وسوف يرد اسمه كثيراً من الآن فصاعداً- أن يبتكر نموذجاً لتفسير بنية ذرة الهيدروجين (التي تحتوي على إلكترون وحيد). يظل مدار الإلكترون في هذا النموذج ثابتاً ومستقرًا تحت شروط محددة. وحقق هذا النموذج نجاحاً ملحوظاً، لكنه فشل في تفسير خصائص الذرات التي تحتوي على أكثر من إلكترون، ولم يهتدِ إلى السبب الذي يؤدي إلى ثبات مدارات هذه الإلكترونات. وبعد عقد تقريباً في أوائل العشرينات؛ طرح الفيزيائي الفرنسي «لويس دي بروي Louis de Broglie» فرضية ثورية: إذا كانت موجات الضوء تسلك أحياناً سلوك الجسيمات؛ فهل من الممكن إذن أن تسلك الجسيمات الدقيقة -كالإلكترونات وأنوية الذرات- سلوك الموجات أحياناً؟ ربما نفكر في إجراء تجربة الشق المزدوج

باستخدام شعاع من الإلكترونات للتحقق من صحة هذه الفكرة الغربية (كما في الصورة ١-٢). في ذلك الوقت لم يكن تنفيذ هذا ممكناً من الناحية العملية؛ لأن الطول الموجي لشعاع الإلكترونات طبقاً لحسابات «دي بروي» كان قصيراً للغاية؛ بحيث تكون حواف نمط التداخل قريبة من بعضها للغاية فلا يمكن تمييزها. لكن تأكدت فكرة «دي بروي» بتجربة أخرى شبيهة؛ حيث انحرفت الإلكترونات بعد مرورها خلال بلورة مصنوعة من النيكل. ورُصد في تلك التجربة نمط متباين الشدة، وفُسر هذا النمط بأن تداخلاً ما قد حدث بين موجات الإلكترونات التي انحرفت بعد مرورها بمستويات الذرات المختلفة في البلورة؛ مما يؤكد أن شعاع الإلكترونات تصرف فعلاً كالموجات في هذا الموقف. وفي الآونة الأخيرة أصبح من الممكن أن يُؤلد شعاعاً من الإلكترونات بطول موجي يكفي لإظهار نمط التداخل في تجربة الشق المزدوج. ثم أجريت تجارب أخرى باستخدام النيوترونات والذرات والجزيئات وغيرها من الجسيمات، وتأكد أن جميعها يتصرف بنفس الخصائص الموجية.

كما تأكدت فرضية الطبيعة الموجية للجسيمات بشكل غير مباشر - وإن كان أكثر درامية - بعد قدرتها على تفسير البنية الإلكترونية للذرات. ويقع الشرح التام لهذه النقطة خارج نطاق كتابنا نظراً لاستلزامه تحليلاً رياضياً معقداً. والخلاصة أن تلك الموجات المادية عندما تنحصر داخل منطقة من الفراغ فإنها تتخذ أطوالاً موجية محددة. ولتقريب المسألة يمكن أن نضرب المثال بوتر الكمان المشدود بقوة معينة وبطول معين فإنه سيصدر أنغاماً محددة فقط، وينطبق نفس المبدأ بالطبع على معظم الآلات الموسيقية.



وبالجمع بين فرضية الموجات المادية، وبين قوة الجذب بين الإلكترونات السالبة الشحنة والنواة الموجبة الشحنة التي تتناسب عكسًا مع مربع المسافة بينهما؛ تنتج معادلة ذات حلول متعددة، تحدد هيئة موجات الإلكترونات في هذا الموقف. وتوضح حلول هذه المعادلة (المعروفة بـ «معادلة شرودنغر»، نسبة لـ «إرفين شرودنغر Erwin Schrödinger») أن طاقة الإلكترون «مكمّاة» Quantized<sup>(٢)</sup>. وينبني على ذلك أن طاقة الإلكترون داخل الذرة لا يمكن أن

(٢) مصطلح «القيم المكمّاة» يعني أنها قيم مجزأة منفصلة، كالأعداد الصحيحة. فإذا قلنا -مثلاً- إن مستويات طاقة الإلكترون مكمّاة؛ فمن غير الممكن أن تكون طاقة الإلكترون رقمًا بين هذه القيم. (المترجم)

تقل عن الحد الأدنى المسموح (المعروف باسم «الطاقة الأرضية Ground State Energy»). وبهذا تنتهي مشكلة سقوط الإلكترون حلزونيًا في النواة. وبالإضافة لذلك؛ إذا أثرت ذرة ما إلى مستوى معين من الطاقة أعلى من مستوى الحد الأدنى؛ فإنها ستعود للمستوى الأدنى مع انبعاث فوتون يحمل طاقة تساوي ذلك الفرق بين المستويين (انظر الصورة ١-٦). ورأينا سابقًا أن طاقة الفوتون تناسب مع الطول الموجي لشعاع الضوء الذي يكونه؛ ومن هنا نستنتج أن الضوء المنبعث من الذرات المستثارة سيكون ذا أطوال موجية محددة. كان هذا معلومًا بالفعل أن الضوء المنبعث من الذرات (في أنابيب التفريغ مثلاً) يتصف بتلك الصفة، وكان الانتصار الكبير لمعادلة شرودنغر أنها لم تفسر السبب وراء ذلك فقط، وإنما حددت بدقة تلك الأطوال الموجية المسموحة، التي وُجد أنها تتفق تمامًا مع التجارب.

## ما وراء الذرة

لم يتوقف نجاح ذلك النموذج للموجات المادية عند الذرة، فقد استخدمت نفس الأفكار لتحليل بنية النواة الذرية نفسها؛ التي تتكون من مجموعة جسيمات مشحونة بشحنة موجبة تسمى «بروتونات Protons» مع عدد مماثل تقريبًا من الجسيمات غير المشحونة تسمى «نيوترونات Neutrons»، ويُطلق على كل من البروتون أو النيوترون مصطلح «نكليون Nucleon». تتجاذب هذه النكليونات جميعًا بقوة جذب قوية تُسمى «القوة النووية الشديدة Nuclear Strong Force»، بالإضافة لقوة التنافر الاستاتيكية بين البروتونات. ولا تُعلم هيئة تلك القوى أو حقيقتها على وجه الدقة فهي معقدة تمامًا؛ ولذلك فإن حساباتها أصعب

بشكل ملحوظ من حسابات الذرات. لكن النتائج كانت بنفس الدقة: فخصائص النكليونات التي حُسبت عن طريق المعادلة تتفق تمامًا مع التجارب.

ومن المعلوم حاليًا أن «الجسيمات الأساسية Fundamental Particles» نفسها كالبروتون والنيوترون وغيرها (باستثناء الإلكترون) تتركب من جسيمات أخرى كـ «الكواركات Quarks». وفسرت نظرية الكوانتم هذه البنية أيضًا بنجاح مشابه لتفسيرها للظواهر الذرية وتحت الذرية، بحيث اتضح أن الكواركات أيضًا لها صفات موجية. بل إن فيزياء الجسيمات مددت مؤخرًا نظرية الكوانتم إلى ما وراء هذه النقطة، فكشفت عن أن الفوتون - إذا كانت طاقته عالية بما يكفي - يتحول إلى إلكترون سالب الشحنة، بالإضافة إلى جسيم مماثل له تمامًا لكنه موجب الشحنة وهو «البوزترون Positron». وقد يندمج هذا الشئ المكون من الإلكترون والبوزترون معًا ليتكون الفوتون مرة أخرى. وتنشأ في العمليات ذات الطاقة العالية بعض الجسيمات الدقيقة الغريبة غير المستقرة، ثم تتحلل تلقائيًا في أجزاء قليلة من الثانية إلى بعض الجسيمات المألوفة المستقرة كالإلكترون أو الكوارك. كل هذه العمليات فسرتها «نظرية المجال الكوانتي Quantum Field Theory» التي تعتبر امتدادًا لأفكار الكوانتم. ومن الأعمدة الرئيسية في نظرية المجال الكوانتي هو أن بعض الظواهر توصف بأنها في حالة «تراكب Superposition» أو تداخل، بما يشبه حالة التراكب بين الموجات المارة في جهاز التداخل ذي الشقين.

## المادة المكثفة

لم تتوقف نجاحات نظرية الكوانتم على الظواهر الذرية وتحت الذرية. فبعد استقرار فرضية الموجات المادية اتضح أن من الممكن استخدامها لتفسير الروابط الكيميائية. فعلى سبيل المثال؛ في حالة جزيء الهيدروجين المكون من ذرتي هيدروجين؛ تحيط موجات الإلكترونات بالنواتين وتربطهما معاً بقوة تتوازن مع قوة التنافر بينهما. وتتفق الحسابات المبنية على أفكار نظرية الكوانتم مع نتائج التجارب.

ونجحت نظرية الكوانتم أيضاً في تفسير خصائص «المادة المكثفة Condensed Matter»، وعلى وجه الخصوص: «المواد الصلبة البلورية Crystalline Solids» أو «البلورات Crystals». حيث تترتب الذرات في هذه البلورات في بنية شبكية منتظمة تؤدي لانحراف الموجات التي تمر من خلالها في حالة كون الأطوال الموجية لهذه الموجات ذات صلة بالمسافات بين مستويات الذرات في البلورة. وفي حالة اختلاف الطول الموجي عن تلك المسافات فإن الموجات تمر بدون تأثير. وقد أشرنا إلى مثال لذلك منذ قليل عندما تحدثنا عن انحراف الإلكترونات لدى مرورها من خلال إحدى البلورات كدليل يثبت فرضية الموجات المادية لـ «دي بروي». واتضح أنه في حالة المعادن تكون بعض الإلكترونات غير مرتبطة بذرتها (إلكترون من كل ذرة عادةً) وإنما تكون حرة الحركة في كامل البنية البلورية. وتكون الأطوال الموجية لهذه الإلكترونات طويلة للغاية بحيث لا تنحرف عند مرورها بالبنية الشبكية للبلورة. ونتيجة لذلك تتحرك هذه الموجات بلا عوائق وينشأ عنها تيار كهربى بمقاومة قليلة. وفي المقابل تكون الأطوال الموجية في المواد العازلة قصيرة بحيث يتوقف سريان الإلكترونات تماماً

بسبب هذه الانحرافات. أما في «أشباه الموصلات Semiconductors» كالسيليكون؛ فإن القليل من الإلكترونات يكون ذا حركة حرة بهذه الطريقة، مما يؤدي إلى خصائص تتميز بها رقائق السيليكون بكل أنواعها. بل إن نظرية الكوانتم فسرت بعض الظواهر بالغة الغرابة التي تحدث عند تبريد المواد إلى درجات الحرارة المنخفضة للغاية، مثل تحول الهيليوم إلى سائل عديم الكثافة، وتحول بعض المعادن إلى «موصلات فائقة Superconductors» بلا أي مقاومة كهربية؛ وسوف نعود إلى هذا الموضوع في الفصل السابع.

لقد أوضحنا في الأجزاء الثلاثة الأخيرة من هذا الفصل بعض النجاحات الظاهرة لنظرية الكوانتم خلال نصف القرن الماضي. وكلما أمكن حساب أي كمية فيزيائية باستخدام نظرية الكوانتم نجد أنها تتفق تمامًا مع النتائج العملية التجريبية.

وليس هدف هذا الكتاب أن نحصر نجاحات نظرية الكوانتم بالتفصيل، ولكن هدفه هو الكشف عن السمات الأساسية للمقاربة الكوانتية وشرح مضامينها الثورية على فهمنا النظري والفلسفي للكون. ولتحقيق هذا سنحتاج إلى فهم لأفكار الكوانتم أكثر تفصيلاً مما عرضناه حتى الآن، وسوف نبدأ هذه المهمة في الفصل القادم.





## الفهرس

الموضوع	الصفحة
هم أعلم! (د. محمد العوضي)	١٠
لماذا هذا الكتاب؟! .....	١٤
مقدمة الطبعة الأولى	١٨
مقدمة الطبعة الثانية	٢١

### الفصل الأول

## فيزياء الكوانتم

فيزياء الكوانتم	٢٤
موجات الضوء	٢٨
الفوتونات	٣١

٣٧	..... مبدأ الاحتمية لهايزنبرغ
٤٠	..... الذرات والموجات المادية
٤٤	..... ما وراء الذرة
٤٦	..... المادة المكثفة

### الفصل الثاني

## إلى أين تشير الفوتونات؟

٥٠	..... إلى أين تشير الفوتونات؟
٥١	..... استقطاب الضوء
٥٧	..... استقطاب الفوتونات
٦٨	..... المتغيرات الخفية

### الفصل الثالث

## ما الذي تخفيه أزواج الفوتونات؟

٧٤	..... ما الذي تخفيه أزواج الفوتونات؟
٨٣	..... مبرهنة بيل
٩٥	..... التجارب
١٠١	..... المناقشة

## الفصل الرابع

## كوبنهاغن المدهش

- ١٠٦ ..... كوبنهاغن المدهش
- ١١١ ..... كوبنهاغن و EPR
- ١١٦ ..... مشكلة القياس
- ١٢٣ ..... قطة شرودنغر

## الفصل الخامس

## هل كل ذلك في العقل؟

- ١٣٠ ..... هل كل ذلك في العقل؟
- ١٤٦ ..... فيزياء الكوانتم والاختزالية

## الفصل السادس

## أكوان متعددة

- ١٥٤ ..... أكوان متعددة

## الفصل السابع

## هل العبرة بالحجم؟

- ١٧٦ ..... هل العبرة بالحجم؟

الموصلية الفائقة ..... ١٨٦

### الفصل الثامن

## إلى الخلف... إلى الأمام

إلى الخلف... إلى الأمام ..... ٢٠٠

أثار لا تمحي ..... ٢٠٢

اللانعكاسية ..... ٢٠٤

اللانعكاسية والقياس ..... ٢١٣

### الفصل التاسع

## طريق وحيد إلى الأمام؟

طريق وحيد إلى الأمام؟ ..... ٢١٨

عودة إلى مشكلة القياس ..... ٢٢٣

### الفصل العاشر

## هل نصل إلى نظرية متسقة؟

هل نصل إلى نظرية متسقة؟ ..... ٢٣٢

التحقق الواقعي Actualisation ..... ٢٤٥

الفصل الحادي عشر

**حقيقة أم خيال؟**

حقيقة أم خيال؟ ..... ٢٥٢

**قائمة المراجع**

المراجع العامة ..... ٢٧٠

المراجع المتخصصة ..... ٢٧١

الفهرس ..... ٢٧٦





لدراسة الإلحاد ومعالجة النوازل العقديّة  
for Studying Atheism and Contemporary Issues of Faith