السببية والصدفة
في الفيزياء الحديثة
ديفيد بوم

- المؤلف: ديفيد بوم
- العنوان: السببية والصدفة في الفيزياء الحديثة
- ترجمة: مصطفى العدوي
- الطبعة: الأولى 2023
- تصميم الغلاف: عمرو الكفراوي
- مستشار النشر: سوسن بشير
- المدير العام: مصطفى الشيخ

رقم الإيداع:
٢٠٢٢/١٩٢٦٠
الترقيم الدولي: ISBN
978-977-765-355-8

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 Bookshop & Publishing House

1 Kareem El Dawla st. - From Mahmoud Basiuny st. Talaat Harb
CAIRO – EGYPT - Tel: 00202 25778743 - 00202 25779803 Mobile: +202-01111602787
E-mail:afaqbooks@yahoo.com – www.afaqbooks.com

١ شارع كريم الدولة- من شارع محمود بسيوني - ميدان طلعت حرب- القاهرة - جمهورية مصر العربية
ت: ٢٥٧٧٨٧٤٣ ٠٠٢٠٢ - ٢٥٧٧٩٨٠٣ ٠٠٢٠٢ - موبايل: ٠١١١١٦٠٢٧٨٧

ديفيد بوم

السببية والصدفة في الفيزياء الحديثة

ترجمة

مصطفى العدوي

آفاق للنشر والتوزيع

بطاقة الفهرسة

بوم، ديفيد
السببية والصدفة في الفيزياء الحديثة - ديفيد بوم
ترجمة: مصطفى العدوي
ط1 القاهرة - دار آفاق للنشر والتوزيع - 2023
320 ص، 21 سم.
رقم الإيداع 19260 / 2022
الترقيم الدولي 978 - 977 - 765 - 355 - 8
1 - علوم
2 - العنوان

هذه ترجمة كتاب:
Causality and Chance in Modern Physics
By: David Bohm
Authorised translation from the English language edition published by Routledge, a member of the Taylor & Francis Group
All rights reserved

جميع الحقوق محفوظة
© آفاق للنشر والتوزيع

All rights reserved
© **Afaq** *Publishing House* 2023

تقديم

لويس دي برولي

أولئك الذين درسوا تطور الفيزياء الحديثة يعرفون أن تقدُّم معرفتنا بالظواهر الفيزيائية الدقيقة قادنا إلى تبني -في تفسيرهم النظري لهذه الظواهر- موقفًا مختلفًا تمامًا عن الفيزياء الكلاسيكية. بينما في الفيزياء الكلاسيكية، كان من الممكن وصف مسار الأحداث الطبيعية على أنها تتطور وفقًا للسببية في إطار المكان والزمان (أو الزمكان النسبي)، وبالتالي تقديم نماذج واضحة ودقيقة لخيال الفيزيائي. الفيزياء الكمومية تمنع في الوقت الحاضر أي تمثيلات من هذا النوع، وتجعلها مستحيلة تمامًا. لا يسمح بأكثر من نظريات تستند إلى صيغة مجردة بحتة، مما يضعف مصداقية فكرة التطور السببي للظواهر الذرية والجسيمية؛ إنها لا توفر أكثر من قوانين الاحتمالات: فهي تعتبر قوانين الاحتمالات ذات طابع أساسي وتشكِّل الحقيقة المطلقة القابلة للمعرفة: لا تسمح بتفسيرها على أنها ناتجة عن تطورٍ سببيٍّ يعمل في مستوى أعمق من العالم الفيزيائي.

يمكننا أن نقبل بشكلٍ معقولٍ أن الموقف الذي تبنَّاه منذ ما يقرب من 30 عامًا علماء الفيزياء الكمومية النظرية هو -على الأقل ظاهريًّا-

النظير الدقيق للمعلومات التي أعطتنا إياها التجربة عن العالم الذري. على المستوى الذي وصل إليه الآن البحث في الفيزياء الدقيقة، من المؤكد أن طرق القياس لا تسمح لنا بتحديد جميع القيم التي ستكون ضرورية في وقتٍ واحدٍ للحصول على صورة للنوع الكلاسيكي من الجسيمات (يمكن استنتاج هذا من مبدأ عدم التأكد لهايزنبرج)، وأن الاضطرابات التي أدخلها القياس -التي يستحيل التخلص منها- تمنعنا بشكلٍ عامٍّ من التنبؤ بدقة بالنتيجة التي سينتجها، ويسمح فقط بالتنبؤات الإحصائية. إن بناء الصيغة الاحتمالية البحتة التي يستخدمها جميع المنظرين اليوم كان مبررًا تمامًا. ومع ذلك، فإن الغالبية منهم، غالبًا تحت تأثير الأفكار المسبقة المستمدة من العقيدة الوضعية، اعتقدوا أنهم يستطيعون المضي قدمًا والتأكيد على أن الطابع غير المؤكد وغير المكتمل للمعرفة التي تقدمها التجربة في مرحلتها الحالية يجعلنا نستنتج أن ما يحدث بشكلٍ حقيقي في الفيزياء المجهرية هي نتيجة عدم تحديد حقيقي للحالات الفيزيائية وتطورها. لا يبدو أن مثل هذا الاستقراء يمكن تبريره بأي شكلٍ من الأشكال. من المحتمل أنه بالنظر إلى المستقبل في مستوى أعمق من الواقع الفيزيائي، سنكون قادرين على تفسير قوانين الاحتمالات والفيزياء الكمومية على أنها نتائج إحصائية لتطوير قيم محددة تمامًا للمتغيرات الخفية في الوقت الحالي. قد تكون الوسائل القوية التي بدأنا استخدامها لتفكيك بنية النواة ولإظهار جسيمات جديدة ستمنحنا يومًا ما معرفة مباشرة لا نملكها الآن عن هذا المستوى الأعمق. إن محاولة إيقاف جميع المحاولات

لتجاوز وجهة النظر الحالية للفيزياء الكمومية يمكن أن تكون خطيرة جدًّا لتقدُّم العلم وستكون علاوة على ذلك مخالفة للدروس التي قد نتعلمها من تاريخ العلم. هذا يعلمنا، في الواقع، أن الحالة الفعلية لمعرفتنا هي دائمًا «مؤقتة»، وأنه يجب أن تكون هناك -بخلاف ما هو معروف بالفعل- مناطق جديدة هائلة لاكتشافها. إلى جانب ذلك، وجدت الفيزياء الكمومية نفسها لعدة سنواتٍ وهي تعالج مشكلاتٍ لم تتمكَّن من حلها، ويبدو أنها وصلت إلى طريقٍ مسدودٍ، يشير هذا الموقف بقوة إلى أن الجهد المبذول لتعديل إطار الأفكار -التي لفت الفيزياء الكمومية نفسها به طواعية- سيكون ذا قيمة.

يسعدني أن أرى أنه في السنوات القليلة الماضية كان هناك تطورٌ نحو إعادة فحص أساس التفسير الحالي للفيزياء المجهرية. كانت نقطة انطلاق هذه الحركة مقالتين نُشرتا في بداية عام 1952 في دورية Physical Review كان الكاتب هو ديفيد بوم. منذ زمن بعيد في مقالٍ نُشِر في Journal de Physique في مايو 1927 قدمتُ تفسيرًا سببيًّا لميكانيكا الموجة أسميته «نظرية الحلول المزدوجة» ولكني تخليت عنها، محبطًا من الانتقادات التي أثارتها هذه المحاولة. في بحثه عام 1952، تناول البروفيسور بوم أفكارًا معينة من هذه المقالة وقام بالتعليق عليها وتوسيعها بطريقة مثيرة للغاية، حيث نجح في تطوير حجج مهمة لصالح إعادة تفسير السببية للفيزياء الكمومية. قادتني ورقة البروفيسور بوم إلى النظر إلى مفاهيمي القديمة مرة أخرى، ومع زملائي الشباب في المعهد، هنري بوانكاريه Henri Poincaré، وعلى وجه الخصوص

إم جان بيير فيجييه M.Jean-Pierre Vigier، تمكَّنَّا من الحصول على بعض النتائج المشجعة. قام فيجييه بالعمل مع البروفيسور بوم نفسه بتطوير تفسيرٍ مثيرٍ للاهتمام للأهمية الإحصائية لـ $|\Psi|^2$ في ميكانيكا الموجات. ويبدو أنه من المرغوب فيه مواصلة بذل الجهود في هذا الاتجاه في السنوات القليلة القادمة. يبدو لي أنه يمكن للمرء أن يأمل في أن تكون هذه الجهود مثمرة وستساعد على إنقاذ الفيزياء الكمومية من الطريق المسدود الذي تُرِكت فيه في الوقت الحالي.

من أجل إظهار أهلية وضرورة مثل هذه المحاولات، اعتقد البروفيسور بوم أن اللحظة قد حانت مرة أخرى في أبحاثه للفحص النقدي لطبيعة النظريات الفيزيائية والتفسيرات التي تكون عرضة لشرح الظواهر الطبيعية بنفس السرعة التي يتقدم بها العلم. لقد قارن تطور الفيزياء الكلاسيكية، حيث تعاقبت عليها تباعًا وجهة نظر الآلية الكونية، ثم النظرية العامة للمجالات، ثم النظريات الإحصائية، واحدة تلو الأخرى، مع مقدمة مفاهيم الفيزياء الكمومية الجديدة الخاصة بها. لقد حلَّل بذكاءٍ وحذرٍ فكرة الصدفة، وأظهر أنها تأتي في كل مرحلة من مراحل تقدم معرفتنا، عندما لا ندرك أننا على شفا مستوى أعمق من الواقع، والذي لا يزال بعيدًا عنَّا، مقتنعًا بأن الفيزياء النظرية أدَّت دائمًا وستؤدي دائمًا إلى اكتشاف مستويات أعمق من العالم المادي، وأن هذه العملية ستستمر من دون أي حدودٍ، فقد خلص إلى أن الفيزياء الكمومية ليس لها الحق في أن تعتبر أن مفاهيمها نهائية، وأنه لا يمكن أن يمنع الباحثين من تخيل مجالات أعمق للواقع من تلك التي استكشفت بالفعل.

لا أستطيع أن أعطي هنا وصفًا كاملًا للدراسة الشاملة والرائعة التي أجراها البروفيسور بوم، سيجد القارئ تحليلًا أنيقًا وموحيًا للغاية يوجهه ويجعله يفكر. لا يوجد أحدٌ مؤهلٌ بشكلٍ أفضل من البروفيسور بوم لكتابة مثل هذا الكتاب، وهو يقدمه في الوقت المناسب تمامًا.

الفصل الأول

السببية والصدفة في القانون الطبيعي

١. مقدمة

في الطبيعة لا شيء يظل ثابتًا؛ كل شيء في حالة دائمة من التحول والحركة والتغيير. ومع ذلك، نكتشف أنه لا شيء ينبثق من اللا شيء ببساطة من دون وجود سابقة كانت موجودة من قبل. وبالمثل، لا شيء يختفي من دون أثرٍ، بمعنى أنه لا شيء يتحول إلى اللا شيء بشكلٍ مطلقٍ لاحقًا. يمكن التعبير عن هذه الخاصية العامة للعالم من حيث المبدأ الذي يلخص نطاقًا واسعًا من مختلف التجارب وهو الأمر الذي لم يتناقض في أي ملاحظة أو تجربة علمية أو غير ذلك؛ أي أن كل شيء يأتي من أشياء أخرى ويؤدي إلى أشياء أخرى.

هذا المبدأ ليس مجرد بيانًا لوجود السببية في الطبيعة، بل هو أساسيًّا أكثر من السببية، لأنه أساس إمكانية فهمنا للطبيعة بطريقة عقلانية.

للوصول إلى السببية، فإن الخطوة التالية هي ملاحظة أنه بينما ندرس العمليات التي تحدث تحت مظلة مجموعة واسعة من الظروف، فإننا نكتشف أن داخل كل تعقيدات التغيير والتحول توجد علاقاتٌ

تظل ثابتة بشكلٍ فعالٍ. وبالتالي، فإن الأجسام التي تطلق في الجو في ظل مجموعة واسعة من الظروف تسقط باستمرارٍ على الأرض. تظهر دراسة من كثبٍ لمعدل السقوط أنه بقدر ما يمكن إهمال مقاومة الهواء، فإن التسارع ثابتٌ؛ بينما لا تزال هناك علاقات أكثر عمومية يمكن العثور عليها عندما يجب أخذ مقاومة الهواء في الاعتبار. وبالمثل، فإن الماء الذي يوضع في وعاء «يأخذ مستواه الخاص» بشكلٍ ثابتٍ في مجموعة واسعة من الظروف. يمكن ضرب أمثلة لا نهائية من هذا النوع من التعميم الشديد لهذا النوع من السلوك حين يلحظ المرء أنه في العمليات التي يأتي شيء ما من شيء آخر، فإن ثبات علاقات معينة داخل مجموعة متنوعة من التحولات والتغييرات ليس من قبيل الصدفة. بدلًا من ذلك، نفسر هذا الثبات على أنه إشارة إلى أن مثل هذه العلاقات ضرورية، بمعنى أنها لا يمكن تغييرها، لأنها جوانب متأصلة وأساسية لماهية الأشياء. تُسمَّى العلاقات الضرورية بين الأشياء أو الأحداث أو الظروف أو (أشياء في وقتٍ معينٍ) وأشياء أخرى في أوقات لاحقة) بقوانين السببية.

لكننا في هذه المرحلة نواجه مشكلة جديدة، لأن ضرورة وجود قانون سببي ليس مطلقًا أبدًا. على سبيل المثال، لنفترض القانون القائل بأن الجسم المنطلق في الهواء سيسقط، هذا في الواقع عادة ما يحدث، ولكن إذا كان الجسم عبارة عن قطعة من الورق، وإذا هبَّ «صدفة» نسيم قوي، فقد ترتفع هذه الورقة. وبالتالي، فإننا نرى أنه يجب على المرء أن يتصور

قانون الطبيعة على أنه ضروري فقط إذا جُرِّدَ(*) من الاحتمالات الطارئة التي تمثِّل عوامل مستقلة أساسًا خارج نطاق الأشياء التي تنظمها القوانين قيد النظر، والتي لا تتبع أي شيء يحدده سياق هذه القوانين. تؤدي مثل هذه الاحتمالات إلى الصدفة(†). ومن ثم، فإننا نتصور ضرورة وجود قانون من قوانين الطبيعة على أنه قانونٌ مشروطٌ، لأنه ينطبق فقط على المدى الذي تهمل فيه هذه الاحتمالات. في كثيرٍ من الحالات بالفعل يمكن إهمالها. على سبيل المثال، في حركة الكواكب، الحالات الطارئة ليست مهمة تمامًا لجميع الأغراض العملية، ولكن في معظم التطبيقات الأخرى، من الواضح أن الاحتمالات الطارئة أكثر أهمية. حتى عندما تكون الحالات الطارئة مهمة، يمكن للمرء أن ينظر بشكلٍ مجردٍ إلى القانون السببي على أنه شيء يمكن تطبيقه إذا لم تكن الحالات الطارئة تعمل. في كثيرٍ من الأحيان -قد نقوم لأغراضٍ عملية- بعزل العملية التي نهتم بها عن الحالات الطارئة بمساعدة جهاز تجريبي مناسب، وبالتالي نتحقق من أن هذا المفهوم المجرد لضرورة العلاقات السببية هو مفهومٌ صحيحٌ.

(*) خلال هذا الكتاب، ستُستخدَم كلمة «تجريد-abstract» بمعناها الحرفي «اقتطاع-taking out». عندما يقوم المرء بتجريد شيء ما، فإنه يبسِّطه عن طريق اقتطاعه من سياقه الكامل من ناحية المفهوم. عادة، يحدث ذلك عن طريق اقتطاع ما هو مشترك بين مجموعة متنوعة من الأشياء المتشابهة. وهكذا، تميل الأفكار التجريدية إلى أن يكون لها شكلٌ معممٌ ما. يعتمد ما إذا كان تجريدًا معينًا صالحًا في حالة معينة على المدى الذي تؤدي فيه تلك العوامل التي يمكن تجاهلها في الواقع إلى إحداث تأثيرات ضئيلة في المشكلة قيد الدراسة.

(†) نحن هنا نأخذ كلمة «الحالات الطارئة أو العرضية-contingency» بمعناها الواسع، أي عكس ما هو ضروري أو حتمي، وبالتالي، فإن الحالات الطارئة هي كل ما هو خلاف ذلك. سيُنظر لاحقًا إلى الصدفة على أنها شكلٌ معينٌ شائعٌ جدًّا من الحالات الطارئة، بينما ستُنظر إلى السببية أيضًا على أنها شكلٌ خاصٌّ ولكنه شائعٌ جدًّا من أشكال الحتمية أو الضرورة.

الآن، هنا قد يعترض البعض إذا أخذنا في الحسبان كلَّ شيء في الكون، فإن فئة الأحداث الطارئة سوف تختفي، وسيُنظر إلى أن كل ما يحدث يتبع الضرورة والحتمية. من ناحية أخرى، لا يوجد قانونٌ سببي معروف يفعل ذلك حقًّا. صحيح أنه في أي مشكلة معينة يمكننا من خلال توسيع سياق العمليات قيد الدراسة، إيجاد القوانين التي تحكم بعض الحالات الطارئة. وهكذا، في حالة قطعة الورق التي تتطاير بفعل الرياح، يمكننا في النهاية دراسة القوانين التي تحدد كيفية هبوب الرياح. لكن هنا سنواجه حالات طارئة جديدة، يعتمد سلوك الرياح على مواقع الغيوم، وعلى درجة حرارة المسطحات المائية والأرضية، وحتى -كما هو موضح في بعض دراسات الأرصاد الجوية الأخيرة- على حزمٍ من الإلكترونات والأشعة فوق البنفسجية التي قد تنبعث بكثافة غير عادية من خلال البقع الشمسية. هذا يعني، أنه يجب علينا الآن أن نتعامل مع القوانين التي تحكم تكوين السحب، وكتل الأرض، والمسطحات المائية، والعمليات التي تنشأ فيها البقع الشمسية. حتى الآن لم يُكتشف أي دليلٍ على أن إمكانية تتبُّع العلاقة السببية بهذه الطريقة يمكن أن ينتهي على الإطلاق. بعبارة أخرى، لقد عثر على كل علاقة سببية حقيقية تعمل بالضرورة في سياقٍ محدودٍ لتكون خاضعة لحالاتٍ طارئة تنشأ خارج المسألة المطروحة(*).

لفهم العلاقة بين السببية والصدفة التي أمكن العثور عليها بالفعل

(*) لقد بُذِلت جهودٌ فلسفية بحتة مختلفة لتحديد القوانين السببية الخالية تمامًا من الصدفة، تستند هذه الجهود إلى وجهة نظر آلية تجاه العالم (أي أن العالم يشبه الآلة). ستوضح عدم ملاءمة وجهة النظر هذه في الفصلين الثاني والخامس.

حتى الآن، يمكننا مقارنة هاتين الفئتين برأيين متناقضين لنفس الشيء. كل وجهة نظر هي فكرة مجردة في حد ذاتها تعطي فكرة مناسبة عن جوانب معينة من الموضوع، ولكنها ستؤدي إلى نتائج خاطئة إذا نسينا أنها في النهاية مجرد رؤية جزئية. كل رأي إذن يحد من الآخر ويصحِّح الآخر، ومن خلال علاقته بالآخر يمكننا تكوين مفهوم أفضل لماهية الموضوع. بالطبع، قد نأخذ عددًا لا نهائيًّا من وجهات النظر المختلفة، ولكن هناك دائمًا وجهة نظر معاكسة مرتبطة بكل وجهة نظر. وبالتالي، بينما يمكننا دائمًا عرض أي عملية معينة من أي جانبٍ مرغوب فيه (على سبيل المثال الجانب السببي) من خلال الانتقال إلى سياقٍ مناسبٍ، فمن الممكن دائمًا العثور على سياقٍ آخر نراه من الجانب الآخر (في هذه الحالة، الحالة الطارئة).

باختصارٍ، إذن، قد نقول إن العمليات التي تحدث في الطبيعة وُجد أنها تلبي قوانين أكثر عمومية من تلك المتعلقة بالسببية. لأن هذه العمليات قد تفي أيضًا بقوانين الصدفة (التي سنناقشها بمزيدٍ من التفصيل في القسمين الثامن والتاسع)، وكذلك القوانين التي تتعامل مع العلاقات بين السببية والصدفة. الفئة العامة من القانون التي تشمل القوانين السببية وقوانين الصدفة والقوانين المتعلقة بهاتين الفئتين من القانون، يجب أن نطلق عليها اسم قوانين الطبيعة.

٢. السببية في العمليات الطبيعية

لا يمكن توصيف القوانين السببية لمسألة معينة بكونها بدهيَّة؛ بل يجب أن توجد في الطبيعة. ومع ذلك، استجابةً للتجربة العلمية على مدى أجيال عديدة جنبًا إلى جنبٍ مع الخلفية العامة للخبرة الإنسانية المشتركة على مدى قرون لا حصر لها، فقد طُوِّرت طرقٌ محددة جيدًا إلى حدٍّ ما لإيجاد هذه القوانين السببية. أول ما يوحي بوجود قوانين سببية هو بالطبع وجود علاقة منتظمة تحمل نطاقًا واسعًا من الاختلافات في الظروف. عندما نجد مثل هذه التنظيمات، فإننا لا نفترض أنها نشأت بطريقة عشوائية أو متقلبة(*) أو عرضية، ولكن نفترض مؤقتًا على الأقل -كما أشرنا في القسم السابق- أنها نتيجة لعلاقاتٍ سببية ضرورية. وحتى فيما يتعلق بالمخالفات (الأمور التي تناقض التنظيمات) الموجودة دائمًا جنبًا إلى جنب مع التنظيمات، يمكن توجيه المرء على أساس الخبرة العلمية العامة إلى توقع أن الظواهر التي قد تبدو غير منتظمة تمامًا بالنسبة إلينا في سياق مرحلة معينة من تطور فهمنا سوف نجد لاحقًا أنها تحتوي على أنواعٍ أكثر دقة من الانتظام، والتي بدورها ستوحي بوجود علاقات سببية لا تزال أعمق.

بعد أن وجدنا بعض التنظيمات التي نفترض مؤقتًا أنها نتائج القوانين السببية، ننتقل بعد ذلك إلى وضع فرضيات تتعلق بهذه القوانين التي من شأنها أن تفسر هذه التنظيمات وتسمح لنا بفهم أصلها بطريقة

(*) **ملاحظة المترجم**: fluctuation التقلب أو التذبذب، المقصود هو تغير قيمة دالة رياضية حول قيمة ثابتة صعودًا وهبوطًا.. سيستخدم لفظ التقلب/ التقلبات لهذا المعنى خلال هذا الكتاب.

عقلانية(*). ستؤدي هذه الفرضيات بشكلٍ عامٍّ إلى تنبؤات جديدة، لأشياء غير واردة في البيانات التجريبية التي أدَّت إلى ظهورها. يمكن بعد ذلك اختبار مثل هذه التنبؤات، إما عن طريق الملاحظة البسيطة للظواهر التي تحدث من تلقاء نفسها، وإما عن طريق إجراءات أنشط لتنفيذ التجربة، أو بتطبيق الفرضيات كدليلٍ في الأنشطة العملية.

خلال الملاحظات والرصد والتجارب، يُبذل جهدٌ لاختيار الظروف التي يمكن خلالها عزل العمليات قيد الدراسة من تداخل الحالات الطارئة. على الرغم من وجود مثل هذا الجهد يمكن ألا يؤدي إلى تجنبٍ كاملٍ للحالات الطارئة، فمن الممكن في كثيرٍ من الأحيان الحصول على درجة من العزل الجيد بما يكفي لأغراضٍ عملية. إذن إذا أمكن التحقق من التنبؤات المستندة إلى فرضياتنا باستمرارٍ في مجموعة واسعة من الظروف، وإذا كان من الممكن -ضمن درجة التقريب التي نعمل بها- أن تُفهم جميع حالات فشل التحقق على أنها نتائج لحالاتٍ طارئة لم نتمكَّن من تفادي تأثيرها(**)، فيمكن قبول الفرضية المعنية باعتبارها صحيحة بشكلٍ أساسي، والتي تنطبق على الأقل في مجال الظواهر قيد الدراسة، وكذلك على الأرجح في العديد من المجالات الجديدة التي لم تُدرَس بعد. إذا لم يكن الحصول على مثل هذا التحقق

(*) من خلال شرح شيء معين، يعني أن هذا الشيء يتبع بالضرورة من أشياء أخرى، لذلك فإن التفسير يقلل عدد العناصر العشوائية في أي سياقٍ معين.

(**) على سبيل المثال عندما نرى قطعة ورق في الجو لا تتساقط، يجب أن نجد شيئًا ما يحدث (على سبيل المثال، هبوب النسيم) وهو ما يفسر فشل توقعنا بأن الأجسام التي تُترَك حرة في مجال الجاذبية الأرضية ستسقط نحو الأرض.

ممكنًا، فمن الضروري بالطبع العودة والبحث عن فرضياتٍ جديدة حتى يمكن الحصول عليها.

حتى بعد تطوير الفرضيات الصحيحة، فإن العملية لا تتوقف عند هذا الحد. بالنسبة إلى هذه الفرضيات بشكلٍ عامٍّ ستؤدي إلى ملاحظاتٍ وتجارب جديدة، وأنواع جديدة من الأنشطة العملية قد يُنتَج عنها اكتشاف قواعد تجريبية جديدة، تتطلب بدورها تفسيرات جديدة، إما من حيث تعديل الفرضيات الموجودة، وإما من حيث المراجعة الأساسية لواحدة أو أكثر من الفرضيات الكامنة وراء هذه الفرضيات. وهكذا، فإن كلًّا من التفسيرات النظرية والتحقق التجريبي يكمل الآخر ويحفزه، ويؤدي إلى نمو وتطور مستمرٍّ للعلم سواء فيما يتعلق بالنظرية أو فيما يتعلق بالممارسة والتجربة.

من الضروري، مع ذلك، جعل عرض السببية الوارد في هذا القسم أكثر دقة، سنشرع الآن في القيام بذلك بمساعدة مجموعة واسعة من الأمثلة توضح كيف تظهر جوانب مختلفة من العلاقات السببية نفسها بالفعل في حالات محددة.

٣. الارتباط ASSOCIATION في مواجهة الروابط السببية

المشكلة الأولى التي يجب أن نفكر فيها هي: التحليل الدقيق للعلاقة بين السببية والارتباط المنتظم للظروف أو الأحداث. بالنسبة إلى الارتباط المنتظم بين مجموعة معينة A من الأحداث أو الظروف في الماضي، ومجموعة أخرى B في المستقبل لا يعني بالضرورة أن A هو سبب B. بدلًا من ذلك، قد يعني ذلك أن A وB مرتبطان فقط

لأن كليهما ناتجٌ عن مجموعة من الأسباب الأكثر عمومية C والتي هي سابقة لكل من A وB. على سبيل المثال، قبل الشتاء تسقط الأوراق من الأشجار بشكلٍ عامٍّ، ومع ذلك، فإن فقدان أوراق الأشجار ليس سبب الشتاء، ولكنه تأثير العملية العامة لخفض درجة الحرارة التي تؤدي أولًا إلى فقدان الأشجار للأوراق ثم إلى حلول فصل الشتاء لاحقًا. من الواضح إذن أن مفهوم العلاقة السببية ينطوي على أكثر من مجرد ارتباطٍ منتظمٍ، حيث تسبق مجموعة من الأحداث مجموعة أخرى في ذلك الوقت. بالإضافة إلى ذلك ضمنيًّا فإن الآثار المستقبلية (المستخرجة من الحالات الطارئة بالطبع) تأتي من الأسباب السابقة من خلال عملية ترضي العلاقة الحتمية. وكما هو واضح، فإن مجرد الارتباط لا يكفي لإثبات هذا النوع من الاتصال.

من الطرق المهمة للحصول على دليلٍ لافتراض أن (مجموعة معينة من الأحداث أو الظروف تأتي بالضرورة من مجموعة أخرى) هي إظهار أن مجموعة واسعة من التغييرات تحدث لواحدٍ أو أكثر من الأسباب المفترضة في ظل ظروفٍ تكون فيها العوامل الأخرى ثابتة دائمًا، مما ينتج عنه تغييرات مقابلة في التأثيرات. وكلما زاد التنسيق في هذا النوع الذي يمكن للمرء إثباته من التغييرات التي تطرأ على مجموعتي الأحداث، كان الدليل أقوى على ارتباطهما سببيًّا؛ ومع وجود عددٍ كبيرٍ بشكلٍ كافٍ، لأغراض عملية، يصبح المرء متأكدًا من صحة فرضيات الاتصال السببي هذه. للحصول على مثل هذا العرض التوضيحي عادة ما يكون تدخلنا النشط عن طريق التجارب مطلوبًا،

على الرغم من أنه في بعض الحالات ستحدث تغييراتٌ كافية من النوع الصحيح بشكلٍ طبيعي بحيث يكون من المناسب إجراء مجموعة واسعة من الملاحظات في الظواهر الموجودة بالفعل.

ينبغي لنا أن نوضح هنا كيف تتيح التجارب والملاحظات إمكانية التمييز بين الارتباط المنتظم للأحداث والسببية عن طريق مثال مأخوذ من مجال الطب. في الأصل، لوحظ أن مرض الملاريا مرتبطٌ بهواء الليل الرطب، وبالتالي، كان يُعتقد أن هواء الليل الرطب هو سبب الملاريا. لكن هذه الفرضية لم تفسر الحقائق المعروفة جيدًا. فقد وُجِد أن الملاريا يمكن أن توجد حتى في الأماكن ذات الهواء الجاف، بينما غالبًا ما تكون غائبة في الأماكن ذات الهواء الرطب جدًّا، لكن لوحظ أنه في الأماكن التي يكون فيها الهواء الليلي رطبًا، يوجد الكثير من البعوض الذي يمكن أن يلدغ الأشخاص الذين يتركون نوافذهم مفتوحة. كانت الفرضية بعد ذلك هي أن البعوضة تحمل شيئًا من دم شخصٍ مريضٍ إلى دم شخص سليم، مما قد يتسبَّب في الإصابة بالملاريا. يمكن أن تفسر مثل هذه الفرضية سبب وجود الملاريا بشكلٍ عامٍّ في الأماكن الرطبة، حيث يوجد العديد من البعوض في مثل هذه الأماكن. اتضح أيضًا سبب إمكانية إنتاج الملاريا حتى في الأماكن الجافة، ما دام هناك برك عرضية يمكن للبعوض أن يتكاثر فيها. أخيرًا اتضح سبب وجود الأماكن الرطبة من دون الملاريا، الشرط هنا هو عدم وجود أشخاص مصابين بالمرض في الحي. وهكذا، أنتجت فرضية يمكن أن تشرح مجموعة واسعة من الحقائق، على الأقل بطريقة عامة. للتحقق من هذه الفرضية، كانت هناك

حاجة إلى إجراء تجارب مصمَّمة خصيصًا للقضاء على احتمال ارتباط البعوض بالمرض بشكلٍ منتظم فقط، في حين أن الهواء الرطب سيكون أحد الأسباب الحقيقية. أُخِذ متطوعون مختلفون، وقُسِّموا إلى ثلاث مجموعات. عُزِلت جميع المجموعات لمنع لدغات البعوض التي قد تكون في الحي عن طريق الصدفة. المجموعة الأولى لم يُسمَح لها بلدغات البعوض على الإطلاق، المجموعة الثانية كانت تسبح بلدغات البعوض الذي لم يكن بإمكانه الوصول إلى الأشخاص المصابين بالملاريا، والمجموعة الثالثة تعرَّضت للدغات البعوض الذي لدغ أشخاصًا مصابين بالملاريا. قُسِّمت المجموعات الثلاث إلى قسمين: جزء معرض للهواء الرطب، والجزء الآخر غير معرض للهواء. فقط أولئك الذين كانوا في المجموعة الثالثة هم الذين أصيبوا بالملاريا، ومن هؤلاء فقط أولئك الذين لدغهم نوعٌ خاصٌّ من البعوض بعوضة الأنوفيليس أو (أنوفيلة Anopheles). لم يُحدث التغيير بين الهواء الرطب والجاف أي فرق في أيٍّ من المجموعات، مما يُظهر أن هذا العامل كان مجرد ارتباطٍ(*) وليس سببًا حقيقيًّا. من ناحية أخرى، فإن القضاء على بعوض الأنوفيليس أو عدم الاتصال بالأشخاص المصابين بالملاريا يقضي على المرض. لذلك يجب أن يكون السبب الحقيقي شيئًا ينتقل عن طريق بعوضة الأنوفيليس من دم شخصٍ مريضٍ إلى دم شخص سليم، أظهر العمل اللاحق أن هذا الشيء هو بكتيريا محددة.

(*) من الواضح أن الهواء الرطب ونمو البعوض لهما سبب مشترك بشكلٍ عامٍّ (مثل المسطحات المائية الراكدة)، وهو ما يفسر سبب ارتباطهما معًا بشكلٍ متكررٍ.

يوضح هذا المثال قيمة التحكم والمراقبة للتجارب في التمييز بين السبب الحقيقي والارتباط غير ذي الصلة، كما يوضح أيضًا كيف أن البحث عن تفسيرٍ محسن للحقائق سيساعد غالبًا على الكشف عن بعض الأسباب الحقيقية، وأخيرًا، يوضح أهمية اكتشاف مثل هذه القضية؛ لأن هذا الاكتشاف جعل من الممكن السيطرة على الملاريا، فضلًا عن المساعدة على البحث عن العلاجات التي من شأنها أن تقتل البكتيريا المنتجة للملاريا.

٤. الأسباب المهمة significant causes خلال سياقٍ ما

لقد بسَّطنا المشكلة إلى حدٍّ كبيرٍ في المثال السابق، بافتراض أن ثمة سببًا واحدًا للملاريا. في الواقع، المشكلة أكثر تعقيدًا مما أشرنا إليه، لأنه لا يمرض كل من لدغته بعوضة مصابة. يمكن تفسير هذه الحقيقة من خلال فهم أكثر تفصيلًا للعمليات التي ينطوي عليها المرض. وهكذا، فإن البكتيريا تنتج موادَّ تتداخل مع عمل الجسم وتميل إلى إصابة الشخص بالمرض. لكن الجسم يمكن أن ينتج موادَّ تتداخل مع عمل البكتيريا. وبالتالي، ينشأ اتجاهان متعارضان. يعتمد أي شخص سيتغلب على المرض على عوامل معقدة تتعلق بوظيفة الميكروبات والجسم، والتي لم تُفهَم بالكامل بعد. لكننا نرى أنه من السهل جدًّا التفكير في الميكروب باعتباره السبب الوحيد للملاريا، لكن الحقيقة أنه يميل فقط إلى بدء العمليات التي تؤدي إلى المرض، وبالتالي يساهم فقط في إنتاج الملاريا.

حاليًّا إذا اعترفنا بفكرة أن كل حالة أو حدث له العديد من الأسباب

المساهمة، فإنه يقودنا إلى سلسلة من المشاكل الجديدة. أولًا: نلاحظ أن جميع الأحداث والأشياء في الكون قد أظهرت حتى الآن أنها مترابطة بطريقة ما حتى ولو بشكلٍ طفيفٍ. إذن، بالمعنى الدقيق للكلمة يجب على المرء أن يقول إن كل شيء قد يكون له عددٌ لا حصر له من الأسباب المساهمة contributing causes، ولكن من الناحية العملية، فإن معظم هذه العناصر لها تأثيرٌ ضئيلٌ في المشكلة قيد الدراسة. وبالتالي قد نحصر «الأسباب المهمة» في تأثيرٍ معينٍ لتلك الظروف أو الأحداث التي لها تأثير ملموس على الآثار في المسألة قيد الدراسة – من خلال السياق موضع الاهتمام–.

كمثالٍ، بافتراض مشكلة الملاريا مرة أخرى، نعلم أن القمر يمارس قوة جاذبية على كل جسمٍ في الكون، وبالتالي يجب أن يكون له تأثيرٌ على كلٍّ من بكتيريا الملاريا وعلى الشخص الذي قد يصاب بالملاريا، لكن في الممارسة العملية، عادة ما يكون هذا التأثير ضئيلًا، لكن ليس دائمًا، إذ يمكن للقمر أن يرفع المد والجزر، وبالتالي يمكن أن يدفع التيار الذي يتدفق إلى البحر، ثم يخلق برك مياه عذبة قد يتكاثر فيها البعوض. لذلك في بعض الحالات يمكن القول بأن القمر سببٌ غير مباشر يساهم في الإصابة بالملاريا. ومن ثم، فإن السؤال: ما هي «الأسباب المهمة» في أي مشكلة معينة لا يمكن حلها مسبقًا، ولكن بشكلٍ عامٍّ يجب أن يبت فيها في كل حالة فقط بعد دراسة متأنية، بهدف إيجاد العوامل الضرورية في السياق قيد الدراسة لإنتاج السمات الأساسية للتأثير في تلك المسألة.

حتى بعد أن توصلنا إلى تحديد العوامل التي يمكن إهمالها، تتبقى مشاكل خطيرة يتوجب علينا حلها. إحدى هذه المشاكل هو معرفة **متى** قمنا بتضمين كل هذه الأسباب المهمة. لمجرد إثبات أن تغيير السبب الذي افترضنا له تأثيرًا ملموسًا على الأثر (النتيجة) وذلك عندما نعتبر أن الأسباب الأخرى التي افترضناها ثابتة، تظهر فقط أننا اكتشفنا أحد الأسباب المهمة. مما يشير إلى أنه عندما نفشل في اكتشاف جميع الأسباب المهمة، فقد طورنا اختبارًا يمكن إعادة تنفيذه (التناتجية)(*).

يعتمد هذا الاختبار على مبدأ أنه إذا قمنا بإعادة إنتاج جميع الأسباب المهمة، فيجب أن نحصل على الأثر على الأقل في جوانبه الأساسية. وبالتالي، فإن اكتشاف أن نتائج التجربة غير قابلة للتكرار يشير إلى أن سببًا أو أكثر من الأسباب المهمة يختلف من تجربة إلى أخرى، وبالتالي ينتج عنه تباين في الأثر. هذا في الأساس تطبيق للمبدأ الذي قدمناه في بداية هذا الفصل؛ أي أن كل شيء يأتي من شيء آخر، وبالتالي، في هذه الحالة، لا نعترف بإمكانية وجود اختلافاتٍ عشوائية لتأثيرٍ ما لا علاقة له تمامًا بالتغيرات في حالة الأشياء التي جاء منها هذا الأثر. إذا عثر على اختلافات غير مفسَّرة في الأثر، فمن الضروري بعد ذلك اكتشاف -عن طريق التجارب الخاضعة للرقابة بعناية والموجهة بالفرضيات القائمة على الحقائق المتاحة- ما هو المسؤول عن عدم قابلية تكرار الأثر.

(*) **ملاحظة المترجم:** التناتجية Reproducibility: التناتجية هو أحد المبادئ الرئيسية للمنهج العلمي، ويشير إلى قدرة اختبار ما أو تجربة ما على أن تُكرر من قبل شخص أو هيئة أخرى مستقلة عن الجهة التي قامت بالتجربة الأصلية مع الحصول على نتائج متوافقة لنتائج الاختبار أو التجربة الأصلية.

على سبيل المثال، في حالة مرض الملاريا، ذكرنا بالفعل حقيقة أن لدغة بعوضة مصابة بالعدوى لا تنقل المرض دائمًا. هذا النقص في التناتجية بشكلٍ كاملٍ يشير إلى أن هناك عوامل أخرى متضمنة؛ وبالفعل كما رأينا، فإن الأسباب المهمة المعروفة للملاريا معقدة للغاية، وتتضمن كما هو الحال عوامل كيمياء الدم والصحة العامة، وما إلى ذلك، بطريقة لا تُفهم حاليًّا إلا جزئيًّا.

يمكِّننا اختبار قابلية إعادة التنفيذ (التناتجية) من معرفة سبب عدم تضميننا جميع الأسباب المهمة حتى الآن. في المقابل من ذلك لا يوجد اختبارٌ يمكن أن يثبت أننا قمنا بتضمين كل هذه الأسباب المهمة. لأنه من الممكن دائمًا أن تتضمن الأسباب المهمة عوامل إضافية، غير معروفة حتى الآن، والتي لم تتغير أبدًا بشكلٍ كافٍ في سياق التجربة والملاحظات التي أجريت حتى الآن لتغيير الأثر (النتيجة) بشكلٍ ملحوظٍ. على سبيل المثال، في القرن التاسع عشر كان يُعتقد أن الشخص سيحصل على نظام غذائي كافٍ إذا حصل على حدٍّ أدنى معين من الدهون والبروتينات والكربوهيدرات والمعادن المختلفة؛ وقد أمكن التحقق من هذه الفرضية على ما يبدو من خلال حقيقة أن الأشخاص الذين يحصلون على إمدادات كافية من هذه المواد من الأطعمة الشائعة لا يعانون من نقص غذائي واضح. ولكن في مجموعة أوسع من الملاحظات، لوحظ فيها على سبيل المثال، أن الأشخاص الذين تناولوا الأرز بشكلٍ أساسي الذي أزيلت منه قشور الحبوب

عانوا من مرض بيري بيري(*)، في حين أن الأشخاص الذين تناولوا الحبوب الكاملة لم يعانوا من ذلك المرض. لذلك كان يشتبه في أن قشور الحبوب تحتوي على مواد إضافية لازمة في نظام غذائي كامل. كشفت الدراسات اللاحقة عن وجود مجموعة كاملة من هذه المواد، تسمى الآن الفيتامينات. كانت الفيتامينات ضرورية دائمًا لنظامٍ غذائي صحي؛ ولكن في معظم الأماكن وزعت على نطاق واسع لدرجة أن نقص الفيتامينات لم يكن شائعًا بدرجة كافية للفت الانتباه إلى وجود هذه الاحتياجات المهمة جدًّا لجسم الإنسان. وبالتالي، نظرًا إلى توسيع نطاق اختلاف الظروف التجريبية أو الملاحظة، يجب أن نكون دائمًا مستعدين لإمكانية اكتشاف أسبابٍ مهمة جديدة في أي مجالٍ معين.

من أجل التعامل مع المشكلات التي تثيرها عدم قدرتنا على معرفة جميع العوامل السببية المهمة التي قد تساهم في أثرٍ معينٍ، فقد نشأ تمايزٌ بين **الأسباب المباشرة** و**الظروف** (أو الأسباب الخلفية). يمكن تعريف **الأسباب المباشرة** على أنها الأسباب التي عند تعرُّضها للتغييرات التي تحدث في سياقٍ معينٍ، ستنتج تغييرًا كبيرًا في الأثر. أما **الظروف** فيمكن تعريفها على أنها تلك العوامل الضرورية لإنتاج نتائج معينة داخل المشكلة محل الدراسة، ولكنها لا تتغير بشكل كافٍ

(*) **ملاحظة المترجم**: بيري بيري :beri-beri مرض نقص الثيامين هو حالة طبيَّة لوجود مستويات قليلة من الثيامين (فيتامين ب1). يوجد حالة حادة ومزمنة تُعرف بالبيريبيري. هنالك نوعان رئيسيَّان في البالغين: البيربيري الرطب، والبيريبيري الجاف. البيريبيري الرطب يؤثر في القلب والأوعية الدموية ويسبِّب تسارعًا في نبضات القلب، عسر التنفس، والاستسقاء. أما البيريبيري الجاف يؤثر في الجهاز العصبي مسببًا نمنمة الأيدي والأرجل، التشوش، صعوبة في تحريك الأرجل، والألم. من الممكن أن يؤدي هذا المرض إلى فقدان الشهية والإمساك.

في السياق محل الاهتمام لإحداث تغيير ملموس في الأثر. على سبيل المثال، قد يقول المرء إن التربة الخصبة بالإضافة إلى الكثير من الأمطار توفر **الظروف** العامة (أو الخلفية) اللازمة لنمو المحاصيل الجيدة، لكن السبب المباشر هو زراعة البذور المناسبة.

ومع ذلك، فإن التمايز بين **الأسباب المباشرة** و**الظروف** هو فكرة مجرَّدة ومفيدة للتحليل، ولكنها ليست صحيحة تمامًا. يمكن دائمًا تغيير الخلفية، بشرط أن تتغير الشروط أيضًا بشكلٍ ملحوظٍ. لقد رأينا على سبيل المثال في حالة دراسة سبب البيري بيري، أنَّ ثمة خلطًا بين أصل هذا المرض بسبب وجود **خلفية عامة** وفيها تحتوي معظم الأطعمة على فيتامينات كافية لنظامٍ غذائيٍّ مناسبٍ، لكن الدراسات اللاحقة كشفت عن ظروفٍ لم تكن هذه الخلفية موجودة فيها.

لا يمكن فقط تغيير **الظروف الخلفية** من خلال عوامل خارجية، ولكن في كثيرٍ من الأحيان يمكن تغييرها بشكلٍ كبيرٍ بعد وقتٍ كافٍ من خلال العمليات التي تُجرى في الخلفية نفسها. على سبيل المثال، قد يؤدي قطع الغابات متبوعًا بزراعة المحاصيل إلى استنفاد خصوبة التربة وحتى قد يغيِّر المناخ ومعدل هطول الأمطار السنوي بشكلٍ ملحوظٍ. في الفيزياء، يظهر تأثير أي عملية على «خلفيتها» بشكلٍ أكثر إثارة للانتباه من خلال قانون نيوتن بأن الفعل ورد الفعل متساويان. من هذا القانون يترتب على ذلك أنه من المستحيل على أي جسمٍ أن يؤثر في جسمٍ آخر من دون أن يتأثَّر هو نفسه إلى حدٍّ ما، وبالتالي، في العالم الحقيقي لا يمكن أن توجد خلفية ثابتة تمامًا. ومع ذلك، في أي مشكلة

معينة قد يظل عددٌ كبيرٌ من العوامل ثابتًا بدرجة كافية للسماح باعتبارها -بدرجة كافية من التقريب- على أنها تشكِّل خلفية ثابتة. وبالتالي، فإن التمايز بين **الأسباب والظروف المباشرة**، أو **الأسباب الخلفية**، نسبي ويعتمد على الظروف. ومع ذلك، نظرًا إلى أننا لا نستطيع أبدًا التأكد من أننا قمنا بتضمين جميع الأسباب المهمة في نظريتنا، يجب دائمًا إكمال جميع القوانين السببية من خلال تحديد **الظروف** أو **الخلفية** التي وجدنا أنها قابلة للتطبيق.

٥. المزيد من المعايير العامة للعلاقات السببية

حتى عندما تكون التجارب القابلة للتكرار والمضبوطة غير ممكنة، وحتى عندما لا يمكن تحديد ظروف المشكلة بدقة، فلا يزال من الممكن في كثيرٍ من الأحيان العثور على بعض الأسباب المهمة لمجموعة معينة من الظواهر (وهي من حيث المبدأ عددٌ كبيرٌ بشكلٍ عشوائي). يمكن القيام بذلك من خلال محاولة معرفة العمليات السابقة التي يمكن أن تكون مسؤولة عن العلاقات التي أمكن رصدها الموجودة الآن بين هذه الظواهر.

الجيولوجيا هي مثالٌ معروفٌ جدًّا لعلمٍ تكون فيه التجارب القابلة للتكرار والمراقبة مستحيلة (على الأقل بالأساليب المتاحة حاليًّا)، ولا يمكن فيها تحديد ظروف المشكلة بشكلٍ جيدٍ للغاية. في هذا العلم، تتمثَّل أهم طريقة لصياغة النظريات في محاولة إعادة بناء التاريخ الماضي للأرض على أساس ملاحظات الهياكل القائمة للصخور والجبال والبحار، إلخ. ثم نتساءل: «كيف أصبحت كل هذه الهياكل

على ما هي عليه الآن؟» قد نرى -على سبيل المثال- مجموعة من طبقات الصخور مطوية قطريًّا، يشير وجود مثل هذا الهيكل إلى أن الطبقات ترسَّبت أفقيًّا، عندما كانت المنطقة في قاع البحر أو البحيرة، ثم بعد ذلك دفعت الطبقات إلى أعلى ثم طويت بواسطة حركات الأرض.

على الرغم من أن هذا التفسير يبدو معقولًا للغاية، فمن الواضح أنه لا توجد طريقة لإثبات ذلك من خلال تجارب أو ملاحظات مضبوطة وقابلة للتكرار يمكن إجراؤها في ظل ظروفٍ محددة، حيث حدثت جميع العمليات المعنية منذ وقتٍ طويلٍ، وكان حجم الظاهرة على أي حالٍ أكبر من أن نقوم بتجربة للتحقق من مثل هذه النظرية. علاوة على ذلك، نظرًا إلى أن عدد التكوينات الجيولوجية المتاحة للدراسة محدود، ولأن كل تكوين يحتوي على العديد من الخصائص الفردية التي تُعد إلى حدٍّ ما مشكلة في حد ذاتها، فلا يمكننا أن نأمل في وجود اختلافات طبيعية كافية في **الأسباب المهمة** الأخرى لتحل محل التجربة ذات الاختلافات الخاضعة للرقابة في ظل ظروفٍ محددة.

هل يعني ذلك عدم وجود طريقة للتحقق من الفرضيات المتعلقة بأسباب التكوينات الجيولوجية؟ بشكلٍ جليٍّ، لا. بادئ ذي بدء، هناك الاتساق العام الذي يمكن من خلاله شرح مجموعة كبيرة جدًّا من البيانات. على سبيل المثال، يمكن أن يفسر نفس النوع من الافتراضات التي تفسر الهياكل المنحنية للصخور في بعض الأماكن من خلال حقيقة أن أصداف الحيوانات البحرية غالبًا ما توجد على ارتفاعاتٍ عالية، مما يشير إلى أن هذه المناطق كانت تحت سطح البحر في وقتٍ

معينٍ من الأوقات، ومما يثبت فكرة أنه على مدى فتراتٍ طويلة من الزمن تحركت الأرض كثيرًا. يمكن ضرب الكثير من الأمثلة من هذا النوع، وهكذا نحصل على دعمٍ لنظريات الجيولوجيا. ومن الممكن الحصول على مزيدٍ من الدعم لهذه الفكرة إذا كانت النظريات ستتنبَّأ بالاكتشافات الجديدة بشكلٍ صحيحٍ. على سبيل المثال، وفقًا لنظريات معينة حول كيفية تكوين النفط، نتوقع العثور على النفط في أماكن معينة من دون غيرها. إذا أمكن العثور على النفط بشكلٍ ثابتٍ إلى حدٍّ ما حيث تقول التنبؤات، وإذا لم يعثر عليه حيث تقول النظرية إنه لا يجب العثور عليه، فإننا نحصل على تحقق مهم للفرضيات المتعلقة بأصل النفط.

بالطبع، ستخضع الفرضيات من النوع الذي ناقشناه أعلاه بشكلٍ عام للتصحيحات والتعديلات والإضافات، التي قد يتعين إجراؤها لاحقًا عند توفر بيانات جديدة. ومع ذلك، في هذا الصدد لا يختلف الوضع في الجيولوجيا بشكلٍ أساسي عن الوضع في المجالات التي يمكن فيها إجراء التجارب والملاحظات القابلة للتكرار في ظل ظروفٍ محددة. في مثل هذه المجالات أيضًا، تخضع الفرضيات لتصحيحاتٍ وتعديلاتٍ وتمديدات لاحقة. على سبيل المثال، حتى قوانين نيوتن للحركة(*) التي اعتبرت لأكثر من مائتي عام تعبيرات صحيحة تمامًا لقوانين الفيزياء العامة والأساسية، والتي دعمها عددٌ هائلٌ من من التجارب الدقيقة للغاية والقابلة للتكرار وكذلك الملاحظات التي أجريت في ظل ظروفٍ محددة جيدًا، وفي النهاية وجد أنها فقط مجرد

(*) سنناقش هذه القوانين بمزيدٍ من التفصيل في الفصل الثاني.

قوانين تقريبية. هذا التقريب جيد جدًّا في السرعات المنخفضة مقارنةً بسرعات الضوء، ولكن عند السرعات الأعلى لا يصبح تقريبًا جيدًا. هنا، يجب على المرء أن يستخدم نظرية النسبية لأينشتاين، التي تعطي نفس النتائج تقريبًا مثل قوانين نيوتن للحركة بسرعات منخفضة مقارنة بسرعة الضوء، ولكنها تؤدي إلى نتائج مختلفة تمامًا عند السرعات الأعلى. من نافلة القول بالطبع، إننا قد نكتشف في المستقبل ظروفًا جديدة (لا تتعلق بالضرورة بالسرعة) حيث نجد أن نظرية النسبية تقريبية، وبالتالي يجب تصحيحها وتعديلها وتوسيعها. في الواقع، كما أشرنا في القسم الثاني، هذا هو النمط الطبيعي الذي يتقدم من خلاله العلم، من الناحية النظرية ومن الناحية العملية والتجريبية؛ أي من خلال التطبيق المستمر للنظرية على المشاكل الجديدة والظروف الجديدة، والمراجعة والتحسين المستمر للنظرية في ضوء ما أمكن تعلمه في هذه التطبيقات الجديدة.

إذن، في التحليل الأخير تقل مشكلة إيجاد القوانين السببية التي تنطبق في مجالٍ معينٍ إلى إيجاد إجابة عن السؤال، «من أين تأتي العلاقات بين الظواهر التي ندرسها؟» إذا كانت التجارب أو الملاحظات القابلة للتكرار التي يمكن إجراؤها في ظل ظروفٍ محددة ممكنة، فإنها توفر أداة مهمة وفعَّالة للغاية للتحقُّق من فرضياتنا المتعلقة بالعلاقات السببية. سواء كانت هذه التجارب متاحة أم لا، يمكن دائمًا التحقق من الفرضيات من خلال معرفة مدى تفسيرها الصحيح للحقائق ذات الصلة المعروفة في المجال المعني، ومدى السماح بالتنبؤات

الصحيحة عند تطبيق النظرية على الظواهر الجديدة. وما دامت وجدت هذه الاحتمالات، يمكن دائمًا إحراز تقدم في أي علم نحو الحصول على فهم أفضل تدريجيًّا للقوانين السببية التي تنطبق في المجال قيد البحث في العلم المعني.

٦. قوانين السببية وخصائص الأشياء

حتى الآن، ما زلنا نميل إلى تركيز انتباهنا على جانب التنبؤ بمسار الأحداث عن طريق القوانين السببية؛ على سبيل المثال، ظهور المرض عند التعرض للجراثيم، ونمو البذور في التربة المناسبة، وتحسين الصحة مع تغييرات التغذية، وتطور التكوينات الجيولوجية، إلخ. سننظر الآن في جانب آخر على نفس القدر من الأهمية وهو في الواقع وثيق الصلة جدًّا بالسببية، أي التنبؤات بخصائص الأشياء، من الناحيتين النوعية والكمية.

تُلَبى النواحي الأولية لهذا الجانب من السببية في كثيرٍ من الأحيان في الحياة العامة. وهكذا، فإن البويضة التي تُترك في الماء المغلي لفترة سوف تصبح صلبة؛ تصبح قطعة الزجاج الهشَّة الصلبة التي تسخن إلى درجة حرارة عالية ناعمة ومرنة. يصبح الماء المبرد تحت درجة حرارة معينة مادة صلبة، ويتحول إلى بخارٍ عند تسخينه فوق درجة حرارة معينة. على مستوى أولي أقل، لدينا تفاعلٌ كيميائي لموادٍ مختلفة لإنتاج أنواعٍ جديدة من المواد نوعيًّا. لدينا أيضًا زيادة الصلابة للمعادن عن طريق صناعة السبائك أو بالمعالجة الحرارية. لا يوجد حدٌّ لعدد الأمثلة من هذا النوع التي يمكن العثور عليها، ولكن النقطة الأساسية

في كلٍّ منها هي أن الروابط السببية موجودة، وهي التي تسمح بالتنبؤ بالخصائص الجديدة التي تطورها الأشياء بعد أن خضعت لعملياتٍ معينة ومعالجاتٍ وتفاعلاتٍ، إلخ.

تشترك الحالات المذكورة أعلاه في أن الخصائص الجديدة يمكن التنبؤ بها على أساس المفهوم الضمني لمفهوم السببية، أي أن التغييرات التي عُثِر عليها في الماضي ستحدث مرة أخرى في المستقبل إذا أعيدت إنتاج الظروف المماثلة. ومن ثم، في حين أنه من المتوقع حدوث تغييراتٍ معينة في الخصائص في ظل ظروفٍ معينة، فإنه لا يمكن التنبؤ بالخصائص الجديدة نفسها؛ لأنها ببساطة مأخوذة من نتائج الملاحظات أو التجارب السابقة. نوع أكثر دقة من القانون السببي هو الذي يسمح بالتنبؤ ببعض الخصائص الجديدة للأشياء حتى قبل دراستها أو إنتاجها تجريبيًّا. على سبيل المثال، قد يلاحظ الكيميائيون الذين يدرسون سلسلة من المركبات من نوع معين تباينًا منهجيًّا في الخصائص حيث ينتقل أحدها من عضوٍ في السلسلة إلى السلسلة التالية. وهكذا، في حالة فئة معينة من الهيدروكربونات، تنخفض درجة الغليان بشكلٍ نظامي مع زيادة عدد ذرات الكربون في الجزيء. يصبح من الممكن بعد ذلك التنبؤ بأن نوعًا جديدًا من الجزيئات يحتوي على ذرات كربون أكثر من أي من تلك التي أنتجت من قبل- سيكون له على الأرجح نقطة غليان أقل. في الفيزياء، يمكن عمل تنبؤات مماثلة. وهكذا، اكتشفت نظائر لكل عنصر، وهي أنواع مختلفة من الذرات لها نفس الخصائص الكيميائية ولكن لها أوزان ذرية مختلفة. بمساعدة النظريات الفيزيائية

المتعلقة بحركات الذرات، تبيَّن أن النظائر المختلفة يمكن أن تنشطر بمعدلاتٍ مختلفة عند تعريضها لاختلافاتٍ في التركيز. على أساس هذه الاختلافات المتوقعة في خصائص النظائر المختلفة، طُوِّرت طريقة تتيح الفصل على نطاقٍ واسعٍ لنظيري اليورانيوم. طريقة الفصل هذه هي أحد العوامل الأساسية التي تجعل المفاعل النووي ممكنًا. فيما يتعلق بالموضوع العام نفسه، أمكن التنبؤ على أساس النظرية الحالية بأن اليورانيوم المعرض للنيوترونات يجب أن يتحول إلى عنصرٍ جديدٍ، وهو البلوتونيوم، وهو الذي لم يلاحظ أو لم ينتج من قبل في أي مكان آخر. لقد أمكن توقع العديد من الخصائص الفيزيائية والكيميائية لهذا العنصر الجديد تقريبًا. أصبحت مثل هذه التنبؤات من هذا النوع أكثر شيوعًا بمرور الوقت في العديد من فروع الفيزياء.

حقيقة أن مثل هذه التنبؤات ممكنة تظهر أن القوانين السببية ليست مثل قيود مشروعة مفروضة خارجيًّا والتي -إذا جاز التعبير- تحدد مسار الأحداث في اتجاه مساراتٍ محددة معينة، ولكنها بدلًا من ذلك جوانب متأصلة وأساسية لهذه الأشياء. وبالتالي، فإن العلاقة السببية الكيفية بأن الماء يصبح جليدًا عند تبريده وبخارًا عند تسخينه هو جزء أساسي من الخصائص الأساسية للسائل من دونها لا يمكن أن يكون هذا السائل ماءً. وبالمثل، فإن القانون الكيميائي الذي يجمع بين الهيدروجين والأكسجين لتكوين الماء هو خاصية أساسية لغازات الهيدروجين والأكسجين، والتي من دونها لا يمكن أن يكون الهيدروجين والأكسجين (تمامًا كما لا يمكن أن يكون الماء ماءً إذا لم يتحوَّل إلى

هيدروجين وأكسجين عندما يخضع للتحليل الكهربائي). وبالمثل، فإن القوانين الكمية المختلفة هي أيضًا جزء أساسي من الأشياء التي تتعلق بها. وبالتالي، فإن بعض الخصائص التي نتعرف من خلالها على السائل هي قيمة درجة الحرارة التي يغلي عندها، وقيمة التوصيل الكهربائي، وقيمة كثافته، وقيم ترددات الخطوط الطيفية التي يمتصها أو يصدرها، (التي تحدد لونها)، وكذلك بواسطة العديد من الخصائص الكمية الأخرى. وبالمثل، فإن القوانين الرياضية العامة للحركة التي تتحكم في الأجسام التي تتحرك عبر الفضاء الفارغ (أو تحت أي ظروف أخرى) هي خصائص أساسية لمثل هذه الأجسام، من دونها لا يمكن أن تكون الأجسام التي عرفناها أو كما عرفناها. يمكن ضرب أمثلة من هذا النوع بلا حدودٍ، تعمل جميعها على إظهار أن القوانين السببية الحاكمة لشيء ما عندما يُترك لنفسه أو عندما يخضع لظروف خارجية محددة، فإنه يرتبط ارتباطًا وثيقًا بالخصائص الأساسية لهذا الشيء مما يساعد على تحديد ماهيته. في الواقع، لا يمكننا أن نتصور كيف يمكن أن يكون لشيء ما أي خصائص على الإطلاق إذا لم يفِ بنوعٍ من القوانين السببية؛ لمجرد بيان أن الشيء له خاصية معينة (على سبيل المثال، أنه أحمر) يعني أنه سيتفاعل بطريقة معينة عندما يتعرض لظروفٍ محددة (على سبيل المثال، فإن الجسم الأحمر المعرض للضوء الأبيض سيعكس الضوء الأحمر في الغالب). بعبارة أخرى، تشكل القوانين السببية التي تحكم الشيء جانبًا أساسيًّا لا ينفصل عن نمط وجوده(*).

(*) أو كما أشرنا في القسم الأول، فإن الطابع الداخلي للشيء وعلاقاته بالعوامل السببية الخارجية متحدان بمعنى أن الاثنين معًا يحددان القوانين السببية الحاكمة لهذا الشيء.

من أجل فهم لماذا وكيف ترتبط القوانين السببية ارتباطًا وثيقًا بتعريف ماهية الأشياء، يجب أن نفكر في العمليات التي أصبحت خلالها الأشياء على ما هي عليه، بدءًا مما كانت عليه من قبل وتلك التي استمرت خلالها بالتغيير حتى تصبح شيئًا آخر مرة أخرى في المستقبل. بشكلٍ عام، تُدرس هذه العمليات بالتفصيل في إطار علمٍ معينٍ فقط بعد أن تصل إلى مرحلة متقدمة إلى حدٍّ ما من التطور، بينما في المراحل المبكرة، عادةً ما (نفترض assuming) الصفات والخصائص الأساسية التي تحدد أنماط وجود الأشياء التي أمكن معالجتها في ذلك العلم ببساطة دون مزيدٍ من التحليل. وهكذا، في المراحل المبكرة من تطور علم الأحياء، يمكن قبول التصنيفات المختلفة للكائنات الحية وفقًا لخصائصها الأساسية وأنماط الحياة باعتبارها فئات أبدية وحتمية، وليس من الضروري دراسة أسباب وجودها أكثر من ذلك. لكن في وقتٍ لاحقٍ، قدمت نظرية التطور، التي فسرت العديد من السمات الأساسية التي تحدد نمط وجود كل نوعٍ من حيث عملية التحول التي يحدها «الانتقاء الطبيعي»، وهي العملية التي وصل فيها كلُّ نوعٍ إلى الحصول على طابعه الحالي والذي يُفترض أنه مستمر، حتى تظهر أنواع جديدة في المستقبل. وبالمثل في الفيزياء، تضمنت الخطوات الأولى القبول البسيط لبعض الخصائص المميزة للمادة (مثل الكثافة، والضغط والمقاومة الكهربائية وما إلى ذلك)، من دون مزيدٍ من التحليل، بينما ظهرت لاحقًا النظريات التي أوضحت وتنبَّأت بهذه الخصائص تقريبًا من حيث العمليات التي تحدث على المستوى الذري وعلى

مستوياتٍ أعمق أخرى. كأمثلة قد نأخذ في الاعتبار التنبؤ بمعدلات مختلفة لانتشار النظائر المختلفة والتنبؤ بخصائص العنصر الجديد، البلوتونيوم، وكلاهما أمكن الاستشهاد بهما بالفعل في هذا القسم. حتى وقتٍ قريبٍ في الفيزياء كانت هذه التفسيرات للخصائص والصفات تميل إلى أن تكون بشكلٍ أساسي من حيث العمليات الداخلية للأنواع الموصوفة أعلاه، أي العمليات التي تحدث داخل المادة على مستويات أعمق. ومع ذلك، فقد ظهر مؤخرًا ميل إلى إدخال النظريات التطورية في الفيزياء، خاصة فيما يتعلق بالجهود المبذولة في علم الكونيات لشرح كيف أن الجزء المعين من الكون الذي يمكن الوصول إليه حاليًّا من رصدنا أصبح له خصائصه الخاصة. تهدف هذه النظريات إلى شرح تكوين المجرات والنجوم والكواكب، وشرح توزيع العناصر الكيميائية في أجزاء مختلفة من الفضاء، من حيث عملية تاريخية وتطورية، حيث تبدأ المادة التي تكونت في الحالة الأبكر من الكون إلى النظام الكوني الذي ندرسه الآن. بالعكس، في علم الأحياء، هناك ميلٌ متزايدٌ إلى شرح الخصائص المختلفة للكائن الحي من حيث العمليات (الكيميائية، الفيزيائية، إلخ) التي تحدث داخل الكائن الحي. توجد اتجاهاتٌ مماثلة في العلوم الأخرى، مثل الكيمياء، والجيولوجيا. وهكذا، مع زيادة تطوير العلوم المختلفة، نحصل على فهمٍ أفضل تدريجيًّا لكيفية تحكُّم القوانين السببية في العمليات المختلفة التي تحدث في الطبيعة، والتي تصبح مرتبطة ارتباطًا وثيقًا بالخصائص المميزة للأشياء، وتساعد في تحديد أنماط وجودها.

٧. العلاقات السببية (واحد-إلى-متعدد والمتعدد-إلى-واحد ONE-TO-MANY AND MANY-TO-ONE)(*)

من الضروري الآن النظر في أنواعٍ أكثر عمومية من العلاقات السببية التي لا تحدد الأثر بشكلٍ فريدٍ. في المشاكل الحقيقية، هناك إمكانية نادرة في التعامل مع جميع الأسباب المهمة، حتى في سياق محدد جيدًا، حيث لا تتغير **الظروف** (أو **الخلفية**) بشكلٍ ملحوظٍ. عادة ما نكون قادرين على علاج بعض الأسباب المهمة فقط. بطبيعة الحال، كما رأينا في القسم الثالث، فإن الأثر غير قابل للتكرار دائمًا، وبالتالي لا يمكن التنبؤ بها تمامًا. ومع ذلك، ليس لمجرد أن جميع الأسباب المهمة لمشكلة معينة ليست تحت تصرفنا، أن هذا يعني أنه لا يمكن إجراء أي تنبؤات على الإطلاق. في مثل هذه الحالات، من الممكن عمومًا التنبؤ بالأثر بشكلٍ تقريبي، بمعنى أنها ستكون ضمن نطاقٍ ممكن معين. على سبيل المثال، إذا كانت البندقية موجهة نحو نقطة معينة، فإن المقذوف لا يهبط بدقة في المكان الذي تنبأت به قوانين نيوتن للحركة (وهي قوانين السببية المتصلة بهذه المشكلة). ومع ذلك، فقد وُجد في سلسلة طويلة من اللقطات المتشابهة أن النتائج تتجمع في منطقة صغيرة بالقرب من النقطة التي أشارت إليها الحسابات. يظهر نمطٌ مشابه من السلوك

(*) **ملاحظة المترجم**: نلاحظ هنا أن المقصود هو السبب الفردي الواحد الذي يؤدي إلى نتائج أو آثارٍ أو تأثيراتٍ عديدة وكذلك الأسباب المتعددة التي تؤدي إلى أثرٍ أو نتيجة واحدة، لاحقًا سيتحدث الكاتب عن العلاقات السببية واحد-إلى-واحد one-to-one، التي تعني أن هناك سببًا واحدًا له نتيجة واحدة محددة، وهو ما يُعد حالة مفرطة في المثالية وصعبة التحقق إلى حدٍّ كبيرٍ.

بشكلٍ عامٍّ في جميع المجالات التي تُستخدم فيها القوانين السببية لعمل التنبؤات. في كل تنبؤ من هذا القبيل، يوجد دائمًا هامشٌ معينٌ من الخطأ قد يختلف بطريقة تعتمد على ظروف المشكلة، ولكن لا يمكن التخلص منها تمامًا. وبالتالي، فمن السمات العامة للعلاقات السببية أنها في الواقع لا تحدد التأثيرات المستقبلية بشكلٍ فريدٍ. بدلًا من ذلك، فإنها تتيح فقط العلاقة (واحد-إلى-متعدد ONE-TO-MANY) بين السبب والنتيجة، بمعنى أن تحديد أسباب معينة سيضيِّق بشكلٍ عام احتمال الأثر في نطاق محدد من الاحتمالات.

بالطبع، فإن حقيقة أن العلاقة السببية تفشل في تحديد الأثر المستقبلي بشكلٍ فريدٍ لا تعني أنه لا شيء يحدِّد هذا الأثر، في الواقع، سيكون هذا مخالفًا لمبدأ أن كل شيء يأتي من أشياء أخرى (بالشكل الذي وصفناه في القسم الأول). في الواقع، يعتمد التحديد الأكثر تفصيلًا للأثر على الأسباب التي تقع خارج السياق الذي أخذناه في الاعتبار بالنسبة إلى المشكلة قيد الدراسة. في بعض الحالات، يمكن أن تؤخذ هذه الأسباب الإضافية في الاعتبار بمساعدة قياس أكثر دقة للعوامل السببية التي أخذت بعين الاعتبار بالفعل. وهكذا، في حالة تصويب البندقية، فإن الخطوة الأولى في تحسين الدقة هي محاولة تحديد زاوية إطلاق النار وموضع البندقية بعناية أكبر. بشكلٍ عامٍّ فإن التحديد الدقيق للأثر يتطلب في النهاية أنواعًا جديدة من العوامل الكيفية للسببية التي يجب أخذها في الاعتبار. على سبيل المثال، إذا حاولنا الحصول على دقة غير محدودة في التنبؤ بمسار القذيفة، يجب أن نكتشف المزيد

والمزيد من العوامل المهمة التي يعتمد عليها هذا المسار؛ على سبيل المثال التشوهات في هيكل البندقية، والتيارات الهوائية، والتغيرات الطفيفة في درجة الحرارة، والضغط، والرطوبة، وفي نهاية المطاف حتى حركات الجزيئات التي تتكوَّن منها البندقية، والقذيفة، والهواء، والهدف. قد تنشأ مشاكل مماثلة في الجهود المبذولة لتقليل الخطأ في أي تنبؤ سببي، بهدف الحصول على دقة غير محدودة. بعبارة أخرى، بينما نحاول تضييق نطاق العلاقة السببية **واحد-إلى-متعدد**، نكتشف عمومًا أن كل ترتيبٍ جديدٍ لحجم الدقة يتطلَّب منَّا أن نأخذ في الاعتبار العوامل السببية الجديدة والمختلفة بشكلٍ كيفي التي تعتمد عليها النتيجة.

في هذا الصدد، دعنا نلاحظ أن الطابع **واحد-إلى-متعدد** للقانون السببي ليس له علاقة أساسية بنقص المعرفة من جانبنا الذي يتعلق بالعوامل السببية الإضافية التي يمكنها تتبُّع التفاصيل شديدة الدقة للأثر. في الواقع، حتى لو تتبعنا هذه التفاصيل لمثل هذه العوامل، حتى نتمكَّن من إجراء تنبؤات أفضل، فسيظل صحيحًا أنه في السياق الذي لا تظهر فيه هذه التفاصيل، سيظل القانون صالحًا بالمعنى الموضوعي كقانون **واحد-إلى-متعدد**. بعبارة أخرى، يمثِّل القانون **واحد-إلى-متعدد** ارتباطًا سببيًّا ضروريًّا بشكلٍ موضوعي، ولكن في هذه الحالة، ما هو ضروري هو أن يظل الأثر ضمن حدود معينة، وليس كما هو الحال في الأنواع الأبسط من القوانين السببية، أن يحدد الأثر بشكلٍ فريدٍ.

هناك نوعٌ آخر من العلاقات السببية يرتبط ارتباطًا وثيقًا بالعلاقات

السببية الفردية، وهي التي قد نسميها العلاقات السببية (المتعدد-إلى-واحد (many-to- one، العلاقة السببية **المتعدد-إلى-واحد** هي العلاقة التي يمكن أن تُنتِج فيها أنواعٌ مختلفة من الأسباب نفسَ الأثر بشكلٍ أساسي. مثال على ذلك هو أن كل المطر الذي يسقط داخل تجمُّع مائي معين -بغض النظر عن المكان الذي يسقط فيه بالضبط- سيصل إلى البحر في مكان معين (أي حيث يتدفق النهر الرئيسي لتجمع المياه إلى البحر)، وبالمثل، وبغض النظر عن عددٍ هائلٍ من الاختلافات المحتملة في تفاصيل البيئة التي يعيش فيها مخلوقٌ معينٌ، يمكن التنبؤ بأن هذا المخلوق يجب أن يموت في النهاية. يمكن العثور على أمثلة من هذا النوع في كل مجالٍ، وهكذا، في الفيزياء، إذا كان الجسم مضطربًا أو بدأ في الحركة عندما يكون بالقرب من موضع توازن مستقر، فسوف يعود في النهاية (بسبب الاحتكاك) إلى موضع توازنه، بصرف النظر عن النطاق الواسع من الحركات الأولية الممكنة. في الواقع، في كل مجالٍ، جميع القوانين السببية النوعية لها طابع **المتعدد-إلى-واحد**. قد يتم التنبؤ بشكلٍ عامٍّ بكيفية معينة بشكلٍ مستقلٍّ عن مجموعة واسعة من التفاصيل، خاصة تلك التي لها طبيعة كمية quantitative. وهكذا، في مثال تحويل الماء إلى بخارٍ، يحدث هذا التحول بشكلٍ مستقلٍّ عن كمية الحرارة التي يمكن توفيرها، بشرط أن تكون هذه الكمية أكبر من تلك المطلوبة لتزويد ما يُسمَّى بالحرارة الكامنة للتبخر (بالإضافة إلى ذلك، بالطبع تلك الحرارة المطلوبة لتسخين الماء إلى درجة الغليان). علاوة على ذلك، القوانين الكيفية وأيضًا القوانين الكمية قد يكون لها

طابع **المتعدد-إلى-واحد**. وهكذا، فإن قوانين الديناميكا الحرارية تتعامل مع خصائص المادة في حالة التوازن الحراري. تعتبر العلاقات الكمية -المستقلة عن تفاصيل العمليات التي من خلالها يتحقق التوازن- صالحة لظروف التوازن(*).

ومع ذلك، يجب أن نتذكر أن فقط بعض خصائص الأثر لا تتأثَّر بمجموعة واسعة من الاختلافات في الأسباب. في الواقع، وفقًا للمبدأ الذي ذكرناه في بداية القسم الأول، لا يختفي أي جانب من أي شيء تمامًا من دون أن يكون له بعض الأثر، لذلك سيكون من المستحيل أن يؤدي السببان المختلفان إلى نتائج متطابقة تمامًا. وبالتالي، إذا خزنت المياه المتساقطة داخل تجمع مائي معين في السد فقد تولد الطاقة، بينما إذا سُمِح لها بالتدفق في مسارها الطبيعي غير المنتظم، فقد تغمر الأرض وتدمر المدن بدلًا من ذلك. ولكن بصرف النظر عن هذه التفاصيل، فإن المياه الموجودة فيه ستصل في النهاية إلى البحر عند مصب النهر الرئيسي في تجمعات المياه. وبالمثل، فإن الطرق التي يعيش بها كائنٌ ما سيكون لها تأثيرات في الأجيال القادمة وكذلك في البيئة بشكلٍ عام، على الرغم من أنه -بغض النظر عمَّا يفعله- سيموت. وهكذا، فمن

(*) تتشابك قوانين السببية متعدد إلى واحد وواحد إلى متعدد في شكلٍ واحدٍ، يجب أن يحدث هذا لأن كليهما يصف نفس العملية، وبالتالي، فإن قوانين الديناميكا الحرارية ليس لها طابعٌ متعددٌ فحسب، بل أيضًا طابعٌ فردي، مستنتج من احتمال الخطأ، منشأه هو حقيقة أن إلغاء التقلبات الإحصائية في الحركات المذكورة أعلاه هو الذي أدى إلى ظهور قوانين الديناميكا الحرارية، وهو الأمر الذي لم يكن مثاليًّا أبدًا (انظر الفصل الثاني، القسم الرابع عشر)، لقد عثر على تشابك مماثل في التحليل الدقيق لجميع حالات القوانين **واحد إلى متعدد ومتعدد إلى واحد**.

ناحية، من الممكن أن تظهر جوانب معينة من الأثر بشكلٍ مستقلٍّ عن مجموعة واسعة من الأسباب، من ناحية أخرى سيكتشف المرء أنه نظرًا إلى أن الأثر يُنظر إليه إما بمزيدٍ من التفصيل وإما في سياقٍ أوسع، فإن كل نوعٍ مختلفٍ من الأسباب ينتج عنه بعض الاختلاف في الأثر.

يعد وجود العلاقات السببية **واحد-إلى-متعدد والمتعدد-إلى-واحد** سمة مهمة جدًّا للقوانين السببية بشكلٍ عام. لمعرفة سبب أهمية هذه الخاصية، دعونا نتذكر أن الدقة غير الكاملة في التنبؤات السببية تأتي من حقيقة أن نتيجة معينة تعتمد على العديد من العوامل التي تقع خارج السياق الذي يمكن التعامل معه في مشكلة معينة. من وجهة نظر منطقية بحتة، سيكون من المتصور دائمًا أن هذه العوامل غير المعروفة، أو التي لا نعرفها بشكلٍ جيدٍ في أحسن الأحوال، يمكن أن تنتج اختلافاتٍ في الأثر محل الاهتمام تتجاوز أي حدودٍ محددة. لأنه في مثل هذا النطاق الواسع من المجالات، تنتج هذه العوامل تأثيراتٍ تبقى ضمن الحدود، وبالتالي تؤدي إلى العلاقات السببية **واحد-إلى-متعدد**. فمن الممكن دراسة مشكلة معينة، في درجة معينة من التقريب، دون الأخذ في الاعتبار أولًا عدد العوامل اللا نهائية اللازمة للتنبؤ الدقيق تمامًا بأي نتيجة معينة. من الواضح أيضًا أن وجود علاقات سببية متعددة يساهم أيضًا في تحقيق هذا الاحتمال، لأن هذا يعني أنه يمكن دراسة العديد من النتائج بشكلٍ مستقلٍّ عن مجموعة واسعة جدًّا من التفاصيل المعقدة غير المعروفة لنا أو لأسباب أخرى يصعب دراستها في ظل الظروف الحالية. نرى، إذن، أن الطابع الموضوعي للعلاقات السببية **واحد-إلى-**

متعدد والمتعدد-إلى-واحد يساعد على تمكيننا من الحصول على معرفة تقريبية حول بعض الجوانب المحدودة من العالم، دون الحاجة أولًا إلى معرفة كل شيء عن كل شيء في الكون كله. وبالتالي فإن هذه العلاقات السببية تساعد أيضًا على جعل الإجراء العلمي المميز لدراسة مشكلة خطوة بخطوة ممكنًا، حيث تضع كل خطوة الأساس لإجراء دراسة أعمق أو أكثر تفصيلًا أو أكثر شمولًا تؤدي إلى الدراسة التالية(*).

ضمن الإطار العام للعلاقات السببية **الواحد-إلى-متعدد والمتعدد-إلى-واحد**، تكون العلاقة (واحد-إلى-واحد one-to-one) هي المثالية التي لا تتحقق أبدًا بشكلٍ مثالي. في ظل ظروفٍ محدودة معينة يمكن التعامل معها من كثبٍ بحيث -بقدر ما يتعلق الأمر بما هو ضروري في سياق الاهتمام- قد نعتبر العلاقة السببية علاقة فردية-فردية. تنشأ أقرب حالة معروفة لمجموعة من العلاقات السببية واحد-إلى-واحد فيما يتعلق بنظام ميكانيكي معزول يمكن معالجته من منظور قوانين نيوتن للحركة. تعطي هذه القوانين ارتباطًا واحد-إلى-واحد بين

(*) أحد الأمثلة المعروفة لهذا الإجراء موجود في الفيزياء. ذلك أن أول قوانين الفيزياء التي اكتشفت كانت تلك الخاصة بالفيزياء في نطاق الرؤية بالعين المجردة. بعد ذلك، وبمساعدة هذه القوانين، كانت الخطوة التالية هي قوانين الفيزياء الذرية. كما سنوضح بمزيدٍ من التفصيل في الفصل الثاني، القسم العاشر، فإن إمكانية دراسة قوانين الفيزياء في نطاق الرؤية بالعين المجردة دون معرفة أولًا تلك الخاصة بالفيزياء الذرية تأتي من الصفة **المتعدد-إلى-واحد** للجوانب الإحصائية لقوانين الفيزياء الذرية، الذي يسمح باستقلالية تقريبية معينة لقوانين المستوى الأعلى. كانت الخطوة التالية هي الانتقال، بطريقة مماثلة، من المستوى الذري إلى مستوى النواة، والآن سنرى في الفصول اللاحقة (خاصة الرابع والخامس) أن الفيزياء على ما يبدو مستعدة للاختراق مرة أخرى بطريقة مماثلة لمستوى لا يزال أعمق.

مواضع وسرعات جميع أجزاء النظام في لحظة زمنية معينة ومواضعها وسرعاتها في أي لحظة أخرى من الزمن(*). هذا الارتباط واحد-إلى-واحد هو نوع من المثالية المفرطة لعدة أسبابٍ. بادئ ذي بدء، لا يوجد نظام ميكانيكي معزول تمامًا، ستؤدي الاضطرابات التي تنشأ خارج النظام إلى الصفة **واحد-إلى-واحد المثالية** لهذا النوع من الارتباط. ثانيًا، حتى لو تمكَّنَّا من عزل النظام تمامًا، فستظل هناك اضطرابات ناتجة عن الحركات على المستوى الجزيئي. بالطبع، يمكن للمرء من حيث المبدأ أن يحاول أخذ هذه الأمور في الاعتبار من خلال تطبيق قوانين الحركة على الجزيئات نفسها، ولكن بعد ذلك يمكن للمرء أن يكتشف المزيد من الاضطرابات القادمة من خصائص الميكانيكا الكمومية وغيرها من الخصائص العميقة للمادة(†). وهكذا، لا توجد حالة حقيقية معروفة لمجموعة من العلاقات السببية الكاملة واحد-إلى-واحد التي يمكن من حيث المبدأ أن تتيح تنبؤات ممكنة بدقة غير محدودة، من دون الحاجة إلى مراعاة مجموعات جديدة نوعيًّا من العوامل السببية الموجودة خارج النظام محل الاهتمام أو في مستويات أخرى(‡).

(*) سوف تُناقش هذه القوانين بشكلٍ أعمق في الفصل الثاني.

(†) سوف يُناقش هذا الجزء في الفصول الثالث والرابع والخامس.

(‡) في الفصل الخامس سنناقش مسألة ما إذا كانت هذه العلاقات ممكنة من حيث المبدأ.

٨. الحالات الطارئة، والصدفة، والقانون الإحصائي

الآن الحالات الطارئة، كما أشرنا في القسم الأول، هي الاحتمالات الموجودة خارج سياق المناقشة. السمة الأساسية للحالات الطارئة هي أن طبيعتها لا يمكن تعريفها أو استنتاجها بشكلٍ منفردٍ من حيث خصائص الأشياء ضمن السياق المعني. بمعنى آخر، لديها استقلالية نسبية معينة لما هو موجود داخل هذا السياق. ومع ذلك، كما رأينا، تُظهر خبرتنا العامة أن كل الأشياء مترابطة بطريقة ما وإلى حدٍّ ما. ومن ثم فإننا لا نتوقع أبدًا الحصول على الاستقلال التام. ولكن إلى الحد الذي يمكن خلاله تجاهل هذا الترابط، قد نستخلص من العملية الحقيقية وترابطها فكرة **الصدفة للحالات الطارئة**، التي تقدم بشكل مثالي باعتبارها مستقلة تمامًا عن السياق قيد المناقشة. وهكذا، مثل فكرة الروابط السببية الضرورية، يُنظر إلى فكرة **صدفة الحالات الطارئة** على أنها تقريبٌ، مما يعطي معالجة جزئية لجوانب معينة من العملية الحقيقية، ولكن في النهاية يجب تصحيحها واستكمالها من خلال النظر في الروابط السببية الموجودة دائمًا بين العمليات التي تحدث في سياقاتٍ مختلفة.

من أجل توضيح ما هو المقصود بالصدفة بمزيدٍ من التفصيل، يمكننا النظر في حدثٍ نموذجيٍّ للصدفة؛ وهو حادث السيارة، من الواضح الآن أن: أين ومتى وكيف يقع حادثٌ معينٌ يعتمد على عددٍ هائلٍ من العوامل، أي تغيير طفيف في أي منها يمكن أن يغيِّر بشكلٍ كبيرٍ طبيعة الحادث أو حتى يتجنَّبه تمامًا. على سبيل المثال، في اصطدام سيارتين، إذا كان

أحد السائقين قد بدأ قبل عشر ثوانٍ أو بعد عشر ثوانٍ، أو إذا توقف لشراء السجائر، أو تباطأ لتجنُّب قطة تصادف عبورها الطريق، أو لأي سببٍ من عدد الأسباب المماثلة غير المحدودة، فإن هذا الحادث بالذات ما كان ليحدث؛ في حين أن دوران عجلة القيادة بشكلٍ مختلفٍ قليلًا قد يكون قد منع وقوع الحادث تمامًا أو ربما غيَّر طابعها تمامًا، إما إلى الأفضل وإما إلى الأسوأ. نرى إذن ذلك بالنسبة إلى السياق الذي نأخذ في الاعتبار من خلاله -على سبيل المثال- الإجراءات والاحتياطات التي يمكن أن يتخذها سائق سيارة معين، أن كل حادث له جانب عرضي. نعني بهذا أن ما يحدث يتوقف على ما هي العوامل المستقلة الموجودة خارج السياق المعني -بدرجة عالية من التقريب- والتي ليس لها علاقة أساسية بالسمات المميزة التي تحدد نوع الشخص الذي يكونه هذا السائق، وكيف سيتصرف في موقفٍ معينٍ. لهذا السبب، نقول إنه بالنسبة إلى مثل هذا السياق، فإن تصادمًا معينًا ليس تطورًا ضروريًّا أو حتميًّا، ولكنه بالأحرى حادثٌ يأتي بالصدفة، والذي يتبعه أيضًا في هذا السياق مسألة لا يمكن التنبؤ بها مثل: أين ومتى وكيف سيحدث هذا الاصطدام، وكذلك ما إذا كان سيحدث أم لا.

دعونا ننظر الآن في سلسلة من الحوادث المماثلة لكثيرٍ من الحوادث الفردية. بادئ ذي بدء، نلاحظ أن هناك تباينًا أو تقلبًا غير منتظمٍ وغير متوقعٍ في التفاصيل الدقيقة للحوادث المختلفة (على سبيل المثال، متى وأين تقع بالضبط، وما الذي دمرته بالتحديد، إلخ). يمكن فهم أصل هذا الاختلاف بسهولة، نظرًا إلى أن عددًا كبيرًا من العوامل

المستقلة التي تعتمد عليها تفاصيل الحوادث تحدث بطريقة متقلبة ليس لها علاقة منهجية بما قد يفعله سائق سيارة معين.

ومع ازدياد عدد الحوادث قيد الدراسة، تبدأ خصائص جديدة في الظهور؛ يجد المرء أن الاختلافات الفردية تميل إلى الإلغاء، ويبدأ الانتظام الإحصائي في إظهار نفسه. وبالتالي، فإن العدد الإجمالي للحوادث في منطقة معينة بشكلٍ عامٍ لا يتغيَّر كثيرًا من سنة إلى أخرى، ويبين الرسم الإحصائي لما يحدث غالبًا اتجاهًا منتظمًا. علاوة على ذلك، يمكن تغيير هذا الاتجاه بطريقة منهجية عن طريق تغيير العوامل المحددة التي تعتمد عليها الحوادث. وبالتالي، عندما تمرر قوانين تعاقب القيادة المتهورة وتتطلب فحصًا منتظمًا للأجزاء الميكانيكية والإطارات وما إلى ذلك، فإن متوسط معدل الحوادث في أي منطقة معينة دائمًا ما يخضع لاتجاه محددٍ نحو الانخفاض. في حالة قيام سائق سيارة فردي برحلة معينة، لا يمكن بشكلٍ عام إجراء تنبؤات محددة للغاية بشأن تأثيرات مثل هذه التدابير، حيث لا يزال هناك عددٌ هائلٌ من مصادر الحوادث التي لم تُمنَع بهذه الإجراءات بعد؛ ومع ذلك من الناحية الإحصائية كما رأينا تنتج الاختلافات لسببٍ معين اتجاهًا منتظمًا ويمكن التنبؤ به في التأثير.

لقد عُثِر على السلوك الموصوف أعلاه في مجموعة واسعة جدًّا من المجالات، بما في ذلك الإحصاءات الاجتماعية والاقتصادية والطبية والعلمية والعديد من التطبيقات الأخرى(*). في جميع هذه

(*) سنناقش بعض هذه التطبيقات الإضافية بمزيدٍ من التفصيل في الفصل الثاني، القسم الرابع عشر.

المجالات، هناك تقلُّب أو تباين غير منتظمٍ مميز في سلوك الكائنات الفردية، الأحداث والظواهر التي لا يمكن التنبؤ بتفاصيلها في السياق قيد المناقشة. يدمج هذا مع الاتجاهات المنتظمة في سلوك سلسلة طويلة أو مجموعة كبيرة من هذه الأشياء أو الأحداث أو الظواهر، وتؤدي هذه الاتجاهات المنتظمة إلى ما قد نسميه القوانين الإحصائية، التي تسمح بالتنبؤ التقريبي بخصائص «المدى الطويل long run» أو متوسط السلوك لسلسلة طويلة أو مجموعة كبيرة من الأفراد، من دون الحاجة إلى الانتقال إلى سياقٍ أوسع حيث سنأخذ في الاعتبار العوامل السببية الإضافية التي تساهم في التحكم في تفاصيل تقلبات الأعضاء الفرديين في هذه السلسلة من المجاميع.

إن الميل إلى الحالات الطارئة الواقعة خارج سياقٍ معين من التقلبات بشكلٍ مستقلٍّ تقريبًا عن الأحداث داخل هذا السياق أثبت أنه واسع الانتشار لدرجة أنه يمكن للمرء أن يعلنه كمبدأ؛ وهو مبدأ العشوائية. نعني بالعشوائية فقط أن هذا الاستقلال يؤدي إلى تقلبات في هذه الاحتمالات بطريقة معقدة للغاية على مدى مجموعة واسعة من الاحتمالات، ولكن بهذه الطريقة يكون للمعدلات الإحصائية سلوكٌ منتظمٌ يمكن التنبؤ به تقريبًا(†).

من الواضح إذن، أنه عندما نعلم أن تقلبًا معينًا يرجع إلى حالات صدفة طارئة تقع خارج سياق القوانين السببية قيد المناقشة، فإننا نعرف أكثر من مجرد حقيقة أن القوانين السببية المعنية لا تعطي تنبؤاتٍ دقيقة

(†) للحصول على تعريفٍ أكثر دقة للعشوائية، انظر: D.Bohm and W.Schutzer, Supplement al Nuovo Cimento, Series X, n. 4, p. 1004 (1955).

تمامًا؛ نعلم أيضًا أن الحالات الطارئة ستؤدي إلى تقلبات معقدة لها اتجاهات إحصائية منتظمة. ضع في اعتبارك، على سبيل المثال، مشكلة الخطأ في القياس التي ناقشناها في القسم السابق. تنقسم هذه الأخطاء عمومًا إلى فئتين، منهجية وعشوائية، تظهر الأخطاء المنهجية ولكنها ناجمة فقط عن أسبابٍ خارجية وليس لصدفة حقيقية لحالات طارئة تتقلَّب بشكل مستقل عن السياق المعني. لتقليل الأخطاء المنهجية يجب أن نحصل على فهمٍ وتحكمٍ أفضل في العوامل المسؤولة عن الخطأ. ومع ذلك، يمكن تقليل الجزء العشوائي من الخطأ ببساطة عن طريق أخذ متوسط المزيد والمزيد من القياسات. فوفقًا لنظرية معروفة، تميل تأثيرات تقلبات الصدفة إلى الإلغاء بحيث يتناسب هذا الجزء من الخطأ عكسيًّا مع الجذر التربيعي لعدد القياسات. يوضح هذا كيف أن حقيقة أن تأثيرًا معينًا بسبب الصدفة الطارئة تعني أكثر من حقيقة أن الأسباب تكمن خارج السياق قيد المناقشة، بالإضافة إلى ذلك فهو يتضمن خاصية موضوعية معينة للعشوائية في العوامل التي ينشأ فيها الأثر.

نرى إذن أنه من المناسب التحدث عن قوانين الصدفة الصالحة موضوعيًّا، التي تخبرنا عن جانبٍ من الطبيعة لا يمكن التعامل معه بالكامل من خلال قوانين السببية وحدها. في الواقع، فإن قوانين الصدفة ضرورية تمامًا مثل القوانين السببية نفسها(*). على سبيل المثال، فإن الطابع العشوائي لتقلبات الصدفة في مجموعة متنوعة من

(*) وبالتالي، فإن الضرورة لا تحدد بالسببية، بل هي فئة أوسع.

المواقف يصبح أمرًا حتميًّا بسبب الطبيعة المعقدة والمتشعبة للغاية للحالات الطارئة الخارجية التي تعتمد عليها التقلبات. (وهكذا تنشأ أخطاء عشوائية في القياس كما رأينا في عددٍ غير محدودٍ عمليًّا من أنواع مختلفة من العوامل التي تكون مستقلة أساسًا عن الكمية التي نقيسها) علاوة على ذلك فإن هذا الطابع العشوائي للتقلبات غالبًا ما يكون متأصلًا وجزءًا لا غِنى عنه من الأداء الطبيعي للعديد من الأشياء، وكذلك أنماط وجودها. وبالتالي، سيكون من المستحيل لمدينة حديثة أن تستمر في الوجود في حالتها الطبيعية ما لم يكن هناك اتجاه نحو إلغاء تقلبات الصدفة في حركة المرور، في الطلب على أنواع مختلفة من الطعام، والملابس، إلخ، والأوقات التي يمرض أو يموت فيها الأفراد المختلفون، إلخ. في جميع أنواع المجالات، نجد اعتمادًا مشابهًا على الأثر المميز للصدفة، وهكذا، عندما يختلط الرمل والأسمنت، لا يوزع المرء بعناية كل حبة من الرمل والأسمنت للحصول على خليطٍ موحدٍ، بل يقلِّب المرء الرمل والأسمنت معًا ويعتمد على فرصة إنتاج خليط موحد. في الفصل الثاني، القسم الرابع عشر، سننظر في أمثلة أكثر تعقيدًا مرتبطة بحركات الذرات لإنتاج الخصائص المنتظمة التي يمكن التنبؤ بها في نطاق الرؤية بالعين المجردة –وذلك جزئيًّا بمساعدة إلغاء تقلبات الصدفة– (مثل الضغط ودرجة الحرارة، إلخ). هنا سنرى أن نمط وجود المادة في نطاق الرؤية بالعين المجردة macroscopic يعتمد على إلغاء تقلبات الصدفة الناشئة في المجال المجهري.

تعتبر العلاقات المنتظمة التي تنشأ عن الميل نحو إلغاء عددٍ كبيرٍ

من تقلبات الصدفة مهمة، وكذلك في ظل ظروف معينة، حتى حقيقة أن تقلبات الصدفة تغطي نطاقًا واسعًا من الاحتمالات بطريقة معقدة قد تكون مهمة للغاية. واحدة من أكثر السمات المميزة لتقلبات الصدفة أنه في وقتٍ طويلٍ بما فيه الكفاية أو في مجموعة كبيرة بما يكفي، ستحدث في النهاية كل توليفة ممكنة من الأحداث أو الأجسام، بما في ذلك التوليفات التي يبدو للوهلة الأولى أن إنتاجها غير محتملٍ. في مثل هذه الحالة، فإن تلك التوليفات التي تؤدي إلى بعض (التغيير الذي لا رجعة فيه irreversible change) أو في بعض خطوط التطوير الجديد بشكل نوعي إلى حدٍّ ما ستكون مهمة بشكلٍ خاص، لأنه بمجرد حدوثها، تنتهي عملية الصدفة وينطلق النظام بشكلٍ لا رجعة فيه في مساره الجديد. نتيجة لذلك، بالنظر إلى ما يكفي من «الخلط» أو «التقليب العشوائي» للنوع المرتبط بتقلبات الصدفة، يمكننا في مثل هذه المواقف من التنبؤ بالنتيجة النهائية، غالبًا بدرجة مؤثرة.

مثال مثير للاهتمام للغاية لخاصية الصدفة الموصوفة أعلاه نراه فيما يتعلق بالنظرية الحالية لأصل الحياة، التي اقترحها ألكسندر أوبارين(*)، تستند هذه النظرية إلى فرضية أنه ربما منذ مليار سنة أو أكثر، احتوى الغلاف الجوي للأرض على تركيزٍ عالٍ من الهيدروكربونات والأمونيا ومختلف المركبات العضوية البسيطة التي قد تنتج عن توليفات من هذه

(*) **ملاحظة المترجم**: ألكسندر إيفانوفيتش أوبارين (Alexander Oparin 1894 – 1980)، عالم كيمياء حيويَّة سوفيتي، اشتهر بكتاباته ونظريَّاته حول أصل الحياة، درس كيمياء النباتات وردود الفعل الأنزيميَّة التي تبديها الخلايا النباتية، وساهمت أبحاثه في تطور أسس الكيمياء الحيوية الصناعية في الاتحاد السوفييتي.

المواد. تحت تأثير الأشعة فوق البنفسجية، ودرجة الحرارة المرتفعة، والتفريغ الكهربائي، والعمل التحفيزي للعديد من المعادن، كانت هذه المركبات تميل إلى الارتباط وتشكيل جزيئات أكثر تعقيدًا. نظرًا إلى أن البحار والغلاف الجوي قد حركتهما العواصف وطرق أخرى، فقد أمكن إنتاج كل أنواع توليفات الصدفة من هذه المركبات. في النهاية، بعد ما يكفي من مئات الملايين من السنين، أصبح من الممكن أن تحدث تلك التوليفات التي تتوافق مع أبسط أشكال ممكنة من المادة الحية، ومع ذلك، كان يمكن تمييز هذه النقطة بتغيير كيفي لا ينعكس؛ لأن المادة الحية ستبدأ في التكاثر بفضل المادة العضوية المحيطة بها (حيث إن هذه إحدى الخصائص الأساسية التي تميز المادة العضوية الحية عن المواد العضوية غير الحية). لاحقًا لن تكون هذه العملية تحت مظلة الصدفة البحتة. علاوة على ذلك، مع تغيُّر الظروف، ستبدأ المادة الحية في التطور وفقًا لقوانين التحول التي درسها بالفعل علم الأحياء بتفصيلٍ كبيرٍ؛ وفي النهاية ستؤدي إلى ظهور الأشكال المتعددة للحياة الموجودة اليوم.

إننا إذن نرى دور الصدفة المهم لأنه مع الوقت الكافي، فإنها من الممكن -بل وحتى حتميًّا- أن تصنع كل أنواع توليفات الأشياء. ومن المؤكد أن تحدث إحدى تلك التوليفات التي تحرِّك عمليات لا رجعة فيها أو خطوط تطوير تزيل النظام من تأثير تقلبات الصدفة، وبالتالي، فإن أحد آثار الصدفة هو المساعدة في « تحرك الأشياء» بطريقة تسمح ببدء خطوط جديدة نوعيًّا للتطوير.

٩. نظرية الاحتمالات

مثلما أمكن التعبير عن القوانين السببية بشكلٍ أكثر دقة بمساعدة أنواع معينة من الأشكال الرياضية (على سبيل المثال، حساب التفاضل والتكامل)، تطورت أداة رياضية مميزة، تُعرف باسم نظرية الاحتمال، للتعبير عن قوانين الصدفة، في هذا القسم، سوف نرسم بإيجازٍ كيف نشأ هذا الشكل من الرياضيات وما يعنيه.

من الناحية التاريخية فقد ارتبطت فكرة الاحتمالات لأول مرة بشكلٍ دقيقٍ بألعاب المقامرة. مثال جيد تقدمه لعبة النرد، إذا تابعنا نتائج كل رمية فردية للنرد، فإننا نكتشف أنها تتقلَّب بشكلٍ غير منتظم من رمية إلى أخرى، بالطريقة التي تتميز بها أحداث الصدفة، كما هو موضح في القسم السابق. نتيجة لذلك، لا يمكننا التنبؤ بما سنحصل عليه في أي رمية معينة، سواء على أساس نتائج الرميات السابقة أو على أساس أي شيء آخر يمكن تحديده في سياق اللعبة. على الرغم من الاختلافات غير المتوقعة في نتائج الرميات الفردية الموصوفة أعلاه، فإن المقامرين طوَّروا عادة المراهنة على مجموعة معينة، وإعطاء احتمالات معينة تعتمد على التوليفات المعنية. لقد أثبتت التجربة أنه مقابل كل توليفة ممكنة يبدو أن هناك مجموعة من «الاحتمالات العادلة» المناسبة، بحيث إذا عرضت هذه الاحتمالات، فلن يفوز المقامر أو يخسر بشكلٍ منهجيٍّ على المدى الطويل.

كانت المشكلة التي درسها علماء الرياضيات الأوائل لتحويل

انتباههم إلى هذا الموضوع(*) هي إيجاد طريقة نظرية لحساب ما يجب أن تكون عليه هذه «الاحتمالات العادلة». في حالة رميات النرد، على سبيل المثال، أمكن حل هذه المشكلة بافتراض أن جميع الوجوه الستة لكل نرد «متساوية الاحتمال» في كل رمية. وبالتالي، فإن احتمال خروج النرد برقم معين -وليكن رقم خمسة- هو 1/ 6، وبما أن النرد «مستقل»، فإن احتمال أن يعطي النرد رقم خمسة مرتين هو ناتج الاحتمالات المنفصلة التي يخرج كل منها على حدة برقم خمسة، وهو 1/ 6 × 1/ 6 = 1/ 36، ومن ثم، فإن «الاحتمالات العادلة» في هذه الحالة هي 36 إلى 1.

على الرغم من أن طريقة حل المشكلة المشار إليها أعلاه تعمل بالتأكيد فيما يتعلق بألعاب الصدفة، فإنها تضمنت إدخال مفهوم غامض إلى حدٍّ ما لـ «الاحتمال» المتساوي أو «القابلية للتكافؤ» للنتائج المحتملة المختلفة لرمية الزهر. احتوت هذه الفكرة في البداية على مزيجٍ من تفسيرين مختلفين تمامًا للاحتمالات، والذي قد نسميه على التوالي، «غير موضوعي» و«موضوعي». في التطور اللاحق للموضوع، أصبح هذان التفسيران مختلفين؛ ومن أجل السماح بعرض أوضح للأفكار الأساسية، سنقدم هنا فقط التفسيرات الأكثر تحديدًا التي تطورت لاحقًا.

في التفسير غير الموضوعي للاحتمالات، من المفترض أن تمثِّل الاحتمالات، بمعنى ما، درجة غير كاملة من المعرفة أو المعلومات

(*) كان باسكال وبيير دي فيرما وبرنولي ولابلاس من أوائل علماء الرياضيات الذين عملوا مع مفهوم الاحتمال.

المتعلقة بالأحداث أو الأشياء أو الظروف قيد المناقشة. وبالتالي، في حالة لعبة النرد، ليس لدينا طريقة لمعرفة -قبل إلقاء النرد- ما ستكون عليه نتائج كل رمية فردية يقينًا (نظرًا إلى أن هذه النتائج تحدد من خلال المواضع الأولية والسرعات للأجزاء المختلفة من النرد في كل رمية، التي لا يمكن الوصول إليها من الناحية العملية). ومن ثمَّ، إذا كان النرد بقدر ما نستطيع أن نقول، مبنيًّا بشكلٍ متماثلٍ، فإننا لا نعرف أي أسباب تؤيد اقتراح أننا سنحصل على جانبٍ واحدٍ بدلًا من الآخر، وبالتالي فإننا نخصِّص احتمالات متساوية لكل جانبٍ. من وجهة النظر هذه إذن يُنظر إلى الاحتمال على أنه شيء يقيس أو يعكس درجة من معلوماتنا، بحيث تكون فئة غير موضوعية بشكلٍ أساسي، والتي لن تكون ضرورية أو حتى يكون لها معنى إذا تمكنَّا من الحصول على معرفة دقيقة بشأن الحركات الأولية للنرد في كل رمية.

إن التفسير السابق للاحتمالات على أنه ردود أفعالنا العقلية في ظل ظروفٍ لا نمتلك فيها معرفة كاملة ليس مناسبًا لمعالجة جانب أساسي من السؤال: ما هو المقصود بالاحتمالات؟ لأنه لا يعطينا أي فكرة على الإطلاق عن سبب إمكانية استخدام الاحتمالات لعمل تنبؤات تقريبية حول التكرار النسبي الفعلي الذي سنحصل من خلاله على وجه معين للنرد بعد عددٍ كبيرٍ من الرميات. وبالتالي، فإن مجرد حقيقة أننا لا نعرف أي أسباب من شأنها تفضيل وجه على آخر لا يعني في حد ذاته بالضرورة وجود تكرارات نسبية متساوية تقريبًا لجميع النتائج الممكنة. في الواقع، من حقيقة أننا لا نعرف أي شيء على الإطلاق عن الحركات

الأولية للنرد في أثناء رميها، يمكننا فقط أن نستنتج أننا لا نعرف أي شيء على الإطلاق عمَّا ستكون عليه النتائج النهائية، ليس فقط في كل حالة بمفردها، ولكن أيضًا في سلسلة طويلة بشكلٍ عشوائي من مرات الرمي. فمن بين الأشياء التي لا نعرفها بالضبط عن الحركات الأولية أنه يمكن أن يكون وجود ميل خفي إلى تفضيل نتيجة بعينها على النتائج الأخرى، والعكس صحيح، حتى لو تمكنَّا بطريقة ما من معرفة الظروف الأولية مسبقًا لكل رمية فردية، فإن هذا لن يغيِّر حقيقة أنه في سلسلة نموذجية تكون هذه الظروف على المدى الطويل وفي المتوسط موزعة بطريقة تؤدي إلى تكرارات نسبية متساوية تقريبًا لكل وجه. نتيجة لذلك، ستوفر نظرية الاحتمالات في مثل هذه الحالات تقريبًا جيدًا للتكرارات النسبية التي يمكن التنبؤ بها بمساعدة المعرفة الكاملة للظروف الأولية التي تحدد كل حدث فردي.

من الواضح إذن، أن قابلية تطبيق نظرية الاحتمالات على المشكلات العلمية والإحصائية الأخرى ليس له علاقة جوهرية سواء بمعرفتنا أو بجهلنا. بدلًا من ذلك، يعتمد ذلك فقط على الوجود الموضوعي لبعض الانتظامات التي تميز الأنظمة والعمليات قيد المناقشة، والانتظام الذي يشير ضمنًا إلى أن المدى الطويل أو السلوك المتوسط في مجموعة كبيرة من الأجسام أو الأحداث مستقل تقريبًا عن التفاصيل الدقيقة التي تحدد بالضبط ما سيحدث في كل حالة على حدة.

توجِّهنا الاعتبارات المذكورة أعلاه بعد ذلك إلى تفسير الاحتمالات، على سبيل المثال، نتيجة معينة في لعبة النرد كخاصية

موضوعية مرتبطة بالنرد الذي يُستخدم وبالعملية التي يُرمى خلالها، خاصية يمكن تحديدها بشكلٍ مستقلٍّ عن مسألة ما إذا كنَّا نعرف ما يكفي للتنبؤ بما سيحدث في كل رمية فردية أم لا. تكمن أهمية هذه الخاصية في أنه على المدى الطويل، وفي المتوسط، فإن التكرار النسبي الذي سنحصل به على نتيجة معينة ستحدث له تقلبات بالقرب من القيمة التي تميل إلى الاقتراب أكثر فأكثر من القيمة المحتملة. هذا إذن هو مفهوم الاحتمالات الذي له صلة بالمشكلات الإحصائية التي تنشأ في البحث العلمي وفي المجالات الأخرى. وبالطبع، فإن كلمة «الاحتمالات» كما هي شائعة الاستخدام لها أيضًا المعنى غير الموضوعي لوصف مدى احتمالية اعتقادنا أن استنتاجًا معينًا قد يكون مستمدًّا على أساس المعرفة غير المكتملة. ومع ذلك فإن هذا المعنى ليس له علاقة أساسية بالإجراء الذي نستخدم من خلاله نظرية الاحتمالات في العلوم وفي المجالات الأخرى لعمل تنبؤات تقريبية تتعلق بالتكرارات النسبية للتوليفات المختلفة للأشياء والأحداث التي تحدث في مجاميع إحصائية دون الحاجة إلى مراعاة ما يفعله كل عضو من أعضاء المجموع على وجه التحديد.

لكي نفهم بمزيدٍ من التفصيل أصل الانتظام على المدى الطويل أو المتوسط الذي يكمن وراء قابلية تطبيق نظرية الاحتمالات في ألعاب النرد (وفي ألعاب المقامرة الأخرى)، من الضروري ملاحظة أنه في مثل هذه الألعاب، كل الشروط متاحة لتطبيق مفهوم الصدفة ومفهوم القانون الإحصائي الناشئ عن آثار الصدفة، كما نوقش في القسم

السابق. وبالتالي، إذا أُلقي النرد من ارتفاعٍ ملموسٍ، فهناك وقتٌ لتقلبه مرة واحدة أو أكثر قبل أن يهبط. سيكون الوجه الذي تهبط عليه بعد ذلك حسَّاسًا للحركات الأولية، بحيث يمكن للاختلافات الصغيرة في هذه الحركات تغيير أي نتيجة نهائية إلى أي نتيجة أخرى. علاوة على ذلك، فإن جسم الإنسان الذي تكون الظروف الأولية مشروطة بحركته هو نظام معقد للغاية، يعتمد عمله على عددٍ هائلٍ من أنواع متنوعة من العوامل المتقلبة. وبالتالي، من المفهوم تمامًا أنه في عددٍ كبيرٍ من الرميات، تتقلب الحركات الأولية المنقولة من اليد إلى النرد بشكلٍ كافٍ لجعل النتائج النهائية تتنوع على نطاقٍ كاملٍ من الاحتمالات المفتوحة. وبما أن العديد من العوامل في جسم الإنسان مستقلة بشكل أساسي عن التوجهات الأولية للزهر، فليس من المستغرب أنه على المدى الطويل وفي المتوسط لا يوجد وجه معين يميل إلى تفضيله في هذه التقلبات، بحيث تتقلب الرمية الفردية عشوائيًّا بينما يظهر الانتظام الإحصائي في متوسط التكرارت النسبية التي يمكن الحصول عليها من كل وجه. وبالتالي، لدينا نوعٌ من الاعتماد للنتائج المعنية على التقلبات العشوائية أو الحالات الطارئة المستقلة خارج السياق قيد المناقشة، وهي التي -كما رأينا في القسم السابق- سمة من سمات ظواهر الصدفة.

بمساعدة مفهوم الاحتمالات، كان من الممكن تطوير نظرية رياضية شاملة تنتج تعبيرات عن احتمالات مجموعات معقدة من الأحداث الأبسط. أثبتت هذه النظرية فائدتها في العديد من المجالات حيث توجد أشياء أو أحداث اعتمادًا على الاحتمالات الطارئة الناشئة

خارج السياق قيد المناقشة. ومع ذلك، في تطبيقات هذه النظرية، يجب أن نتذكر كما هو موضح في القسم الأول، أن القوانين السببية وقوانين الصدفة معًا هي التي تؤدي إلى التطور الفعلي للأشياء، بحيث يكون أي منهما بمفرده في أحسن الأحوال تمثيلًا جزئيًّا وتقريبيًّا للواقع، والذي يجب تصحيحه في النهاية بمساعدة الآخر.

١٠. اعتبارات عامة لقوانين الطبيعة

سنقدم الآن ملخصًا موجزًا للخصائص الأساسية لقوانين الطبيعة، كما أوضحت نفسها في الأمثلة المختلفة التي تناولناها في هذا الفصل؛ وبمساعدة هذا الملخص، سنحصل على نظرة ثاقبة إلى البنية العامة لهذه القوانين.

بادئ ذي بدء، كانت نقطة انطلاقنا الأساسية في دراسة قوانين الطبيعة هي النظر في العمليات التي تنتج شيئًا ما من أشياء أخرى في الماضي ويساعد على ظهور أشياء أخرى في المستقبل. الآن لا يمكن دراسة هذه العملية التي لا تنتهي ولا تنضب بمجملها، سواء من حيث جوانبها الكمية ومن خلال تعقيد تفاصيلها. ومع ذلك فهي حقيقة أمكن التحقق منها من خلال الخبرة البشرية المنقولة من خلال ثقافتنا العامة حتى قبل بدايات الحضارة، وكذلك من خلال تجارب أجيال عديدة من العلماء، تلك الأجزاء من العمليات المذكورة أعلاه يمكن دراستها بشكلٍ تقريبي، تحت ظروفٍ محددة، وفي سياقاتٍ محدودة، هذا ممكن لأن هناك استقلالية موضوعية ولكنها تقريبية في سلوك هذه الأجزاء

المختلفة من العمليات بالنسبة إلى أي سياق معين(*).

عندما ندرس أي مجموعة معينة من العمليات ضمن أحد سياقاتها المستقلة نسبيًّا، نكتشف أن بعض العلاقات تظل ثابتة في ظل مجموعة واسعة من التغييرات في السلوك التفصيلي للأشياء التي تدخل في هذا السياق. لا يُفسَّر هذا الثبات على أنه مصادفة، بل على أنه ضرورة موضوعية متأصلة في طبيعة الأشياء التي ندرسها. هذه العلاقات الضرورية هي إذن مظاهر للقوانين السببية المطبقة في السياق المعني. لا يتعين على هذه القوانين تحديد أثرٍ معين بشكلٍ فريدٍ، بدلًا من ذلك، (في حالة العلاقات واحد-إلى-متعدد) قد تحدد فقط أن الأثر يجب أن يظل ضمن نطاق معين من الاحتمالات.

على الجانب الآخر، تُظهر التجربة الفعلية أن ضرورة العلاقات السببية تكون دائمًا محدودة ومشروطة بالحالات الطارئة الناشئة خارج السياق الذي تعمل فيه القوانين المعنية. تفي هذه الحالات الطارئة ببعض القوانين المميزة الخاصة بها: بمعنى، قوانين الصدفة، وهو تعبير رياضي تقريبي تعطيه نظرية الاحتمالات.

بالطبع، من خلال توسيع السياق، قد نرى أن ما كان يمثِّل صدفة الحالات الطارئة في السياق الأضيق يمثِّل جانبًا لنتائج الروابط السببية الضرورية في السياق الأوسع. ولكن هذه الروابط السببية الضرورية تخضع لحالات طارئة جديدة تأتي من سياقات أوسع، وبالتالي، لا

(*) سنناقش أسباب هذه الاستقلالية بشيء من التفصيل في الفصل الخامس، لقد قدمنا بالفعل بعضًا منها فيما يتعلق بمناقشة قوانين واحد-إلى-متعدد ومتعدد-إلى-واحد في القسم السابع من هذا الفصل.

يمكننا حقًّا التخلص من الحالات الطارئة. بدلًا من ذلك، يُنظر إلى فئات الارتباط السببي الضروري والحالات الطارئة على أنها تمثِّل جانبين من جميع العمليات. إذا نظرنا إلى جانبٍ واحدٍ فقط من هذه الجوانب، فإن ذلك يمثِّل دائمًا حالة تقريبية لا يمكن تطبيقها من دون حدودٍ، ولكن يجب تصحيح ذلك في النهاية واستكماله من خلال مراعاة الجانب الآخر.

يظهر جانبا العمليات الطبيعية أيضًا فيما يتعلق بالقوانين الإحصائية، بالنظر إلى جانب الاحتمالات الطارئة، فإن القانون الإحصائي هو انتظام ناشئ عن إلغاء تقلبات الصدفة في مجموعة كبيرة من الأشياء أو الأحداث. لكن قد نتبنى وجهة نظر معاكسة من خلال النظر في مجموعة تحوي جميع الأشياء أو الأحداث في مجموع إحصائي ككيان واحد. إذن، القوانين الإحصائية هي قوانين سببية تقريبية تنطبق على هذا النوع الجديد من الكيانات. وهكذا، نرى مرة أخرى كيف يمكن النظر إلى نفس الظواهر من أي جانب، اعتمادًا على السياق قيد المناقشة.

إلى جانب وجود الطابع الثنائي للضرورة وللحالات الطارئة، تُظهر قوانين الطبيعة بنية ثريَّة ذات طابعٍ أكثر عمومية. وهكذا، وبالنظر إلى القوانين السببية المستخلصة من الاحتمالات الطارئة، نجد أولًا وقبل كل شيء أن المرء يحصل على مستوى تلو الآخر من التقريب، كل منها يتضمن أنواعًا مختلفة نوعيًّا من العوامل السببية. حتى عند اختيار الأسباب المهمة فقط التي تختلف بشكلٍ ملحوظٍ في ظروف الاهتمام، ما زلنا مع إمكانية وجود قوانين واحد -إلى-متعدد، ومتعدد-إلى-

واحد، وواحد- إلى- واحد. من بين الجوانب واحد-إلى- متعدد للقوانين السببية، يجب على المرء أن يأخذ في الاعتبار حقيقة أن كل قانونٍ قد ارتبط به خطأ معين، ينشأ هذا الخطأ بشكلٍ أساسيٍّ ليس بسبب نقص المعرفة من جانبنا، ولكن بسبب إهمال العوامل الموضوعية الموجودة خارج السياق قيد الدراسة. حتى لو علمنا بهذه العوامل وتمكَّنَّا من أخذها في الاعتبار من خلال الانتقال إلى سياقٍ أوسع، فإن هذا لن يغيِّر حقيقة وجود القانون الذي يطبق على السياق الأضيق، والذي يحتوي على خطأ قد يظهر عند مقارنة تنبؤات قوانين السياق الضيق مع تلك الخاصة بالسياق الأوسع. ثم لدينا قوانين متعدد-إلى-واحد (مثل العلاقات النوعية، والعلاقات الإحصائية، وقوانين الديناميكا الحرارية، إلخ) التي تتمتع بدرجة معينة من الصلاحية والتي تكون مستقلة موضوعيًّا عن مجموعة واسعة من التفاصيل. أخيرًا، هناك علاقات واحد-إلى-واحد، وهي عبارة عن أفكارٍ مجردة تنطبق تقريبًا في كثير من الحالات عندما يمكن إهمال صفة واحد-إلى-متعدد ومتعدد-إلى-واحد في القوانين. بالطبع، كل هذه الأنواع من القوانين متشابكة في نسيجٍ قانوني موحد، كما يجب أن تكون، لأنها بعد كل شيء تنطبق على جوانب مختلفة من نفس مجموعات العمليات. بعد ذلك، عندما لا نجرد الاحتمالات الطارئة، يجب أن نأخذ في الاعتبار قوانين الصدفة، التي تعكس كل البنية الثرية للقوانين السببية كما يجب، لأنها تتعامل فقط مع الجانب الآخر من نفس العمليات. في الواقع، الترابط بين مختلف أنواع القوانين الممكنة متعددة الجوانب والمعقدة،

وتشمل القوانين التي تعكس القوانين، والقوانين داخل القوانين (أي مستويات الدقة الأعلى باستمرارٍ)، والقوانين التي تحتوي على قوانين أخرى كحالاتٍ مقيدة وخاصة. (على سبيل المثال، تحتوي النسبية على ميكانيكا نيوتن كحالة مقيدة عندما تكون السرعة صغيرة مقارنةً بالضوء). علاوة على ذلك، فإن هذا الهيكل بأكمله هو نتيجة موضوعية وضرورية كصفة أصيلة لهذه القوانين، وليست مجرد نتيجة خاصة لطريقة تفكيرنا في الأشياء.

قد نقارن بنية مجمل القانون الطبيعي المتعلقة بجسمٍ ما مع عددٍ كبيرٍ جدًّا من الجوانب (لا نهائي في الواقع)، هذا القانون له جوانب داخل جوانب، وجوانب تعكس جوانب، وجوانب تتكون من فسيفساء من جوانب أخرى، إلخ. ولمعرفة ماهية هذا الجسم، يجب أن يكون لدينا عددٌ كبيرٌ من أنواعٍ مختلفة من المشاهدات لهذا الجسم، وكذلك المقاطع العرضية cross-sections لهذا الجسم. ثم تساهم كل مشاهدة أو مقطع عرضي في فهمنا للعديد من جوانب هذا الجسم. ومع ذلك، فإن العلاقات بين المشاهدات لها نفس القدر من الأهمية، لأنها تعمل على تصحيح الأخطاء التي تنشأ نتيجة اعتبار واحد أو عدد محدود من المشاهدات كتمثيل كامل لهذا الجسم بأكمله؛ كما أنها تشير إلى خصائص جديدة نوعيًّا غير ظاهرة في المشاهدات المنفصلة (حيث تسمح مشاهدتان لسطح الجسم كمشهد مأخوذ من زوايا مختلفة باستنتاج شكل ثلاثي الأبعاد للجسم). نرى إذن، أنه في حين أن كل مشاهدة ومقطع عرضي قد يختلف اعتمادًا على علاقتنا الخاصة بالجسم،

يمكننا الحصول على تقريبٍ أقرب كثيرًا للمفهوم الطبيعي الحقيقي لهذا الجسم من خلال النظر إلى المزيد والمزيد من المشاهدات والمقاطع العرضية وعلاقاتهم. هذا المفهوم إذن يصبح أقل اعتمادًا على علاقتنا مع هذا الجسم مع زيادة عدد المشاهدات والمقاطع العرضية.

لمتابعة هذا القياس أكثر، قد نقول إنه فيما يتعلق بمجموع القوانين الطبيعية ليس لدينا ما يكفي من المشاهدات والمقاطع العرضية لإعطائنا فهمًا كاملًا لهذا الجسم بالكامل. ولكن مع تقدم العلم، وتطور نظريات جديدة، قد نحصل على المزيد والمزيد من المشاهدات من جوانب مختلفة، ومشاهدات أكثر شمولًا، ومشاهدات أكثر تفصيلًا، إلخ. كل نظرية خاصة أو توصيف لمجموعة ما من الظواهر سوف يحتوي على مجالٍ محدود الصلاحية وستكون مناسبةٌ فقط في سياقٍ محدودٍ وفي ظل ظروفٍ محدودة. هذا يعني أن أي نظرية يمكن استقراؤها في سياقٍ عشوائي وظروف عشوائية (مثل المشاهدات الجزئية لجسم ما) ستؤدي إلى تنبؤات خاطئة. إن اكتشاف مثل هذه الأخطاء إحدى أهم وسائل التقدم في العلم. ومع ذلك، فإن اكتشاف مثل هذه الأخطاء سيؤدي إلى ظهور نظرية جديدة في النهاية، والتي لن تبطل النظريات القديمة. بدلًا من ذلك، من خلال السماح بمعالجة مجال أوسع من الظواهر، فإنها تصحِّح النظريات القديمة في المجال الذي تكون فيه غير كافية، وبذلك يساعد على تحديد الظروف التي تكون فيها صحيحة (على سبيل المثال، كما صححت نظرية النسبية قوانين نيوتن للحركة، وبالتالي ساعدت على تحديد شروط صلاحية قوانين نيوتن وهي التي

تكون فيها السرعة صغيرة مقارنةً بسرعة الضوء). وبالتالي، لا نتوقع أن تمثِّل أي علاقات سببية حقائق مطلقة؛ للقيام بذلك سيتعيَّن تطبيق هذه العلاقات من دون تقريبٍ ودون قيدٍ أو شرطٍ. وبدلًا من ذلك نرى أن نمط تقدُّم العلم كان وما زال من خلال سلسلة من المفاهيم التدريجية الجوهرية والأشمل والأدق لقوانين الطبيعة، التي يساهم كلٌّ منها في تعريف صحة الظروف للمفاهيم القديمة (تمامًا كما تساهم المشاهدات الأوسع والأكثر تفصيلًا لجسمٍ ما في تحديد حدود مشاهدة معينة أو مجموعة من المشاهدات).

في أي مرحلة معينة من مراحل تطور العلم، ستكون مفاهيمنا المتعلقة بالعلاقات السببية صحيحة فقط فيما يتعلق بتقريب معين وظروف معينة. في الواقع، لهذا السبب فقط أصبح من الممكن وجود العديد من أنواع التفسيرات والنظريات المختلفة التي تنطبق على نفس مجموعة الظواهر، حيث تركز كل نظرية أو تفسير مختلف على جانب معين من قوانين الطبيعة يكون مهمًّا في ظل ظروف معينة، ويعالج هذا الجانب ضمن درجة معينة من التقريب. ولكن إلى الحد الذي تعامل فيه النظريات والتفسيرات المختلفة نفس المجال وإلى التقريب الذي يمكنها من خلاله القيام بذلك، يجب أن تكون متفقة ومتسقة. ومن ثم، فإن إمكانية وجود العديد من أنواع التفسيرات والنظريات المختلفة لنفس مجموعات الظواهر لا تعني أن قوانين الطبيعة هي قواعد عشوائية أو تقليدية يمكن تغييرها حسب رغباتنا ووفقًا لأذواقنا، أو مع ما هو مناسب لأهوائنا في أنواع مختلفة من المشاكل، بل هو مجرد نتيجة

للثراء اللا متناهي للعلاقات الحقيقية الموجودة في العمليات الطبيعية، وحاجتنا إلى التعبير عن جوانب جزئية من هذه العلاقات الغنية للغاية من حيث القوانين المحدودة القائمة على التجارب والملاحظات التي أجريت حتى فترة زمنية معينة، والتي يمكن أن تعكس بشكلٍ مناسبٍ فقط جزءًا محدودًا من الكلية اللا نهائية الموجودة في الطبيعة.

١١. ملخص

في الختام، يجب أن يكون واضحًا أن وجود القانون الطبيعي كما وصفناه في هذا الفصل له أهمية قصوى في جميع فروع العلم.

بالإضافة إلى ذلك فإن إمكانيات العلم تعتمد أيضًا على البنية الخاصة لقوانين الطبيعة (على سبيل المثال، وجود قوانين متعدد-إلى-واحد، وواحد -إلى- متعدد، بالإضافة إلى الخصائص الأخرى التي سنعرضها في الفصل السادس) وهو ما يعني وجود سياقات مستقلة نسبيًّا يمكن دراستها بشكلٍ منفصلٍ إلى حدٍّ ما من التقريب، دون الحاجة أولًا إلى تعلم كل شيء عن كل شيء بدقة تامة. على وجه الخصوص، هذه الخاصية للقوانين السببية هي العامل الموضوعي الذي يحدد تقسيم دراسة العالم بين العلوم المختلفة، وكذلك المفاهيم والأساليب المناسبة لكل علم معين. ثم، في كل علم معين، هذه الخاصية للقوانين الطبيعية هي التي تجعل من الممكن وجود مختلف الفروع والمجالات والمستويات، وكلها تتمتع باستقلالية تقريبية. ومع ذلك، بما أن القوانين الطبيعية تنطوي على نوعٍ من الترابط بين جميع جوانب العالم، فضلًا عن استقلاليتها التقريبية، فإن هذا يعني أن الدراسات الأوسع التي أجريت

في مجالاتٍ أوسع أو في سياقاتٍ أوسع تسمح بإثبات العلاقات بين الفروع المختلفة والمجالات والمستويات في علم معين، وبين مختلف العلوم، وكذلك اختراق مجالات جديدة لم نتمكن من التعرف عليها أو درساتها حتى الآن.

* * *

الفصل الثاني

السببية والصدفة في الفيزياء الكلاسيكية: الفلسفة الآلية

١. مقدمة

قدمنا في الفصل السابق مناقشة عامة حول السببية والصدفة. سننتقل الآن إلى إظهار بعض التفصيل حول كيفية ظهور هذه الفئات في الفيزياء الكلاسيكية (وهو تقريبًا ذلك الفرع من الفيزياء الذي كان له تطوره الأساسي بين القرنين السادس عشر والتاسع عشر، ضمنيًّا). هذا الموضوع ليس فقط ذا أهمية كبيرة في حد ذاته، ولكنْ أيضًا له تأثيرٌ كبيرٌ على الأسئلة المتعلقة بقابلية تطبيق مفهوم السببية الذي أثير خلال القرن العشرين فيما يتعلق بالنظرية الكمومية. لأنه، كما سنرى في الفصول اللاحقة، ساعد عدم ملاءمة الشكل الميكانيكي في نطاق الرؤية بالعين المجردة للحتمية مما شكَّل تحجيمًا لفكرة السببية مما أثار الفيزيائيين الكلاسيكيين بشكلٍ عنيفٍ في الاتجاه المعاكس، وهذا أدى إلى تشجيع الفيزيائيين المعاصرين على الذهاب إلى الطرف المعاكس المتمثِّل في إنكار السببية كليًّا على المستوى الذري. لذلك سيكون من المفيد أن

ندرس هنا بعناية قدر الإمكان ما هي مفاهيم السببية والمصادفة التي ارتبطت بالفيزياء الكلاسيكية، وما هي المشكلات التي نشأت فيما يتعلق بتطبيقات هذه المفاهيم، ثم في الفصول اللاحقة وخاصة في الفصل الخامس، سننتقد وجهة النظر الآلية، ونطور بشيء من التفصيل وجهة نظر أكثر عمومية، لا تظهر فيها المشكلات المذكورة أعلاه.

٢. الميكانيكا الكلاسيكية

تأسست أهم التطورات في الفيزياء بين القرنين السادس عشر والتاسع عشر لجسمٍ معين على مجموعة من النظريات العامة جدًّا والشاملة جدًّا التي أمكن التعبير عنها بدقة شديدة ويشار إليها عادةً بالميكانيكا الكلاسيكية، التي تهتم بشكلٍ أساسي بالقوانين التي تحكم حركات الأجسام عبر المكان space. في هذه المرحلة المبكرة من تطورها (كما في عصر الإغريق القدماء)، أعطيت قوانين الميكانيكا بشكلٍ عام شكلًا غامضًا ونوعيًّا (*) qualitative. لكن مع ظهور أعمال جاليليو وآخرين، بدأ التعبير عن قوانين الفيزياء (وإلى حد ما الكيمياء والعلوم الأخرى) في شكل كمي quantitative دقيق يكتسب أهمية كبيرة جدًّا. استمر هذا الاتجاه نحو الدقة الكمية في التعبير عن القانون الفيزيائي في النمو، ووصل أولًا إلى تطوره الكامل مع قوانين نيوتن للحركة. أمكن التعبير عن هذه القوانين التي تنص على أن تسارع

(*) قدمت بالفعل بعض التعبيرات الدقيقة عن قوانين الإحصائيات حتى من قبل الإغريق القدماء (على سبيل المثال من قبل أرشميدس)، ولكن التعبير عن قوانين الميكانيكا بشكلٍ عامٍّ كان يتم بشكل غامض تمامًا وفي معظم الحالات بشكلٍ غير صحيحٍ.

الجسم يتناسب طرديًّا مع القوة المؤثِّرة فيه، ويتناسب عكسيًّا مع كتلته، يمكن التعبير عنها رياضيًّا عن طريق المعادلة التفاضلية التالية:

$$\vec{F} = m\frac{d^2\vec{x}}{dt^2}$$

حيث $\vec{x}$ هو متجه تموضع الجسم، والقوة المؤثرة فيه $\vec{F}$، و m هي كتلته.

تشير قوانين نيوتن للحركة إلى أن السلوك المستقبلي لنظامٍ من الأجسام يحدد بشكل كامل ودقيق لجميع الأزمان من حيث التموضعات والسرعات الأولية لجميع الأجسام في لحظة زمنية معينة، والقوى المؤثرة في هذه الأجسام. قد تكون هذه القوى قوى خارجية تنشأ خارج النظام قيد الدراسة، أو قد تكون قوى داخلية للتفاعل بين الأجسام المختلفة التي تشكِّل النظام المعني.

في العديد من المشكلات، تكون القوى الخارجية صغيرة بما يكفي لإهمالها (أي يمكن اعتبار النظام معزولًا)، بينما يمكن تمثيل القوى الداخلية فقط من حيث الدالة الرياضية لمواقع وسرعات مركز الكتلة لهذه الأجسام. هذا التقريب جيدٌ بشكلٍ خاصٍّ في مشكلة حركة الكواكب حول الشمس. في مثل هذه الحالة لا تحدد قوانين نيوتن الحركات المستقبلية للأجسام بأكثر من مواضع الأجسام وسرعاتها في لحظة زمنية معينة. وبالتالي، فإنها تشكِّل مجموعة من العلاقات السببية «واحد-إلى-واحد» من النوع الموصوف في الفصل الأول، القسم السابع. المجموعة الكاملة من الأسباب (أي المواقف الأولية

والسرعات لكل جسم)، ثم مجموعة الأثر (أي التموضعات والسرعات المتأخرة لكل جسم) يمكن حسابها وتحديدها بشكلٍ فريدٍ.

ومع ذلك بشكل عام لا يوجد نظام من الأجسام معزول تمامًا فعليًّا، ولا يمكن التعبير عن القوى بين الأجسام من حيث مواقع وسرعات مركز الكتلة لهذه الأجسام فقط. وهكذا، حتى في علم الفلك فإن عزلة النظام الشمسي ليست كاملة؛ النجوم البعيدة لها بعض الأثر، على الرغم من ضآلة هذا التأثير، في حين أن المذنبات البين نجمية القادمة من الفضاء قد تدخل أحيانًا إلى النظام الشمسي بل وتحرف مدار كوكب بشكلٍ ملحوظٍ. وبالمثل، هناك احتكاك صغير بالمد والجزر يجعل حركات الكواكب تعتمد قليلًا على تكوينات سطح الكوكب والماء والسوائل الأخرى على سطح الكوكب، وهذا ما يتسبب ببطء في جعل الكواكب تدور بالقرب من الشمس والقمر من الأرض. في جميع المشكلات الأخرى، يجد المرء أيضًا أن النظام ليس معزولًا تمامًا أبدًا، وأنه لا يمكن أبدًا تحليله فعليًّا إلى أجسام تكون فيها الحركات الخارجية مستقلة تمامًا عن الحركات الداخلية(*). وبالتالي بشكل عام، فإن المجموعة الكاملة من الأسباب اللازمة لتحديد الحركات المستقبلية بشكل فريد يجب أن تشمل كلًّا من المواقف الأولية والسرعات للأجسام والقوى المختلفة الخارجية والداخلية التي تؤثر في الأجسام.

(*) لمزيدٍ من التفصيل انظر القسم الثالث عشر من هذا الفصل.

٣. فلسفة الآلية

من الواضح أن قوانين نيوتن للحركة مثَّلت تقدمًا هائلًا في التعبير عن العلاقات السببية في علم الميكانيكا، لأنه بدلًا من القوانين البدائية ذات الطابع النوعي للميكانيكا التي كانت مميزة للفترات القديمة والعصور الوسطى، من الواضح أن قوانين نيوتن تمثِّل نوعًا جديدًا من القانون، مما يجعل التنبؤات الكمية الدقيقة ممكنة، وتسمح باختبار أكثر دقة للقانون، كما قدمت دليلًا استرشاديًّا دقيقًا في المقابل لجهودنا لتغيير والتحكم في سلوك الأنظمة الميكانيكية.

ومع ذلك، أدَّت الدقة ذاتها لقوانين نيوتن إلى مشاكل جديدة للنظام الفلسفي. نظرًا إلى أن العثور على هذه القوانين أدى إلى التحقق من الفكرة في مجالات أكثر اتساعًا والتي تميل إلى أن تكون لها صلاحية تشمل الكون. كان لابلاس خلال القرن الثامن عشر من أوائل العلماء الذين رسموا النتائج المنطقية الكاملة لمثل هذا الافتراض. افترض لابلاس أن الكون كله لا يتألف من أي شيء سوى الأجسام التي تمر بحركاتٍ عبر الفضاء، وهي حركات تخضع لقوانين نيوتن. في حين أن القوى المؤثرة بين هذه الأجسام لم تكن معروفة بعد بشكلٍ كاملٍ ودقيقٍ في جميع الحالات، فقد افترض أيضًا أنه في النهاية يمكن معرفة هذه القوى بمساعدة التجارب المناسبة. هذا يعني أنه بمجرد إعطاء تموضعات وسرعات جميع الأجسام في أي لحظة من الزمن فإن السلوك المستقبلي لكل شيء في الكون كله سيتحدد في كل الأزمنة. ثم تخيل لابلاس كائنًا متفوقًا يمكنه معرفة كل هذه المواضع والسرعات، ويمكنه

أن يحسب بدقة كاملة كل ما سيحدث في الكون، وهكذا بالنسبة إلى هذا الكائن، لا يمكن أن يأتي أي شيء غير متوقع إلى العالم، لأن كل شيء –حتى في المستقبل اللا متناهي– سيحدث بطريقة حُدِّدت مسبقًا، وفي الواقع، محددة سلفًا طوال الماضي اللا نهائي بأكمله.

هنا لدينا تطورٌ جديدٌ مثيرٌ للاهتمام ومهم. ما دامت قوانين نيوتن للحركة تطبق على نظامٍ أو مجالٍ محدودٍ، فإنها تشكِّل أساس علم الميكانيكا الذي يعبِّر بشكلٍ رياضي دقيقٍ عن القوانين السببية التي تنطبق على هذا النظام أو المجال المعين. عندما يمكن التعبير عنها بهذه الطريقة، من الواضح أن علم الميكانيكا لا يعني بالضرورة توقعًا محددًا تمامًا للسلوك المستقبلي للكون بأسره. إلى جانب حقيقة أننا نتعامل مع نظام ميكانيكي محدد ويتخذ شكلًا ما بدرجة محدودة فقط من التقريب، يجب أن نفكر أيضًا في إمكانية أنه في المجالات الجديدة للظواهر أو في ظل ظروف جديدة لم تُدرس بعد في الفيزياء، من الممكن أن تكون هناك حاجة إلى مصطلحات رياضية أحدث وأكثر تفصيلًا لقوانين الطبيعة، وهي مصطلحات قد لا تكون ممكنة حتى من حيث المخطط الرياضي والفيزيائي العام الذي تقوم عليه قوانين نيوتن للحركة. وهكذا، فإن الاستنتاج القائل بأنه لا يوجد شيء على الإطلاق في الكون بأكمله لا يتناسب مع المخطط النظري العام المرتبط بقوانين نيوتن للحركة من الواضح أن له آثارًا لا تنبع بالضرورة من علم الميكانيكا نفسه، بل من الاستقراء اللا محدود لهذا العلم لجميع المجموعات الممكنة من الشروط ومجالات الظواهر. من الواضح إذن أن مثل هذا الاستقراء لا

يقوم أساسًا على ما هو معروف علميًّا، لكنه إلى حدٍّ كبيرٍ قائم نتيجة لوجهة نظر فلسفية تتعلق بطبيعة العالم، وهي وجهة نظر أصبحت تُعرف منذ ذلك الوقت باسم الآلية mechanism.

الآن، كما سنرى في هذا الفصل وفي أجزاء أخرى من الكتاب، اتخذت الفلسفة الآلية العديد من الأشكال المحددة خلال تطور العلم. يبدو أن أهم جوانب هذه الفلسفة بالنسبة إلى المؤلف هو افتراض أن التنوع الكبير للأشياء التي تظهر في كل خبراتنا كل يوم بالإضافة إلى التجارب العلمية، يمكن اختزالها بالكامل وبشكلٍ تامٍّ إلى مجموعة متعاقبة من العمليات المطلقة والنهائية من القوانين الكمية البحتة التي تحدد سلوك أنواع قليلة من الأجسام أو المتغيرات الأساسية. مع ذلك، في هذا الصدد يجب تأكيد أن مجرد استخدام نظرية كمية quantitative بحتة لا يعني في حد ذاته وجهة نظر آلية، ما دام المرء يعترف بأن مثل هذه النظرية قد تكون غير مكتملة. ومن ثم، لا يمكن للآلية أن تكون سمة لأي نظرية، بل بالأحرى كما ذكرنا سابقًا موقفًا فلسفيًّا تجاه تلك النظرية. وبالتالي، لن يكون هناك معنى للقول مثلًا أن ميكانيكا نيوتن آلية؛ ولكن من المعنى أن نقول إن عالِمًا معينًا (مثل لابلاس) قد تبنَّى موقفًا آليًّا تجاه هذه النظرية.

كان أول شكل معروف للآلية هو الفلسفة الذرية لديموقريطس وليوكيبوس، حيث كان من المفترض أن كل شيء في الكون يمكن اختزاله في تأثيرات حركات الذرات عبر الفراغ فقط. كانت نفس الفكرة الكامنة وراء حتمية لابلاس في الأساس مع إضافة افتراض أن

حركات هذه الذرات تحكمها قوانين نيوتن، بحيث يكون الحساب الدقيق للسلوك المستقبلي للكون ممكنًا من حيث المبدأ. من وجهة النظر هذه، فإن جميع الخصائص النوعية المختلفة التي تظهر على نطاق واسع مثل الصلابة والسيولة واللون والملمس... إلخ، تعتبر فئاتٍ غير موضوعية بشكلٍ بحتٍ، لأنها لا تظهر في القوانين الأساسية التي تحكم حركات الذرات فقط، ولكن يُنظر إليها على أنها مجرد مفاهيم وسيطة من الملاءم استخدامها في تفكيرنا حول ترتيبات وحركات الجزيئات بشكلٍ جماعي. يُفترض أن الخصائص الأساسية الموضوعية وليست نتيجة لطرقنا الخاصة في التفكير حول الأشياء هي الخصائص الأساسية المحددة كميًّا للذرات - تموضعها وسرعاتها وأحجامها وأشكالها وكتلها وقوانين القوة بينها، إلخ.

في هذا الشكل المبكر للفلسفة الآلية، صُورت العناصر الأساسية التي كان يُفترض أن العالم قد بُني منها بشكلٍ فعالٍ كأجزاء آلية، لكل منها مكانه في آلة كونية (وهي خالية من الاحتكاك لأن قوانين الميكانيكا الكلاسيكية تعني الحفاظ على الطاقة الميكانيكية). إن طبيعة هذه الأجزاء ثابتة بشكلٍ صارمٍ ولا تخرج من السياق الذي توضع فيه، ولا تتغير نتيجة لأفعال الأجزاء الأخرى. وبهذا المعنى، فإن الآلية الكونية الخالية من الاحتكاك هي إضفاء الطابع المثالي على الآلات التي نعرفها، لأن الأخيرة ليست خالية من الاحتكاك، كما أن أجزاءها المختلفة لا تتأثر بأفعال الأجزاء الأخرى (على سبيل المثال، تنكسر، تفنى، إلخ).

الآن، كما سنرى في الفصول اللاحقة، أصبحت الفلسفة الآلية في النهاية قيدًا خطيرًا للغاية على مزيدٍ من تطور العلم، ومع ذلك، كان ذلك تطورًا هائلًا للشكل المدرسي للفلسفة الأرسطية التي كانت سائدة خلال العصور الوسطى. لأنه في الفلسفة المدرسية، صُورت كل شيء مختلف وكل خاصية ونوعية مختلفة للأشياء على أنها منفصلة ومتميزة تمامًا عن جميع الأشياء الأخرى. وهكذا، فإن الدراسات العلمية الموجهة تبعًا لوجهة النظر الفلسفية هذه تميل إلى أن تتكوَّن أساسًا من ترتيب الأشياء في أنظمة تصنيف مختلفة، والتي كانت تعتبر أبدية وغير متغيرة في طبيعتها. ومع ذلك، اقترحت الفلسفة الآلية أنه تحت كل هذا التنوع، يوجد التفاوت والعشوائية الظاهرة لصفات مجموعة من العمليات الآلية الكونية البسيطة والمفهومة عقلانيًّا. أوضحت هذه العمليات لماذا اتخذت الأشياء الأشكال المتنوعة، ولماذا خضعت للتحولات التي خضعت لها، بطريقة كانت من حيث المبدأ خاضعة للحساب والتحقق الكامل، ويمكن على الأقل في الممارسة العملية حسابها والتحقق منها مع درجة من التقريب. وهكذا، جعلت الفلسفة الآلية وجهة نظر موحدة وديناميكية تجاه الكون ممكنة أكثر مما كانت متاحة خلال العصور الوسطى. مكَّنت وجهة النظر هذه المرء من أن يرى بوضوحٍ العلاقات الوثيقة الموجودة بين مجموعة واسعة من المشاكل التي لم تؤخذ في الاعتبار حتى في الفلسفة المدرسية (على سبيل المثال، التنبؤات الدقيقة لتأثير كوكبٍ واحدٍ في حركات الكواكب الأخرى، وتحديد مسارات المقذوفات التي أطلقتها البنادق، إلخ).

٤. تطورات بعيدة عن فكرة آلية في الفيزياء الكلاسيكية

حتى خلال فترة الانتصارات الكبرى للفكرة الآلية، بدأت الفيزياء في التطور في اتجاهاتٍ جديدة، ومالت إلى الابتعاد عن الإطار المفاهيمي العام الذي ارتبط بالشكل الأصلي للفلسفة الآلية. كانت أهم هذه التطورات تلك المرتبطة بصياغة القوانين الأساسية للمجال الكهرومغناطيسي، مع وضع النظرية الحركية للغازات، وبدء استخدام التفسيرات الإحصائية لقوانين الديناميكا الحرارية وغيرها من الخصائص في نطاق الرؤية بالعين المجردة للمادة، بدلًا من استخدام أنواع التفسيرات المثالية في الفيزياء كما في السابق.

على الرغم من أن هذه التطورات لم تكن في تناقضٍ تام مع وجهة النظر الآلية، فقد أظهر كلٌّ منها الحاجة إلى إثراء تدريجي للمفاهيم والصفات الأساسية اللازمة للتعبير عن قوانين الفيزياء ككل. إن الحاجة إلى مثل هذا الإثراء مرة تلو الأخرى قد بيَّنت مبدئيًّا للفيزيائيين أن وجهة نظرهم الفلسفية الأساسية لم تعد كافية لفهم الطبيعة ككل. بالطبع، لم يحدث ذلك في الواقع، لأن الفيزيائيين أجروا تعديلاتٍ مختلفة وتسوياتٍ وتوسيعًا لمفاهيمهم، وفي كل مرة كان ثمة افتراضٌ أنهم وصلوا أخيرًا إلى الإطار المفاهيمي العام النهائي ونظام الحركات الأساسية التي من شأنها السماح بالتعبير عن قوانين الفيزياء المطلقة والنهائية بشكلٍ فردي وجماعي. وبالتالي أمكنهم الاحتفاظ بوجهة النظر الآلية بشكلٍ أساسيٍّ، على الرغم من التغييرات العديدة التي حدثت في الصياغة الأساسية للقوانين الفيزيائية.

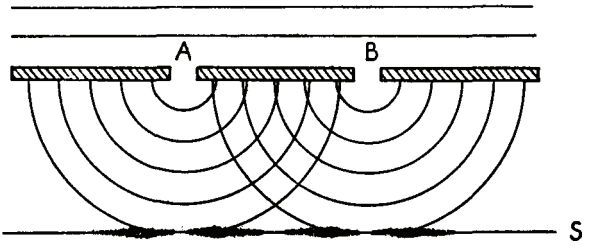
خلال بقية هذا الفصل، سنقدم وصفًا مفصلًا إلى حدٍّ ما لهذه التطورات اللاحقة، مع بذل بعض الجهد لإبراز كيف يمكن للفلسفة الآلية أن تتكيَّف مع نفسها للتعامل مع هذه التطورات، لكن سنؤجل المزيد من النقد للفلسفة الآلية حتى الفصول اللاحقة، وخاصة الفصل الخامس، حيث سنقترح وجهة نظر بديلة.

٥. النظرية الموجية للضوء

كانت النظرية الموجية للضوء من أولى التطورات الجديدة في الفيزياء التي ساعدت على إرساء الأساس لخطواتٍ مهمة بعيدًا عن الفلسفة الآلية. كان هذا التطور مهمًّا لسببين: أولًا لأنه ساعد على ظهور نظريات المجال (سنناقشها في القسم السادس)، وثانيًا لأنها قدمت مجموعة من المفاهيم التي أثبتت أهميتها الحاسمة فيما يتعلق بالنظرية الكمومية (سيناقش في الفصل الثالث).

خلال عصر نيوتن، لم يكن معروفًا ما إذا كان الضوء يتكوَّن من جسيماتٍ صغيرة تتحرك بسرعة كبيرة في خطوطٍ مستقيمة (ما عدا حينما تنكسر أو تنعكس بواسطة أسطح الأجسام) أو في شكلٍ من أشكال الحركة الموجية. تدريجيًّا تراكمت الأدلة التي تشير إلى أن الضوء هو شكل من أشكال الحركة الموجية. وجاء أهم هذه الأدلة من التجارب التي أثبتت وجود التداخل interference. يُسمح لشعاع ضوء موازٍ بالسقوط على الشق A (انظر الشكل الأول). يمر بعض الضوء عبر الشق ويصل إلى الشاشة الخلفية، يُفتح شقٌّ آخر الآن B، إذا كان الضوء يتكون من أمطار جزيئات صغيرة، فإن المنطقة الموجودة على الشاشة

بين الشقين A وB يجب أن تُضاء في كل مكان بشكلٍ مكثَّفٍ أكثر مما لو كان الشق A وحده مفتوحًا. بسبب أن جسيمات الضوء التي تصل إلى الشاشة عبر الشق A، يجب إضافة تلك القادمة من الشق B.



الشكل الأول

من ناحية أخرى بشكلٍ واقعي، يجد المرء على الشاشة الخلفية مجموعة من الأهداب الساطعة والمظلمة البديلة قريبة إلى حدٍّ ما من بعضها. تختفي هذه الأهداب عند إغلاق أحد الشقوق. يوضح هذا أنه عندما يجتمع الضوء من A وB معًا، فقد تكون النتيجة النهائية هي غياب الضوء. سيكون من الصعب للغاية فهم مثل هذه النتيجة إذا كان الضوء يتكوَّن ببساطة من جزيئات. لكن من السهل أن نفهم إذا افترض المرء أن الضوء شكلٌ من أشكال الحركة الموجية. لأنه في نقاط معينة على الشاشة الخلفية، يمكن للموجات القادمة من A أن تلغي تلك القادمة من B، مما ينتج عنها إظلام، بينما في نقاط أخرى يمكن أن تتراكم، وتنتج المزيد من الضوء. لم تشرح نظرية الموجة هذه التجربة فحسب، بل أوضحت العديد من التجارب الأخرى بطريقة كمية quantitative كما أنه جعل من الممكن حساب طول هذه الموجات، والتي وُجد أنها

في حدود 5×10^{-5} سم. يفسر الطول القصير جدًّا لهذه الموجات لماذا يبدو أن الضوء يسير في خطوط مستقيمة ويتصرف كما لو كان مكونًا من جسيمات. على سبيل القياس، إذا افترضنا أمواج الماء، يمكن إيقاف موجات المياه القصيرة جدًّا بواسطة حاجز أكبر بكثيرٍ من طول تلك الأمواج. لكن الموجة التي تكون أطول بكثيرٍ من الحاجز ستلتف حول الحاجز. يُظهِر الضوء سلوكًا مشابهًا، وبالتالي، إذا عرضنا سلكًا رفيعًا جدًّا لضوءٍ بعيدٍ، فإن ملامح هذا السلك تبدو غير واضحة، تُعرف هذه الظاهرة بالحيود. ولكن إذا افترضنا جسمًا كبيرًا، مثل منزلٍ، فإن انحناء موجات الضوء في أثناء مرورها على حافة المنزل يكون ضئيلًا ويتحرك الضوء بشكلٍ فعالٍ في خطٍّ مستقيمٍ تقريبًا، كما لو كان مكونًا من جزيئات صغيرة تتحرك في خط مستقيم.

إذا كان الضوء يتكوَّن من موجات، فإن السؤال الذي يطرح نفسه هو: «كيف تُنقَل هذه الموجات؟ بما أن الضوء ينتقل من خلال الفراغ، فمن الواضح أن الموجات الضوئية لا تنتقل في أي وسطٍ ماديٍّ شائعٍ، مثل موجات الماء والصوت. سننظر في هذا السؤال بمزيدٍ من التفصيل في القسم السابع، بعد أن نناقش نظرية المجال في القسم السادس.

٦. نظرية المجال

نحن الآن على استعدادٍ لمناقشة تطوير أول نوعٍ جديدٍ مهمٍّ من القوانين السببية الذي حدث خلال القرن التاسع عشر؛ الذي هو نظرية المجال.

نتذكر معًا أنه في ميكانيكا نيوتن افترضنا دائمًا أن الأشياء تتكوَّن

من أجسامٍ تتفاعل وفقًا لقوى محددة. ستسمح لنا معرفة موقع الأجسام وسرعاتها في نظامٍ منعزل معين بالتنبؤ بجميع الحركات التي تحدث داخل هذا النظام. ولكن خلال القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين، أصبحنا ندرك الحاجة إلى التفكير في أنواعٍ جديدة من العوامل السببية. من أجل التعبير عن قوانين الكهرباء والمغناطيسية، وجد أن مخطط نيوتن للأجسام لم يكن مناسبًا، ومع ذلك، كان من الممكن معالجة هذه المشكلة عن طريق إدخال -بالإضافة إلى الأجسام- مجموعة جديدة من الكيانات المعروفة باسم المجالات الكهربائية والمغناطيسية. في حين أن نمط وجود الأجسام يتطلَّب أن تتموضع في منطقة معينة من المكان، فقد أمكن النظر إلى المجالات على أنها موزعة بشكلٍ مستمرٍّ في جميع أنحاء المكان ككل. ومع ذلك، في كل نقطة في المكان وفي كل لحظة من الزمن، كان من المفترض أن يكون لمكونات المجالين الكهربائي والمغناطيسي قيم محددة. حددت قيم مكونات المجال الكهربائي عند نقطة معينة من حيث القوة المؤثرة في وحدة الشحنة الكهربائية الموضوعة عند نقطة معنية، بينما حددت قيم مكونات المجال المغناطيسي من حيث القوة التي ستؤثِّر في وحدة القطب المغناطيسي في تلك النقطة.

الآن ما دامت المجالات ثابتة، تظل المجالات الكهربائية والمغناطيسية منفصلة بشكلٍ واضحٍ ومستقلة بعضها عن بعض. عندما تتغير المجالات مع حركة الزمن، تظهر ظواهر جديدة مميزة. على سبيل المثال، إذا كانت الشحنات الكهربائية في حالة حركة، نحصل على تيارٍ

كهربائي ومعه مجال مغناطيسي. وبالمثل، فإن المغناطيس المتحرك يخلق مجالًا كهربائيًّا. وبالتالي، فإن المجالين الكهربائي والمغناطيسي ليسا كيانين مستقلين، بل يُنتِج أحدهما الآخر ويساعد أحدهما الآخر. في الواقع، كشفت تجارب فاراداي عن مجموعة من العلاقات الكمية المحددة بدقة بين المجالين المغناطيسي والكهربائي. استند ماكسويل جزئيًّا إلى هذه التجارب، ثم وسَّع العلاقات التي وجدها فاراداي وطوَّر مجموعة من المعادلات التفاضلية الجزئية، المعروفة الآن باسم معادلات ماكسويل. تحدِّد هذه المعادلات كيف ستتغير المجالات من حيث قيم كميات المجال في كل لحظة زمنية ومن حيث حركات جميع الأجسام المشحونة في النظام. ولكن بما أن المجالين الكهربائي والمغناطيسي يساهمان في القوى المؤثِّرة في الأجسام، فمن الواضح أن المجالات والأجسام تتشارك في تحديد بعضها لبعض. تشكِّل القوانين المجمعة (معادلات نيوتن للأجسام بالإضافة إلى معادلات ماكسويل للمجالات) مجموعة موحدة وممتدة من القوانين السببية الأساسية، وتعمم قوانين نيوتن التي -كما نتذكر- عبَّرنا عنها فقط من حيث حركات الأجسام. وهكذا، فإن القوانين السببية الكاملة تشمل الآن كلًّا من الأجسام والمجالات.

أدَّت نظرية المجال لماكسويل إلى العديد من التوقعات الجديدة، التي أمكن التحقق منها لاحقًا تجريبيًّا. كان أحد أهم هذه العوامل هو أن تكون الموجات ممكنة، حيث يتأرجح المجالان الكهربائي والمغناطيسي في الاتساع، بنفس الطريقة التي يتأرجح بها ارتفاع بركة

الماء عند وجود موجة على سطح الماء.. أمكن الاستنتاج من معادلات ماكسويل أن هذه الموجات يجب أن تنتشر بسرعة محددة ويمكن التنبؤ بها، ويمكن حسابها على أساس الأرقام الصادرة من القياسات التي أجريت بالفعل فيما يتعلق بالمجالات الكهربائية والمغناطيسية. عندما حسب هذا الرقم وجد أن السرعة المتوقعة لهذه الموجات الكهرومغناطيسية كانت مساوية لسرعة الضوء ضمن الخطأ التجريبي. حقيقة أن الضوء عبارة عن موجة قد اقترحت بالفعل من خلال تجارب على التداخل؛ ولكن ذهبت نظرية ماكسويل أبعد من ذلك، فمن خلال التنبؤ بسرعة الضوء فقط على أساس القياسات التي أجريت على الكهرباء والمغناطيسية، خلقت دليلًا قويًّا على أن موجات الضوء كانت مجرد نوعٍ من الموجات التي تنبَّأت بها معادلات ماكسويل.

منذ زمن ماكسويل، تراكمت الكثير من الأدلة التجريبية التي تدعم النظرية الكهرومغناطيسية للضوء. هذه التجارب، التي تغطي مجموعة واسعة من المجالات، تمتد من البصريات والتحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء مرورًا بالأشعة فوق البنفسجية والأشعة السينية وأشعة جاما وما إلى ذلك، توفِّر مجموعة مقنعة جدًّا من التأكيدات لنظرية ماكسويل.

٧. حول ماهية طبيعة المجال الكهرومغناطيسي

بعد أن رأينا أن هناك قدرًا كبيرًا من الأدلة التي تشير إلى أن الضوء يتكوَّن من موجاتٍ داخل المجال الكهرومغناطيسي، أصبح لزامًا علينا أن نسأل السؤال التالي: «ما هو المجال الكهرومغناطيسي؟»

افترض فاراداي وماكسويل وعلماء آخرون في ذلك الوقت أن كل الفضاء مليء بوسط دقيق جدًّا أطلقوا عليه اسم «الأثير». لقد افترضوا أن هذا الوسط -مثل الهواء والماء- يمكن أن يدعم الإجهاد الداخلي وبالتالي يمكن أن يخضع لحركة الموجة. تجلى الإجهاد الداخلي للأثير لنا على أنه مجالات كهربائية ومغناطيسية، بهذه الطريقة كان العلماء يأملون في تفسير قوى الجاذبية كنوعٍ مختلفٍ من الانضغاطات الداخلية للأثير.

لذلك أجريت العديد من التجارب بهدف إيجاد دليلٍ تجريبي مباشر على وجود الأثير، ومن أشهر هذه التجارب تجربة ميكلسون مورلي، لا يمكننا الخوض في التفاصيل هنا لكننا سنذكر فقط النتيجة النهائية: وهو أن جميع التجارب التي تهدف إلى الكشف عن الأثير أعطت نتائج سلبية، وبالتالي لا يمكن العثور على دليلٍ تجريبي على وجود الأثير بالفعل. هذا خلق مشكلة خطيرة. للحصول على تأثيرات فيزيائية حقيقية مثل الضوء والجاذبية يمكن أن تنتقل لمسافاتٍ طويلة عبر الفراغ على ما يبدو. للتأكيد على خطورة المشكلة دعونا نلاحظ أن الكابل الفولاذي الذي له قطر الأرض لن يكون قويًّا بما يكفي لإبقاء الأرض في مدارها حول الشمس، ومع ذلك، فإن قوة الجاذبية التي تبقي الأرض في مدارها تنتقل عبر 93000000 ميل من الفضاء دون أي آثارٍ لوسطٍ مادي يمكن أن تُحمل عبره هذه القوى.

حتى الآن، لا يمكن القول إن مشكلة الوسيط المادي الذي يحمل المجال الكهرومغناطيسي، إن وجد، قد أمكن التعامل معها بالكامل، ما

حدث هو أن العلماء قد تجاوزوا المشكلة، لأنه، بمرور الوقت، أصبح من الواضح تدريجيًّا أن صنع نظريات الأثير من دون أدلة تجريبية حول ما يمكن أن يكونه الأثير كان تخمينًا فارغًا إلى حدٍّ كبيرٍ. بدلًا من ذلك، كان ما أمكن فعله هو افتراض وجود المجالات دون الإشارة إلى مسألة وجود الأثير أو لا. يمكن تحديد المجالات من حيث المبدأ في كل نقطة في المكان، ويمكن تحديد تباينها بالنسبة إلى الزمن من خلال معادلات ماكسويل. ولكن فيما يتعلق بجميع الظواهر الفيزيائية التي أمكن ملاحظتها حتى الآن، فإن مسألة الوسيط المادي أو «الأثير» الذي قد مثلت في هذه المجالات كحالات الإجهاد أو حركة لم تكن ذات صلة. وهكذا، حتى لو كان الأثير موجودًا، فعلى الأقل في سياق التجارب التي كانت ممكنة في ذلك الوقت، ستكون جميع النتائج كما لو لم تكن موجودة. بعبارة أخرى كل ما كان مهمًّا حتى الآن هو المجالات نفسها. نتيجة لذلك، نشأت فكرة أن المجالات هي أنواع جديدة نوعيًّا من الكيانات، والتي لدينا نفس الحق في افتراضها كما نفترض الأجسام المادية (مثل الذرات)، بشرط أن تساعد مثل هذه الفرضية على تفسير مجموعة كبيرة من الحقائق والنتائج التجريبية. وجهة النظر هذه، التي يبدو أن لورنتز قد اقترحها أولًا، نقلها أينشتاين لاحقًا إلى أبعد من ذلك بكثيرٍ، وهو المسيطر الآن على غالبية الفيزيائيين.

من الواضح أن إدخال المجالات ينطوي على تعديلٍ أساسي لمفهومنا عن المادة عن المكان، وبالتالي، فإن مفهوم المجال يعني أنه حتى عندما لا يحتوي المكان أو الفضاء على الأجسام كما نعرفها، فإنه

يمكن أن يظل مكانًا متاحًا لمجالاتٍ متغيرة باستمرارٍ. يمكن إظهار أن هذه المجالات تحمل الطاقة، والقوة الدافعة، والقوة الدافعة الزاوية، حتى إنها قادرة على محاكاة بعض خصائص الأجسام المتحركة(*). في الواقع، ذهب أينشتاين إلى أبعد من ذلك؛ لأنه قدم اقتراحًا مثيرًا للاهتمام مفاده أن أنواعًا خاصة من المجالات(†) قد توجد لها أنماط حركة تصنع تركيزاتٍ شبيهة بالنبض بالنسبة إلى المجالات، والتي من شأنها أن يلتصق بعضها ببعض بثباتٍ، وستعمل تمامًا مثل الأجسام المتحركة الصغيرة. ويقترح كذلك أن يطلق عليها الجسيمات الأساسية للفيزياء مثل: الإلكترونات والبروتونات، قد تتكوَّن من مثل هذه الأنماط من حركة المجالات. سواء قبلنا هذه المقترحات أم لا، فمن الواضح أن العديد من الخصائص الأساسية لنظام مادي، والتي تحدد أنماط سلوكه المميزة (على سبيل المثال، القوى التي تعمل على مختلف الهيئات داخل النظام، الطاقة الكلية، والقوة الدافعة، والقوة الدافعة الزاوية للنظام، وما إلى ذلك) تعتمد على المجالات بنفس مقدار اعتمادها على الأجسام. وهكذا، توسع مفهوم المادة بشكلٍ فعَّالٍ ليشمل فكرة المجال على اعتبار أنه يمثِّل الامتداد عبر منطقة واسعة من المكان لمظاهر معينة لنظام مادي.

(*) وبالتالي، فإن القوة الدافعة لحزمة من الضوء تؤدي إلى ضغطٍ إشعاعي قابل للقياس على سطحٍ مماثلٍ للضغط المؤثر في هذا السطح بواسطة سيل من الجزيئات.

(†) ستتبع هذه المجالات المعادلات غير الخطية. انظر الفصل الثالث، القسم الثالث، لمناقشة بعض خصائص المعادلات غير الخطية.

٨. نظرية المجال والآلية

كانت الفرضية التي قُدِّمت في نهاية القرن التاسع عشر بأن المجال موجودٌ في حد ذاته كنوعٍ جديدٍ من الكيانات بشكلٍ كيفي كخطوة مهمة بعيدًا عن الآلية. من المؤكد أنه في وقتٍ مبكرٍ من القرن الثامن عشر، استخدم مفهوم الكثافة وسرعة المجالات في الديناميكا المائية. ولكن يمكن اعتبار هذه المجالات مجرد وسيلة تقريبية للتعامل مع بعض الخصائص الشاملة للجزيئات المكونة للسائل. نُقِلت نفس وجهة النظر إلى الديناميكا الكهربائية بواسطة فاراداي وماكسويل وعلماء آخرين في ذلك الوقت عندما افترضوا أن المجال الكهرومغناطيسي لا يمثِّل سوى حالات الحركة أو الإجهاد الداخلي في الأثير. إن الفكرة القائلة بأن الحقول تمثِّل كياناتٍ لها وجود معين في حد ذاتها، شكَّلت عندئذٍ إثراءً حقيقيًّا في أسس مفاهيم الفيزياء. فبالإضافة إلى صياغة قوانين فيزيائية من حيث حركات الأجسام عبر الفراغ، فقد صاغ الفيزيائيون الآن مثل هذه القوانين من حيث نوع جديد بشكل نوعي من الحركة، أي تلك التي تتضمن مجموعة من السعات للمجالات المتغيرة في نقاط مختلفة من الفراغ(*)..

(*) صحيح أنه ليس من الضروري استخدام مفهوم المجال في المشاكل الموصوفة هنا، وبالتالي، من الممكن إزالة المجالات في توصيف حركات الجسيمات بمساعدة جهد الإعاقة*. يؤدي هذا إلى التعبير عن القوة المؤثرة في جسم معين في وقت معين من حيث حركات جميع الأجسام، خلال فترة زمنية تصبح غير محدودة إذا أردنا بالتالي أن نأخذ في الاعتبار تأثيرات مصادر الإشعاع الكهرومغناطيسي التي تكون بعيدة بشكل عشوائي عن الجسد المعني.
ومع ذلك، فإن تحديد حركات جميع الأجسام خلال أي زمن ليس فقط إجراءً أخرق، =

من ناحية أخرى، نظرًا إلى أن نظريات المجال أصبحت جزءًا مقبولًا من بنية الفيزياء الحديثة، بدأ عددٌ كبيرٌ من الفيزيائيين في منحها تفسيرًا ميكانيكيًّا بشكلٍ جوهري، فبدلًا من افتراض إمكانية اختزال الطبيعة برمتها إلى حركات أنواع قليلة من الأجسام، افترضوا أنه لا يمكن اختزال الطبيعة بأسرها إلى مجرد أنواعٍ قليلة من الأجسام وأنواع قليلة من المجالات. أو في حالة أينشتاين، كانت الفرضية أنه لا يمكن اختزال الطبيعة بأكملها إلى ما هو أكثر من المجالات وحدها. وهكذا، جادل هؤلاء الفيزيائيون بشكلٍ فعالٍ بأن الفلسفة الآلية كانت صحيحة بشكلٍ عامٍّ لكنها خاطئة في التفاصيل التي تركت في السابق مجموعة مهمة من المصطلحات الرياضية الآلية، المجالات، التي كانت مطلوبة

= ولن يكون مناسبًا حتى لمعالجة مشكلة بسيطة مثل انتشار الموجة الراديوية على طول الدليل الموجي؛ ولكن لا يبدو أن المواصفات تتوافق مع الشكل الذي تأخذه قوانين الفيزياء عندما ينظر المرء إلى نطاقٍ أوسع أو أعمق من المشاكل. على سبيل المثال، يشير إشعاع الجسم الأسود بقوة إلى أن هناك مجالًا يمتص الطاقة المنبعثة من المادة لأن متوسط الطاقة الممتصة هو بالضبط ما يمكن أن تمتصه مجموعة من المذبذبات المكافئة. عندما ننتقل إلى الديناميكا الكهربية الكمومية، يوضح مفهوم المجال مزايا أخرى مهمة، لأن وجود الجسيمات هنا يُفهم من منظور مفهوم الحالات الكمية لمجالات، بحيث يمكن للمرء أيضًا أن يفهم «تكوين» و«تدمير» هذه الجسيمات كتغييراتٍ في حالة إثارة المجالات. وبالمثل، فإن التقلبات الكمومية للفراغ، التي أثبتت أهميتها في العديد من التجارب، أمكن وصفها بالمثل بطريقة طبيعية جدًّا من حيث مفهوم المجال. من ناحية أخرى، لا يمكن حتى معالجة «تكوين» و«تدمير» الجسيمات من حيث جهد الإعاقة في حين أن معالجة التقلبات الكمومية في هذه الشروط مصطنعة للغاية، وبالتالي، فإن وجهة النظر الميدانية تفضل بشدة مجموعة واسعة من المشاكل.

* **ملاحظة المترجم**: جهد الإعاقة في الديناميكا الكهربية، جهد الإعاقة هو الجهود الكهرومغناطيسية للمجال الكهرومغناطيسي المتولد عن طريق التيار الكهربائي المتغير مع الزمن أو توزيعات الشحنات في الماضي.

بالفعل من أجل المواصفات الكاملة لحالة كل شيء في الكون كله[*]. صحيح أن المجالات كونها متصلة تتطلب عددًا لا نهائيًّا من المتغيرات للتعبير عنها رياضيًّا[†]. لذا فإن المخطط الآلي للتنبؤ بالسلوك المستقبلي للكون من خلال معرفة القيم الأولية الآلية الضمنية (في هذه الحالة، تلك المرتبطة بكلٍّ من المجالات والأجسام) مستحيلة عمليًّا. ومع ذلك، لا

(*) يتجسد هذا الرأي في الوقت الحاضر بشكلٍ متكررٍ في صياغة قوانين الطبيعة من حيث «مبدأ التباين»، حيث تُشتق هذه القوانين عن طريق تقليل «لاغرانجيان». لمعالجة المجالات، يضاف «مجال لاجرانج» إلى «جسيم لاجرانج». وبالتالي، تعتبر «إحداثيات المجال» متغيرات ميكانيكية إضافية يجب إضافتها إلى متغيرات الجسيمات لتشكيل نظام آلي معمم.

ملاحظات المترجم: مبدأ التباين variational principle: في العلوم وخاصة في الدراسات الرياضية، فإن مبدأ التغيُّر هو مبدأ يمكِّن من حل مشكلة باستخدام حساب المتغيرات Calculus of variations، التي تتعلق بإيجاد دوال تعمل على تحسين قيم الكميات التي تعتمد على تلك الدوال.

لاجرانجيان :L Lagrangian لأي نظام حركي فهو نظام يلخص ديناميكيات النظام.

ميكانيكا لاجرانج: Lagrangian mechanics عبارة عن إعادة صياغة للميكانيكا الكلاسيكية قدَّمه جوزيف لويس لاجرانج عام 1788، في ميكانيكا لاجرانج، مسار الجسم يشتق بإيجاد المسار الذي يقلل الشغل، وهو مقدار يُعَد تكاملًا لكمية ندعوها لاجرانجيان بالنسبة إلى الزمن، لاجرانجيان بالنسبة إلى الميكانيكا الكلاسيكية يعد الفرق بين الطاقة الحركية والطاقة الكامنة. هذا الموضوع يبسط بصورة كبيرة الكثير من المسائل الفيزيائية، مثلًا كرة صغيرة في دوامة فإذا قمنا بحساب تلك المسألة على أساس الميكانيكيا النيوتنية، سنحصل على مجموعة معقدة من المعادلات التي ستأخذ بعين الاعتبار القوى التي تؤثر بها الدوامة على الكرة الصغيرة في كل لحظة. نفس هذه المسألة تصبح أسهل باستخدام ميكانيكا لاجرانج، حيث سينظر إلى جميع الحركات الممكنة التي تقوم بها هذه الكرة في الدوامة ونجد رياضيًّا الحركة التي تقلل الفعل إلى أدنى حدٍّ، بالتالي يكون لدينا عددٌ أقل من المعادلات لأنها لا تمثِّل حسابًا مباشرًا لتأثير الدوامة في الكرة عند كل لحظة.

(†) إذا أخذنا في الاعتبار نظامًا داخل صندوق، فمن الصحيح أن متغيرات المجال تصبح قابلة للعد (مثل سلسلة فورييه)، ومع ذلك، لمعاملة الكون ككل، لا يجوز لنا أن نفترض مثل هذا الصندوق، ومن ثم، فإن المتغيرات التي لا يمكن عدُّها داخل مشكلة ما ليست قيد المناقشة هنا.

يزال من الممكن تصور هذا السلوك على النحو المحدد من حيث المبدأ من خلال هذه المصطلحات الرياضية الآلية. وهكذا، يمكن للمرء أيضًا أن يتخيل أن الوضع الفائق الذي افترضه لابلاس حيث يمكن التعامل مع عددٍ لا نهائي من المتغيرات، حتى يتمكن بعد ذلك من حساب مستقبل الكون بدقة كاملة، على الرغم من أن العمل المتضمن سيكون أكبر بشكلٍ لا نهائي من كون من الأجسام. من الواضح إذن، أن وجهة النظر الموصوفة أعلاه تحتفظ بالسمات الأساسية والمميزة للآلية (انظر القسم الثالث)، أي اختزال كل شيء في الكون بالكامل بشكلٍ كاملٍ ومثالي إلى تغييرات كمية بحتة في أنواعٍ أساسية قليلة من الكيانات (في هذه الحالة، الهيئات والمجالات، أو المجالات وحدها، كما في وجهة نظر أينشتاين)، التي لا تتغير أبدًا من الناحية النوعية.

٩. النظرية الجزيئية للحرارة والنظرية الحركية للغازات

جنبًا إلى جنب مع نظرية المجال ونظرية الضوء، تطور فرعٌ جديدٌ آخر للفيزياء، وهو النظرية الجزيئية للحرارة والنظرية الحركية للغازات، وكما أشرنا بالفعل، لعبت دورًا مهمًّا في العملية التدريجية لـ تقويض الآلية التي حدثت خلال القرنين الثامن عشر والتاسع عشر.

كما هو معروف، أوضح ماير وجول وآخرون أن الماء إذا قمنا بتسخينه يصبح في حركة مضطربة، على سبيل المثال، قام جول بواسطة عجلة مجداف متحركة (ساقية تُستخدم لغرضٍ تجريبي) بقياس التسخين الذي ينتج عند تدوير مثل هذه الساقية بوزن يُسمح له بالسقوط خلال مسافة محددة مسبقًا. عثر على الحرارة الناتجة لتكون

دائمًا متناسبة مع الطاقة المحررة من الوزن الساقط. وبالعكس، أنشئت محركات حرارية (مثل المحركات البخارية) التي حولت الحرارة إلى طاقة ميكانيكية، مرة أخرى كان هناك نفس التناسب بين الحرارة والطاقة الميكانيكية.

ثم طورت نظرية الحرارية، بافتراض أن الحرارة هي شكل من أشكال الحركة الجزيئية الفوضوية، وهكذا، عندما دارت عجلة الساقية، أحدثت دوامات في الماء. أصبحت هذه الدوامات تدريجيًّا أصغر وأكثر فوضوية حتى اقتربت من المستوى الجزيئي في الحجم. في هذه المرحلة، تحوَّلت طاقة الحركة الميكانيكية المنتظمة لعجلة المجداف بالكامل إلى طاقة ذات حركة جزيئية غير منتظمة أو فوضوية. على الرغم من أن هذه الحركة الفوضوية غير المنتظمة غير المرئية بشكل مباشر على المقياس في نطاق الرؤية بالعين المجردة، فإنها مع ذلك تتجلى لنا على أنها «حرارة»، وقد تظهر أيضًا فيما يُسمَّى بالضغط الميكانيكي.

وهكذا تطورت النظرية الحركية للغازات، بناءً على افتراض أن الغاز يتكوَّن من جزيئاتٍ في حركة غير منتظمة أو فوضوية. كتقديرٍ أولي، كان يُعتقد أن هذه الجزيئات لها حجم صغير ولكنه محدودٌ. لكن في الغازات، كان من المفترض أن يكون هذا الحجم أقل بكثيرٍ من متوسط المسافة بين الجزيئات. وهكذا، تتحرك الجزيئات بحرية عبر المكان، باستثناء الاصطدامات العرضية، تنتج هذه الاصطدامات تغيراتٍ مفاجئة، سواء في الاتجاه أو في مقدار السرعة. يمكن أن نرى بدهيًّا أنه في الوقت المناسب، من المتوقع حدوث توزيع عشوائي غير

منتظم إلى حدٍّ ما لتموضعات الجسيمات واتجاهات الحركة بسبب هذه الاصطدامات.

دعونا نفترض الآن تأثير هذه الحركة غير المنتظمة في جدران الحاوية أو الإناء الذي يحتويها. ستضرب الجدران بشكلٍ مستمرٍّ تقريبًا، وسينقل كل جزيء دفعة صغيرة إلى الجدار. سيكون التأثير الصافي مشابهًا لتأثير أمطار حبيبات الرمل. بسبب التوزيع العشوائي للجسيمات، سيُنتَج ضغط شبه مستمر على الجدران، هذا الضغط هو الذي يتسبب في انفجار خزان من الهواء المضغوط، يوفر القوة التي تحرك المكبس في محرك بخاري أو محرك بنزين، وبالتالي، نحصل على تفسيرٍ للضغط من حيث ما يسمى بالنظرية الحركية للغازات.

جاءت إحدى أقوى الدلائل التجريبية السابقة لواقع الحركة الجزيئية العشوائية من دراسة للحركة البراونية(*). اكتشف عالم النبات براون في عام 1824 أن جزيئات البذور تحت المجهر المعلقة في الماء تُظهِر حركة غير منتظمة ودائمة، دون أي مصدر مرئي للطاقة. ولوحظ سلوك مشابه فيما بعد مع جزيئات الدخان العالقة في الهواء. لوقتٍ طويلٍ قوبلت الجهود المبذولة في تفسير هذه الظاهرة بالفشل؛ ولكن أخيرًا وبعد تجربة العديد من الفرضيات، تبين أن الحركة البراونية يمكن

(*) **ملاحظة المترجم**: حركة براونية Brownian motion الحركة البراونية في الفيزياء، نسبةً إلى مكتشفها روبرت براون وهي الحركة العشوائية لجزيئات ميكرونية (جزء من مليون من المتر) في مائع (سائل أو غاز). وتتضمن أيضًا المعادلات الرياضية المستخدمة لتوضيح تلك الحركات العشوائية. لاحظ براون أن حركة الحبيبات الهلامية الصغيرة في سائل ناتجة عن حركة جزيئات السائل التي تصطدم بها، فكل ذرة أو جزيء في السائل له حركة تتغير شدتها بتغير درجة حرارة السائل.

تفسيرها كميًّا ونوعيًّا على أنها تأثير للحركة الجزيئية الفوضوية. للقيام بذلك، نلاحظ أولًا أنه على الرغم من صغر كل جسيم دخان، فإنه لا يزال يحتوي على 10^8 ذرة أو أكثر. وبالتالي، عندما يصطدم بجزيء من الغاز المعلق فيه، فإنه يتلقى دفعة تجعله يغيِّر سرعته قليلًا. الآن جزيئات الغاز تتحرك بسرعة كبيرة (بسرعة 10^4 سم/ ثانية)، ولكن نظرًا إلى أن جسيم الدخان أثقل بكثيرٍ من الذرة، فإن نتيجة اصطدامه بذرة فردية ستسبب تغييرًا ضئيلًا في سرعته. نظرًا إلى استمرار التخبط والضربات بين جزيئات الغاز وبطريقة غير منتظمة للغاية، نتوقع الحصول على تقلبات بطيئة ولكن غير منتظمة في سرعة جسيم الدخان. كلما كبر الجسيم، قلَّت التقلبات، وبالتالي، ستستمر بعض التقلبات في السرعة حتى بالنسبة إلى الجسيمات ذات الحجم الكبير (مثل كرسي موجود في الغرفة مثلًا) لكن بقيمٍ ضئيلة تمامًا، للحصول على تأثيرٍ ملموسٍ، نحتاج إلى التعامل مع الأجسام التي تُرى بالعين المجردة.

عند حساب متوسط سرعة التقلبات لجسيماتٍ ذات حجمٍ معينٍ، وُجِد أنها تتفق مع التي أمكن رصدها في الحركة البراونية سالفة الذكر ضمن الخطأ التجريبي. وهكذا، قدمت الحركة البراونية جزءًا مهمًّا من الأدلة التي تدعم فرضية الحركات الجزيئية غير المنتظمة. في وقتٍ لاحقٍ، عُثِر على المزيد من الأدلة المباشرة؛ مع التقنيات والأجهزة الحديثة أصبح من الممكن قياس سرعات الذرات الفردية، وبالتالي إظهار أنها تتحرك بشكلٍ غير منتظم مع توزيع السرعات التي تنبَّأت بها النظرية.

١٠. عن العلاقة بين المستوى المجهري ومستوى الرؤية بالعين المجردة تبعًا للنظرية الجزيئية

كانت النظرية الحركية للغازات الموصوفة في القسم السابق مهمة، ليس فقط في حد ذاتها ولكن أيضًا لأنها كانت المثال الأول في الفيزياء لجانبٍ جديدٍ بشكلٍ نوعي لقوانين الطبيعة؛ بمعنى أن الانتظام الإحصائي على نطاقٍ واسعٍ يمكن أن يظهر على مستوى الرؤية بالعين المجردة والذي يكون مستقلًّا إلى حدٍ كبيرٍ عن التفاصيل الدقيقة للحركات المعقدة وغير المنتظمة التي تحدث على المستوى الذري. نظرًا إلى أن هذا النوع من القانون الإحصائي الشامل أصبح شائعًا الآن، ليس فقط في الفيزياء ولكن أيضًا في العديد من المجالات الأخرى، سنقدم هنا تحليلًا تفصيليًّا إلى حدٍّ ما لكيفية ظهور هذه القوانين، في حالة النظرية الجزيئية لـ الحرارة والنظرية الحركية للغازات.

سنبدأ بافتراض صندوق من الغاز يحتوي على ما يربو من 10^{23} جزيئًا، كلٌّ منها يتحرك في مسارٍ غير منتظمٍ للغاية نتيجة للتصادم المستمر مع الجزيئات الأخرى. من الواضح أن حل الحركات الدقيقة لكل جزيء سيكون مهمة ميؤوسًا منها، لأن المشكلة -أولًا وقبل كل شيء- أبعد من مجال الاحتمالات، حتى لو كان ذلك بسبب الصعوبة الحسابية المطلقة. ولكن حتى لو تمكنَّا من حل المشكلات الرياضية المعنية فستمنعنا الاستحالة العملية لقياس الموضع الأولي وسرعة كل جزيء، وهي المعلومات اللازمة لعمل تنبؤات دقيقة من خلال وجهة النظر الآلية العلمية. وحتى لو كانت هذه المعلومات متاحة، فقد لا

تكون كافية، لأن معرفتنا بالقوانين الأساسية الآلية نفسها قد لا تكون كاملة. في الواقع، إذا فكر المرء باهتمامٍ أكبر في طبيعة الحركات الجزيئية، فقد يرى أنها تمتلك قدرًا هائلًا من عدم الاستقرار. على سبيل المثال، سيؤدي تغيير طفيف في الزاوية الأولية للحركة لأي جزيء إلى تغيير اتجاه حركته بشكلٍ ملحوظٍ بعد الاصطدام الأول. سيؤدي هذا التغيير بدوره إلى تغييرٍ أكبر في التصادم التالي، وهكذا ستؤدي التأثيرات التراكمية لهذه التغييرات في النهاية إلى نقل الجزيء المعني إلى منطقة مختلفة تمامًا من المكان. وبالتالي، فإن أدنى خطأ في أي من جوانب النظرية، سواء الرياضيات، أو معرفة الظروف الأولية، أو التعبير عن قوانين السببية الأساسية نفسها، ستؤدي خلال الزمن إلى أخطاء هائلة في التنبؤات المتعلقة بتفاصيل الحركات الجزيئية.

إذن سنرى أنه إذا سعينا إلى عمل تنبؤ مفصَّل لسلوك نظام فردي يحتوي على شيء ما بترتيب 10^{23} جزيء، فسنتوقف من جميع الجوانب. من ناحية أخرى، فإن العوامل نفسها التي تجعل مثل هذا التنبؤ التفصيلي مستحيلًا هي أيضًا تلك التي تجعل من الممكن التنبؤ العام بالخصائص العامة أو المتوسطات التي يمكن رؤيتها بالعين المجردة للنظام دون الحاجة إلى معلومات دقيقة حول ماهية عمل الجزيئات الفردية بالضبط. نلاحظ أن الكميات المتوسطة التي يمكن رؤيتها بالعين المجردة (مثل متوسط عدد الجزيئات في منطقة معينة من المكان أو متوسط الضغط على سطح معين) غير حساسة للغاية للحركات والترتيبات الدقيقة في مساحة الجزيئات الفردية. تنبع هذه الحساسية، على الأقل جزئيًّا، من

حقيقة أن عددًا هائلًا من الحركات والترتيبات المختلفة في المكان يمكن أن تؤدي عمليًّا إلى نفس القيم لهذه الكميات. على سبيل المثال، إذا قمنا بتبادل جزيئين في المكان، فإننا نحصل على مجموعة مختلفة من الظروف المجهرية، ولكن تبقى التأثيرات هي نفسها من ناحية الرؤية بالعين المجردة. وإذا غيَّر جزيء معين اتجاه حركته في منطقة معينة من المكان، فيمكن تعويض تأثيرات هذا التغيير على المتوسطات واسعة النطاق بشكلٍ جيدٍ عن طريق التغييرات المعاكسة المناسبة في حركات الجزيئات المجاورة. وبالتالي، فإن الحركات غير المنتظمة للعديد من الجزيئات ستنتج تقلباتٍ تميل آثارها، على المدى الطويل وفي المتوسط ، إلى الإلغاء. في الواقع، أمكن التحقق من الاعتبارات المذكورة أعلاه بالتفصيل الكمي في الدراسات التي أجريت في علم الميكانيكا الإحصائية، التي توضح أن جميع الظروف الأولية الممكنة للمواقف والسرعات الجزيئية تؤدي إلى حركاتٍ غير منتظمة تتقلب فيها المتوسطات الكبيرة بشكلٍ قريبٍ جدًّا من القيم المتوسطة التي حددت عمليًّا. نظرًا إلى أن هذه القيم المتوسطة تعتمد بشكلٍ كاملٍ تقريبًا على الخصائص العامة للجزيئات فقط، مثل متوسط الكثافة، ومتوسط الطاقة الحركية، إلخ، التي يمكن تحديدها مباشرة على مستوى واسع النطاق، والتي يصبح من الممكن حساب علاقاتها المنتظمة والقابلة للتنبؤ والتي يحتويها مستوى واسع النطاق فقط.

من الواضح أن حديث المرء عن مستوى الرؤية بالعين المجردة له ما يبرره حيث يمتلك مجموعة من الصفات المستقلة نسبيًّا ويلبي مجموعة

من العلاقات المستقلة نسبيًّا تشكِّل فعليًّا مجموعة من القوانين السببية على مستوى الرؤية بالعين المجردة(*). على سبيل المثال، إذا أخذنا في الاعتبار كتلة من الماء، فنحن نعلم من خلال التجربة المباشرة واسعة النطاق أنه يعمل كسائلٍ بطريقته المميزة. نعني بهذا أنه يُظهر جميع الصفات على مستوى الرؤية بالعين المجردة التي نربطها بالسيولة. على سبيل المثال، يتدفق، «يبلل» الأشياء، ويميل إلى الحفاظ على حجمٍ معين، وما إلى ذلك. في حركاته هذه يرضي مجموعة من المعادلات الهيدروديناميكية الأساسية(**) التي يمكن التعبير عنها من حيث الخصائص على نطاقٍ واسعٍ وحدها، مثل الضغط، ودرجة الحرارة، والكثافة المحلية، وسرعة التيار المحلي.. إلخ. وهكذا، إذا رغب المرء في فهم خصائص كتلة الماء، فلا يعامله المرء على أنه مجموع جزيئات، بل ككيانٍ موجودٍ على مستوى الرؤية بالعين المجردة، حيث يتبع القوانين المناسبة لهذا المستوى.

هذا لا يعني أن التكوين الجزيئي للسائل لا علاقة له بخصائصه على مستوى العين المجردة بالطبع. على العكس من ذلك، إذا درسنا العلاقة بين الاثنين، فيمكننا أن نرى لماذا يكون مستوى الاستقلال النسبي ممكنًا. والسبب هو مجرد عدم حساسية السلوك الواسع النطاق تجاه ما

(*) على سبيل المثال قوانين الديناميكا الحرارية وفيزياء مستوى العين المجردة بشكلٍ عامٍّ.

(**) معادلات نافييه–ستوكس Navier–Stokes equations في ميكانيك الموائع، معادلات نافييه–ستوكس هي معادلات غير خطية تصف حركة الموائع النيوتونية، حيث تحدد مثلًا حركة الهواء، التيارات البحرية، تسرب المياه عبر الأنابيب. أخذت هذه المعادلات اسمها من فيزيائيين هما كلود نافييه وجورج جابرييل ستوكس من القرن 19.

تفعله الجزيئات الفردية على وجه التحديد. يأتي جزء من عدم الحساسية هذا من إلغاء تأثيرات هذه الحركات الفردية الموصوفة أعلاه. يأتي جزءٌ آخر من تأثيرات القوى بين الجزيئات. تكون القوى بين الجزيئات في حالة توازن تقريبي عندما يكون للسائل كثافة معينة. إذا زادت الكثافة، بحيث تقترب الجزيئات من بعضها، تظهر قوى التنافر التي تميل تلقائيًّا إلى إعادة الكثافة إلى قيمتها الأصلية؛ بينما إذا انخفضت الكثافة، تبدأ قوى الجذب بين الجزيئات في الظهور؛ والتي تميل بالمثل إلى إعادة الكثافة إلى قيمتها الأصلية. ومن ثم بالإضافة إلى إلغاء تأثيرات تفاصيل الحركة الجزيئية هناك استقرار معين للأنماط المميزة للسلوك على مستوى العين المجردة، والتي تميل إلى الحفاظ على نفسها ليس فقط بشكلٍ أكثر أو أقل استقلالًا عمَّا تفعله الجزيئات الفردية، ولكن أيضًا من الاضطرابات المختلفة التي قد يتعرض لها النظام من الخارج.

لقد وجد أن مفهوم المستويات ذات الاستقلال النسبي له نطاق واسع من التطبيقات، وهكذا، حتى في الفيزياء، لقد اكتشف أنه تحت المستوى الذري يكمن مستوى آخر يسمى بـ «الجسيمات الأولية» للفيزياء، مثل الإلكترونات، والبروتونات، والنيوترونات، إلخ، وكما سنرى لاحقًا، خاصة في الفصل الرابع، يبدو أن هناك مستوى جديدًا وغير معروفٍ بشكلٍ جيدٍ للغاية في مستوى أقل من هذه الجسيمات الأولية. في الاتجاه الآخر، لدينا المستوى الجزيئي (الذي تُدرَس قوانينه بشكل أساسي في الكيمياء، وجزئيًّا في الفيزياء)، ومستوى المادة الحية (الذي يُدرس أساسًا في علم الأحياء) والتي هي نفسها لها العديد من

المستويات، بالإضافة إلى المستويات الأخرى التي يمكن أن يستنتجها القارئ بسهولة(†). في كل هذه المستويات، نجد سلوكًا وصفاتٍ مستقلة بشكلٍ نسبي وبشكل نموذجي، ثم نجد مجموعات من الصفات والقوانين والعلاقات التي تميز كل مستوى معني بذاته.

١١. التغيرات النوعية والكمية

كانت المساهمة الإضافية المهمة جدًّا التي قامت بها النظرية الذرية في إثراء بنية المفاهيم الخاصة بالفيزياء من خلال السماح بتوضيح العلاقة بين التغيرات النوعية والكمية من حيث بعض الأمثلة البسيطة التي يمكن دراستها بتفصيلٍ كبيرٍ، كتوضيح لكيفية القيام بذلك، سنناقش كيفية تحول الغاز إلى سائل ثم إلى الحالة الصلبة.

في المراحل الأولى من تطور الفيزياء، كانت الخصائص النوعية المرتبطة بالمراحل الغازية والسائلة والصلبة للمادة تُحسَب باستخدام الفرضية دون مزيدٍ من التحليل. مع تطور النظرية الذرية، أصبح من الممكن تفسيرها، على الأقل تقريبيًّا، من حيث الحركات الكمية المحددة للذرات والجزيئات التي تشكل المادة المعنية. الخطوط العامة لمثل هذا التفسير هي إلى حد ما على النحو التالي.

في المرحلة الغازية، تكون الجزيئات في حركة دائمة وفوضوية. بالطبع توجد قوى جذب بين الجزيئات، لكن متوسط الطاقة الحركية للحركة العشوائية مرتفع جدًّا لدرجة أن الجزيئات لا تشكِّل مجموعات

(†) كما سنرى في الفصل الخامس، قد يكون هذا الهيكل الطبقي لا نهائيًّا، لكنه ليس كذلك بالضرورة.

مستقرة، وبدلًا من ذلك، تملأ بشكلٍ أو بآخر المساحة الكاملة المتاحة لها، هذه خاصية مميزة للمرحلة الغازية. مع انخفاض درجة الحرارة، ينخفض متوسط الطاقة الحركية للجزيئات، وتبدأ القوى بين الجزيئات في لعب دور أكثر أهمية. وهكذا، عندما نقترب من نقطة تكثف الغاز، تميل المجموعات المكونة من بضع جزيئات باستمرارٍ إلى التشكل نتيجة للتجاذبات المتبادلة للجزيئات، لكن متوسط الطاقة الحركية مرتفع جدًّا لدرجة أن هذه المجموعات تتفكك تقريبًا بمجرد تشكلها. مع انخفاض درجة الحرارة بشكلٍ أكبر، تميل المجموعات إلى أن تصبح أكبر (أي أن تصبح مجموعات أكبر)؛ ثم عند درجة حرارة حرجة معينة، تظهر ظاهرة جديدة نوعيًّا. تستمر الجزيئات في التكاثف على كتلة معينة بسرعة أكبر من مغادرتها. وهكذا، تنمو المجموعات لتصبح قطيراتٍ صغيرة، وبعد ذلك تتحد القطرات فيما بعد لتشكِّل الطور السائل الجديد. في هذه المرحلة، لا تملأ المادة كامل المساحة المتاحة لها، ولكنها تحتل صفة معينة وحجمًا محددًا، يتحدد من خلال موازنة قوى الجذب والتنافر في التفاعلات المتبادلة لجميع الجزيئات. من بين الصفات الجديدة الإضافية التي تظهر في هذه المرحلة عدم الانضغاط النسبي، والقدرة على «ترطيب» الأسطح، وإمكانية إذابة المواد الصلبة المختلفة، والعديد من الصفات الأخرى، التي يمكن تفسيرها تقريبًا من خلال تحليل أكثر تفصيلًا للحركات الجزيئية، وهو ما لا يتسع له المجال هنا.

مع انخفاض درجة حرارة السائل، تحدث تغييراتٌ كمية أخرى في خواصه المختلفة (مثل زيادة الكثافة واللزوجة)، السبب في هذا هو

انخفاض متوسط الطاقة الحركية الجزيئية. بعد ذلك، مع اقتراب نقطة الوصول إلى الحالة الصلبة، تبدأ البلورات الأولية -التي تتكوَّن من عددٍ صغيرٍ من الذرات مرتَّبة في شبكات منتظمة ودورية- في التكون. يعود الميل إلى تكوين مثل هذه البلورات مرة أخرى إلى القوى بين الجزيئات، التي تمثِّل شبكة هذه التكوينات أقرب شكل ممكن من الاستقرار. ومع ذلك، فإن هذه البلورات تتفكك بمجرد تكوينها تقريبًا بسبب التأثيرات التخريبية للحركات الحرارية العشوائية. ولكن تحت درجة حرارة حرجة معينة، تبدأ البلورات في النمو بمعدل في المتوسط أسرع من تفككها، ويتحول السائل إلى طورٍ جديدٍ نوعيًّا من مادة صلبة بلورية. في هذه المرحلة، لا تميل المادة إلى احتلال حجم محدد فحسب، بل تميل أيضًا إلى الحفاظ على شكلٍ ثابتٍ، ومقاومة الجهود المبذولة لإعادة تشكيلها، والعودة بعد إعادة تشكُّلها إلى شكلها الأصلي. نلاحظ أيضًا التغييرات النوعية بشكلٍ عامٍّ في العديد من الخصائص الأخرى (مثل القدرة على نقل الضوء، واستقطابه، ونمط المادة تحت تأثير حيود الأشعة السينية، إلخ). مع انخفاض درجة الحرارة بشكل أكبر، تحدث تغييراتٌ كمية إضافية في خصائص البلورة، قادمة من الانخفاض المستمر لمتوسط الطاقة الحركية لاهتزاز الجزيئات حول متوسط مواضعها في الشبكة البلورية.

نرى إذن أن التغيرات الكمية في متوسط طاقة الحركة الجزيئية تؤدي إلى سلسلة من التغييرات النوعية في خواص المادة بكميات كبيرة. يمكن التنبؤ بهذه التغييرات النوعية بشكل عام عندما نقترب من درجة حرارة حرجة. ومع ذلك، عندما يمر المرء بمثل هذه درجة

الحرارة الحرجة، يحدث شيئان. أولًا، تنشأ الظروف التي تظهر فيها صفات مختلفة تمامًا (على سبيل المثال، الميل في حالة المرحلة السائلة إلى احتلال حجم محدد). ثانيًا، حتى تلك الخصائص المشتركة (مثل الحرارة النوعية، والكثافة، إلخ) لكلا المرحلتين تظهر انقطاعات في سلوكها الكمي عندما يمر المرء عبر نقطة انتقال.

دعونا نحاول الآن أن نعبِّر بدقة أكبر عمَّا هو ضروري في التحول النوعي. السمة الأساسية والمميزة للتحول النوعي هي أن الأنواع الجديدة من العوامل السببية تبدأ في أن تكون مهمة في سياقٍ معين، أو «للسيطرة» على مجالٍ معين من الظواهر، مما يؤدي إلى ظهور قوانين جديدة وحتى أنواع جديدة من القوانين التي تطبق في المجال المعني. وهكذا، كما رأينا، يُحدَّد حجم الغاز بواسطة الحاوية، بينما يحدد الشكل في المرحلة السائلة بشكل أساسي من خلال الظروف الداخلية للسائل نفسه. ومن ثم، تظهر صفة جديدة بمعنى الميل إلى الحفاظ على حجم معين، وهو ما ينعكس في شكلٍ جديدٍ للقانون المتعلق بحجم السائل بخصائصه الأخرى (مثل درجة الحرارة والضغط). وبالمثل، في حين يتم تحديد شكل السائل من خلال شكل الحاوية، فإن شكل المادة الصلبة وكذلك حجمها، تتحدد بشكل أساسي من خلال ظروفه الداخلية. وهكذا تظهر الصفة الجديدة للصلابة مع قوانين جديدة تحكم خصائصها(*).

(*) يجب أن يُضاف أيضًا، كما هو موضح في الفصل الأول، القسم السابع، أن التحولات النوعية تفي بالعلاقات السببية من متعددٍ إلى واحدٍ والتي تكون مستقلة عن مجموعة واسعة من الاختلافات في الشروط الكمية التفصيلية المصاحبة للتحول.

١٢. الصدفة والقانون الإحصائي والاحتمالات في الفيزياء

لا يزال هناك تطورٌ جديدٌ مهمٌّ للغاية لبنية المفهوم في الفيزياء الكلاسيكية جاء من إدخال مفاهيم الصدفة والقانون الإحصائي والاحتمالات فيما يتعلق بتفسير الحركة البراونية وقوانين الديناميكا الحرارية وغيرها من الخصائص التي يمكن رؤيتها بالعين المجردة. لذلك سنقدم هنا وصفًا موجزًا لكيفية تطبيق هذه المفاهيم في مجال الفيزياء الذرية، لغرض حساب الخصائص الإحصائية للتجمعات الكبيرة من الذرات أو الجزيئات.

تقدم أنماط حركة الذرات أو الجزيئات في مثل هذه التجمعات جميع الخصائص المميزة اللازمة لإحداث تقلبات الصدفة. وهكذا، كما رأينا فيما يتعلق بمناقشة المستويات الواردة في القسم العاشر، فإن تفاصيل حركات الجزيئات الفردية (بسبب عدم استقرارها الشديد) حساسة جدًّا لكيفية تحرك الجزيئات الأخرى المختلفة، وهي أيضًا (بسبب الاصطدامات) معقدة للغاية وتخضع لتقلباتٍ غير منتظمة وعالية السرعة، وهي تقلبات عشوائية بشكلٍ فعال(†). ونتيجة لذلك، من الواضح أن حركات كل جزيء تتوقف على عددٍ هائلٍ من العوامل سريعة التقلب. ومن ثم، خلال السياق المحدود الذي نأخذ فيه جزيئًا معينًا بعين الاعتبار، قد يُتوقع أن يكون وصف الحركة على أنها خاضعة لتقلبات الصدفة صحيحًا إلى حدٍّ كبيرٍ. علاوة على ذلك، عندما يتعين

(†) لمزيد من المناقشة حول عشوائية السرعات، انظر D.Bohm and W.Schutzer, Nuovo Cimento. (تحت الطبع).

علينا التعامل مع عددٍ كبيرٍ من الجزيئات في ظل ظروفٍ موحدة (مثل صندوق الغاز)، فمن الواضح بالفعل، من الناحية النوعية على الأقل، أنه على المدى الطويل وفي المتوسط سيمضي كل جزيء نحو نفس المقدار من الزمن في أي منطقة من الفضاء كما هو الحال في أي منطقة أخرى ذات حجمٍ متساوٍ(‡). وهكذا، هناك احتمالٌ موحدٌ في جميع أنحاء المربع بأكمله لاحتلال أي منطقة معينة لها حجم محدد، بغض النظر عن مكان تلك المنطقة. أخيرًا، بسبب العشوائية الناشئة عن الاصطدامات، لن يكون هناك ميل على المدى الطويل لأي جزيء واحد إلى البقاء بالقرب من أي جزيء محدد آخر، بحيث يتمتع كل جزيء في المتوسط بدرجة عالية من الاستقلال في حركاته بالنسبة إلى الآخرين.

في ظل هذه الظروف، تسمح نظرية الاحتمالات بحساب عددٍ كبيرٍ من الخصائص لمجموع إحصائي للجزيئات. أبسط مثال على تطبيق

(‡) يمكن إجراء إثبات رياضي صارم لأنظمة بسيطة معينة، لكن الصعوبات الرياضية حتى الآن أكبر من أن تسمح بمعالجة عامة لهذه المشكلة، والتي ستكون مكافئة لإثبات ما يسمى بـ «نظرية إرجوديك». – في الفيزياء والديناميكا الحرارية، فرضية أرجوديك تقول إنه، على مدى فترات طويلة من الزمن، فإن الزمن الذي يقضيه نظامٌ في منطقة ما من مكان في طور ما لحالات المادة على المستوى المجهري مع نفس الطاقة يتناسب مع حجم هذه المنطقة، أي أن جميع حالات المادة على المستوى المجهري التي يمكن الوصول إليها متساوية على مدى فترات طويلة من الزمن. (التخمين يقول بأن هذه النظرية تنطبق في المشاكل النموذجية من النوع الموصوف هنا، مع ذلك، أصبح معقولًا للغاية من خلال الحجج النوعية التي قدمناها هنا، وكذلك من خلال حقيقة أن هذه النظرية قد أثبتت في الواقع بالنسبة إلى الأنظمة البسيطة. انظر، على سبيل المثال، D.Bohm و W.Schutzer ، المرجع السابق).

النظرية هو ملاحظة أن توزيع تواطؤ الاحتمالات(*) للجزيئات يعني أن متوسط الكثافة سيكون ثابتًا في كل مكانٍ، وهي خاصية معروفة لغازٍ محصورٍ في صندوقٍ في ظل ظروفٍ موحدة. وبالتالي يمكن توقع متوسط الخصائص وأيضًا متوسط التقلبات بعيدًا عن المتوسط. يمكن القيام بذلك بمساعدة نظرية معروفة يستنتج منها المرء أنه في هذه المسألة، سيكون متوسط التقلب الكسري mean fractional fluctuation بعيدًا عن المتوسط $\sqrt{n}$، حيث n يساوي عدد العناصر التي أخذت في الاعتبار عند الحصول على هذا المعدل. وهكذا، دعونا نأخذ حالة غاز بمتوسط كثافة 10^{17} جزيء لكل سنتيمتر مكعب. إذا أخذنا في الاعتبار مكعب ضلع 10^{-5} سم. (أي بحجم 10^{-15} سم^3)، سوف يحتوي في المتوسط على 100 جزيء. ولكن بسبب الحركات العشوائية للجزيئات، فإن هذا الرقم سيتقلب بسرعة مع الزمن. ووفقًا للنظرية المذكورة أعلاه، فإن متوسط التقلب الكسري سيكون قرابة 10. إذا اعتبرنا مكعبًا بحجم 10^{-3} سم لكل ضلع فسيكون متوسط عدد الجسيمات في المكعب 108، ومتوسط التقلب الكسري في هذا الرقم سيكون 1.0×10^{-4} فقط. ومع مكعب طول جانبه 10 سم، سيكون متوسط عدد الجزيئات في المكعب 10^{20} في حين أن متوسط التقلب الجزئي سيكون 1.0×10^{-10} فقط. يوضح هذا المثال كميًّا كيف ننظر إلى المتوسط الذي يحتوي على المزيد والمزيد من العناصر في

(*) **ملاحظة المترجم**: تواطؤ الاحتمالات equi-probability: تواطؤ الاحتمال لحالة أو حدث في نظرية الاحتمالات هو أن تكون جميع النتائج المحتملة متساوية في الاحتمال.

التجميع الإحصائي، تميل تقلبات الصدفة إلى الإلغاء أكثر وأكثر بشكلٍ تامٍّ، وبالتالي خلق الظروف لظهور قانون إحصائي ينمو أكثر فأكثر ويمكن حسابه تقريبًا مع زيادة عدد العناصر بلا حدود.

ينفذ تطبيق منهجي لنظرية الاحتمالية في الفيزياء الذرية في دراسة الميكانيكا الإحصائية، مما يجعل من الممكن أن نحسب بشكل دقيق، أو إلى حد ما للعديد من الخصائص التي ترى بالعين المجردة للنظام (مثل الإنتروبيا، السعة الحرارية، معادلة الحالة، إلخ) على أساس القوانين المجهرية، التي تقدم أيضًا نموذجًا يسمح بمعالجة كمية للطريقة التي تنشأ بها القوانين التي ترى بالعين المجردة للديناميكا الحرارية من الحركات المجهرية. كما تطبق في دراسة الحركة البراونية، وفي دراسة تقلبات الخصائص التي ترى بالعين المجردة للمادة بالقرب من النقاط الحرجة للسوائل. وبالتالي، فإن نظرية الاحتمالات قد قدمت مساهمة مهمة في فهمنا للعلاقة بين المستويات المجهرية ومستوى الرؤية بالعين المجردة من خلال السماح لنا بمراعاة ظواهر الصدفة الناشئة على المستوى المجهري من دون الحاجة إلى حسابٍ دقيقٍ ومفصَّل للحركات لجميع الجزيئات الفردية داخل مجموعة كبيرة أو معرفة دقيقة لقوانين المستوى المجهري.

١٣. إثراء بنية المفهوم في الفيزياء الكلاسيكية والفلسفة الآلية

لقد رأينا في الأقسام السابقة أنه حتى بصرف النظر عن تطور مفهوم المجالات، فقد حدث خلال القرنين الثامن عشر والتاسع عشر عددٌ من الخطوات الإضافية المهمة جدًّا التي أثَّرت بشكل كبير بنية المفهوم في

الفيزياء، والتي شملت إدخال مفهوم المستويات، ومفهوم التغيرات الكمية التي تؤدي إلى تغييرات نوعية، وتقلبات الصدفة التي تميل نحو قوانين محددة تقريبًا للسلوك المتوسط للتجمعات الكبيرة. بينما، كما أشرنا سابقًا في القسم الرابع، لا يتعارض أي من هذه المفاهيم بشكلٍ مباشرٍ مع الفلسفة الآلية، فإن كلَّ واحدٍ منها يشكِّل في اتجاهه العام وروحه على الأقل، خطوة بعيدة عن فكرة وجود القانون الأساسي المطلق والنهائي، وهو الذي يتخذ شكلًا كميًّا بحتًا يسمح بحد ذاته من حيث المبدأ على الأقل بالحساب الكامل والدقيق لكل سمة من سمات كل شيء في الكون بأسره.

لمعرفة سبب ميل هذه المفاهيم الجديدة إلى الابتعاد عن الآلية، نتذكر أولًا أنه في الشكل الأصلي للفلسفة الآلية، نُظر إلى كل من فكرة التغيرات النوعية ومفهوم الصدفة على أنهما مجرد مساعدات ذاتية لتفكيرنا حول خصائص المادة بشكلٍ جماعي، بحيث لا تمثِّل أي شيء كان من المفترض في الواقع وجوده بشكلٍ موضوعي في الأنظمة المادية. لقد رأينا بالفعل في القسم الحادي عشر أنه على الأقل ضمن نطاق الرؤية بالعين المجردة في التحول النوعي، تصبح الصفات الجديدة التي تفي بالقوانين الجديدة هي الأسباب المهمة والمهيمنة في المجال المعني. علاوة على ذلك، لا يمكن إنكار الحقيقة الموضوعية للانقطاعات في الخصائص الكمية في إطار ما يرى بالعين المجردة، وكذلك عدم حساسية التغير النوعي للتفاصيل الكمية لا يمكن تجاهلها. وبالمثل من الواضح (على أساس المناقشات الواردة في الفصل الأول،

القسمين الثامن والتاسع) أن تقلبات الصدفة موجودة بشكلٍ موضوعي ضمن سياقات محددة، وأن نظرية الاحتمالات توفر تعبيرًا رياضيًّا دقيقًا نسبيًّا عن الخصائص الموضوعية لهذه التقلبات، بما في ذلك الانتظام الإحصائي الذي ينشأ على أساس إلغاء عدد كبير من تقلبات الصدفة.

ومع ذلك، فمن أهم سمات الفلسفة الآلية أنها تسمح للمرء بإجراء عددٍ غير محدود من التعديلات في وجهة نظره التفصيلية، دون التخلي عمَّا هو ضروري للموقف الآلي. وهكذا، مع فكرة التغييرات النوعية، وافق عددٌ كبيرٌ من الفيزيائيين بشكلٍ فعالٍ على أن التغيرات النوعية هي فكرة موضوعية (أو على الأقل موضوعية مثل أي شيء آخر). ومع ذلك، فإنهم يؤكدون أن مثل هذه التغيرات ليست ذات أهمية أساسية، لأنها يجب أن تتبع -من حيث المبدأ على الأقل، بشكلٍ كاملٍ ومثالي في جميع تفاصيلها وفي جميع النواحي ومن دون أي تقريب- القوانين الكمية الأساسية للحركة للعناصر المكونة للنظام، مهما كانت هذه العناصر. ومن ثم، فقد تأكد أن التغيرات النوعية تشبه الظلال العابرة التي ليس لها وجودٌ مستقلٌّ خاص بها مطلقًا، ولكنها تعتمد في جميع سماتها على القوانين الكمية التي تحكم العناصر الأساسية التي تدخل في النظرية. من الواضح أن مثل هذا الموقف يشير أيضًا إلى أن فكرة تسلسل مستويات القانون أشبه بمجموعة من التقريبات للقانون الأساسي المطلق والنهائي، وهي تقريبات تعتمد فيها قوانين المستويات المختلفة على خصائص القانون الأساسي، في حين أن القانون الأساسي ليس له أي اعتماد على الإطلاق على قوانين المستويات المختلفة. وبالمثل،

فإنه يتفق مع وجهة النظر هذه بافتراض أن قوانين الصدفة والإحصاء تنشأ من مجرد تعقيد وتعدد حركات الكيانات الأساسية التي تدخل في قانون السببية الأساسي وبالنسبة إلى صياغة هذا القانون الأخير لن يظهر أي عنصر من عناصر الصدفة.

نتذكر أنه أمكن التعبير عن الفلسفة الميكانيكية تاريخيًّا بافتراض أن الوحدات الأساسية التي من المفترض أن يُبنى الكون منها هي ذرات غير قابلة للتجزئة، ثم اعتبرت القوانين الكمية البحتة التي تحكم حركات هذه الذرات أنها القوانين التي يتبعها كل شيء آخر.

مع ذلك فقد اكتشف لاحقًا أن الذرات ليست في الحقيقة الوحدات الأساسية، لأنها تتكوَّن من إلكترونات، وبروتونات، ونيوترونات متحركة. من هذه الحقيقة يمكن للمرء أن يرى بالفعل أن افتراض القابلية الكاملة للاختزال لكل شيء في الكون كله إلى فقط القوانين التي تحكم حركات الذرات لا يمكن أن يكون صحيحًا تمامًا، لأن وجود بنية داخلية للذرات يسمح بأن تتأثر القوانين التي تحكمها بالظروف القائمة على المستوى الواسع. ومن ثم، فإن قوانين مستوى الرؤية بالعين المجردة وتلك الخاصة بالمستوى الذري ستكون في الواقع خاضعة للعلاقات المشتركة والمتبادلة.

كمثالٍ، سنفترض درجة حرارة مادة ما. وفقًا للنظرية الذرية، تُحسب درجة الحرارة هذه تمامًا وبشكلٍ مثالي من خلال متوسط الطاقة الحركية للجزء الفوضوي من الحركات الجزيئية والذرية(*). عند بضع آلاف

(*) كمثالٍ، لاحظ المقطع التاسع.

مطلقة من درجات الحرارة، تتفكك الجزيئات والذرات إلى إلكترونات وأيونات لها خصائص جديدة نوعيًّا مقارنة بخصائص الأنظمة غير المتفككة undissociated systems، بينما في درجات حرارة تصل إلى ملايين الدرجات (الموجودة في الأجزاء الداخلية للنجوم)، حتى أنوية الذرات تبدأ في التحول، بحيث تتحول أي ذرات من أي نوع معين إلى ذرات من أنواعٍ أخرى. عندما تصبح هذه العمليات مهمة، فإن فكرة أن درجة الحرارة ليست أكثر من خاصية شبيهة بالظل، تحدد فقط من خلال متوسط الطاقة الحركية للحركات الذرية والجزيئية الفوضوية، تتوقف عن تمثيل السمات ذات الصلة بالمشكلة بشكلٍ دقيقٍ. من التأثيرات الأساسية لرفع درجة الحرارة هو أن مفهوم الحركات التي يمكن اختزالها في إزاحة الذرات والجزيئات عبر الفضاء يصبح في النهاية غير قابل للتطبيق تمامًا. ومن ثم، ما دمنا بقينا في إطار النظرية الذرية، فنحن مضطرون إلى الاعتراف بأن الخصائص واسعة النطاق مثل درجة الحرارة قد يكون لها مقياسٌ معينٌ لكائن مستقل نسبيًّا، بمعنى أنها تساهم في تعريف الخصائص الداخلية للذرات، والقوانين التي تحكم سلوكها الخارجي، وحتى الشروط التي تحدد ما إذا كانت الذرات من نوع معين (أو الذرات من أي نوع على الإطلاق) يمكن أن توجد أم لا. في ظل مجموعات محددة من الشروط والسياقات المحدودة، يكون تأثير القوانين واسعة النطاق على المستوى الذري صغيرًا جدًّا بحيث يمكننا تجاهلها، ومن ثم تصبح فكرة التحديد الكامل للقوانين في مستوى الرؤية بالعين المجردة باستخدام القوانين التي تضبط الحركات

الذرية تقريبًا جيدًا، لكن الافتراض الآلي الأصلي بأن هذا التحديد ليس تقريبيًّا ومشروطًا، ولكنه بدلًا من ذلك كاملٌ ومطلقٌ، يُنظر إليه الآن على أنه لا يتوافق مع الحقائق التي اكتشفت خلال تقدم الفيزياء.

ردًّا على الانتقادات المذكورة أعلاه، فإن موقف فكرة الآلة الأكثر حداثة هو أن الصعوبات ترجع إلى حقيقة أن الذرات ليست العناصر الأساسية بوضوحٍ، وبدلًا من ذلك، يجب أن نلجأ إلى دراسة الإلكترونات والبروتوناتٍ والنيوترونات، التي هي في الحقيقة العناصر الأساسية. من خلال تطبيق القوانين على هذه الكيانات، سنكون قادرين بعد ذلك على استنتاج جميع خصائص الذرات، ومواصلة الاستنتاج لإظهار أن قوانين مستوى الرؤية بالعين المجردة تنبع أيضًا بشكلٍ كاملٍ ومثالي من نفس الأساس.

وهكذا، كنَّا على صواب في هدفنا العام، لكننا أخطأنا في الافتراض المتسرع بأننا وصلنا إلى الفكرة من خلال قوانين المستوى الذري.

تُظهر التطورات الجديدة في الفيزياء الحديثة أن وجهة النظر هذه لا يمكن أن تكون صحيحة أيضًا. بالنسبة إلى التقدم الجديد في الفيزياء، فقد كشف أنه حتى الإلكترونات والنيوترونات والبروتونات ليست ثابتة، وأنه في ظل ظروف مناسبة، يمكن تحويل بعضها إلى بعض وإلى مجموعة كاملة من أنواعٍ مختلفة نوعيًّا من الجسيمات تُسمَّى الميزونات والهايبرونات، إلخ. تحدث هذه التحولات عندما تصطدم جسيماتٌ ذات طاقة عالية جدًّا بعضها مع بعض(*). يمكن للمرء أن

(*) هذه الطاقة يجب أن تكون في حدود مئات الملايين من الإلكترون فولت (وحدة قياس الطاقة).

يتصور بسهولة بيئة في إطار الرؤية بالعين المجردة حيث درجة الحرارة فيها عالية جدًّا لدرجة أن متوسط طاقات الجسيمات كانت في النطاق الذي يمكن أن تحدث فيه هذه التحولات؛ وبالفعل، من الممكن تمامًا إنتاج درجات الحرارة هذه بشكلٍ مصطنعٍ في النهاية، أو أنها قد تكون موجودة بشكل طبيعي في المراحل المبكرة من تطور الكون(†). في مثل هذه البيئة، ستؤثِّر الظروف في المستوى الواسع بشكلٍ كبيرٍ حتى في أنواع الجسيمات الأساسية التي يجب تحليلها داخل أي نظام. نتيجة لذلك، فإن هدف استنتاج قوانين المستويات الأعلى تمامًا ومن دون تقريب من القوانين التي نطبقها على الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات، يثبت أنه بعيد المنال، تمامًا كما حدث عندما جرت محاولة القيام بذلك باستخدام الذرات كوحدات أساسية.

بالطبع، هناك مرة أخرى طريقة سهلة للخروج من هذه الصعوبات، دون أن نغادر إطار وجهة النظر الآلية. يحتاج المرء فقط إلى افتراض أن القوانين الأساسية في الحقيقة ليست هي القوانين الحالية التي تُطبَّق على حركات الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات والميزونات إلخ، وأنه لا بد من وجود مجموعة أكثر جوهرية من القوانين، التي ستستقر في النهاية للإجابة عن المسألة مرة واحدة وإلى الأبد. لكن الافتراض الفلسفي الأساسي وراء وجهة النظر الآلية قد كشف نفسه الآن بوضوحٍ. في الوقت الحالي، يرى المرء أنه لا توجد فقط حالات معروفة للقوانين التي تحقق الهدف الآلي، بل أكثر من ذلك، حتى لو

(†) ناقشنا هذه النقطة في الفصل الخامس، القسمين الثامن والحادي عشر.

كان لدينا قانون يبدو أنه يشرح كل ما كان معروفًا في زمنٍ معين، فلن نكون متأكدين أبدًا أن التجربة التالية الأكثر دقة أو النوع الجديد التالي من التجارب الذي لن يظهر بعض أوجه القصور التي قد تؤدي في النهاية إلى مجموعة قوانين أكثر عمومية وأعمق. في الواقع، هذا هو ما حدث في الفيزياء حتى الآن، مع كل القوانين التي كان يُعتقد في وقتٍ أو آخر أنها القوانين النهائية. وبالتالي، سيكون الاحتمال مفتوحًا دائمًا أنه سيكون هناك تأثيرٌ متبادلٌ بين قوانين المستوى الأعلى وقوانين أي مستوى أدنى معين. قد يكون هذا التأثير المتبادل ضئيلًا في ظل ظروفٍ مألوفة، ولكنه مهم جدًّا في ظل الظروف الجديدة. إن الافتراض القائل بأن أي قانون معين أساسي للغاية بحيث لا يوجد على الإطلاق أي تأثير متبادل من هذا النوع مهما كان، لا يمكن إثباته إطلاقًا اعتمادًا على أي شكل من أشكل الحقائق التجريبية.

يمكن بسهولة الحصول على استنتاجاتٍ مماثلة فيما يتعلَّق بعلاقة **التغيرات النوعية بالقوانين الكمية** التي يمكن التنبؤ بها من خلال هذه العلاقة بشكلٍ تقريبي. يمكننا أن نرى بسهولة أن هناك تأثيرًا متبادلًا بين الحالة النوعية للمادة وبين القوانين الكمية التي تنطبق في أي مجالٍ أو مستوى معين. على سبيل المثال، الشكل الدقيق للقوى بين الجزيئات، الذي يدخل في صياغة قوانين حركتها، يعتمد بشكلٍ أساسي على الحالة النوعية للمادة (هل هو غاز أم سائل أم صلب[*])، إلخ). بالطبع،

(*) على سبيل المثال، قد توجد قوى «العديد من الأجسام»، التي لا يمكن التعبير عنها كمجموع تفاعل بين جسدين، «قوى التبادل» الناتجة عن تخزين الإلكترونات في معدن، القوى الاتجاهية الناتجة عن تشويه الذرات والجزيئات فيما بينها المرتبطة معًا في شبكة بلورية، إلخ.

يمكننا فهم هذا الاعتماد تقريبًا من خلال النظر في حركات الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات التي تشكِّل الذرة؛ ولكن، مرة أخرى، تظهر نفس المشكلة الأساسية. لأنه من الممكن تغيير الحالة النوعية للمادة بدرجة كبيرة حتى إن الخصائص الكمية الأساسية لهذه الجسيمات الأخيرة ستتغيَّر بشكلٍ كبيرٍ. وبالتالي، هناك بعض النجوم شديدة الكثافة، ولا توجد فيها أشياء -بالمعنى الصحيح- مثل الذرات، ولكن توجد فيها فقط كتلٌ كثيفة من الإلكترونات والنيوترونات والبروتونات(†). في ظل هذه الظروف، هناك أسبابٌ وجيهة للافتراض أن العديد من الخصائص الكمية الأساسية للإلكترونات والنيوترونات والبروتونات يجب أن تكون مختلفة تمامًا عمَّا هي عليه في ظل الظروف المعتادة(‡). وهكذا، نرى أنه حتى القوانين الكمية التي تحكم الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات تعتمد إلى حدٍّ ما على الحالة النوعية حيث يكون هناك وجودٌ للمادة نفسها. ومن ثم، فإننا لم نصل بعد إلى الهدف المتمثِّل في إيجاد قانون كمي بحت يشرح تمامًا ودون تقريب جميع الصفات، بحيث لا يكون لدى هذا القانون إمكانية تقديم مساهمة مستقلة من نفسه للتعبير عن قوانين النظام بأكمله. علاوة على ذلك، لا يمكن لأي تجربة أن تثبت أن مجموعة معينة من القوانين الكمية لا تعتمد أبدًا على

(†) تكون النجوم كثيفة لدرجة أن نوى الذرات المختلفة تصبح عمليًّا على اتصالٍ طوال الوقت.

(‡) على سبيل المثال، بسبب التبادل السريع للميزونات (mesons ميزونات: جسيمٌ أوَّلي له شحنة موجبة أو سالبة أو متعادلة، وتتفق الميزونات في أن كتلتها 200 مثل كتلة الإلكترون ولها عزم مغزلي يساوي 1). بين هذه الجسيمات، من المحتمل جدًّا أن تكون القوى النووية، والعزم المغناطيسية، والعزم رباعي القطب، وغيرها، مختلفة تمامًا عمَّا هي عليه عندما تكون الجسيمات موجودة فقط بكثافة منخفضة.

الحالة النوعية للمادة، لأنه من الواضح -في ظل ظروفٍ جديدة ليس من الممكن التحقق منها بعد- أو في الدراسات التي أجريت على مستوى أعلى من التقريب، قد يظهر مثل هذا الاعتماد في النهاية. وبالتالي، فإن الافتراض القائل بأن جميع التغيرات النوعية هي مجرد «ظلال» غير فعَّالة للتغييرات الكمية لمجموعة أساسية من الكيانات -مثل ما تفعله قوانين المستوى الأعلى القابلة للاختزال تمامًا إلى تلك الموجودة في مستوى أساسي ما- لا يمكن تأسيسه على أي أنواع يمكن تصوره من الحقائق التجريبية.

يمكننا أن نرى بسهولة نتيجة مماثلة فيما يتعلق بالموقف تجاه السببية والصدفة التي كانت من سمات الفلسفة الآلية بالشكل الذي تطورت به في نهاية القرن التاسع عشر. وهكذا، كما أشرنا بالفعل في الفصل الأول، لقد عُثِر على جميع القوانين السببية المعروفة حتى وقتنا هذا لتؤدي في النهاية إلى حالاتٍ طارئة تقع خارج نطاق ما يمكن معالجته بواسطة القوانين السببية المعنية. على سبيل المثال، كما رأينا في القسم الثاني من هذا الفصل، أن كل قانون ميكانيكي ينطبق فقط على نظامٍ معزولٍ، لأن سلوكه يعتمد على ظروفٍ ذات حدودٍ معينة داخل أنظمة مستقلة بشكلٍ أساسي عن النظام قيد الدراسة. حتى لو اعتبرنا الكون كله نظامًا ميكانيكيًّا واحدًا، بحيث لا يوجد ما هو خارجه(*)، عندئذٍ تنشأ نفس المشكلة. ذلك أنه عند محاولة تتبُّع أسباب ما يحدث

(*) لا يمكن إعطاء أي معنى لمثل هذا المعالجة من حيث تنبؤات التجارب الفعلية. ومع ذلك، فمن التجريد الفلسفي المفيد التفكير في مثل هذه المعالجة، بشرط أن ندرك أنه يساهم فقط كأساسٍ لمناقشة بعض الأسئلة الفلسفية المهمة.

على مستوى الرؤية بالعين المجردة بدقة أكبر، سنجد في النهاية اعتمادًا على تقلبات الصدفة للحركات الذرية المستقلة أساسًا. لكن هذه بدورها تعتمد جزئيًّا على تقلبات الصدفة المستقلة بشكلٍ أساسي على المستوى الإلكتروني والنووي (وكذلك على تقلُّبات الميكانيك الكمومي التي سنناقشها في الفصل الثالث). تعتمد هذه الحركات الأخيرة بدورها جزئيًّا على التقلبات العشوائية عند المستويات الأعمق، المرتبطة بهيكل الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات.. إلخ (مثلًا على مستوى الحركات الميزونية وربما حتى في مستوى أقل من مستوى الجسيمات الأولية). ومن ثَمَّ، لا توجد حالة معروفة لقانون سببي خالٍ تمامًا من الاعتماد على الحالات الطارئة التي تقدم من خارج السياق الذي يتعاطى معه القانون المعني. علاوة على ذلك، حتى لو كان لدينا مثالٌ لقانون بدا أنه خالٍ تمامًا من مثل هذه الاحتمالات، فستظهر نفس المشكلة العامة كما في مشكلة العلاقات المتبادلة بين المستويات وكذلك بين القوانين النوعية والكمية. بالنسبة إلى الخطوة التالية في البحث العلمي، قد تكشف دائمًا عن عوامل جديدة موجودة خارج السياق الأصلي، وهي التي كانت تنبؤات القوانين المعنية مشروطة بها. وهكذا، فإن الفكرة القائلة بوجود قانون سببي نهائي خالٍ تمامًا من الصدفة والتي يمكن من خلالها استنتاج جميع تقلبات الصدفة من حيث المبدأ بشكلٍ كاملٍ ومثاليٍّ لا يمكن أن تستند إلى أي حقائق تجريبية.

في الختام، نرى أن الافتراض الآلي القائل بأن جميع المستويات المختلفة، وجميع التغيرات النوعية، وجميع تقلبات الاحتمالات

ستكون في النهاية قابلة للاختزال بشكلٍ كاملٍ ومثالي وغير مشروط لتأثيرات بعض المخططات الثابتة والمحدودة للقانون الكمي البحت، لا تفي ولا تستطيع أن تتبع أي تطورات علمية محددة. لذلك فإن هذا الافتراض فلسفي في جوهره. سنناقش بالتفصيل ما إذا كان من المرغوب فيه إجراء مثل هذا الافتراض في فصولٍ لاحقة.

١٤. وجهة نظر جديدة تجاه الاحتمالات والقانون الإحصائي - آلية اللا حتمية

استجابةً للعديد من المشكلات الصعبة التي يطرحها تفسير ظواهر الصدفة والقوانين الإحصائية المرتبطة بها، ظهرت في بداية القرن العشرين وجهة نظر فلسفية جديدة تجاه هذه الأسئلة، اعترفتْ بالطابع الموضوعي والأساسي للصدفة وخاصية الاحتمالات المرتبطة بها.. ومع ذلك، أدَّت وجهة النظر هذه في النهاية إلى إنكار أن القوانين المحددة لها أي أهمية حقيقية، بخلاف كونها مجرد تقريبٍ لقوانين الاحتمالات التي تكون صالحة عندما نتعامل مع مجموعة إحصائية للأشياء أو العمليات.

كان التغيير الجوهري الذي أحدثته وجهة النظر الجديدة هذه هو إدخال عنصر العشوائية في النظرية. لا يزال المرء يفكر في الكون على أنه نظامٌ ميكانيكي عملاقٌ يتمتع بخاصية أنه يمكن من حيث المبدأ اختزال كل شيء فيه بشكلٍ كاملٍ ومثالي إلى مجرد نتائج للتغيرات الكمية البحتة التي تحدث في متغيرات المعادلة الآلية المناسبة. ولكن بدلًا من تحديد سلوكه بالكامل من حيث القوانين المحددة التي تحكم

هذه المتغيرات، يمكن أن يخضع هذا النظام الكوني باستمرارٍ لتغيراتٍ غير منتظمة في مسار حركته. نظرًا إلى أنه من المفترض بالفعل أن متغيرات النظام تصف كل شيء موجود في العالم، فمن الواضح أن هذه التغيرات غير المنتظمة في الحركة لا يمكن أن تأتي من العدم. وبالتالي، لا يمكن أن يكون لها طابع تقلبات الصدفة العادية، التي تمثل آثار الحالات الطارئة التي لا يمكن أخذها في الاعتبار في السياق قيد المناقشة. بدلًا من ذلك، ستمثل نوعًا من العشوائية أساسيًّا وغير قابل للاختزال أو الفوضى في السلوك التفصيلي للعالم. يمكن أن نطلق على مثل هذا السلوك اسم «الصدفة المطلقة»، لأنه لا يُنظر إليه على أنه عشوائيٌّ وغير خاضع لقانون بالنسبة إلى سياق محددٍ ومحدودٍ، ولكن بالأحرى هو شيء ممكن في جميع السياقات الممكنة.

ومع ذلك، لا يُفترض أن تمتد العشوائية المطلقة وعدم الخضوع للقانون في السلوك التفصيلي للظواهر الفردية إلى تجميعات إحصائية. بدلًا من ذلك، من المفترض أن قوانين الطبيعة يمكن التعبير عنها من حيث الاحتمالات التي تحدد السلوك على المدى الطويل ومتوسط السلوك الذي يمكن الحصول عليه في مثل هذه التجميعات الإحصائية ولو بشكلٍ تقريبي. وبالتالي، يُفترض أن جميع قوانين الطبيعة الممكنة يمكن التعبير عنها من حيث مجموعة من العلاقات الكمية البحتة بين الاحتمالات المناسبة. على سبيل المثال، لا تزال مفاهيم التغير النوعي والمستويات المستقلة نسبيًّا تعتبر أكثر من مجرد وسيلة تقريبية لمعالجة بعض النتائج واسعة النطاق لقانون أساسي ومبدأ نهائي كمي بحت،

لكن الآن من المفترض أن يكون هذا القانون احتماليًّا وليس حتميًّا.

من الواضح أن وجهة النظر الموصوفة أعلاه تتخلى عن جانبٍ مهمٍّ من الأشكال المختلفة للفلسفة الآلية التي ظهرت من القرن السادس عشر حتى القرن التاسع عشر؛ وهي حتميتها(*). ولكن بفعلها هذا، فقد حافظت وعزَّزت في الواقع السمة المركزية والأكثر أهمية لهذه الفلسفة؛ أي الافتراض القائل بأن كل شيء في الكون يمكن اختزاله بشكلٍ كاملٍ ومثاليٍّ إلى مجرد مجموعة تأثيرات من المتغيرات الآلية التي تخضع لتغيرات كمية بحتة. ومع ذلك، فإن حقيقة أن تفاصيل هذه التغييرات عشوائية تمامًا ولا تخضع لقانون لا تجعل وجهة النظر هذه أقل آلية بشكلٍ أساسي من تلك التي يُفترض أن تحدد فيها هذه التفاصيل من خلال الخصائص المناسبة للنظام نفسه. في الواقع، فإن إدخال العشوائية المطلقة وعدم الخضوع للقانون في نظرية ما يماثل اتخاذ نموذج للعالم، وليس آلة مثالية خالية من الاحتكاك من النوع الذي تصوره لابلاس، ولكن بدلًا من ذلك، يمكن اعتباره عجلة روليت مثالية من شأنها أن تعطي توزيعًا غير منتظمٍ للنتائج لا يعتمد على أي شيء على الإطلاق (هناك العديد من العوامل الموجودة خارج السياق ليست في حسبان الأشخاص الذين يلعبون اللعبة، وهو ما يحدث مع

(*) **ملاحظة المترجم**: Determinism الحتمية: هي وجهة نظر فلسفية حيث تحدد جميع الأحداث بالكامل من خلال الأسباب الموجودة سلفًا. تطورت النظريات الحتمية عبر تاريخ الفلسفة من دوافع واعتبارات متنوعة ومتداخلة في بعض الأحيان. إن نقيض الحتمية هو اللا حتمية أو العشوائية، غالبًا ما تتناقض الحتمية مع الإرادة الحرة، على الرغم من أن بعض الفلاسفة يدعون أن كليهما متوافقان.

عجلة الروليت الحقيقية). وبالتالي، فإن مسألة ماهية الفلسفة الآلية تتخطى مشاكل الحتمية واللا حتمية. لهذا السبب سنطلق على الفلسفة الموصوفة في هذا القسم اسم «الآلية اللا حتمية» لتمييزها عن الآلية الحتمية التي وصفناها سابقًا.

لب وجهة نظر الآلية اللا حتمية تجاه الصدفة نجدها بالفعل في عمل فون ميزس(*) في نظرية الاحتمالات. في هذا العمل، يقدم فون ميزس فكرة أنه في التوزيع العشوائي الحقيقي للأشياء أو الأحداث من الأنواع التي نطبق عليها نظرية الاحتمالات، لا توجد علاقاتٌ سببية على الإطلاق، وأن التوزيع «غير خاضع للقانون» تمامًا. يعني هذا أنه مهما كانت القوانين المحددة التي يعترف بها فيمكن أن تظهر كتقريبٍ

(*) R.von Mises. Wahrscheinlichkeit, Statistik und Wahrheit, dritte Auf. Wien, Springer (1951).

(*) **ملاحظة المترجم:** لودفيج فون ميزس (Ludwig von Mises) اقتصادي نمساوي وفيلسوف ومفكر ذو تأثيرٍ كبيرٍ على الحركة الليبرالية الحديثة. درس على يد كارل مينجر في جامعة فيينا، وحصل فيها على شهادة الدكتوراه عام 1906. بسبب أصوله اليهودية ولتجنُّب أي تهديد من النازيين له اضطر إلى مغادرة وطنه النمسا، متجهًا إلى سويسرا ليدرس في المؤسسة العليا للدراسات الدولية ومكث فيها ست سنوات غادر بعدها إلى الولايات المتحدة وتحديدًا نيويورك حيث درس في جامعتها كأستاذٍ زائرٍ بين عامي 1945 و1969. يُعد ميزس أحد أهم أعضاء المدرسة النمساوية للاقتصاد، إن لم يكن أهمهم. ألَّف الكثير من الكتب وطرح فيها الكثير من القضايا المتعلقة بالسياسات المالية والتضخم والفرق بين الاقتصاد الحر والاقتصاد الموجه. كما عارض في كتبه كل مبادئ الاشتراكية وبيَّن -حسب نظره- تهافت نظريات وأفكار الاشتراكيين كماركس وكينز وكيف أن الاشتراكية ستفشل اقتصاديًّا لا محالة. من أبرز تلاميذه فريدريك هايك الحاصل على جائزة نوبل ومري روثبورد المؤرخ والاقتصادي الأمريكي المشهور. كما تعد أفكاره ذات تأثيرٍ واضحٍ لدى الحزب الليبرتاري الأمريكي والسياسي الأمريكي المترشح لرئاسة الدولة عن الحزب الجمهوري رون بول.

لأثر قوانين الاحتمالات، التي تنص على: عند وجود أعداد كبيرة كافية من الأشياء أو الأحداث(†)، يفترض أنه لا توجد إمكانية مماثلة تظهر قوانين الاحتمالات كتقريب لأثر القوانين المحددة، وبالتالي، في وجهة النظر هذه، يُنظر إلى قوانين الاحتمالات على أنها ذات طابعٍ أساسي أكثر مما تمتلكه القوانين المحددة.

كان هناك تطورٌ واسع النطاق لوجهة النظر الموصوفة أعلاه، ولكنها نقلت إلى استنتاجها المنطقي فقط فيما يتعلق بالتفسير المعتاد للنظرية الكمومية. سنناقش هذه المشكلة بمزيدٍ من التفصيل في الفصل التالي. هنا فقط نذكر أن قوانين المجال الكمومي وجد أن لها طابعًا إحصائيًّا بشكل أساسي، بحيث يمكن التعبير عنها عمومًا من حيث احتمالات معينة. على المستوى الواسع، تؤدي هذه الاحتمالات إلى تحديد التنبؤات عمليًّا، وبهذه الطريقة تظهر القوانين السببية المألوفة للميكانيكا الكلاسيكية كتقريبٍ إحصائي. من المفترض بعد ذلك، كما سنرى بمزيدٍ من التفصيل في الفصل التالي، أن الشكل الاحتمالي للنظرية الكمومية الحالية لا يمكن أبدًا إظهاره على أنه نتيجة تقريب لمجموعة أعمق من القوانين الأكثر تحديدًا تقريبًا. وهكذا، يستنتج المرء أنه حتى أكثر قوانين الفيزياء الأساسية هي في الأساس، ليست أكثر من قوانين الاحتمالات، وأن العمليات والأحداث الفردية التي تحدث في المجال الذري هي لا تخضع للقانون تمامًا، بالمعنى الذي اقترحه فون. ميزس.

(†) على سبيل المثال القوانين التي تحدد الضغط الناتج عن عددٍ كبيرٍ من الجزيئات.

وهكذا وصلنا إلى مقابلة مثيرة للاهتمام. بالنسبة إلى من يؤمنون بالآلية الحتمية، يعتبرون الصدفة قابلة للاختزال بشكلٍ كاملٍ ومثالي إلى انعكاس تقريبي وسلبي بحت لقانونٍ محددٍ. من ناحية أخرى، يعتبر أنصار الآلية اللا حتمية مثل فون ميزس وأنصار التفسير المعتاد للنظرية الكمومية، أن القانون المحدد قابلٌ للاختزال تمامًا وبشكلٍ مثالي إلى انعكاس تقريبي وغير فعَّال بشكلٍ بحتٍ للعلاقات الاحتمالية المرتبطة بقوانين الصدفة.

الآن، فيما يتعلق بوجهة نظر الآلية اللا حتمية، فإن السؤال الأساسي الذي يجب إجابته هو ما إذا كانت تفاصيل تقلبات الصدفة عشوائية تمامًا وخالية من القانون بالنسبة إلى جميع السياقات الممكنة. للإجابة عن هذا السؤال، نلاحظ أولًا أنه في مجموعة واسعة جدًّا من التطبيقات لمفهوم الصدفة، كان ذلك ممكنًا بالفعل، كما أشرنا في الفصل الأول، القسمين الثامن والتاسع، لإظهار ذلك على الأقل نوعيًّا من خلال توسيع في السياق الكافي، نجد المزيد والمزيد من العلاقات السببية الفريدة تقريبًا تنطبق ضمن تقلبات الصدفة. علاوة على ذلك، في كثيرٍ من الحالات، يمكن للمرء أن يبرهن على نفس النتيجة من الناحية الكمية. على سبيل المثال، ثبت رياضيًّا أن هناك فئة واسعة من التسلسلات المحددة التي تتضمن سلاسل معقدة من الأحداث أو الأحداث المحددة بعددٍ كبيرٍ من العوامل السببية المستقلة، التي تملك إلى درجة عالية من التقريب بشكلٍ عشوائي الخصائص الإحصائية الأساسية التي هي سمة من سمات

التوزيع التي عالجتها نظرية الاحتمال(*). وهكذا، يرى المرء أن إمكانية معاملة القوانين السببية كتقريبٍ إحصائي لقوانين الصدفة يمكن موازنتها بإمكانية مقابلة لمعاملة قوانين الاحتمالات كتقريبٍ إحصائي لتأثيرات القوانين السببية. ويترتب على ذلك، أن المفهوم الأصلي لفون ميزس بأن قوانين الاحتمالات تنطبق على التوزيع «غير الخاضع للقانون» للأشياء أو الأحداث لا يمكنه أن يعطي معنى واضحًا في أي مشكلة أو تطبيقٍ محددٍ، لأن الاحتمال مفتوحٌ دائمًا أن أي مجموعة معينة من قوانين الاحتمالات المطبقة في سياقٍ معينٍ ستُنظر في النهاية على أنها تقريبية لأنواعٍ جديدة من القوانين السببية المطبَّقة في سياقاتٍ أوسع.

إن الافتراض القائل بأن أي نوعٍ معينٍ من التقلبات هو عشوائي وغير خاضعٍ للقانون بالنسبة إلى جميع السياقات الممكنة، مثل الافتراض المماثل بوجود قانون محدد نهائي ومطلق، لذلك من الواضح أنه غير قادرٍ على أن يكون مبنيًّا على أي تطورات تجريبية أو نظرية تنشأ عن سياق مشاكل علمية محددة، لكنها بدلًا من ذلك افتراضٌ فلسفي بحت، مسألة ما إذا كان من المرغوب فيه طرح مثل هذا الافتراض سوف نناقشه في الفصول التالية.

(*) طالع كمثالٍ:

H.Weyl, Ann. der Mathematik, 77, 333 (1916); H.Steinhaus, Studio Mathematica, 13,1 (1953); G.Klein and T.Prigogine, Physica, 19, 74, 89, and 1053 (1953); D.Bohm and W.Schutzer, Supplemento al Nuovo Cimento, Vol. II, Series X, n. .4, p. 1004 (1955)

١٥. تلخيص الفكرة الآلية

لقد رأينا أن الفلسفة الآلية التي بدأت بمثل هذه الآفاق الرائعة في عهد نيوتن، واجهت سلسلة من المشكلات الصعبة التي بدأت تصبح خطيرة بشكلٍ خاصٍّ خلال القرن التاسع عشر. أمكن حل هذه المشكلات عن طريق سلسلة من التكييفات والتعديلات المتتالية، ورغم كل شيء فقد احتفظت بالخاصية الأساسية من حيث المبدأ لافتراض أنه كل شيء سيكون في النهاية قابلًا للاختزال بشكلٍ كاملٍ ومثالي إلى مجموعة نهائية من القوانين الكمية البحتة، التي تشمل ربما الهيئات وحدها، ربما الهيئات والمجالات، أو ربما المجالات وحدها. إن التغيرات النوعية المختلفة التي تحدث في المادة بالإضافة إلى وجود مستويات مختلفة ستُعتبر يومًا ما من حيث المبدأ على الأقل مجرد نتيجة تتبع تمامًا وبشكلٍ كاملٍ القوانين الكمية الأساسية.

ومع ذلك، فقد رأينا أن وجهة النظر هذه لا تتناسب تمامًا مع الحقائق التجريبية المتوفرة حتى الوقت الحاضر. لمزيدٍ من التقدم في الفيزياء، أظهر أن جميع النظريات الكمية البحتة المختلفة التي كان يُعتقد في أوقاتٍ مختلفة أنها أساسية هي في الواقع مقاربة لنظرياتٍ لا تزال أعمق وأكثر عمومية تحتوي على أنواعٍ جديدة نوعيًّا من الكيانات الأساسية التي ترتبط بأنواعٍ جديدة مماثلة من القوانين. علاوة على ذلك كما حدث كثيرًا بالفعل، سيكون الاحتمال مفتوحًا دائمًا، فقد تظهر النتائج التجريبية المستقبلية الحاجة إلى مزيدٍ من التغيرات ذات طابعٍ بعيد المدى في نظرياتنا الأساسية. نتيجة لذلك، لا توجد طريقة يمكن

تصورها لإثبات أن قوانين المستويات المختلفة والتغيرات النوعية قابلة للاختزال تمامًا وبشكلٍ كاملٍ لقوانين أي نظرية كمية معينة، مهما بدت هذه النظرية أساسية.

أثبتت مشكلة الاحتمالات والصدفة أنها مشكلة صعبة بشكل خاص بالنسبة للفلسفة الآلية، لأنه بالإضافة إلى التسبب في مشاكل مشابهة لتلك التي تنشأ فيما يتعلق بمفاهيم المستويات والتغيرات النوعية، فقد جعلت أنصار الفكرة الآلية كالمستجير من الرمداء بالنار؛ على وجه التحديد، أنت بحاجة إلى أن تقرر مرة واحدة وإلى الأبد ودون أي إمكانية لإثبات تجريبي، ما إذا كان القانون المحدد هو الفئة الأساسية، في حين أن الصدفة والاحتمال مجرد انعكاسات غير فعالة، أو ما إذا كانت الصدفة والاحتمال أساسيين وأن القانون المحدد هو فقط انعكاس غير فعال.

ومع ذلك، تجدر الإشارة إلى أن جميع التطورات الجديدة التي حدثت في بنية المفهوم للفيزياء خلال القرن التاسع عشر كانت بمعنى أنه لا يوجد أي من المخططات الآلية المختلفة الممكنة -الحتمية وغير الحتمية، التي أمكن اقتراحها في الأوقات المختلفة- أساسية فعلًا، ولكن ما يجب أن تكون نقطة انطلاقنا الأساسية هو الثراء الكامل لأنماط القانون الطبيعي الموصوفة في الفصل الأول. هذا النمط يعني أن جميع قوانين المستويات المختلفة وجميع الفئات العامة المختلفة من القانون، مثل النوعية والكمية، المحددة والإحصائية، إلخ، تمثِّل جوانب مختلفة ولكنها مترابطة بالضرورة من نفس العملية. يعطي كل جانبٍ

عرضًا تقريبيًّا وجزئيًّا للواقع يساعد على تصحيح الأخطاء الناتجة عن الاستخدام المنفرد للآخرين، ويعالج كلُّ جانبٍ بشكلٍ مناسبٍ جانبًا من العملية لم تتم معالجته جيدًا أو ربما تجاهله الآخرون تمامًا. في إطار هذا النمط العام، يمكن للمرء أن يدمج بسهولة جميع التطورات الجديدة في الفيزياء التي وصفناها هنا، وأكثر من ذلك بكثيرٍ. وبالتالي، ليست هناك حاجة إلى عمل افتراضاتٍ مستمرة بأن أنواعًا أو فئاتٍ معينة من القانون هي الأخيرة التي يتبعها كلُّ شيء آخر بشكلٍ كاملٍ ومثالي، وهي افتراضات لا يمكن إثباتها تجريبيًّا أبدًا وهي تخضع دائمًا للدحض مع مزيدٍ من التقدم في العلوم. ولا يتعيَّن علينا أن نواجه معضلاتٍ غير قابلة للحل، مثل اتخاذ قرارٍ نهائي من دون أي دليل تجريبي محتمل حول ما إذا كانت القوانين الحتمية أو الاحتمالية هي القوانين الأساسية فعليًّا. نحن ندرك المساهمة في فهمنا للطبيعة بواسطة كل مفهوم وكل فئة من فئات القانون، ونترك لمزيدٍ من البحث العلمي مشكلة اكتشاف المدى الذي يمكن أن يصل إليه أي مفهوم أو فئة من القوانين، ضمن درجة معينة من التقريب وفي ظل بعض الظروف، سيظهر أنه يتبع بالضرورة أي مجموعة أخرى محددة من مفاهيم وفئات القانون.

بعد متابعة مسار تطوير الشكل اللا حتمي للفلسفة الآلية في النظرية الكمومية في الفصل الثالث، واقتراح تفسيرٍ جديدٍ للنظرية الكمومية في الفصل الرابع سنعود بعد ذلك في الفصل الخامس إلى هذه المشكلة، لعرض أكثر تفصيلًا عن كيفية ملائمة الفيزياء الحديثة للنمط العام المذكور أعلاه للقانون الطبيعي.

الفصل الثالث

النظرية الكمومية

١. مقدمة

في الفصل السابق قدمنا مناقشة حول تطور الفيزياء الكلاسيكية، بدءًا من قوانين نيوتن للحركة، مرورًا بجميع التطورات الجديدة التي حدثت حتى نهاية القرن التاسع عشر. لكن خلال هذا الوقت، كانت النظرة الفلسفية العامة التي يتبنَّاها الفيزيائيون هي الآلية الحتمية. لقد نما شعورٌ بأنه على الرغم من تفاصيل النظريات التي كانت حديثة في ذلك الوقت فإنها ستخضع في النهاية لتعديلاتٍ مختلفة استجابةً لنتائج مزيدٍ من التجارب، المخطط العام الأساسي الذي تُصاغ من خلاله جميع النظريات من حيث المعادلات التفاضلية التي تحدد المستقبل لن يكون من الضروري تغيير سلوك كل شيء في الكون تمامًا من حيث حالات لحظية معينة من الزمن. على سبيل المثال، أعرب لورد كلفن -أحد علماء الفيزياء البارزين في ذلك الوقت- عن رأي مفاده أن الخط العام الأساسي للنظريات الفيزيائية محددٌ بشكلٍ جيدٍ، وأنه لم يتبقَّ سوى «سحابتين صغيرتين» في الأفق، أي النتائج السلبية من تجربة ميكلسون ومورلي Michelson-Morley وفشل قانون رايلي-

جينس(*) Rayleigh-Jeans في التنبؤ بتوزيع الطاقة المشعَّة من الجسم الأسود. يجب الاعتراف بأن اللورد كلفن كان يعرف كيفية اختيار «السحب» التي فكر فيها، لأن هاتين المشكلتين بالتحديد أدَّتا في النهاية إلى التغييرات الثورية في بنية المفهوم للفيزياء التي حدثت في القرن العشرين فيما يتعلق بالنظرية النسبية والنظرية الكمومية.

وبينما أدَّت النظرية النسبية إلى تعديلاتٍ مهمة في الأشكال المحددة التي عبَّرت عن القوانين السببية في الفيزياء، فإنها لم تخرج عن الخط النظري الموجود سابقًا، حيث تحدد قيم المعاملات الرياضية المبدئية المناسبة في لحظة معينة من الزمن السلوك المستقبلي للكون في جميع الأزمنة. لذلك يجب ألا نناقش النظرية النسبية في هذا الكتاب إذا كان الاهتمام بشكلٍ أساسي بمسألة السببية، لأن هذه النظرية لم تطرح أي سؤال يتعلق بجذر مشكلة السببية.

(*) **ملاحظة المترجم**: قانون رايلي–جينس في الفيزياء هو قانونٌ حاول تفسير الانبعاث الطيفي للأشعة الكهرومغناطيسية التي يصدرها جسمٌ أسود في نطاق جميع الأطوال الموجية عند درجة حرارة معينة، وذلك عن طريق الميكانيكا التقليدية، في بداية القرن العشرين. يطابق قانون رايلي–جينس النتائج التجريبية تمامًا في نطاق الأطوال الموجية الطويلة، وبالتالي للترددات المنخفضة، ولكنه يتعارض مع النتائج التجريبية في نطاق الأطوال الموجية القصيرة (أي عند الترددات العالية)، وقد أصبح عدم تطابق الحسابات النظرية لتلك المعادلات مع القياسات في النطاق الكامل للأطوال الموجية مشكلة كبيرة سُميت في نهاية القرن التاسع عشر ومطلع القرن العشرين كارثة الأشعة فوق البنفسجية (كارثة الأشعة فوق بنفسجية ultraviolet catastrophe وتُسمَّى أيضًا كارثة رالي – جينز Rayleigh-Jeans catastrophe: تنبَّأت بها الفيزياء الكلاسيكية في بدايات القرن العشرين، تنصُّ على أن الجسم الأسود المثالي عند التوازن الحراري سيصدر إشعاعًا ذا قدرة لا نهائية).. وكان عدم تطابق النظرية مع القياسات تمهيدًا لحل المشكلة بطريقة أخرى عن طريق ماكس بلانك مع مطلع القرن العشرين، وكان ذلك دافعًا إلى التفكير في النظرية الكمومية وابتكار الميكانيك الكمومي فيما بعد.

من ناحية أخرى، كان للنظرية الكمومية، من وجهة نظر السببية، تأثيرٌ أكثر ثورية من تأثير النسبية. في الواقع، كان هذا هو المثال الأول في الفيزياء لنظرية إحصائية أساسًا. لأن الميكانيكا الكمومية لم تبدأ من معالجة قوانين الأجسام الدقيقة الفردية ثم طبقت الاعتبارات الإحصائية على تلك القوانين، كما هو الحال في الميكانيكا الكلاسيكية (انظر الفصل الثاني، القسم الرابع عشر). بدلًا من ذلك، فقد اتخذت منذ البداية شكل مجموعة من القوانين التي أعطت بشكلٍ عامٍّ تنبؤات إحصائية فقط، دون حتى إثارة السؤال حول ما يمكن أن تكونه قوانين الأنظمة الفردية داخل هذه المجاميع الإحصائية التي عالجتها النظرية. علاوة على ذلك، كما سنرى، قاد مبدأ اللا حتمية لهيزنبرج(*) علماء الفيزياء إلى استنتاج أنه دراسات التي أجريت في الميكانيك الكمومي كانت على مستوى من الدقة، بحيث لا يمكن العثور على قوانين سببية دقيقة للسلوك التفصيلي لمثل هذه الأنظمة الفردية، مما أدى إلى نبذ السببية نفسها فيما يتعلق بالمجال الذري.

ومع ذلك، سنرى أن مبدأ عدم التأكد يستلزم التخلي عن السببية فقط إذا افترضنا أن هذا المبدأ له صلاحية مطلقة ونهائية (أي من دون تقريبٍ في كل مجال تدرسه الفيزياء). من ناحية أخرى، إذا افترضنا أن هذا المبدأ ينطبق فقط كتقريبٍ جيدٍ وفقط في بعض المجالات المحدودة

(*) **ملاحظة المترجم**: الشائع هو استخدام Uncertainty principle للإشارة إلى مبدأ عدم التأكد لهايزنبرج، لكن الكاتب اختار جملة indeterminacy principle of Heisenberg وهو ما يمكن ترجمته إلى جملة (مبدأ اللا حتمية لهايزنبرج)، والتزامًا بحرفية الكتاب سنستخدم جملة **مبدأ اللا حتمية لهايزنبرج**.

(وهو إلى حدٍّ ما النطاق الذي يكون فيه الشكل الحالي للنظرية الكمومية قابلًا للتطبيق)، فسيترك الباب مفتوحًا لأنواعٍ جديدة من القوانين السببية لتطبيقها في مجالاتٍ جديدة. على سبيل المثال، كما سنرى، هناك سببٌ وجيه لافتراض وجود مستوى فرعي للميكانيكا الكمومية أساسي أكثر من ذلك الذي تنص عليه النظرية الكمومية الحالية. ضمن هذا المستوى الجديد يمكن استخدام أنواع جديدة نوعيًّا من القوانين، مما يؤدي إلى تلك الخاصة بالنظرية الحالية باعتبارها حالات تقريبية ومحددة بنفس الطريقة التي تؤدي بها قوانين المجال الذري إلى تلك الخاصة بنطاق الرؤية بالعين المجردة. عندئذٍ ينطبق مبدأ اللا حتمية فقط على المستوى الكمومي، ولن يكون له أي صلة على الإطلاق بالمستويات الأدنى. يمكن بعد ذلك انتقاد معالجة مبدأ اللا حتمية باعتباره مطلقًا ونهائيًّا على أنه يشكِّل قيدًا عشوائيًّا على النظريات العلمية، لأنه لا ينبع من النظرية الكمومية على هذا النحو، بل من افتراض الصلاحية اللا محدودة لبعض ميزاتها، وهو افتراض لا يمكن بأي حال إخضاعه لإثباتٍ تجريبي.

نرى إذن، أن علماء فيزياء القرن العشرين قد اتَّبعوا -في بعض النواحي- التقليد الكلاسيكي لتصور السمات العامة لمخططات نظرياتهم على اعتبار أنها لا تخضع لتعديلاتٍ مستقبلية في مجالاتٍ جديدة أو لدراساتٍ أكثر دقة في مجالاتٍ معروفة بالفعل. لكن هذه الميزات العامة لا تتناسب مع مخطط ميكانيكي حتمي، بل مع مخططٍ ميكانيكي لا حتمي. ومع ذلك، فإن آلية اللا حتمية تتخذ شكلًا أكثر دقة مما كانت عليه في الإصدارات السابقة الموصوفة في الفصل الثاني.

وهكذا، على الرغم من أن عددًا كبيرًا من مؤيدي التفسير المعتاد للنظرية الكمومية لديهم غرضٌ واضحٌ يتمثَّل في الخروج من حدود الفلسفة الآلية، فإن ما حدث بالفعل كان مجرد تحول من آلية حتمية إلى آلية لا حتمية.

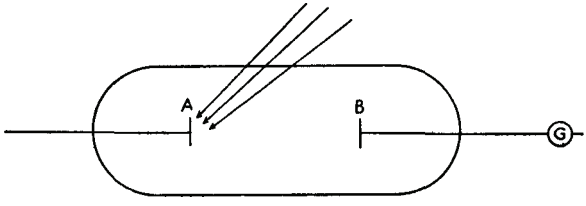
٢. أصل النظرية الكمومية(*)

ظهر الإثبات الأول للنظرية الكمومية من خلال أعمال بلانك وأينشتاين. دعونا نتذكر أن الفيزياء الكلاسيكية تميَّزت بافتراض أن الأجسام التي تتكوَّن منها المادة تتحرك باستمرارٍ، وتتبادل الطاقة بشكلٍ مستمرٍّ مع الموجات الكهرومغناطيسية مثل موجات الضوء التي ناقشناها في الفصل السابق. من ناحية أخرى، استنتج كلا من بلانك وأينشتاين، اللذين كانا يدرسان بعض التجارب التي تتبادل المادة خلالها الطاقة مع الضوء، إلى استنتاج مفاده أن الضوء ينقل الطاقة إلى المادة في شكل «كوانتا» أو على هيئة حزم، بمقدار $E = hv$ حيث v هو تردد الموجة الضوئية وA هو ثابت كوني، والذي سُمِّي فيما بعد بثابت بلانك.

سنفترض بعض التجارب بمزيدٍ من التفصيل. للقيام بذلك، من الضروري أولًا مناقشة النظرية الكلاسيكية قليلًا. وفقًا لأدلة التداخل والحيود التي ناقشناها في الفصل السابق، يتكوَّن الضوء من موجاتٍ. بمساعدة معادلات ماكسويل وتجارب مثل تجارب هيرتز، أمكن

(*) لمزيدٍ من التفصيل حول هذا الموضوع، يمكنكم مراجعة:
D.Bohm، Quantum Theory، Prentice Hall، New York، 1951، Part I.

الحصول على أدلة قوية لصالح الاستنتاج بأن هذه الموجات ذات طبيعة كهرومغناطيسية. وبالتالي كما يمكن أن تتولد موجة الماء عن طريق إلقاء جسمٍ على سطح الماء، فعندما تتحرك إلى أعلى وأسفل، كذلك يمكن إنتاج موجة كهرومغناطيسية عندما يتحرك جسيمٌ مشحون، مثل الإلكترون، عبر الفضاء بحركة ترددية أو متذبذبة، وبالتالي يحدث ذلك خللًا بالمجالات الكهربائية والمغناطيسية، في كلتا الحالتين تنتشر الموجة بشكلٍ مستمرٍّ. في حالة الإلكترونات، يمكن لهذه الحركة أن تخلق موجات ضوئية أو موجات راديو أو أنواعًا أخرى من الموجات الكهرومغناطيسية، اعتمادًا على التردد.



الشكل الثاني

تتحرك الأجسام العائمة في حركة متذبذبة بسبب موجات الماء وتتناسب طاقة الحركة مع شدة الموجة. وبالمثل، في حالة موجات الضوء، تعمل المجالات الكهرومغناطيسية على الجسيمات المشحونة مثل الإلكترونات وتنقل إليها حركة متذبذبة، لها طاقة تتناسب مع شدة الموجة الضوئية.

تمكنَّا من اختبار هذه النظرية بشكلٍ تجريبي من خلال دراسة

التأثير الكهروضوئي(*). في هذه الدراسة، يسطع الضوء على سطحٍ معدني A الموضوع في أنبوبٍ زجاجي مفرغ (انظر الشكل الثاني). أظهرت التجارب السابقة أن المعدن يحتوي على إلكترونات بأعدادٍ كبيرة. وبالتالي، سيكون من الممكن للإلكترونات في بعض الأحيان أن تتحرر من سطح المعدن المضيء. لذلك توضع صفيحة B في الأنبوب لتجميع أي إلكترونات يمكن تحريرها من السطح المضيء A ستسبِّب هذه الإلكترونات ظهور تيار كهربائي يمكن قياسه باستخدام مقياس الجلفانومتر(**) G.

النتيجة الأولى للتجربة هي أنه عند تسليط الضوء على الصفيحة A، سنلاحظ تيارًا فعليًّا في الجلفانومتر، مما يدل على تحرر الإلكترونات بسبب الضوء من سطح المعدن. الخطوة التالية هي قياس طاقة هذه الإلكترونات. يتم ذلك عن طريق إنشاء فرق الجهد الكهربائي بين A وB، في اتجاه حركة الإلكترونات قبل أن تصل إلى اللوحة B وهكذا، مع زيادة فرق الجهد، تتحرك المزيد والمزيد من الإلكترونات؛ وعند قيمة حرجة معينة يصبح التيار صفرًا. من الواضح أن هذه القيمة الحرجة تساوي الطاقة الحركية القصوى التي تتحرر بها الإلكترونات. يسمح التحليل الأكثر دقة للطريقة التي يتغير بها التيار بالنسبة إلى فرق الجهد

(*) **ملاحظة المترجم:** الظاهرة الكهروضوئية photoelectric effect: هي انبعاث الإلكترونات من الأجسام الصلبة والسائلة والغازية عند امتصاص الطاقة من الضوء، حيث تسمى الإلكترونات المنبعثة من هذه الظاهرة بالإلكترونات الضوئية Photoelectrons.

(**) جلفانومتر Galvanometer: الجلفانومتر أو المقياس الجلفاني نوعٌ من الأميتر يُستخدَم لقياس شدات التيار الصغيرة التي تصل إلى 1 نانو أمبير (وحدة قياس شدة التيار الكهربي).

الكهربي من استنتاج توزيع الطاقات الحركية للإلكترونات. يظهر تحليل البيانات لهذه التجربة النتيجة التالية:

عندما تسليط الضوء ذي تردد v على اللوحة A، تكتسب جميع الإلكترونات نفس القدر من الطاقة، E = hv، هذه الطاقة تعتمد فقط على تردد الضوء وليس على درجة شدته. وهكذا، حتى عندما يكون الضوء ضعيفًا جدًّا، تظل الإلكترونات تكتسب نفس الطاقة E = hv، ولكن في المقابل يتحرر عددٌ أقل من الإلكترونات.

تتناقض هذه النتيجة بشكلٍ واضحٍ مع تنبؤات النظرية الكلاسيكية التي تنص على أن الطاقة المكتسبة يجب أن تعتمد بشكلٍ مستمرٍّ على شدة الإشعاع، بحيث يؤدي الضوء الأضعف إلى طاقة أقل بالضرورة. في الواقع، قد تشير هذه التجربة من تلقاء نفسها إلى أن الضوء لا يتكوَّن من موجاتٍ، بل من أسرابٍ من الجسيمات الصغيرة المنفصلة ذات طاقة تساوي E = hv، بحيث عندما يضرب أحد الجسيمات إلكترونًا، فيمكنه نقل الطاقة متقطعة تساوي. E = hv الموجة الضوئية الضعيفة ستحتوي على القليل من هذه الجسيمات، والموجة الشديدة ستحتوي على الكثير. في الواقع هذا النموذج سبق أن اقترحه بلانك في وقتٍ سابقٍ على أساس دراسة توزيع الطاقة المنبعثة من جسم أسود ساخن. أظهر بلانك أن النظرية الكلاسيكية أدَّت إلى تنبؤ محددٍ تمامًا لتوزيع هذه الطاقة، وهو أمر خاطئ. لكن الافتراض القائل بأن الطاقة تأتي في حزم، أو كوانتا مع طاقة E = hv، فقد أوضحته هذه التجارب بشكلٍ جيدٍ للغاية. نفس الثابت h –الذي كان ضروريًّا في نظرية بلانك–

تنبَّأ أيضًا بشكلٍ صحيحٍ بطاقة الإلكترونات في التأثير الكهروضوئي، وهكذا، كان الدليل قويًّا جدًّا على أن الطاقة الضوئية تتكوَّن في شكل كوانتات (كمات) quanta.

من ناحية أخرى، فإن الدليل على أن الضوء يتكوَّن من جسيمات متقطعة (كوانتات) يتعارض مع تجارب التداخل، التي يبدو أنها تتطلَّب أن يكون شكل الضوء مستمرًّا في حركة موجية. سنفترض، على سبيل المثال، التجربة التي نوقشت في الفصل السابق التي يسقط فيها شعاعٌ من الضوء على شقين. إذا كان الشق الأول فقط مفتوحًا، نحصل على نمطٍ معين واحدٍ متنوع بشكلٍ موحدٍ للضوء سواء بشكلٍ أعلى أو أقل من الاستضاءة على الشاشة. ولكن إذا فتح شق آخر، B، فإننا نحصل على مجموعة من النطاقات البديلة للضوء والظلام. وهكذا، فإن فتح الشق الثاني، B، يمكن أن يخلق ظلامًا عند نقاط معينة، حيث كان الضوء موجودًا عندما كان هناك شقٌّ واحدٌ فقط. وقد فسر ذلك من خلال افتراض أن الحركات الناتجة عن الموجات القادمة من الشق الثاني يمكن أن تلغي في نقاط معينة تلك التي تحدث بسبب الموجات القادمة من خلال الشق الأول، مما ينتج عنه الظلام. ولكن إذا كان الضوء يتكوَّن من سربٍ من الجسيمات، فمن المتوقع أن يؤدي فتح الشق الثاني بشكلٍ عام إلى زيادة كمية الضوء التي تصل إلى كل نقطة على الشاشة، وهكذا يجب ألا تظهر المناطق أو النطاقات المظلمة أبدًا.

للوهلة الأولى، قد يُعتقد أن هذه الظاهرة يمكن تفسيرها بافتراض أن الضوء يتكوَّن من سرب من الكوانتات التي يتفاعل بعضها مع بعض

بحيث عند فتح شقين، ستعدل مسارات جسيمات الضوء بطريقة لن تمكِّنها من الوصول إلى الأجزاء المظلمة. لكن التجارب اللاحقة التي أجراها فافيلوف Vavilov، باستخدام ضوء ضعيف لدرجة أن كمة quantum واحدة فقط يمكنها أن تدخل الجهاز في كل مرة، أظهرت أن هذا التفسير لا يمكن الدفاع عنه. ففي هذه الحالة يحرر كل كمة منفردة إلكترونًا واحدًا. ولكن بعد مرور عدد كبير من الكوانتات عبر النظام، كلٌّ على حدة وبشكلٍ مستقل، سيظهر نمطٌ إحصائي في مواقع النقاط التي تحررت منها الإلكترونات؛ وهذا النمط سوف يقترب من النمط الكلاسيكي لأهداب الضوء والظلام. وبالتالي، فإن فتح الشق الثاني يمكن أن يمنع كمة الشق الثاني يمكن أن يمنع كمًا ركة منفصلة ومستقلة من الوصول إلى نقاط مظلمة معينة في النمط الذي يمكن أن يصل إليه إذا أغلق هذا الشق. ومن ثم فإن الكوانتم الفردي يُظهر بعض الخصائص الشبيهة بالموجة. من ناحية أخرى، يُظهر أيضًا بعض الخصائص الشبيهة بالجسيمات، ليس فقط لأنه يعطي للإلكترون مجالًا كموميًّا من الطاقة: $E = hv$، ولكن أيضًا لأنه في حزمة تحتوي على عددٍ صغيرٍ من الكونتات، توجد تقلبات إحصائية في وقت ومكان تحرر الإلكترون وهو الذي فقط يأتي من حزمة من الجسيمات موزعة في الفراغ بطريقة غير منتظمة أو«عشوائية» للغاية (مثل ما يتوقعه المرء إذا انبعثت الجسيمات من بعض المصادر التي تمر بحركة جزيئية فوضوية).

يبدو أننا نواجه مفارقة. في حين تقترح إحدى مجموعات التجارب

أن الضوء هو شكل من أشكال الحركة الموجية، تقترح مجموعة أخرى بنفس القدر من القوة أنه يتكون من جسيماتٍ أو كوانتا منفصلة، لكن كيفية حل هذه المفارقة سنناقشه لاحقًا، دعونا الآن نواصل عرضنا لتطور نظرية الكمومية.

الخطوة التالية كانت بسبب نيلز بور Bohr. كان هناك بالفعل مجموعة واسعة من الدراسات، مما أدى إلى استنتاج مفاده أن المادة مصنوعة من الذرات، وأن هذه الذرات تتكوَّن بدورها من جزيئاتٍ خفيفة مشحونة تُسمَّى الإلكترونات وهي تدور حول نواة ثقيلة موجبة الشحنة، بنفس الطريقة تقريبًا التي تدور بها الكواكب حول الشمس. عندما يدور الإلكترون حول النواة، يجب أن يصدر موجاتٍ كهرومغناطيسية لها نفس تردد الدوران. أمكن حساب هذا التردد، ووجد أنه في حدود 10^{15} دورة في الثانية، وهو نفس درجة تردد الضوء، وبالتالي، يمكن للمرء أن يشرح بشكلٍ نوعيٍّ كيف ينبعث الضوء من المادة.

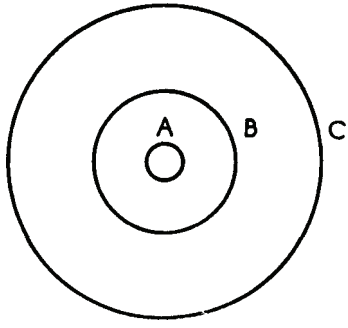
عندما أمكن دراسة عملية انبعاث الضوء بمزيدٍ من التفصيل، اكتشفت عددٌ من التناقضات الخطيرة بين النظرية التي كانت موجودة في وقتها والتجربة. نشأ أكثر هذه الأشياء إثارة للدهشة من مجرد حقيقة تبدو تافهة للوهلة الأولى، وهي أن الذرات موجودة بشكلٍ مستقرٍّ. وفقًا للنظرية الكلاسيكية، يجب أن يفقد الجسيم المشحون المتحرك مثل الإلكترون الطاقة عن طريق إشعاع الموجات الكهرومغناطيسية بمعدل يتضح من خلال الحسابات القائمة على معادلات ماكسويل ليكون متناسبًا مع مربع تسارع الإلكترون. دائمًا ما يتسارع الإلكترون

الذي يتحرك في مدارٍ منحنٍ باتجاه مركز الذرة. وبالتالي، يجب أن يفقد الطاقة باستمرارٍ. يمكن أن تأتي هذه الطاقة من مصدرٍ واحدٍ فقط، الطاقة الكامنة لجذب النواة إلى الإلكترون. ولكن من أجل تحرير هذه الطاقة الكامنة، يجب أن يسقط الإلكترون باتجاه النواة. وبالتالي، نتوقع أن يتحرك الإلكترون في مدارٍ حلزوني حتى يصل إلى نواة الذرة في وقتٍ يُظهر الحساب أنه جزءٌ صغيرٌ جدًّا من الثانية. ومع ذلك، ما يحدث في الواقع هو أن الإلكترون يتوقف عن الإشعاع عندما يصل إلى مدارٍ طبيعيٍّ ذي نصف قطر معين وخصائص محددة للذرة المعنية(*)، والتي تظل فيها إلى أجل غير مسمى بعد ذلك ما دامت أنها غير مضطربة. ومن ثم، يجب أن يكون هناك عاملٌ جديدٌ غير موجودٍ في النظرية الكلاسيكية، وهو ما يفسر سبب توقف الإلكترون عن الإشعاع عندما يصل إلى نصف القطر الطبيعي للذرة.

ظهر تناقضٌ آخر مهمٌّ بين النظرية الكلاسيكية والتجربة في دراسة مفصَّلة لترددات الإشعاع المنبعث من الذرات. وفقًا للنظرية الكلاسيكية، يجب أن يكون هناك نطاقٌ مستمرٌّ من الأحجام المحتملة لمدارات الإلكترونات. وبما أن كل حجم مختلف من المدار يؤدي بشكلٍ عام إلى تردد مختلف لدورة الإلكترون حول النواة، فيجب أن يكون هناك نطاقٌ متواصلٌ من ترددات الضوء المنبعث. في الواقع، بسبب الطبيعة الفوضوية للحركة على المستوى الذري، يجب أن تحتوي عينة معينة من المادة، مثل أنبوب من غاز الهيدروجين، على ذرات ذات نطاق

(*) أثبتت التجارب أن الحجم في حدود 10^{-8} سم تقريبًا.

توزيع عشوائي لأحجام المدارات، ستظهر بشكلٍ مستمرٍّ عمليًّا بسبب وجود العديد من الذرات (10^{20}) أو أكثر). وبالتالي، يجب أن ينبعث نطاق مستمر من ترددات الضوء، ومع ذلك، في الواقع نحصل فقط على بعض الترددات المنفصلة بشكل تجريبي.



الشكل الثالث

لقد حلَّل بور هذه المشكلة بعناية شديدة، وتمكَّن أخيرًا من حل التناقضات المذكورة أعلاه بالتجربة (بالإضافة إلى عددٍ من التناقضات الأخرى التي لم نذكرها هنا) عن طريق نوعٍ جديدٍ تمامًا من الفرضيات. افترض أن المدى المستمر للمدارات التي تسمح بها النظرية الكلاسيكية لم يكن ممكنًا في الواقع، وأن الإلكترون يمكن أن يتبع فقط مداراتٍ منفصلة معينة (أي كمومية)، مثل تلك الموضحة في الشكل الثالث. بافتراض أنه من بين هذه المدارات كان هناك أصغر مدارٍ ممكن (المشار إليه بواسطة A في الشكل) بأقل طاقة ممكنة، شرح هذا على الفور سبب استقرار الذرات. فبمجرد دخول الإلكترون إلى هذا المدار، لن يكون قادرًا على فقد المزيد من الطاقة، لأنه لن يكون هناك المزيد

من المدارات ذات الطاقة المنخفضة متاحة له للذهاب إليه. وهكذا، فإنه سيبقى في هذا المدار حتى يحدث اضطرابٌ من خارج الذرة.

إذا كان الإلكترون، لسببٍ أو لآخر، يتحرك في مدارٍ وليكن C، وطاقته Ec، أعلى من تلك الموجودة في المدار السفلي، ثم افترض نيلز بور أن الإلكترون يمكنه أن يقفز من ذلك المدار إلى مدارٍ أقل، وليكن B، ثم سيشع الفرق الكامل للطاقة Ec-EB، في كمة ضوئية واحدة، بتردد يمكن حسابه بواسطة العلاقة الرياضية التي اقترحها أينشتاين Ec-EB = hv ، هذا الافتراض له نتيجة واضحة، وهي أن الترددات المنفصلة للضوء فقط هي التي يمكن أن تنبعث، والتي تتوافق مع القفزات المنفصلة للإلكترون بين مستويات الطاقة المختلفة الممكنة.

بعد أن قام بور بحل التناقضات بين النظرية والتجربة بطريقة نوعية، شرع كذلك في استنباط قاعدة كمومية، مما سمح له بحساب مستويات الطاقة المسموح بها والترددات المقابلة للضوء المنبعث في البداية لذرات الهيدروجين، ولاحقًا لبضعة أنواعٍ بسيطة أخرى من الذرات. سمحت هذه القاعدة الكمية في هذه الحالات بالتنبؤ بالترددات المنبعثة بدقة عالية جدًّا. زادت هذه التنبؤات بشكلٍ كبيرٍ من معقولية النظرية؛ لأنها اشتملت على مثل هذا العدد الكبير من الترددات ووصلت إلى مستوى عالٍ من الدقة بحيث كان من الصعب تصديق أن هذا التوافق بين النظرية والتجربة محض مصادفة.

وهكذا قدَّم بور أدلة مقنعة للغاية لصالح فكرة أن طاقة الضوء لا تأتي فقط في حزمٍ أو كوانتا منفصلة، ولكن أيضًا بسبب الإلكترونات.

المزيد من الدراسات -التي لن نناقشها هنا- أثبتت انقطاعًا مشابهًا في جميع أشكال الطاقة. بعبارة أخرى، اكتشفت الطبيعة الـ«ذرية» الأساسية للطاقة بشكلٍ عامٍّ، ومع ذلك، لم يكن حجم الوحدات الأساسية هو نفسه تحت جميع الظروف الممكنة، على سبيل المثال، مع الضوء كان متناسبًا مع التردد، لكن في الذرات كان يعتمد على قواعد أكثر تعقيدًا.

ومع ذلك يجب التأكيد على أنه لم يتضح بعد وقتها سبب كون الطاقة ذات طبيعة ذرية. كانت الفكرة الذرية قد ظهرت كفرضية للتو؛ وعلى أساس هذه الفرضية شرحت العديد من خصائص الذرات والإشعاع، التي كانت تتعارض مع الاستنتاج المستمد من الفيزياء الكلاسيكية بأن الطاقة يمكن أن تتغير بطريقة مستمرة. علاوة على ذلك لم يقدم أي تفسير للعملية التي من خلالها ظهرت الانبعاثات الكمومية وامتصاصها، والتي خلالها يتعين على الإلكترون أن يقفز من مدارٍ منفصلٍ إلى مدارٍ آخر. في هذا المستوى من النظرية، كان من المقبول أن هذه العمليات تحدث بطريقة ما، بطريقة كان من المأمول أن تفهم بشكلٍ أفضل لاحقًا (كما كان من المأمول أيضًا فيما يتعلق بمشكلة وجود مدارات منفصلة).

اتخذ دي برولي De Broglie الخطوة الأولى نحو فهمٍ أفضل للطاقات المنفصلة للمدارات الذرية. كانت نقطة انطلاق دي برولي من خلال الاقتراح القائل بأنه مثلما تمتلك موجات الضوء طابعًا شبيهًا بالجسيمات، فإن الجسيمات الذرية قد يكون لها أيضًا طابعٌ موجي. في أثناء إثباته ذلك، كان يسترشد بمظهر ارتباط العديد من الموجات

المختلفة بفهمنا الكلاسيكي لمجموعات من الترددات المنفصلة. على سبيل المثال، يجب أن يهتز وترٌ مثبتٌ من طرفيه في مضاعفات متكاملة أو «التوافقيات harmonics» لتردد «أساسي» معين، يمكن تحديده عن طريق طول الوتر وكثافته وتوتره. وبالمثل، يمكن أن يكون للموجات الصوتية في صندوقٍ ترددات منفصلة فقط، لكنها في علاقة أكثر تعقيدًا من مضاعفات (صحيحة وغير عشرية). بشكلٍ عامٍّ، عندما تكون الموجة محصورة في التأرجح داخل مساحة محددة، يمكن إثبات أن لها ترددات تذبذب محتملة متقطعة.

ثم افترض دي برولي أن هناك نوعًا جديدًا من الموجات المرتبطة بالإلكترون. فيما يتعلق بالطبيعة الدقيقة لهذه الموجة، فإن معظم خصائصها لن تكون مهمة في هذا المستوى من النظرية. المهم هنا هو أنه إذا كانت محبوسة داخل ذرة، فسيكون لها ترددات متقطعة من التذبذب. إذا افترضنا الآن أن علاقة أينشتاين، $E = hv$، التي تربط طاقة الموجة بترددها تنطبق على هذه الموجات تمامًا كما تنطبق على موجات الضوء، فإن الترددات المتقطعة ستسبب طاقات متقطعة.

كانت الخطوة التالية هي وضع هذه النظرية النوعية في شكلٍ كمي quantitative أكثر. قام دي برولي بذلك من خلال إظهاره، على أساس الحجج التي أثبتتها النظرية النسبية، أن علاقة أينشتاين، $E = hv$، أدَّت إلى علاقة أخرى $p=h/\lambda$، تقوم هذه المعادلة بربط الطول الموجي A، لهذه الموجات مع القوة الدافعة p للإلكترون. عند حساب طول الموجة، A، لإلكترون من القوة الدافعة النموذجية التي واجهها الإلكترون في

ظل الظروف التجريبية المعتادة، وجد أن لها نفس درجة الأبعاد الذرية. الآن، من خلال تجربة الضوء وأنواع أخرى من الموجات، نعلم بالفعل أن الخصائص الشبيهة بالموجة تظهر بوضوحٍ فقط عندما تقابل الموجة عوائق ليست أكبر بكثيرٍ من قيمة طول الموجة؛ وإلا فإنه يسير في خط مستقيم عمليًّا كما لو كان جسيمًا. وهكذا على المستوى الكبير، لن تظهر موجات دي برولي نفسها بوضوحٍ، وسوف يتصرف الإلكترون كما لو كان مجرد جسيمٍ كلاسيكي. على المستوى الذري، فإن الموجة المرتبطة بالإلكترون ستنتج تأثيراتٍ جديدة مهمة. من بينها ظهور الترددات المنفصلة للاهتزاز الناتجة عن حبس الموجات داخل الذرة. باستخدام العلاقة التي اكتشفها $p = h / \lambda$ وعلاقة أينشتاين $E = hv$، تمكَّن دي برولي من حساب كل من الترددات والطاقات المقابلة للأنماط الممكنة المتقطعة للاهتزاز لهذه الموجات؛ ومن هذه الحسابات حصل بالضبط على نفس الطاقات التي أثبتتها نظرية بور. وهكذا، أصبح تفسير مستويات الطاقة التي اقترحها بور ممكنًا من حيث الموجة الافتراضية، بشرط أن يفترض المرء أيضًا أن طاقة هذه الموجة مرتبطة بترددها من خلال علاقة أينشتاين $E = hv$.

كشفت التجارب اللاحقة التي أجراها دافيسون وجيرمر Davisson and Germer على تشتت الإلكترونات من البلورات المعدنية عن نمطٍ إحصائيٍّ للتشتت القوي والضعيف مشابه جدًّا للأهداب التي أنتجتها تجربة تمرير حزمة من الكمات الضوئية عبر مجموعة من الشقوق. ثم اقترحا فكرة أنه ربما هنا تظهر الموجات

التي افترضها دي برولي، وأن المصفوفة المنتظمة من الذرات في البلورة كانت تلعب الدور الذي تلعبه مجموعة الشقوق في تجارب التداخل البصري. عند حساب طول الموجة المفترضة على أساس النمط المرصود للتشتت القوي والضعيف، وجد أنه يتفق مع ذلك الذي صلت عليه نظرية دي برولي. وهكذا، فإن التخمين القائل بأن للإلكترونات بعض الخصائص الشبيهة بالموجة تلقَّى تأكيدًا تجريبيًّا رائعًا. في وقتٍ لاحقٍ، أظهرت تجارب مماثلة أن الجسيمات الأخرى، مثل البروتونات والجزيئات والنيوترونات وغيرها، لها خصائص شبيهة بالموجات، وهي تحقق أيضًا العلاقة الرياضية التي اقترحها دي برولي، وبالتالي، لدينا الآن وجهة نظر مفادها أن كل مادة لها خصائص تشبه الموجة.

في هذه الأثناء، طُورت نظرية الموجة لدى برولي إلى شكلٍ أكثر دقة عن طريق شرودنجر Schrödinger، الذي حصل على معادلة تفاضلية جزئية لهذه الموجات، والتي تحدد حركاتها المستقبلية بنفس الطريقة التي تحدد بها معادلات ماكسويل الحركات المستقبلية للموجات في المجال الكهرومغناطيسي. سمحت معادلات شرودنجر بالحساب الدقيق لمستويات الطاقة في مجموعة واسعة جدًّا من الأنظمة الذرية، لم يكن من الممكن معالجتها سواء من خلال نظرية بور أو من خلال نظرية دي برولي؛ وأدَّت هذه الحسابات إلى اتفاقٍ مثيرٍ للإعجاب مع التجربة في جميع الحالات. علاوة على ذلك، سمحت معادلة شرودنجر بمعالجة مستمرة لكيفية تحرك الموجة في الانتقال من مستوى طاقة

مسموح به إلى آخر، وبالتالي في ذلك الوقت، أظهرت أملًا في إمكانية حل لغز كيفية حدوث الانتقال بين مستويات الطاقة المسموحة بها.

في هذه المرحلة، اكتشفت قيود جديدة ومتناقضة إلى حدٍّ ما للنظرية الموجية. اقترح شرودنجر في الأصل أنه يجب التفكير في الإلكترون على أنه توزيعٌ مستمرٌّ للشحنة. كثافة هذه الشحنة التي افترضها مرتبطة بسعة الموجة ψ، والتي يمكن حسابها بالمعادلة التالية $\rho = |\psi|^2$ وهكذا، فإن موجات دي برولي وشرودنجر يجب تفسيرها على أنها موجاتٌ من الشحنة الكهربائية. من أجل هذا الاقتراح، إذا افترض أن الشحنة الكهربائية مرتبطة بسعة الموجة بهذه الطريقة، فإن معادلة شرودنجر تؤدي تلقائيًّا إلى استنتاج مفاده أن الكمية الإجمالية للشحنة ستظل ثابتة، بغض النظر عن كيفية تدفقها من مكانٍ إلى آخر، (أي حفظ الشحنة)، مما يدل على سمة متسقة للتفسير.

ومع ذلك، لسوء الحظ، كان هذا التفسير قابلًا للبقاء فقط ما دامت موجة شرودنجر محصورة داخل الذرة. أما في الفراغ الحر، أظهرت عملية حسابية بسيطة أنه وفقًا لمعادلة شرودنجر، يجب أن تنتشر الموجة بسرعة في كل الفراغ من دون أي حدودٍ. من ناحية أخرى، يتواجد الإلكترون دائمًا في مساحة صغيرة نسبيًّا من الفراغ، بحيث لا يمكن أن تكون كثافة شحنته بشكل عام مساوية للقيمة، $\rho = |\psi|^2$، التي افترضها شرودنجر.

للتعامل مع هذه المشكلة، اقترح بورن Born أن شدة الموجة لا تمثل كثافة الشحنة الفعلية للإلكترون، بل كثافة الاحتمالات التي

يجب أن يوجد بها الإلكترون، الذي هو جسيمٌ موضعي صغير كما كان متصورًا، في مكانٍ معينٍ. وبالتالي، فإن حقيقة أن سعة الموجة للإلكترون الحر تنتشر في كل الفراغ لم تعد تتعارض مع ظهور الإلكترون نفسه في مكان معين. يمكن بعد ذلك تفسير حفظ الشحنة $|\psi|^2$ من حيث حقيقة أن الاحتمالات الكلية لإمكانية العثور على الجسيم في مكانٍ ما في الفراغ يجب أن تظل مساوية للواحد الصحيح مع مرور الزمن.

لم يكن من الممكن تجريبيًّا التحقق من فرضية بورن مباشرة من خلال مراقبة تموضع الجسيمات في مجموع إحصائي، ولكن كان من الممكن التحقق منها بشكلٍ غير مباشر. أي في أثناء الانتقال بين مستويات الطاقة المسموح بها، يجب تفسير تغيير موجة شرودنجر من وضع اهتزازٍ إلى آخر من حيث الاحتمال المتغير باستمرار أن الإلكترون لديه طاقة أو أخرى(*). من الممكن حساب احتمالات الانتقال بين مستويات الطاقة في ظل ظروف مختلفة؛ ووجدت هذه الاحتمالات متوافقة مع التجربة. لقد تراكمت حتى الآن الكثير من الأدلة غير المباشرة لصالح فرضية بورن لدرجة أن الفيزيائيين يقبلون عمومًا تفسير بورن للدالة الموجية لشرودنجر، ψ، على أنه صحيحٌ.

دعونا الآن نلخص النتائج التي حصلنا عليها حتى ذلك الوقت:

(1) يبدو أن الطاقة بشكلٍ عام لها طبيعة ذرية معينة، سواء كان ذلك في شكل كمات ضوئية أو في شكل مستويات طاقة منفصلة مسموح بها للمادة.

(*) لذا يجب توضيح أن مشكلة وصف ما يحدث بالفعل في عملية الانتقال الفردية لم تحل بعد. بعد تفسير Born، عالجت موجة شرودنجر السلوك المتوسط فقط لمجموعة إحصائية للحالات.

(2) يبدو أن كل مظاهر المادة والطاقة لها وجهان محتملان، جانب الموجة والجسيم. القيمة العددية، E للطاقة في المظاهر الشبيهة بالجسيمات مرتبطة دائمًا بالتردد، v في المظاهر الشبيهة بالموجة يمكن التعبير عنها بعلاقة أينشتاين، $E = hv$. أما القيمة العددية p للقوة الدافعة في المظهر الشبيه بالجسيم مرتبطة أيضًا بطول الموجة من خلال علاقة دي برولي $p = h / \lambda$.

(3) يبدو أن القوانين الأساسية للفيزياء الذرية لها شكلٌ إحصائي، وبالتالي، فإن دالة شرودنجر الموجية تسمح بشكلٍ عام فقط بالتنبؤ باحتمالية الحصول على نتيجة معينة في أثناء مراقبة النظام الذري. وبالمثل، أظهرت التجارب التي أُجريت على حزم الكمات الضوئية (بالإضافة إلى النظرية التفصيلية اللاحقة للديناميكا الكهربية الكمية theory of quantum electrodynamics) أن المرء حصل على تقلبات إحصائية عشوائية في الأوقات والأماكن التي تحررت فيها الإلكترونات- الفوتونات، وهذا بشكلٍ عامٍّ يظهر أن مثل هذه العملية يمكن التنبؤ بها فقط بشكلٍ إحصائي. ومع ذلك، يمكن التنبؤ على وجه اليقين ببعض خصائص الأنظمة الفردية، على سبيل المثال، مستويات الطاقة.

٣. مشكلة إيجاد تفسير سببي للنظرية الكمومية

في هذه المرحلة، واجه الفيزيائيون مشكلة صعبة للغاية. فقد عثروا على عددٍ من الخصائص العامة المحيرة إلى حدٍّ ما للمادة، بما في ذلك مزيج غريب من الخصائص الموجية والجسيمية التي بدت

صعبة التفسير، بالإضافة إلى مجموعة غريبة جدًّا من الجوانب المحددة والإحصائية لنوعٍ لم يسبق له مثيل ولم يشاهدوه من قبل. ومع ذلك، على الرغم من أن الظواهر الجديدة كانت شديدة الغرابة، فلم يكن صحيحًا بأي حالٍ من الأحوال أنهم لم يقترحوا أي تلميحات على الإطلاق حول كيفية تقديم تفسير سببي.

من أجل المساعدة على توضيح الموقف الذي تبنَّاه في النهاية معظم علماء الفيزياء النظرية الحديثين فيما يتعلق بتفسير النظرية الكمومية، وكذلك لتوضيح انتقادات هذا الموقف التي سنقدمها لاحقًا في هذا الفصل، سنقدم هنا بشكلٍ موجزٍ رسمًا تخطيطيًّا يشير بطريقة عامة إلى خط البحث المحتمل الذي يمكن للمرء من خلاله السعي إلى الحصول على تفسيرٍ سببي للنظرية الكمومية. ومع ذلك، ستتم مناقشة مقترحات أكثر تفصيلًا لتحقيق هذه الغاية في الفصل التالي فقط. سيكون الغرض الرئيسي من المناقشة هنا هو مجرد المساعدة على إبراز الآثار الكاملة للتفسير المعتاد للنظرية الكمومية بشكلٍ أوضح من خلال تقديم وجهة نظر معارضة، كنوعٍ من النقد الذي يعمل على إظهار ما هو معتاد وجهة النظر المضادة.

لإظهار الخطوط التي كان من الممكن من خلالها الحصول على مثل هذا التفسير السببي لنظرية الكمومية، سنبدأ بالنقطة (3)، وهي ظهور مجموعة غريبة من القوانين الإحصائية والفردية. حتى الآن في الفيزياء (كما هو الحال في المجالات الأخرى) عندما واجه المرء تقلبًا إحصائيًّا غير منتظمٍ في سلوك العناصر الفردية في المجموعة الإحصائية،

افترض المرء أن هذه التقلبات غير المنتظمة لها أيضًا أسباب، كانت غير معروفة لنا حتى الآن، ولكن قد تكتشف مستقبلًا في الوقت المناسب. وهكذا، في حالة الحركة البراونية، افترض أن الحركات غير المنتظمة المرئية للجسيمات الصغيرة نشأت في مستوى أعمق ولكن غير مرئي من الحركة الذرية. ومن ثم، فإن جميع العوامل التي تحدد التغيرات غير المنتظمة في الحركة البراونية لم يُفترض أنها موجودة على مستوى الحركة البراونية نفسها، ولكن كان من المفترض أن معظمها موجودٌ على مستوى الحركات الذرية. لذلك، إذا درسنا مستوى الحركة البراونية نفسها، فيمكننا أن نتوقع معالجة الانتظام الإحصائي فقط بشكلٍ عام، ولكن إذا أردنا دراسة التفاصيل الدقيقة للحركة فلن نتمكَّن من إنهائها على هذا المستوى.

وبالمثل، قد يفترض المرء أنه في حالتها الحالية من التطور، فإن النظرية الكمومية ليست كاملة أيضًا بما يكفي لمعالجة جميع التفاصيل الدقيقة لحركات الإلكترون الفردية، والكمات الضوئية وغيرها.. لمعالجة مثل هذه التفاصيل، يجب علينا الذهاب إلى مستوى أعمق غير معروفٍ إلى حدٍّ ما، والذي له نفس العلاقة بالمستوى الذري مثل ذلك المستوى الذري الذي افترضنا بالنسبة إلى مستوى الحركة البراونية. بالطبع، بعض الخصائص على المستوى الذري محددة، لكن هذا لا يخلق أي صعوباتٍ من حيث المبدأ، لأنه من الممكن تمامًا أن العوامل التي تحدد هذه الخصائص يمكن تحديدها في المستوى الذري وحده، بينما لا يمكن تحديد الخصائص الأخرى. وبالتالي، يمكننا أن نفهم

سبب تعامل النظرية الذرية بشكلٍ عامٍّ مع الاحتمالات، على الرغم من أنها يمكنها التنبؤ ببعض خصائص الأنظمة الفردية.

بمجرد أن نعترف بأن إطار المفهوم الكامل للنظرية الكمومية الحالية قد لا يكون مناسبًا لمعالجة جميع الخصائص التفصيلية للأنظمة الفردية، ستُفتَح عددٌ غير محدودٍ من الاحتمالات الجديدة، نظرًا إلى أن الخصائص غير المعروفة حتى الآن للمستوى الأعمق هي: تمامًا تحت تصرفنا. على سبيل المثال، يمكننا بالفعل أن نرى بطريقة نوعية كيف يمكن تفسير علاقة أينشتاين $E = hv$، التي تربط تردد الذبذبات بالطاقة. وهكذا، حتى في الفيزياء الكلاسيكية، عُرفت العديد من الأمثلة على الحركات المتذبذة التي تفي بها المعادلات غير الخطية(*)، حيث لم يكن هناك سوى ترددات ذبذبات ثابتة ومنقطعة بشكلٍ معين، وحيث كانت الطاقة مرتبطة بالتردد بطريقة محددة (مثل الحركات) للإلكترون في السيكلوترون المتزامن synchro-cyclotron(†). صحيح أنه لم يكن لأي من هذه الأنظمة الكلاسيكية علاقة خاصة مثل المعادلة $E = hv$. لكن الحقيقة الأساسية هي أن لديها علاقة محددة بين الطاقة والتردد، والتي تعتمد على الشكل المحدد لمعادلات التذبذب، والتي تعتمد بدورها على النظام المادي المحدد قيد الدراسة. وبالتالي، فإن

(*) المعادلة الخطية linear equation هي معادلة لها خاصية أن مجموع اثنين من حلولها هو أيضًا حل لنفس المعادلة. لا تحتوي المعادلة غير الخطية non-linear equation على هذه الخاصية، لهذا السبب، من الصعب التعامل مع هذا النوع من الرياضيات، حيث لا توجد مثل هذه العلاقات البسيطة بشكلٍ عامٍّ بين حلولها.

(†) لمزيدٍ من الأمثلة راجع:

D.Bohm and L.Foldy, Phys. Rev., 72, 649 (1947).

ما هو مقترح هو أنه: يتعين علينا التعامل على المستوى دون الذري مع بعض أنواع الأنظمة التي لديها مجموعة غير خطية من المعادلات التي تحكم تذبذباتها، ولكن فقط بنوعٍ من اللا خطية يؤدي إلى ترددات منفصلة من التذبذب الذي يرضي علاقة أينشتاين $E = hv$ (وكذلك علاقة دي برولي، $p = h / \lambda$). بمجرد تحقيق ذلك، سنكون قادرين تلقائيًّا على تفسير ظهور مستويات الطاقة المنفصلة في المادة وظهور الطاقة الكهرومغناطيسية في الكمات. علاوة على ذلك، يمكن شرح التحولات بين مستويات الطاقة المنفصلة، لأنه من المعروف جيدًا في الأنظمة الكلاسيكية التي تفي بالمعادلات غير الخطية أن بين الترددات المستقرة للذبذبات توجد مناطق غير مستقرة، حيث يميل النظام بسرعة إلى الانتقال من وضعٍ ثابتٍ محددٍ إلى آخر. إذا افترضنا أن هذه التحولات سريعة جدًّا مقارنة بالعمليات التي تحدث على المستوى الذري، فبقدر ما يتعلق الأمر بالظواهر الذرية البحتة، يمكن اعتبارها متقطعة بشكلٍ فعال. ومع ذلك، على مستوى أعمق، فهي مستمرة. وهكذا، فإننا نفسر «الطاقة على المستوى الذري» عند مستوى معين، وأيضًا يمكننا تصور تقسيم «ذرات الطاقة غير القابلة للتجزئة» على مستوى أساسي أعمق؛ على سبيل المثال، ذرات المادة، التي كنَّا نعتقد أنها في الأصل غير قابلة للتجزئة عند مستوى معين، وُجدت لاحقًا لتكون قابلة للتحليل إلى الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات على مستوى أساسي أعمق.

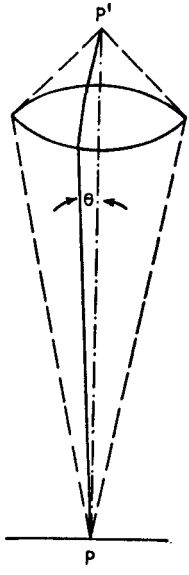
٤. مبدأ اللا حتمية

من ناحية الشروط النوعية العامة، نرى من المناقشة السابقة أن احتمالات إيجاد تفسير سببي للنظرية الكمومية لم يكن بأي حال أمرًا مستحيلًا. ومع ذلك، كان معظم الفيزيائيين في ذلك الوقت مترددين جدًّا في السير في مثل هذا المسار، لأسبابٍ مختلفة، منها ما هو أسباب عملية ومنها ما هو أسباب فلسفية. كانت الأسباب العملية هي أنه للقيام بذلك، سيتعيَّن على المرء تطوير نظرية معقدة على أساس القليل من الأدلة التجريبية، مما يتطلب حل بعض المشكلات الرياضية التي لم تُحل بعد في أعلى درجات الصعوبة (أي خصائص حلول المعادلات غير الخطية). أما الأسباب الفلسفية فقد استندت إلى مبدأ اللا حتمية الشهير لهايزنبرج، الذي سنشرع الآن في مناقشته.

للوصول إلى مبدأ اللا حتمية، قد نسأل أنفسنا السؤال التالي: «لنفترض أن هناك بعض الحركة الكامنة غير المنتظمة ولكنها محددة بدقة بالنسبة إلى الإلكترون، والتي تنشأ على مستوى أعمق، $6 - c.c$ والذي يمكن أن يفسر الاحتمالات التي تحددها دالة شرودنجر الموجية ψ. هل سيكون من الممكن من خلال مراقبة الحركة فعليًّا التأكد من طابعها؟». ذلك أن أول تحديدٍ مباشرٍ معتدلٍ لطبيعة الحركة العشوائية على المستوى الذري جاء من ملاحظات الحركات البراونية غير المنتظمة ذات الصلة للأجسام التي كانت صغيرة، ولكنها مع ذلك أكبر بكثيرٍ من الذرة. وبالمثل، فإن طبيعة الحركة العشوائية على المستوى دون الذري ربما يُشار إليها ببعضٍ من الشذوذ المتبقي في حركة الإلكترون داخل الذرة.

للإجابة عن هذا السؤال، يمكننا تحليل عملية مراقبة الجسيم الذري، مثل الإلكترون وهو يدور حول النواة. دعونا نفكر أولًا في عملية مراقبته بالمجهر. الآن، نظرًا إلى أن الضوء المستخدم في المجهر يأتي دائمًا في شكل حزمٍ أو كوانتات متقطعة، لا يمكننا تجنُّب إزعاج الإلكترون عندما ننظر إليه. لأننا يجب أن نستخدم كمًّا واحدًا على الأقل من الضوء لرؤيته. وعندما يصطدم هذا الكم بالإلكترون، سيكون هناك حدٌّ أدنى من الاضطراب في حركة الأخير يأتي من الضوء الذي نستخدمه في عملية المراقبة. طاقة الكم هي $E = hv$. يشير هذا إلى أنه لتقليل الاضطراب، فإننا نستخدم الموجات الكهرومغناطيسية ذات التردد المنخفض، وبالتالي نحصل على كمية أصغر. لكن هنا نواجه صعوبة أخرى. لا يعمل الضوء كجسيمٍ فحسب، بل يعمل أيضًا كموجة. يمكن إثبات -باستخدام النظرية الموجية للضوء- أن الموجة الضوئية التي تنتشر من نقطة محددة، P (انظر الشكل الرابع) إلى عدسة لا تشكل صورة محددة لنقطة P1، ولكنها تشكل بدلًا من ذلك منطقة بصرية غير محددة بشكلٍ جيدٍ والتي تتناسب في الحجم مع طول الموجة. لكن طول الموجة يتناسب عكسيًّا مع التردد، وبالتالي، إذا كان التردد منخفضًا، فسيكون طول الموجة كبيرًا؛ وستكون الصورة في المجهر سيئة للغاية لدرجة أننا لن نعرف بالضبط مكان الإلكترون. لذلك نواجه صعوبتين. بسبب الطابع الجسيمي للضوء لا يمكننا تجنب إزعاج القوة الدافعة للجسيمات، مما يخلق اضطرابًا لا يمكن التنبؤ

به ولا يمكن السيطرة عليه(*) والذي نشير إليه بواسطة Δp. بسبب الطابع الموجي للضوء، لا يمكننا تجنب عدم التأكد uncertainty من تموضع الإلكترون، الناجم عن نقص في وضوح الصورة. ومع ذلك، فإن الحسابات الرياضية البسيطة التي لن نقدم تفاصيلها هنا تنتج العلاقة الرياضية اللا حتمية لـهايزنبرج، $\Delta p \Delta \chi \simeq h$ ، حيث h هو ثابت بلانك.



الشكل الرابع

(*) هذا الاضطراب لا يمكن التنبؤ به ولا يمكن السيطرة عليه لأنه في النظرية الكمومية الحالية لا توجد طريقة لمعرفة أو التحكم مسبقًا فيما ستكون عليه الزاوية الدقيقة θ، التي ستتشتت بها كمات الضوء في العدسة. هذا يؤدي إلى عدم اليقين في انتقال القوة الدافعة إلى الإلكترون. إذا عرفنا الزاوية θ، فيمكننا إيجاد حل لنقل القوة الدافعة ($\Delta p \simeq h \sin \theta / \lambda$)، وتصحيحها، بحيث لا يكون هناك عدم يقين في القوة الدافعة للإلكترون.

تظهر هذه النتيجة أن هناك علاقة متبادلة بين الدقة المحتملة لتعريف القوة الدافعة ودقة التموضع. كلما حدد التموضع بدقة أكبر، قلَّت دقة تحديد القوة الدافعة، والعكس صحيح. وذلك لأن التعريف الدقيق للتموضع يتطلَّب استخدام الضوء ذي الأطوال الموجية القصيرة، بحيث تنقل إلى الإلكترون القوة الدافعة بقيمٍ كبيرة لكن لا يمكن التنبؤ بها ولا يمكن التحكم فيها؛ في حين أن التحديد الدقيق للقوة الدافعة يتطلب كمات خفيفة ذات قوة دافعة منخفض جدًّا (وبالتالي طول موجة طويل)، مما يؤدي إلى زاوية انحراف كبيرة في العدسة وتعريف ضعيف للتموضع.

للوهلة الأولى، قد يحاول المرء تقليل اللا حتمية في القياس عن طريق مراقبة الإلكترون بوسائل أخرى غير التفاعل مع الكمات الخفيفة. على سبيل المثال، طُوِّرت مجاهر إلكترونية قادرة على التركيز على حزمٍ من الإلكترونات. وبالتالي، يمكننا استبدال شعاع من الإلكترونات بشعاعٍ من الكمات الضوئية. تظهر دراسة أكثر شمولًا للمشكلة، أن الوضع لن يتغير بشكلٍ أساسي من خلال هذا الإجراء. لأنه، كما رأينا، تأتي كل الطاقة في شكل كوانتات أو كمات، وكل مادة تُظهر خاصية التصرف كموجة أو كجسيم. تشير النظرية الكمومية إلى أن علاقات اللا حتمية ستنطبق أيضًا على الملاحظات المأخوذة بالمجهر الإلكتروني، وفي الواقع على الملاحظات المأخوذة مع أي نوع آخر من الأجهزة التي قد نهتم بتجربتها.

حقيقة أن النظرية الكمومية تعني أن كل عملية قياس ستخضع لنفس

القيود النهائية على دقتها دفعت هايزنبرج إلى النظر في العلاقات اللا حتمية، مثل المعادلة $\Delta p \Delta \chi \cong h$، باعتبارها مظهرًا من مظاهر مبدأ عام أساسي جدًّا وواسع الانتشار، يعمل في جميع أنحاء القانون الطبيعي. وبالتالي، بدلًا من اعتبار العلاقات اللا حتمية في المقام الأول كاستنتاج من النظرية الكمومية في شكلها الحالي، فإنه يفترض هذه العلاقات مباشرة كقانونٍ أساسي للطبيعة ويفترض بدلًا من ذلك أن جميع القوانين الأخرى يجب أن تكون متسقة مع هذه العلاقات(*). إنه يفترض بشكلٍ فعَّال أن العلاقة اللا حتمية يجب أن تكون لها صلاحية مطلقة ونهائية، ستستمر إلى أجل غير مُسمَّى، حتى لو أصبح -كما يحدث في الغالب- من الواجب تصحيح الشكل الحالي للنظرية الكمومية في النهاية أو تمديدها أو حتى تغييرها من حيث مبادئها الأساسية وبطريقة ثورية. في الواقع، فإن وجهة النظر العامة لهايزنبرج (ومعظم مؤيدي التفسير المعتاد لنظرية الكم) هي أن التطورات المستقبلية في الفيزياء ستكون، إن وجدت، في اتجاه جعل سلوك الأشياء محدد بشكلٍ أقل دقة مما هو ممكن من حيث النظرية الكمومية الحالية(**)، بحيث يضع الشكل الحالي للنظرية الكمومية حدًّا لدقة جميع القياسات الممكنة والتي لا يمكن بالتأكيد تجاوزها على أي حال.

(*) W.Heisenberg: The Physical Principles of the Quantum Theory, Dover Publications (1930), (See. P. 3).

(**) على سبيل المثال، اقترح هايزنبرج أنه بالنسبة إلى المسافات الأقصر من «الطول الأساسي» المحدد بقيمة 10^{-13} سم، حتى خصائص التموضع والزمن لا يمكن تعريفهما.

٥. إنكار السببية فيما يتعلق بالمجال الذري نتيجة لمبدأ اللا حتمية

أثار مبدأ اللا حتمية عددًا من الأسئلة الفلسفية الجديدة المهمة التي لا تظهر في الميكانيكا الكلاسيكية. كما سنرى ساعدت هذه الأسئلة على دفع علماء الفيزياء إلى التخلي عن مفهوم السببية فيما يتعلق بالمجال الذري، وبالتالي تبني وجهة نظر فلسفية مختلفة تمامًا عن تلك التي سادت حتى ظهور النظرية الكمومية الحديثة.

لتقدير الدور الذي لعبه مبدأ اللا حتمية في المساعدة على تحقيق إنكار السببية، دعونا نتذكر أنه في الميكانيكا الكلاسيكية، فإن القيم ومعدلات التغيير الأولية لجميع المتغيرات الميكانيكية تحدد حالة نظام معين وتحدد الحركات المستقبلية للنظام المعني. وفقًا لمبدأ اللا حتمية يوجد قيدٌ أساسي، ناشئ عن قوانين الطبيعة ذاتها على مستوى الميكانيك الكمومي، وهو ما يجعلنا غير قادرين على الحصول على البيانات اللازمة لتحديد القيم الأولية للمعاملات الرياضية المختلفة التي تحدد سلوك مثل هذا النظام الميكانيكي.

بالطبع، قد يفترض المرء أن اللا حتمية الخاصة بالتموضع والقوة الدافعة للإلكترون هو نتيجة لحقيقة أن هذه المتغيرات التي يقترحها استقراء الفيزياء الكلاسيكية للمجال الذري فقط، ليست وصفًا كاملًا للإلكترون. بدلًا من ذلك، قد يفترض المرء أن الوصف الأكثر اكتمالًا تقريبًا سيتطلب أنواعًا جديدة من المتغيرات النوعية (على سبيل المثال تلك التي نوقشت في القسم الثالث فيما يتعلق بمستوى الميكانيك الكمومي الفرعي المحتمل)، متغيرات لا تظهر حتى في

النظرية الكمومية الحالية. ومن ثم، إذا حددنا التموضع ومتغيرات القوة الدافعة فقط، والتي توفر تقريبًا مناسبًا لمواصفاتٍ محددة على مستوى واسع النطاق، فسوف نكتشف أنه لا يمكن التنبؤ بسلوك الإلكترون، لأن تحديد هذه العوامل المهمة قد استبعدت على المستوى الذري من النظرية.

ومع ذلك، فقد تبنَّى أنصار التفسير المعتاد للنظرية الكمومية فرضية هايزنبرج المذكورة في نهاية القسم الرابع. ولا يفترضون أن مبدأ اللا حتمية هو مجرد نتيجة للنظرية الكمومية في مرحلتها الحالية من التطور، والتي يمكن أن يتبين أن لها نطاقًا محدودًا فقط من الصلاحية إذا اكتُشف لاحقًا، كما يبدو مرجحًا، أن الشكل الحالي للنظرية يجب تعديله أو تصحيحه أو توسيعه. بدلًا من ذلك، يفترضون أن هذا المبدأ يمثِّل قيدًا مطلقًا ونهائيًّا على قدرتنا على تحديد حالة الأشياء عن طريق القياس بأي نوع ممكنًا الآن أو سيكون ممكنًا في أي وقت.

إذا أخذ المرء الافتراض الموصوف أعلاه في الاعتبار، فحينئذٍ يتوصَّل إلى نتيجة لها عواقب بعيدة المدى. حتى في حالة وجود مستوى ميكانيكي شبه كمومي يحتوي على متغيرات «مخفية» من النوع الموصوف سابقًا، فلن تلعب هذه المتغيرات أبدًا أيَّ دورٍ حقيقي في التنبؤ بأي نوعٍ ممكنٍ من النتائج التجريبية. في الواقع، إذا كانت هذه الفرضية صحيحة، فسيكون السلوك المستقبلي للنظام، على الأقل فيما يتعلق بنا، قابلًا للتنبؤ بهذه الدرجة من الدقة التي تتوافق مع الحدود التي وضعها مبدأ اللا حتمية وليس بدرجة أعلى. وبالتالي، يُستنتج أن

الشكل العام الحالي للنظرية الكمومية قادرٌ على التعامل مع كل نوعٍ من القياس الذي يمكننا القيام به. أي نظرية (مثل تلك التي تتضمن متغيرات «خفية») تدعي أنها تتعامل مع أكثر من هذا ستكون عندئذٍ مجرد تمارين ميتافيزيقية للخيال، لأنه لا يوجد شيء في الفيزياء يمكن أن يكون مختلفًا عمَّا سيكون عليه إذا كانت هذه المتغيرات «المخفية» غير موجودة(*).

لقد عززت نظرية فون نيومان von Neumann الاستنتاج أعلاه(**). لأنه وفقًا لهذه النظرية، لن يكون من المستحيل فقط التحقق تجريبيًّا من أي نظرية سببية تهدف إلى التنبؤ بالسلوك التفصيلي لنظامٍ فردي على المستوى الذري، لكن من المستحيل حتى تصور مثل هذا التفسير. أثبت فون نيومان أنه لا يوجد توزيعٌ يمكن تصوره لحركات المعاملات الرياضية «الخفية» في النظام محل الرصد يمكن أن يؤدي إلى نفس النتائج بالضبط مثل تلك الخاصة بمعادلة شرودنجر، بالإضافة إلى تفسير الاحتمالي لدالة الموجة. وهكذا، على سبيل المثال، لم يعد بإمكان المرء أن يتخيل أنه حتى الكائن لابلاس الخارق الذي حصل

(*) لهذا السبب، فإن مصطلح «مبدأ اللا حتمية» indeterminacy أكثر ملاءمة من مصطلح «مبدأ عدم التأكد» uncertainty الأكثر استخدامًا. فبقدر ما يتعلق الأمر بأي متغيرات يمكن ملاحظتها فيزيائيًّا، لا يجب الافتراض أن هذه المتغيرات مجرد «غير مؤكدة» بالنسبة إلينا، لأننا غير قادرين على قياسها بدقة كاملة. بدلًا من ذلك، يفترض أن نمط وجودها ذاته يتطلَّب منها أن تكون غير محددة. بالطبع، قد تكون المتغيرات الخفية «الميتافيزيقية» غير مؤكدة، ولكن نظرًا إلى أنها لن تكون قابلة للرصد على أي حال، فإن كونها غير مؤكدة لن يكون لها معنى حقيقي بالنسبة إلينا أكثر من عدد الملائكة الذين يمكنهم الرقص على رأس دبوس.

(**) J.von Neumann, Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik (Verlag. Julius Springer, Berlin, 1932).

على المعلومات دون إزعاج النظام عن طريق القياس يمكن أن يقدم تنبؤات دقيقة حول المستقبل. وبهذه الطريقة يستكمل مبدأ اللا حتمية؛ من أجل استحالة إجراء قياسات أكثر دقة في الحدود التي حددها هذا المبدأ، يجب -وفقًا لنظرية فون نيومان- اعتبارها نتيجة لحقيقة أنه لا يوجد شيء يتوافق مع مجموعة من المعاملات الرياضية «الخفية» التي لها درجة من دقة التعريف تتجاوز هذه الحدود. وبالتالي، فإن التخلي عن السببية في التفسير المعتاد للنظرية الكمومية لا يجب اعتباره مجرد نتيجة لعدم قدرتنا على قياس القيم الدقيقة للمتغيرات التي من شأنها أن تدخل في التعبير عن القوانين السببية على المستوى الذري، بل يجب اعتباره انعكاسًا لحقيقة عدم وجود مثل هذه القوانين(†).

نرى، إذن، أن افتراض مبدأ اللا حتمية كقانونٍ مطلقٍ ونهائي من المفترض أن ينطبق على جميع العمليات التي يمكن أن تحدث في العالم ينطوي على انهيار السببية فيما يتعلق بالظواهر التي تعتمد بشكلٍ كبيرٍ على قوانين المجال الذري. وفي هذا الصدد، يجب التأكيد على أن مثل هذه الظواهر لا تقتصر فقط على تلك الأشياء التي تحدث في المجال الذري وحده، ولا فقط على الخصائص «الخفية» أو غير القابلة لرصد الأشياء. يُفترض أن الظواهر الفيزيائية الحقيقية التي يمكن ملاحظتها ليس لها أسبابٌ. بالنسبة إلى جهاز المراقبة أو الرصد، يتوفر الآن جهازٌ حساسٌ بدرجة كافية للاستجابة بطريقة يمكن ملاحظتها

(†) وبالتالي، فإن اسم «مبدأ اللا حتمية» له ما يبرره بشكلٍ أكبر، في الوقت الحالي يقودنا إلى استنتاج أن مسألة المتغيرات «الميتافيزيقية» التي نحن غير متأكدين من قيمها لا يمكن أن تكون موجودة من الأساس.

بالعين المجردة لخصائص الذرات الفردية والكمات أو الكونتات الفردية للإشعاع الكهرومغناطيسي (على سبيل المثال، عدادات جيجر وغرف ويلسون وعدادات الوميض، إلخ). ومع ذلك بشكلٍ عامٍّ فإن القياسات التي تجرى على الذرات الفردية أو الكوانتات الفردية باستخدام مثل هذه الأنواع من الأجهزة تنتج نتائج تظهر تقلبًا غير منتظمٍ مع كل تجربة ومن كل تجربة إلى أخرى، مع سلوك متوسط منتظم في مجموع إحصائي يحتوي على عددٍ كبيرٍ من ملاحظات التجارب. يمكن التنبؤ بهذا السلوك المتوسط العادي بدرجة عالية من التقريب من حيث النظرية الكمومية الحالية باستخدام دالة شرودنجر الموجية Ψ بمساعدة نظرية الاحتمالات. لكن النظرية الكمومية الحالية لا تسفر عن أي طريقة حتى من حيث المبدأ للتنبؤ بكيفية تقلب القياسات الفردية من حالة إلى أخرى. أكثر من ذلك، فإنه لا يحتوي حتى على أي شيء يمكن أن نعزو إليه -على الأقل نوعيًّا- أصل أي تقلب فردي معين. بالطبع، كما أشرنا بالفعل، قد نفكر في احتمال أن تنشأ مثل هذه التقلبات في حركاتٍ غير منتظمة لبعض الأنواع الجديدة من الكيانات على مستوى أعمق. ولكن هنا يُستنتج من مبدأ اللا حتمية أنه حتى في حالة وجود مثل هذا المستوى الأعمق، لا يمكن أبدًا قياس خصائص الكيانات الجديدة بدقة كافية لإتاحة التنبؤ الدقيق للتقلبات غير المنتظمة في نتائج عمليات القياس الفردية، في حين تشير نظرية فون نيومان إلى أن مثل هذا المستوى الأعمق من القانون السببي الدقيق لا يمكن أن يوجد. وهكذا، يقود المرء إلى استنتاج مفاده أن الطريقة الدقيقة لحدوث هذه

التقلبات غير المنتظمة لا يمكن تتبعها عن طريق التجارب لأي نوع من الأسباب على الإطلاق، وأنه في الواقع ليس لها أي أسبابٍ.

في هذا الصدد، يُنظر إلى التقلبات غير المنتظمة التي عالجتها النظرية الكمومية على أنها مختلفة تمامًا عن جميع الأنواع الأخرى من التقلبات غير المنتظمة التي تمت مواجهتها من قبل. على سبيل المثال، في الفصل الأول، درسنا التوزيع الإحصائي لمعدل حوادث السيارات، الذي يتقلَّب بشكلٍ غير منتظمٍ من يومٍ إلى آخر ومن مكانٍ إلى آخر. ومع ذلك، حتى التفاصيل الدقيقة لمثل هذه التقلبات التي تظهر بشكلٍ عامٍّ يمكن عزوها إلى عددٍ كبيرٍ من الأسباب المساهمة، ومن المسلَّم به أنه من الصعب للغاية التحقيق منها بالتفصيل. ومع ذلك، لا أحد يشك، على سبيل المثال، في أن ما سيحدث لشخصٍ ما في حادثٍ معين (مثلًا، هل ستكسر عظمة معينة من جسده؟ إلخ) تحدده أسباب مناسبة، قد يكون بعضها معروفًا وبعضها قد لا يكون معروفًا. لكن في التفسير المعتاد للنظرية الكمومية، لا يُفترض أن تحدد المقياس الدقيق للتقلبات غير المنتظمة في نتائج القياسات الفردية على المستوى الذري بأي نوعٍ من الأسباب على الإطلاق، سواء كانت معروفة أو غير معروفة. بدلًا من ذلك، يُفترض أنه في أي تجربة معينة، تكون النتيجة الدقيقة التي سيتم الحصول عليها عشوائية تمامًا بمعنى أنها لا علاقة لها بأي شيء آخر موجود في العالم أو كان موجودًا من قبل على الإطلاق. وبالتالي، لدينا مثالٌ لمفهوم التقلبات «الخارجة عن القانون تمامًا» التي ناقشناه

في الفصل الثاني، القسم السادس عشر(*).

من الطريقة التي أثبت بها مبدأ اللا حتمية، ربما نحصل على انطباعٍ بأن التقلبات غير المنتظمة في نتائج قياسات خصائص الذرات الفردية لها -بعد كل شيء- سببٌ؛ لأنها تنسب إلى اضطراب الشيء المرصود بواسطة جهاز القياس. ومع ذلك، يُظهر تحليل أكثر دقة أنه لا يمكن أن يقدم باستمرار أي إحالة دقيقة للأسباب بهذه الطريقة، في إطار التفسير المعتاد للنظرية الكمومية. لأنه يجب أن نتذكر أن جهاز المراقبة يخضع أيضًا لقوانين النظرية الكمومية. وبالتالي، لنفترض وجود -في جهاز المراقبة- مجموعة من العوامل السببية المحددة جيدًا ولكن الموزعة بشكلٍ غير منتظم والتي تحدد بدقة من حيث المبدأ ما سيكونه اضطراب النظام محل الدراسة والرصد في كل عملية قياس فردية، وفقًا لمبدأ اللا حتمية، يكون افتراضًا ميتافيزيقيًّا بحتًا، حيث لا يمكن لأي قياساتٍ إضافية يمكن إجراؤها على جهاز المراقبة نفسه تحديد الشروط الدقيقة لهذه العوامل السببية الافتراضية. علاوة على ذلك، وفقًا لنظرية فون نيومان، فإن استحالة تصور العوامل السببية المحددة

(*) لتأكيد ما يعنيه هذا المفهوم عمليًّا، سنفترض عملية انبعاث جسيمات ألفا في التحلل الإشعاعي لنواة، ولتكن لذرة اليورانيوم. في مجموعة كبيرة من هذه النوى، يتقلب الزمن الدقيق لانحلال نواة فردية بشكلٍ غير منتظم من نواة إلى أخرى، ولكن متوسط زمن التحلل يمكن التنبؤ به، ويساوي نحو ألفي مليون سنة. سنفترض الآن في أي واحدة من هذه النوى الفردية، والتي يمكن الكشف عن تحللها عن طريق عداد جيجر. هل هذه النواة ستتحلل غدًا أو الأسبوع المقبل أو بعد ألفي مليون سنة من الآن هو أمر لا تستطيع النظرية الكمومية الحالية التنبؤ به. ومع ذلك، وفقًا للتفسير المعتاد، لا شيء يحدد هذا الزمن. من المفترض أن تكون عشوائية تمامًا، ولا يمكن أن ترتبط بأي شيء آخر بأي نوعٍ من القوانين على الإطلاق.

بدقة ستطبق على جهاز المراقبة وكذلك على النظام الذي نقوم برصده. ومن ثم، في التفسير المعتاد للنظرية الكمومية، ببساطة لا يوجد مجالٌ في أي مكانٍ لافتراض عوامل سببية إضافية يمكن لنا حتى من حيث المبدأ أن نحيل إليها أصل التفاصيل الدقيقة للتقلبات غير المنتظمة في نتائج قياسات الخصائص للذرات الفردية. هذا الاستنتاج أعلاه أصبح أكثر وضوحًا كنتيجة لمثالٍ اقترحه أينشتاين وروزين Rosen وبودولسكي Podolsky (†) والذي يعطي حالة يمكن من خلالها إثبات بشكلٍ صريحٍ التناقض في افتراض أن التفاصيل الدقيقة للتقلبات التي وصفها مبدأ اللا حتمية يمكن أن تنسب إلى اضطراباتٍ في الجسم المرصود باستخدام جهاز المراقبة. ردًّا على هذا المثال، أشار بور(*) إلى أنه في التفسير المعتاد للنظرية الكمومية، يجب على المرء أن ينظر إلى جهاز القياس والجسم المرصود كنظامٍ واحدٍ غير قابلٍ للتجزئة، لأنهما متحدان بواسطة كوانتم واحد غير قابلٍ للتجزئة يربط بينهما في أثناء عملية التفاعل. يجب أن ينتمي الكوانتم بطريقة ما إلى كل من الجسم المرصود وجهاز القياس، ومع ذلك يجب أن يكون غير قابلٍ للتجزئة. هذا ممكن فقط إذا كان النظام المشترك الذي يتكون من جهاز المراقبة والنظام المرصود، بمعنى ما، كيانًا واحدًا غير قابلٍ للتجزئة لا يمكن تحليله بشكلٍ صحيحٍ (حتى من ناحية المفهوم) إلى أجزاء أولية أصغر. وبالتالي، لا يمكن أن يكون هناك أي معنى للجهود المبذولة

(†) A.Einstein, N.Rosen, and B.Podolsky, Phys. Rev., 47, 777 (1935).

(*) N.Bohr, Phys. Rev., 48, 696 (1935).

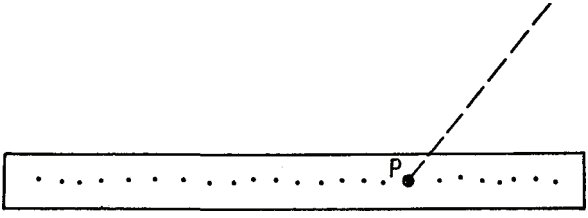
لتتبع التقلبات الملحوظة في نتائج القياسات الفردية في العوامل السببية الموجودة في جزء واحدٍ (جهاز القياس)، حيث لا يجب حتى اعتباره جزءًا متميزًا، على أي حالٍ. ومن ثم، ليس لدى المرء خيارٌ في التفسير المعتاد للنظرية الكمومية سوى التخلي تمامًا عن الفكرة القائلة بأن التفاصيل الدقيقة للتقلبات التي يمكن ملاحظتها في نتائج القياسات الفردية لمستوى دقة الميكانيك الكمومي لها بعض الأنواع غير المعروفة حتى الآن من الأسباب. وبدلًا من ذلك، يتعيَّن على المرء أن يفترض أن هذه التفاصيل عشوائية تمامًا ولا تخضع لقانون.

٦. إنكار مفهوم الاستمرارية في المجال الذري

بالإضافة إلى استنتاج أن السببية لا تنطبق على تفاصيل عمليات التقلبات الإحصائية الفردية المرتبطة بالمجال الذري، أدَّى التفسير المعتاد لنظرية الكم إلى التخلي عن مفهوم استمرارية الحركة في نفس المجال.

لإظهار كيفية حدوث ذلك، سنبدأ بالنظر في طرق تجريبية معينة لمراقبة التموضع والسرعات التقريبية لإلكترون مفرد. وبالتالي، إذا مرَّ إلكترون حرٌّ ذو طاقة عالية عبر لوحة فوتوغرافية، فإنه يترك سجلًا لمساره على شكل حبيبات صغيرة من الفضة تظهر في المجهر بشكلٍ أو بآخر كما هو موضح في الشكل الخامس. هذه الحبيبات الفضية تترسب نتيجة تفاعل الإلكترون مع الذرات التي يمر بالقرب منها: ولكن هذا التفاعل يجب أن يحدث في شكل كوانتات؛ ومن ثم سيتم تطبيق مبدأ اللا حتمية. الآن، يمكّننا ظهور حبَّات الفضة من استنتاج

أن الإلكترون مرَّ بشكلٍ قريبٍ بدرجة كافية للسماح بالتفاعل. وهكذا، فإن حبيبات الفضة تحدد تقريبًا مسار الإلكترون. ولكن بسبب مبدأ اللا حتمية، نعلم أن زخمًا غير محددٍ قد نقل إلى الإلكترون في كل تفاعل، لذلك لا يمكننا التنبؤ بالضبط بالمكان الذي سيذهب إليه الإلكترون بعد مغادرته اللوحة الفوتوغرافية. ومع ذلك، فإن اللا حتمية هنا مقدارها صغير، لذلك يصبح القياس الدقيق للغاية هو المهم هنا فقط. ولكن إذا احتجنا إلى توقع دقيق للغاية للمفهوم، فلن نتمكن من الحصول عليه بهذه الطريقة أو بأي طريقة أخرى.



الشكل الخامس

وفقًا لطريقتنا المعتادة في استنتاج السبب، نفترض أن مسار حبيبات الفضة يشير إلى أن إلكترونًا حقيقيًّا يتحرك باستمرارٍ عبر الفضاء في مسارٍ في مكانٍ ما بالقرب من هذه الحبيبات، ومن خلال التفاعل تسبَّب في تكوين الحبيبات. ولكن وفقًا للتفسير المعتاد للنظرية الكمومية، سيكون من الخطأ افتراض أن هذا حدث بالفعل. كل ما يمكننا قوله هو أن بعض الحبوب ظهرت، لكن يجب ألا نحاول أن نتخيل أن هذه الحبوب الفضية قد أُنتِجت بواسطة جسم حقيقي يتحرك عبر الفضاء بالطريقة التي نفكر بها عادة في الأجسام التي تتحرك عبر الفراغ. على

الرغم من أن فكرة الجسم المتحرك باستمرارٍ جيدة بما يكفي لنظرية تقريبية، فإننا سنكتشف أنها ستتفكك إلى نظرية دقيقة للغاية. علاوة على ذلك، إذا حاولنا أن نرى بالتجربة ما إذا كان الإلكترون يتحرك بشكلٍ حقيقي بين النقاط على المسار، على سبيل المثال باستخدام ملاحظة مجهرية دقيقة جدًّا للتموضع في أثناء مروره بنقطة معينة، وليكن مثلًا P، فسوف نكتشف ذلك بسبب نقل كوانتم سيغير المسار بطريقة لا يمكن التنبؤ بها ولا يمكن السيطرة عليها ويصبح مسارًا آخر (كما هو موضح في الشكل). وبالتالي، وفقًا لهذا الرأي، فإن فكرة الإلكترون المتحرك الذي يوفر اتصالًا مستمرًّا بين النقاط التي نلاحظ المسار من خلالها هو في أحسن الأحوال فكرة ميتافيزيقية بحتة لا يمكن أبدًا إخضاعها للتحقق التجريبي.

في هذه المرحلة، قد يقترح المرء أنه ربما تكون فكرة الإلكترون كجسمٍ متحركٍ صغيرٍ بسيطة للغاية بالنسبة إلى هذه المشكلة، وأن الصعوبات التي نواجهها تأتي من الجهد المبذول لفرض مفهومنا على الإلكترون في قالب مقترح بشكل أساسي بعد كل شيء من خلال التجربة في المجال الكلاسيكي. في المجال الكمومي، قد يكون من الضروري إذن إدخال مفاهيم أكثر تعقيدًا ودقة من تلك الخاصة بالجسيم الذي يتحرك عبر الفراغ في خطٍّ مخلفًا مسارًا. على سبيل المثال، من حيث مفهوم مستوى الميكانيك الكمومي الذي ناقشناه في القسم الثالث، سيكون من الممكن للإلكترون أن يكون بنية أو نظامًا معقدًا للغاية في طبقة أو مجال أعمق يميل إلى التصرف بطريقة تشبه الموجة وأيضًا

كشبيه بالجسيم في إنتاج تركيزات من الطاقة(*). يمكن للكيان المعقد هذا أن يترك مسارًا موضعيًّا تقريبًا لهذه القطرات، التي ستنتج على سبيل المثال من خلال تركيزات الطاقة الموضحة أعلاه.

ومع ذلك، يجب أن نؤكد هنا أن وجهة نظر نيلز بور وغيره من أنصار التفسيرات المعتادة للنظرية الكمومية تشير إلى أن أي تفسيرٍ لظهور سلسلة القطرات من حيث بعض الطبقات الفرعية العميقة للحركة المستمرة التي تؤدي إلى تركيزات الطاقة على القطرات ميتافيزيقية تمامًا كما هو التفسير من حيث الجسيم المتحرك. بعبارة أخرى، في صياغة متسقة لوجهة النظر هذه، يُفترض أن حدود قابلية عمليات نقل الطاقة التي تتميز بها النظرية الكمومية الحالية يجب أن تنطبق -دون تناقض ودون تقريب- في كل مجال سيخضع للدراسة والتحقيق فيه في أي وقتٍ.. وبالتالي، فإن عدم قابلية عمليات النقل الكمومية للتجزئة، ومعها الحاجة إلى التخلي عن مفهوم الاستمرارية، تعتبر خاصية مطلقة ونهائية ستستمر في الظهور بغض النظر عن مدى تقدم الفيزياء في المستقبل.

٧. إنكار جميع نماذج المفهوم المحددة بدقة في المجال المجهري - مبدأ المكاملة THE PRINCIPLE OF COMPLEMENTARITY.

نرى من الأقسام السابقة أن التفسير المعتاد للنظرية الكمومية يتطلَّب منَّا التخلي عن مفهومي السببية واستمرارية الحركة على جميع المستويات الممكنة، على الأقل فيما يتعلق بالمعالجة شديدة الدقة.

(*) سنناقش نموذجًا من هذا النوع في الفصل الرابع، القسمين الثاني والسادس.

يشير هذا الإنكار إلى ما أسماه بور «سمة لا عقلانية» irrational trait في عملية النقل الكمومي من نظام إلى آخر(†). بهذا يعني أنه لا يمكن الحصول على أي مفهوم منطقي لتفاصيل العملية. هذا لأنه إذا تخلينا عن مفهومي الاستمرارية والسببية، فلن نقدر على وصف أو حتى التفكير في أي روابط محددة جيدًا بين الظواهر في زمنٍ معينٍ وتلك التي كانت موجودة في زمنٍ سابقٍ. نتيجة لذلك، ليس لدينا طريقة للتعبير بدقة عن الصفات والخصائص التي قد تحدد أنماط وجود الأجسام الدقيقة المفردة، أو لصياغة قوانين دقيقة قد تنطبق على مثل هذه الأجسام الدقيقة. توجد بالفعل وجهة نظر مماثلة ضمنية بالفعل في استنتاج بور الموصوف في القسم الخامس، أنه في الملاحظة التي نجريها على مستوى دقة الميكانيكا الكمومية، يجب علينا أن نعتبر المجموعة بأكملها المكونة من جهاز المراقبة والنظام المرصود متحدين بشكلٍ لا ينفصل عن طريق الكوانتا الذي يربط بينهما. وبالتالي، نظرًا إلى أن العملية التي تنقل فيها الكوانتم من نظامٍ إلى آخر لا يمكن أن تخضع لتحليلٍ عقلاني أو منطقي مفصلٍ، فلا توجد طريقة لوصف الخصائص والصفات التي تميز النظام الخاضع للملاحظة والمراقبة بدقة، عن تلك التي تميز جهاز المراقبة أو الرصد.

من أجل توضيح معنى وجهة النظر الموصوفة أعلاه، دعونا نفكر كمثالٍ في عملية مراقبة الذرة بمساعدة جهاز مناسب. كما رأينا، فإن الكوانتا التي يتفاعل بها جهاز المراقبة مع الذرة ستغير الأخيرة بطريقة

(†) N.Bohr: Atomic Theory and the Description of Nature.

لا يمكن التنبؤ بها أو التحكم فيها أو وصفها أو حتى تصورها. ومن ثم، فإن كل جهاز مختلف بمعنى ما يخلق نوعًا مختلفًا من الذرة. ومع ذلك، فحتى هذه المصطلحات رائعة للغاية، لأنها تشير إلى أن للذرة خصائص محددة عندما لا يمكن رصدها، والتي تتغير بالتفاعل مع جهاز القياس. لكن في التفسير المعتاد للنظرية الكمومية، ليس للذرة أي خصائص على الإطلاق عندما لا يمكن رصدها. في الواقع، يمكن للمرء أن يقول إن النمط الوحيد لإثبات وجوده هو أن يُلَاحظ أو أن يُرصَد؛ إن حتى الفكرة القائلة بوجود ذرة بخصائص فريدة يمكن تحديدها عندما لا تتفاعل مع قطعة من جهاز المراقبة، لا معنى لها في إطار وجهة النظر هذه.

إذا كان لا بُدَّ من التخلي عن فكرة الوجود الموضوعي للذرات والأجسام الدقيقة الأخرى ذات الخصائص الفريدة الخاصة بها، فإن السؤال الذي يطرح نفسه بشكلٍ طبيعي، «ما الذي تتعامل معه الميكانيكا الكمومية في الواقع؟» الإجابة التي قدمها بور (الجواب المتسق الوحيد الممكن في إطار التفسير المعتاد) هو أنه ألا تتعامل مع خصائص الأجسام الدقيقة على هذا النحو، ولكن بدلًا من ذلك تتعامل مع العلاقات ذات النطاق الواسع الملحوظ بين الظواهر. ومع ذلك، تُعتبر الظواهر كلها غير قابلة للتجزئة، وسيكون من الخطأ تحليلها، حتى بشكل تجريدي ومفاهيمي، لأنها تتكون تقريبًا من أجزاء مختلفة وهي بدورها تتكون من أنواع مختلفة من الأجسام الدقيقة(*). ثم يُنظر

(*) تشبه الفكرة تقريبًا فكرة علم النفس الجشتالتي Gestalt psychology، التي تقريبًا تفترض أن تصوراتنا وأفكارنا لها خصائص مشابهة لتلك التي ينسبها بور إلى المادة بشكلٍ عام؛ أي أنها «كليات» wholes لا يمكن تحليلها حتى بشكلٍ تجريدي إلى أجزاء. =

إلى دور النظرية على أنه مجرد حساب للتوزيعات الاحتمالية للأنواع المختلفة الممكنة من الظواهر.

من الواضح أن وجهة النظر الموصوفة أعلاه تقودنا إلى التخلي عن ممارستنا الناجحة حتى الآن في التفكير في نظامٍ فردي باعتباره كيانًا كليًّا موحدًا وقابلًا للتحديد بدقة، بطريقة تفكير ما يمكن الوصول إلى جميع جوانبه في وقتٍ واحدٍ وبشكلٍ لا لبس فيه في إطار نظرتنا إلى المفهوم. مثل هذا النظام من المفاهيم، الذي يطلق عليه أحيانًا «نموذج» model، لا يلزم أن يقتصر على الصور، ولكنه قد يتضمن أيضًا مفاهيم رياضية على سبيل المثال، ما دام أنها من المفترض أن توفر تمثيلًا دقيقًا للأشياء التي نصفها. يتطلب التفسير المعتاد منَّا، مع ذلك، نبذ النماذج الرياضية. وبالتالي، فإن دالة الموجية لشرودنجر، لا تعتبر بأي حالٍ من الأحوال نموذجًا مفاهيميًّا لنظام فرديٍّ، نظرًا إلى أنها لا تقدم وصفًا دقيقًا

= **ملاحظة المترجم:** علم النفس الجشتالتي الذي وضعته مدرسة برلين تشكل نظرية حول العقل والدماغ تفترض أن المبدأ العملي للدماغ كلاني. متوازٍ ومتماثل مع ميل إلى التنظيم الذاتي أو أن مجموع كل الأجزاء أقل من أداء الكل. المثال الغشتالتي الأكثر كلاسيكية هو فقاعة الصابون التي لا يمكن لشكلها الكروي (أو ما يشكل غيشتالتها) أن يعرف عن طريق قالب صلب أو أدوات جاهزة أو حتى عن طريق معادلة رياضياتية، لكنها مع ذلك تنبثق تلقائيًّا عن طريق الفعل المتوازي للتوتر السطحي على كل نقاط السطح في وقتٍ واحدٍ.
(الكلانية وهي كلمة من اللغة اليونانية تعني الكل أو كاملًا أو تامًّا أو إجماليًّا، وهي الفكرة القائلة بأن الأنظمة الطبيعية (المادية والبيولوجية والكيميائية والاجتماعية والاقتصادية والعقلية واللغوية وما إلى ذلك) وسماتها، يجب أن ينظر إليها على أنها متكاملة، وليس على أنها مجموعة من الأجزاء، وغالبًا ما يشتمل ذلك على وجهة النظر بأن الأنظمة تعمل بشكلٍ ما كأنظمة متكاملة، وأن وظائفها لا يمكن فهمها بشكلٍ كاملٍ بصفة مفردة فيما يتعلق بالأجزاء المكونة لها).

لسلوك هذا النظام، ولكنها تسمح على الأكثر وصفًا لسلوك المتوسط للمجموع الإحصائي للأنظمة.

أعطى بور وجهة النظرة العامة الموصوفة أعلاه تعبيرها الأكثر اتساقًا وانتظامًا، من حيث مبدأ المكاملة. للحصول على معالجة شاملة لهذا المبدأ، نحيل القارئ إلى مصادر أخرى(*). هنا سنقدم فقط ملخصًا موجزًا.

بدلًا من النموذج المفاهيمي القابل للتحديد بدقة، ينص مبدأ المكاملة على أننا مقيدون بأزواجٍ متكاملة من مفاهيم غير محددة بدقة بطبيعتها، مثل التموضع والقوة الدافعة، والموجة والجسيم، إلخ. أقصى درجة من الدقة لأي من أعضاء هذا الزوج مرتبطة بشكل تبادلي مع العضو الآخر. تحدد الشروط التجريبية المحددة سلفًا مدى الدقة التي يجب أن يعرف بها كل عضو من الزوج المتكامل من المفاهيم في أي حالة معينة. لكن لا يُفترض أن يكون هناك مفهومٌ شاملٌ واحدٌ ممكنًا على الإطلاق من شأنه أن يمثل جميع الجوانب المهمة لسلوك نظام فردي محدد بشكلٍ دقيقٍ.

كانت الخطوة الأساسية التي اتخذها بور بعد ذلك هي إثبات أن قوانين النظرية الكمومية تسمح باستمرارٍ بالتخلي عن فكرة النماذج المفاهيمية الفريدة والمحددة بدقة لصالح أزواج متكاملة من النماذج غير المحددة بدقة. وهكذا، كان قادرًا على إثبات أن استخدام الأزواج

(*) للاطلاع على مناقشة شاملة لهذا المبدأ يُرجى الاطلاع على المرجع التالي:

Paul Arthur Schilp, editor, Albert Einstein, Philosopher Scientist (Library of Living Philosophers, Evanston, Illinois, 1949).

المتكاملة من المفاهيم غير المحددة بدقة يوفر طريقة ممكنة لمناقشة سلوك المادة في مجال الميكانيكا الكمومية. لكن وجهة نظر بور العامة فيما يتعلق بمبدأ المكاملة ذهبت إلى أبعد من ذلك. بالنسبة إلى افتراضه أن الخصائص الأساسية للمادة لا يمكن أبدًا فهمها بشكل عقلاني من حيث النماذج الفريدة التي لا لبس فيها، فإن ذلك يعني أن استخدام الأزواج المتكاملة من المفاهيم غير المحددة بدقة سيكون ضروريًّا للمعالجة التفصيلية لكل مجال سيخضع للدراسة والتحقيق بشكلٍ مطلق. وبالتالي، فإن القيود المفروضة على مفاهيمنا الضمنية في مبدأ المكاملة تعتبر مطلقة ونهائية.

٨. نقد الاستنتاجات التي قدمها التفسير المعتاد للنظرية الكمومية على أساس مبدأ اللا حتمية

لقد تبنَّى معظم الفيزيائيين النظريين الاستنتاجات المذكورة في الأقسام السابقة، الذين شعروا أنه على الرغم من صعوبة قبولها، فإنها كانت إلى حدٍّ كبيرٍ نتيجة ضرورية للحقائق التجريبية التي أدَّت إلى النظرية الكمومية. ومع ذلك، كان هناك عددٌ قليلٌ من الفيزيائيين مثل أينشتاين وبلانك، الذين استمروا في الاعتقاد بأنه يجب على المرء أن يبحث عن نظرية أكثر اكتمالًا من شأنها أن تشرح العمليات الكمومية الفردية بطريقة أو بأخرى كما هو موضح في القسم الثالث. والآن يمكننا أن نسأل كيف يمكن الحفاظ على وجهة النظر هذه، على الرغم من مبدأ اللا حتمية الذي يبدو أنه يشير إلى أن مثل هذه النظرية في أفضل الأحوال ستكون مجرد تخمينٍ ميتافيزيقي فارغٍ لا يمكن التحقق منه

بالتجربة؛ إذا لم يكن الأمر كذلك، كما اقترحت نظرية فون نيومان، فهو مستحيل ببساطة. الجواب هو أنه في سلسلة التفكير التي استخلصت منها هذه الاستنتاجات، هناك نقاط ضعفٍ خطيرة.

لنبدأ بمناقشة مبدأ اللا حتمية. نتذكر أنه في إثبات هذا المبدأ، كان من الضروري استخدام ثلاث خصائص؛ وبالتحديد، استخدام الكمومية أو الكوانتم في تفسير الطاقة والقوة الدافعة في جميع التفاعلات، ووجود جوانب تشبه الموجة والجسيمات في هذه الكوانتات، والطابع غير المتوقع وغير القابل للسيطرة لسماتٍ معينة للعملية الكمومية الفردية. من المؤكد أن هذه الخصائص تأتي من الشكل العام الحالي للنظرية الكمومية. لكن السؤال الذي طرحناه في القسم الثالث كان بالتحديد هو ما إذا كان يوجد مستوى فرعي أعمق من الميكانيكا الكمومية للحركة المستمرة والمحددة بشكل سببي أم لا، والتي يمكن أن تؤدي إلى قوانين الميكانيكا الكمومية كتقريبٍ ثابتٍ على المستوى الذري. لأنه في حالة وجود مثل هذا المستوى الفرعي للميكانيكا الكمومية، فكما رأينا، فإن الافتراضات الأساسية المذكورة أعلاه، والضرورية لصحة مبدأ اللا حتمية، لن تصمد عند هذا المستوى الأدنى(*). ومن ثم، فإن مبدأ اللا حتمية ببساطة ليس لديه ما يقوله عن الدقة التي يمكن الحصول عليها في القياسات التي تستخدم العمليات الفيزيائية التي تحدث في مثل هذا المستوى الفرعي من الميكانيكا الكمومية.

(*) على سبيل المثال، يمكن تقسيم الكوانتم الواحد والتنبؤ به من حيث المبدأ والتحكُّم فيه من حيث الأنواع الجديدة من العوامل السببية الموجودة في هذا المستوى.

يبدو، إذن، أن الاستنتاجات المتعلقة بالحاجة إلى التخلي عن مفاهيم السببية واستمرارية الحركة والواقع الموضوعي للأشياء الدقيقة الفردية كانت متسرعة للغاية. لأنه من الممكن تمامًا أنه حينما كانت النظرية الكمومية ومعها مبدأ اللا حتمية صالحين لدرجة عالية جدًّا من التقريب في مجالٍ معين، فإن كليهما لم يعد له صلة بالمجالات الجديدة الأدنى من تلك التي تنطبق عليها النظرية الحالية. وبالتالي، فإن الاستنتاج القائل بعدم وجود مستوى أعمق من الحركة المحددة سببيًّا هو مجرد جزء من استنباط الأسباب عن طريق التفكير بأسلوب الحلقة المفرغة، لأنه سيظهر فقط إذا افترضنا مسبقًا عدم وجود مثل هذا المستوى.

يمكن إجراء تحليل مماثل فيما يتعلق بنظرية فون نيومان. لأن النظرية تستند إلى الافتراض الضمني أنه بغض النظر عن المدى الذي قد نذهب إليه في دراساتنا للطبيعة، سنجد دائمًا أنه يمكن تحديد حالة النظام جزئيًّا على الأقل بمساعدة «ما أمكن رصده وملاحظته» التي ترضي بعضًا من قواعد النظرية الكمومية الحالية(*). ثم أثار فون نيومان السؤال التالي، «بالإضافة إلى هذه «الأشياء التي أمكن رصدها وملاحظتها»، هل هناك أي متغيرات أخرى «خفية» في الوقت الحالي من شأنها أن

(*) على سبيل المثال، يمكن الحصول على القيم الذاتية values eigen الخاصة بهم من مؤثر هيرميتي خطي linear Hermitean operators، وتوزيعاتهم الاحتمالية من مربع القيمة المطلقة للمعامل في توسع مناسب للدالة الموجية، إلخ.
(المصفوفة الهيرميتية: هي مصفوفة مربعة من الأعداد المركبة قيمتها تساوي نفس قيمتها إذا قمنا بمداورتها).

تساعد في تحديد حالة النظام بشكلٍ أكثر دقة مما هو ممكن الآن من حيث الصيغة الحالية للنظرية الكمومية؟». لقد أثبت أن هذا الأمر مستحيلٌ اعتمادًا على طريقة أساسية، وهي افتراض أن جزءًا على الأقل من مواصفات حالة النظام ستعتمد دائمًا على هذه «الأشياء التي أمكن رصدها وملاحظتها»، في حين أن المتغيرات الخفية ستعمل في الغالب على صنع أكثر دقة للخصائص التي قدمتها «الأشياء التي أمكن رصدها وملاحظتها» بالفعل. من الواضح أن مثل هذا الافتراض يحد بشدة من أشكال النظريات التي يمكن أن تؤخذ في الاعتبار. لأنه يستبعد الاحتمال المهم أنه عندما ننتقل إلى المستوى الفرعي من الميكانيكا الكمومية، فإن المخطط الكامل لهذه «الأشياء التي أمكن رصدها وملاحظتها» التي تفي بقواعد معينة مناسبة لمستوى الميكانيكا الكمومية سوف تنهار، ليحل محلها شيء مختلف تمامًا. بعبارة أخرى، من الممكن تمامًا أن يطبق نظام «الأشياء التي أمكن رصدها وملاحظتها» بالكامل على درجة جيدة من التقريب في مجال الميكانيكا الكمومية المعتاد، ولكنه يصبح غير قابل للتطبيق تمامًا في معالجة المستويات الفرعية الأعمق، في هذه الحالة، لن يكون إثبات نظرية فون نيومان مناسبًا، نظرًا إلى أن الشروط المذكورة هنا تتجاوز الافتراضات الضمنية اللازمة لتحقيق الإثبات(*).

نرى إذن أنه في حالة مبدأ اللا حتمية وفي نظرية فون نيومان، تستخلص النتائج فيما يتعلق بالحاجة إلى إنكار السببية والاستمرارية

(*) تضع نظرية فون نيومان افتراضاتٍ إضافية ليست بحاجة إلى أن تكون صحيحة. يمكنك مطالعة: D.Bohm, Phys. Rev., 85, 166, 180 (1952).

والواقع الموضوعي للأجسام الدقيقة الفردية، التي لا تتبع أيًّا من الحقائق التجريبية التي تقوم عليها الميكانيكا الكمومية ولا من المعادلات الرياضية التي تعبر عن النظرية. بدلًا من ذلك، فهم يتبعون الافتراض (عادةً ضمنيًّا وليس صريحًا) أن بعض السمات المرتبطة بالصياغة الحالية للنظرية مطلقة ونهائية، بمعنى أنها لن تتعارض أبدًا في النظريات المستقبلية ولن تظهر على أنها تقريبية، ما دامت في بعض المجالات المحدودة. مثل هذا الافتراض يحد بشدة من الأشكال المحتملة للنظريات المستقبلية بحيث يمنعنا بشكلٍ فعال من التفكير في المستوى الفرعي للميكانيكا الكمومية الذي يمكن أن تحدث فيه أنواعٌ جديدة من الحركة التي من شأنها أن تطبق عليها أنواعًا جديدة من القوانين السببية.

قد نسأل الآن لماذا قام مؤيدو التفسير المعتاد بافتراضات شخصية حتى الآن على أساس عدم وجود دليل تجريبي أو نظري. تتطلب الدراسة الكاملة لهذا السؤال كتابًا في حد ذاته، ولكن هنا سنكتفي بإعطاء سببين من أهم الأسباب.

أولًا، يبدو أن هذا الأمر كان موجودًا، خاصة بين علماء الفيزياء مثل هايزنبرج وآخرين، الذين اكتشفوا لأول مرة النظرية الكمومية، وهو انطباعٌ واسع الانتشار إلى حدٍّ ما بأن الدماغ البشري بشكلٍ عام قادرٌ على تصور نوعين فقط من الأشياء، هما: المجالات(†) والجسيمات(‡).

(†) دعونا نتذكر أن المجالات عادة ما تتجلَّى في شكل موجاتٍ في الفيزياء.

(‡) لعرض أحد الاقتراحات المبكرة لوجهة النظر هذه، طالع على سبيل المثال:

.W.Heisenberg, The Physical Principles of the Quantum Theory, p. 5

ولعرضٍ واضحٍ وشاملٍ للغاية لوجهة نظر مماثلة انظر أيضًا:

C.F.von Weizsacker, The World View of Physics, London (1952), p. 104.

السبب الذي يُعطى عمومًا لهذا الاستنتاج هو أنه يمكننا فقط تصور ما نلتقي به في الخبرة اليومية، أو على الأكثر في الخبرة بالأشياء الموجودة في مجال الفيزياء الكلاسيكية حيث -كما هو معروف جيدًا- تقع جميع الظواهر في فئة أو أخرى من هاتين الفئتين. وهكذا، عندما نأتي إلى المجال المجهري لا يكون مفهوم المجال ولا الجسيم كافيين، لذا من المفترض أن نتجاوز النطاق الذي يمكننا تصوره. ومع ذلك، فقد وجد أنه حتى في هذا المجال يمكننا التنبؤ بنتائج إحصائية معينة، بمساعدة الحسابات الرياضية المناسبة. وهكذا، يستنتج أن التفكير باستخدام المفهوم سيقتصر على المجال الكلاسيكي فقط، في حين أن الشيء الوحيد المتبقي خارج هذا النطاق هو الانخراط في معالجات تقنية بحتة للرموز الرياضية وفقًا للمعادلات المناسبة التي صنعها علماء الفيزياء النظرية وصميم عملهم هو اكتشافها. ونتيجة لذلك، فإن أي جهدٍ في تصور مستوى فرعي من الميكانيكا الكمومية سيحتمل الفشل، لأنه حتى لو كان مثل هذا المستوى موجودًا بالفعل (أو يجب أن يكون موجودًا بالفعل)، فلن يكون لدينا تجربة مباشرة مع الجسيمات أو الكيانات الموجودة فيه، وبالتالي لا يمكننا أبدًا أن نأمل في تخيل كيف يمكن أن تكون هذه الكيانات أو الجسيمات.

السبب الثاني لعدم اهتمام الفيزيائيين النظريين الأحدث عمومًا بالنظر في إمكانية وجود مستوى فرعي من الميكانيكا الكمومية هو التبني الواسع للأطروحة القائلة بأنه لا ينبغي لنا أن نفترض وجود كيانات أو جسيمات لا يمكن ملاحظتها بالطرق المتوفرة بالفعل.

تنبع هذه الأطروحة من وجهة نظر فلسفية عامة تحتوي على فروعٍ مختلفة مثل «الوضعية» positivism و«العملياتية» operationalism و«التجريبية» empiricism وغيرها، والتي بدأت تحظى بشعبية واسعة بين علماء الفيزياء خلال القرن العشرين(*). بما أنه ليس لدينا القدرة على كيفية اكتشاف الكيانات الجديدة التي قد توجد في المستوى الفرعي من الميكانيكا الكمومية، فإن وجهة النظر الموضحة أعلاه تقودنا إلى الامتناع حتى عن طرح السؤال حول ما إذا كان هذا المستوى موجودًا. بالطبع، إذا كانت التجارب المستقبلية يجب أن تكشف في النهاية عن مثل هذه الكيانات، فسنبدأ بشكلٍ طبيعي في وضع نظريات تتعلق بها، ولكن ما لم يحدث هذا وحتى يحدث ذلك، فإن وجهة النظر الموضحة أعلاه توجهنا إلى النظر فقط في أنواع الكميات التي تظهر في النظريات الحالية.

الجواب عن هذين الاعتراضين على المستوى الفرعي للميكانيكا الكمومية واضحٌ تمامًا.

مبدئيًّا، من الواضح أن فكرة أن مفاهيمنا تأتي من الخبرة اليومية تؤدي بشكلٍ واضحٍ إلى وجهة نظر أحادية الجانب بشكلٍ مفرطٍ حول هذا السؤال. لأنه من المعروف أن تطور مفاهيمنا يرجع أيضًا إلى التجربة العلمية. على سبيل المثال، يأتي جزءٌ كبيرٌ من مفهومنا لحركة الأجسام

(*) كان ماخ Mach أحد أبرز مؤيدي وجهة النظر الوضعية في القرن التاسع عشر. يبدو أن الفلاسفة الوضعيين المعاصرين قد تراجعوا إلى حدٍّ ما عن الموقف المتطرف لماخ، لكن انعكاس الموقف لا يزال قائمًا في وجهة النظر الفلسفية التي يتبناها ضمنيًّا عددٌ كبيرٌ من علماء الفيزياء النظرية الحديثة.

من التحليل التخيلي للنتائج التجريبية والنظرية لعلم الميكانيكا. في هذا الصدد، لعبت الرياضيات بشكلٍ عامٍّ وحساب التفاضل بشكلٍ خاصٍّ دورًا رئيسيًّا في توجيه تطوير مفهوم واضح للحركة المتسارعة. من المستحيل عمليًّا اكتساب مثل هذا المفهوم الواضح على أساس الخبرة اليومية وحدها، أو في الواقع على أساس التجربة المعملية وحدها، لا يكملها مثل هذا التحليل التخيلي الأعمق وحده. وبالتالي، فإن إحدى أصعب المشكلات التي واجهها جاليليو في فهم قوانين الأجسام الساقطة كانت فقط لتوضيح مفهوم التسارع، وللقيام بذلك، وجد أنه من الضروري جدًّا استخدام تعبير جبري لسرعة الحركة. وبالمثل، فإن معظم مفهومنا للموجة يأتي من دراسة نظرية وتجريبية لتداخل وانتشار الموجات في مختلف العلوم، مثل البصريات والصوتيات، والقليل جدًّا يأتي من مشاهدة موجات الماء في الخبرة اليومية. في هذا الصدد، يشكِّل مبدأ هوجنس Huygens (*) بالإضافة إلى المعالجات الرياضية المختلفة للتداخل وانتشار الموجة جزءًا أساسيًّا من المفهوم الحديث لحركة الموجة.

نرى إذن أنه على الرغم من أن المفاهيم البدائية المكتسبة في الخبرة اليومية قد تكون بمثابة نقاط انطلاق للبحث في الفيزياء (وفي العلوم

(*) **ملاحظة المترجم**: مبدأ هوجنس نسبة إلى الفيزيائي الهولندي كريستيان هوجنس، هو فرضية تسمح بتفسير الظواهر الفيزيائية المرتبطة بانتشار الأمواج وخصوصًا الضوئية منها، ويصاغ كالتالي: «تتصرف كل نقطة من نقاط مقدمة الموجة كمصدرٍ ومركزٍ لموجة جديدة، والسلوك التالي لمقدمة الموجة يحدد بجمع الموجات الصغيرة الصادرة عن نقاط مقدمة الموجة في اللحظة السابقة».

الأخرى)، فإن القوانين الجديدة المكتشفة في هذا البحث، سواء تلك التي تتخذ شكلًا رياضيًّا وتلك التي يمكن التعبير عنها بطريقة دقيقة، تساعد على تحقيق إثراء تدريجي وصقل لهذه المفاهيم، حتى تتطور في الوقت المناسب إلى شيء مختلف تمامًا عمَّا كانت عليه عندما بدأ البحث. الآن بعد أن واجهنا مشكلة فهم الأنواع الجديدة من القوانين التي قادنا إليها بحثنا في المجال الكمومي، فإن الاستمرار الطبيعي لهذا الإجراء سيكون، بالتالي، أخذ مفاهيم المجال والجسيمات للفيزياء الكلاسيكية كبداية، ثم تعديلها وإثراءها بطريقة تجعلها قادرة على التعامل مع التركيبة الجديدة من خصائص الموجات والجسيمات التي تنطوي عليها النظرية الكمومية. في الواقع، لقد بُذِلت بالفعل عددٌ من الجهود الملموسة في هذا الاتجاه، وسنصفها في الفصل الرابع. بالطبع، لا نتوقع أن تتوقف عملية تطوير المفاهيم عند هذه النقطة أيضًا، ولكن بدلًا من ذلك، كما حدث في الفيزياء الكلاسيكية، قد نأمل أن سلسلة من هذه التعديلات والإثراء، أن تساعدنا على تحقيق فهمٍ أفضل لما يحدث في نطاق الميكانيكا الكمومية، التي ستؤدي في النهاية إلى تغييراتٍ ثورية في بنية المفهوم بأكملها. بطبيعة الحال، من الممكن تمامًا أن نواجه صعوباتٍ شديدة في مثل هذه الجهود لتطوير مفاهيم جديدة جذريًّا مناسبة لمجال الميكانيكا الكمومية. ومع ذلك، فإن احتمال حدوث مثل هذه الصعوبات لا يمكن اعتباره عذرًا جيدًا لليأس قبل بذل أي جهودٍ جادة في هذا الاتجاه على الإطلاق وللتأكيد على أن أدمغتنا ببساطة ليست كافية لوظيفة تخيل ما لم نلتقِ به في الخبرة اليومية أو التجربة في النطاق الكلاسيكي.

دعونا الآن نناقش السبب الثاني المقدم عمومًا لعدم الوضع في الاعتبار إمكانية وجود مستوى فرعي من الميكانيكا الكمومية، أي المبدأ الوضعي الذي لا ينبغي لنا أن نفترض وجود كيانات لا نعرف بالفعل كيف نرصدها. من الواضح أن هذا المبدأ يمثِّل قيدًا فوق-فيزيائي على الأنواع المحتملة من النظريات التي نختار أن نأخذها في الاعتبار. يتم استخدام كلمة «فوق-فيزيائي» extraphysical هنا بشكلٍ صحيحٍ، حيث لا يمكننا بأي حالٍ من الأحوال أن نستنتج، سواء من البيانات التجريبية للفيزياء، أو من صياغتها الرياضية، أنه سيظل بالضرورة مستحيلًا إلى الأبد بالنسبة إلينا اكتشاف الكيانات التي لا نكتشفها في الحاضر والتي لا نعرف كيف نرصدها.

لا يوجد سببٌ يمنع مبدأ عام «فوق-فيزيائي» لا يمكن تصوره كفرضية عمل مفيدة. ومع ذلك، لا يمكن القول إن مبدأ «فوق-فيزيائي» معين هو فرضية عمل جيدة. لأن تاريخ البحث العلمي مليء بالأمثلة التي كان من المفيد جدًّا افتراض أن بعض العناصر قد تكون حقيقية، قبل وقت طويل من معرفة أي إجراءات تسمح بمراقبتها مباشرة. النظرية الذرية هي مجرد مثالٍ. إمكانية الوجود الفعلي للذرات الفردية قد افترضت أولًا من أجل شرح مختلف الانتظامات واسعة النطاق، مثل قوانين التركيب الكيميائي، قوانين الغاز، إلخ. من ناحية أخرى، كان من الممكن بالطبع معالجة هذه الانتظامات واسعة النطاق مباشرة من حيث المفاهيم التي يمكن رؤيتها بالعين المجردة وحدها، دون الحاجة إلى افتراض وجود الذرات. لذلك أصرَّ بعض

الوضعيين في القرن التاسع عشر (ولا سيما ماخ) على أسس فلسفية بحتة بأن مفهوم الذرات لا معنى له بل وحتى «هرائي» nonsensical لأنه لم يكن من الممكن حينئذٍ ملاحظتها. ومع ذلك، اكتشف الدليل على وجود ذرات فردية في النهاية من قبل الأشخاص الذين أخذوا الفرضية الذرية على محمل الجد بما يكفي لافتراض وجود ذرات فردية، على الرغم من عدم رصدها من قبل. من الواضح أن لدينا هنا تشابهًا وثيقًا مع التفسير المعتاد للنظرية الكمومية، الذي يتجنب النظر في إمكانية وجود مستوى فرعي أعمق من الميكانيكا الكمومية، لأنه لا يمكن رصده بالطرق المتاحة حاليًّا.

يظهر تاريخ تطور العلم بشكلٍ عامٍّ أن هناك طريقتين يمكن من خلالهما تحقيق التقدم العلمي؛ أولًا: من خلال اكتشاف حقائق جديدة تؤدي في النهاية إلى أنواعٍ جديدة من المفاهيم والنظريات؛ وثانيًا: من خلال شرح مجموعة واسعة من الحقائق الموجودة من حيث المفاهيم والنظريات الجديدة، التي تؤدي في النهاية إلى أنواعٍ جديدة من التجارب وبالتالي إلى اكتشاف حقائق جديدة. في ضوء هذه الخبرة التاريخية، يُنظر إلى الوضعية على أنها تؤدي إلى وجهة نظر أحادية الجانب للوسائل الممكنة لإجراء البحث العلمي. لأنه بينما هناك إدراك لأهمية البيانات التجريبية، فإن الوضعية تتعارض مع الحقيقة المثبتة تاريخيًّا بأن اقتراح المفاهيم والنظريات الجديدة التي لها جوانب تأملية معينة (مثل النظرية الذرية) قد تبين في كثيرٍ من الأحيان أنها مهمة على المدى الطويل كما كانت الاكتشافات التجريبية الجديدة.

كبديلٍ للإجراء الوضعي المتمثِّل في تخصيص الواقع فقط لتلك الأشياء التي نعرف الآن كيف نرصدها، فإننا نعتمد في هذا الكتاب وجهة نظر مقدمة في الفصل الأول، وقد تطورت بشكلٍ أكبر في الفصل الخامس، ونعتقد أنها تتوافق بشكلٍ أكبر مع الاستنتاجات التي يمكن استخلاصها من الخبرة العامة في البحث العلمي الفعلي. من وجهة النظر هذه، نفترض أن العالم ككلٍّ حقيقي موضوعيٌّ، وأنه -على حد علمنا- يحتوي على بنية قابلة للوصف والتحليل بدقة من التعقيد غير المحدود. وبالتالي يجب فهم البنية بمساعدة سلسلة من المفاهيم الأكثر جوهرية واتساعًا ودقة بشكلٍ تدريجي، والتي ستوفر -إن جاز التعبير- مجموعة أفضل وأحسن من وجهات النظر للبنية اللا نهائية للواقع الموضوعي. ومع ذلك، يجب ألا نتوقع أبدًا الحصول على نظرية كاملة لهذه البنية، لأنه من شبه المؤكد أن هناك عناصر أكثر مما يمكننا أن ندركه في أي مرحلة معينة من التطور العلمي. ومع ذلك، يمكن من حيث المبدأ اكتشاف أي عنصر محدد في النهاية، ولكن لا يمكن اكتشافها جميعًا.

من الواضح أن وجهة النظر الموصوفة أعلاه تشير إلى أنه لا يجب اعتبار أي نظرية أو سمة من سمات أي نظرية مطلقة ونهائية. وبالتالي، فيما يتعلق بالصياغة الحالية للنظرية الكمومية، فإننا قادرون على انتقاد افتراضاتٍ مثل افتراضات هايزنبرج وبور، بأن مبدأ اللا حتمية والقيود على الأزواج التكاملية من المفاهيم سيستمران بغض النظر عن المدى الذي قد تتقدم فيه الفيزياء إلى نطاقاتٍ جديدة. ومع ذلك،

يجب أن يكون واضحًا أنه عند توجيه مثل هذه الانتقادات، ليس في نيَّتنا الإيحاء بأن النظرية الكمومية ليست صالحة أو مفيدة في مجالها الخاص. على العكس من ذلك، من الواضح أن النظرية الكمومية هي إنجاز رائع على أعلى درجة من الأهمية، وهي نظرية سيكون من السخف الاعتراض على قيمتها. وبالمثل، فإن تفسير بورن الاحتمالي لدالة شرودنجر الموجية، ومبدأ اللا حتمية لهايزنبرج، وإثبات بور أن المادة في المجال الكمومي تُظهر أنواعًا عامة جدًّا من أنماط السلوك المتعارضة في ظل ظروفٍ مختلفة (مثل الموجة والجسيمات)، يجب التعرف عليها جميعًا على أنها تصنع مساهماتٍ مهمة للغاية في التعبير عن قوانين نطاق الميكانيكا الكمومية. لكن ما نود التأكيد عليه هنا هو أن الإنجازات الرائعة للميكانيكا الكمومية لا تعتمد بأي حالٍ من الأحوال على فكرة أن الميزات المذكورة أعلاه (أو أي ميزات أخرى) للنظرية الحالية تمثِّل قيودًا مطلقة ونهائية على قوانين الطبيعة. يمكن الحصول على كل هذه الإنجازات بشكلٍ جيدٍ على أساس الافتراض الأكثر تواضعًا بأن مثل هذه الميزات تنطبق في نطاقٍ محدودٍ وإلى حدٍّ ما من التقريب، والمدى الدقيق الذي لا يزال يتعين اكتشاف حدوده. بهذه الطريقة نتجنب وضع افتراضاتٍ عشوائية مسبقة والتي من الواضح أنه لا يمكن تصور إخضاعها لإثباتٍ تجريبي، ونترك المجال مفتوحًا للنظر في أنواع جديدة من القوانين التي قد تنطبق على نطاقات جديدة، قوانين لا يمكن أخذها بعين الاعتبار إذا افترضنا الصلاحية المطلقة والنهائية لبعض سمات النظريات المناسبة في نطاق الميكانيكا الكمومية.

من بين الأنواع الجديدة من القوانين التي يُسمح لنا الآن دراستها إذا توقفنا عن افتراض الصلاحية المطلقة والنهائية لمبدأ اللا حتمية، هناك احتمالٌ مثيرٌ للاهتمام للغاية وموحي هو احتمال المستوى الفرعي للميكانيكا الكمومية الذي يحتوي على متغيرات خفية. كما رأينا في القسم الثالث، يبدو أن إطار القانون هذا يحتوي على إمكانية شرح السمات الرئيسية للنظرية الكمومية الحالية على الأقل بشكلٍ نوعي، باعتبارها تقريبية تتحقق في نطاقٍ مناسبٍ. علاوة على ذلك، في المناقشة الواردة في هذا القسم، نرى أنه لم تُقدَّم أسبابٌ وجيهة لعدم النظر في مثل هذه النظريات؛ وبالفعل سنناقش عددًا من الأمثلة المحددة لهذا النوع من النظريات في الفصل الرابع.

٩. التفسير المعتاد للنظرية الكمومية في صيغة الآلية اللا حتمية

من الواضح أن افتراض الصلاحية المطلقة والنهائية لمبدأ اللا حتمية، والذي يعني ضمنًا أن تفاصيل التقلبات الإحصائية الكمومية ليس لها أسبابٌ على الإطلاق، يشبه إلى حدٍّ كبيرٍ الافتراض الذي تقوم عليه الفلسفة الآلية اللا حتمية التي نوقشت في الفصل الثاني، القسم الرابع عشر. ومع ذلك، فهي أكثر دقة في جوانب معينة، بحيث إنه من دون تحليل دقيق للمشكلة، قد نفشل بالكاد في رؤية ما تم افتراضه.

في الأشكال السابقة للآلية اللا حتمية، كان من المفترض، سواء بشكلٍ صريحٍ أو ضمني، أن الكون كله يمكن وصفه بشكلٍ كاملٍ ومثالي من حيث لا شيء أكثر من معاملات معينة قابلة للتحديد رياضيًّا. كان من المفترض أن تخضع هذه المعاملات لتقلباتٍ إحصائية عشوائية لا

تخضع لأي قانونٍ، ومع ذلك، فإن توزيعات الاحتمالات تفي بمجموعة من القوانين الكمية البحتة، التي هي في الواقع الأنواع الوحيدة من القوانين التي كان من المفترض أن يفي بها أي شيء في العالم بأسره. في النظرية الكمومية، فإن أقرب شيء قد نجده مطابقًا لمثل هذه المعاملات الرياضية الأساسية هو قيم دالة شرودنجر الموجية في كل نقطة في التموضع والزمن، والتي كما رأينا في القسم الثاني، محددة من حيث القيم الأولية لجميع الأزمنة تبعًا لمعادلة شرودنجر. ولكن، كما أشرنا في القسم السابع، لا تعتبر دالة شرودنجر الموجية مطابقة تمامًا لأي خاصية يفترض وجودها للمادة. بدلًا من ذلك، يُنظر إليه أساسًا على أنه ليس أكثر من رمزٍ رياضي وسيط بحت يمكن التلاعب به وفقًا لقواعد محددة بشكلٍ ما بطريقة تسمح بالحساب الصحيح لاحتمالات أنواع مختلفة من النتائج التجريبية.

ولكن السؤال الذي يطرح نفسه الآن، «ما هي أهمية الخصائص التي يمكن بالتالي حساب احتمالاتها من الدالة ψ؟» كما رأينا في القسمين الخامس والسابع، أوضح بور أنه في التفسير المعتاد للنظرية الكمومية، لا يجب اعتبار مثل هذه الخصائص موجودة بشكل موضوعي في النظام موضع الدراسة والرصد. ومع ذلك، توجد أشياء معينة، وفقًا لوجهة نظره، يُعترف بأنها موضوعية لجميع المقاصد والأغراض؛ بمعنى: الظواهر التي يمكن رصدها على نطاقٍ واسعٍ.

دعونا نراجع بإيجازٍ الطريقة التي أمكن التعامل بها مع مثل هذه الظواهر في التفسير المعتاد للنظرية الكمومية. يمكن للمرء أن يحسب

العلاقات بين هذه الظواهر تقريبًا من حيث قوانين الميكانيكا الكلاسيكية، ولكن كما رأينا في القسم الخامس، في سياقٍ أكثر دقة للتجربة نكتشف تقلبًا إحصائيًّا عشوائيًّا في التفاصيل الدقيقة لهذه الظواهر ولا يمكن تفسيره بالنظرية الكلاسيكية. ومن ثم يُفترض أن هذه التقلبات عشوائية تمامًا ولا تخضع لقانون، وليس لها أي أسبابٍ على الإطلاق. وبالتالي، فإن التفسير النظري والتنبؤ بهذه التفاصيل من المفترض أن يكمن إلى الأبد خارج نطاق ما يمكننا أن نأمل تحقيقه في الفيزياء، أو في أي علم آخر. ومن ثم فإن موضوع الفيزياء بحكم التعريف يقتصر بطبيعته ولا مناص منه على حساب التوزيعات الاحتمالية لمختلف أنواع الظواهر الممكنة فقط لا غير، والتوزيعات التي يمكن اشتقاقها من مخطط فيزيائي ورياضي عام معين، والذي نشأ عن معادلة شرودنجر(*). بعبارة أخرى، من المفترض أنه لا يوجد شيء في الكون لن يتم العثور عليه في النهاية ليتناسب مع هذا المخطط، الذي تعتبر سماته العامة مطلقة ونهائية.

من الواضح إذن، أننا قد تحركنا إلى وجهة نظر هي وجهة نظر الآلية اللا حتمية. لا تنطبق الآلية اللا حتمية، مع ذلك، على الجسيمات الدقيقة

(*) هذا المخطط هو دالة موجية محددة في فراغ التكوين configuration space، تتبع مجموعة خطية بحتة من المعادلات، وتتعلق بالظواهر من خلال حساب احتمالات «الأشياء القابلة للرصد» المختلفة، من حيث القيم المتوسطة لـ«مؤثرات الرياضية» operators. يؤدي هذا المخطط إلى مبدأ اللا حتمية باعتباره قيدًا متأصلًا ولا مفر منه على الدقة التي يمكن من خلالها تعريف الخصائص الأساسية للمادة ووصفها وحتى تصورها. في الواقع، يمكننا تعريف هذا المخطط الرياضي على أنه هو بالضبط المخطط المطلوب إذا وجب الحفاظ على فرضية الصلاحية المطلقة والنهائية لمبدأ اللا حتمية.

الحقيقية من النوع المذكور في المخططات الآلية غير المحددة سلفًا، ولا حتى على مجموعة من المعاملات الرياضية البحتة، مثل تلك التي تظهر في معادلة شرودنجر. بدلًا من ذلك، فإنه ينطبق فقط على الظواهر واسعة النطاق التي يمكن رصدها. وهكذا، من خلال إنكار الواقع الموضوعي للنطاق المجهري، ومن خلال التخلي المرتبط بالسببية والاستمرارية، يصبح من الممكن حفظ السمة الأساسية والمميزة للموقف الآلي؛ بمعنى: الافتراض بأن كل خاصية موضوعية وقابلة للتحديد في العالم يمكن وصفها وفقط باستخدام مجموعة من القوانين الكمية البحتة للاحتمالات التي تتناسب مع مخطط فيزيائي ورياضي عام معين بحيث يكون مطلقًا ونهائيًّا.

إن الافتراض الموصوف أعلاه يشبه إلى حدٍّ بعيدٍ افتراض علماء الفيزياء في القرن التاسع عشر الذين اعتبروا أن المخطط الفيزيائي والرياضي العام للفيزياء الكلاسيكية يتمتع بصلاحية مطلقة ونهائية. في الواقع، كما شعر الفيزيائيون الكلاسيكيون أن تلك الصعوبات الناشئة عن فشل قانون رايلي جينز Rayleigh-Jeans، كانت مجرد «غيوم صغيرة» سرعان ما ستبددها بعض التغييرات في تفاصيل الأنواع الحتمية للنظريات التي كانت موجودة في ذلك الوقت، فكذلك يعتقد الفيزيائيون المعاصرون أن الأزمة الحالية في الفيزياء(*) ستحلها مراجعة تفاصيل الأنواع العامة للنظريات الاحتمالية الحالية. ما هو مشترك بين الفيزيائيين الكلاسيكيين والفيزيائيين المعاصرين هو الميل إلى افتراض

(*) سنقدم مزيدًا من الشرح لهذه الأزمة في الفصل الرابع.

الطابع المطلق والنهائي للسمات العامة للنظرية الأساسية التي تصادف أنها متاحة في الوقت الذي يعملون فيه. وهكذا، فإن التفسير المعتاد للنظرية الكمومية يمثِّل -بإدراكٍ أو حدسٍ معين- استمرارًا طبيعيًّا إلى حدٍّ ما للموقف الميكانيكي للفيزيائيين الكلاسيكيين، بعد تعديله بشكلٍ مناسبٍ لمراعاة حقيقة أن النظرية الأساسية المتاحة الآن هي نظرية احتمالية في الشكل، وليست حتمية.

* * *

الفصل الرابع

تفسير بديل للنظرية الكمومية

١. مقدمة

في الفصل السابق، رأينا أن التفسير الاعتيادي للنظرية الكمومية يتطلَّب منَّا التخلي عن مفاهيم السببية والاستمرارية والواقع الموضوعي للجسيمات الدقيقة بشكلٍ فردي فيما يتعلق بنطاق الميكانيكا الكمومية. وبدلًا من ذلك يسوقنا ذلك إلى وجهة النظر القائلة بأن الفيزياء مقيدة بطبيعتها ولا مفرَّ منها، في هذا النطاق وما دونه، إلى التلاعب بالرموز الرياضية وفقًا لتقنيات مناسبة تسمح -بشكل عام - بحساب السلوك المحتمل للظواهر التي يمكن ملاحظتها في نطاق الرؤية بالعين فقط. استندت هذه التغييرات بعيدة المدى في بنية المفهوم للفيزياء إلى افتراض أن بعض السمات للصياغة الحالية للنظرية الكمومية، مثل: مبدأ اللا حتمية وظهور مجموعة مميزة من أنماط السلوك الزوجي «التكاملية» المتعارضة (على سبيل المثال، أشباه الموجة أشباه الجسيمات)، هي السمات المطلقة والنهائية لقوانين الطبيعة، التي ستستمر في التطبيق، دون تناقضٍ ومن دون تقريب، في كل مجال سيكون موضوعًا للدراسة والبحث الفيزيائي.

في القسم الثامن من الفصل السابق، أوضحنا أنه ليس من الضروري القيام بهذا الافتراض، وأن مثل هذا الافتراض يشكِّل بالفعل قيدًا دوجمائيًّا جازمًا على الأشكال المحتملة للنظريات المستقبلية. ومع ذلك، في الفصل الحالي، سنذهب إلى أبعد من ذلك ونرسم بالفعل الخطوط العريضة العامة لبعض النظريات المحددة التي تسمح لنا بتفسير الميكانيكا الكمومية بطريقة جديدة. تسمح هذه النظريات بتمثيل تأثيرات الميكانيكا الكمومية على أنها ناشئة عن طبقة فرعية حقيقية موضوعية للحركة المستمرة، موجودة على مستوى أدنى، وتفي بالقوانين الجديدة التي من شأنها أن تؤدي إلى تلك الخاصة بالنظرية الكمومية الحالية كتقديراتٍ تقريبية جيدة فقط فيما نسميه مستوى الميكانيكا الكمومية.

النظريات الجديدة تخدم غرضين رئيسيين، أولًا وقبل كل شيء، تساعد على وضع انتقاداتٍ للتفسير المعتاد للميكانيكا الكمومية الواردة في الفصل الثالث في شكلٍ أكثر تحديدًا. من خلال تقديم مثال ملموس للنظريات التي يمكن بناؤها من وجهات نظر أخرى، فإنها تقدم دليلًا على إمكانية إثبات خطأ الانطباع السائد حتى الآن بأنه لم يكن لدينا خيارٌ سوى تبني التفسير المعتاد لأنه كان يُعتقد أن أي تفسيرٍ آخر لا يمكن تخيله. ثانيًا، وربما الأهم من ذلك، قد تكون هذه النظريات بمثابة نقاط انطلاق مفيدة في الأبحاث التي تهدف إلى فهم النطاقات الجديدة للظواهر التي لم تُفهَم جيدًا بعد.

فيما يتعلق بالنقطة الثانية المذكورة أعلاه، دعونا نتذكر أنه توجد الآن أزمة في الفيزياء، ناشئة عن عدم كفاية النظريات الحالية

في معالجة الظواهر التي تنطوي على طاقاتٍ عالية جدًّا ومسافات قصيرة جدًّا (في حدود 10^{-13} سم أو أقل). بطبيعة الحال، يدرك مؤيدو التفسير المعتاد للنظرية الكمومية هذه الأزمة تمامًا. ومع ذلك، كما أشرنا في الفصل الثالث، القسم الرابع، فإن استنتاجهم العام كان أن نجاح النظريات الاحتمالية لنوع الميكانيكا الكومية الحالية يشير إلى أنه في النطاق التالي، من المحتمل جدًّا أن يتم توجيهنا إلى النظريات التي هي -إن وجدت- احتمالية أكثر من تلك الموجودة في المجال الكمومي الحالي. إن دراسة المشكلة بمزيدٍ من الدقة تظهر أن هذا الاستنتاج ليس له وزنٌ كبيرٌ. وهكذا، على سبيل المثال، يمكن لفيزيائيي القرن التاسع عشر أن يزعموا أن النجاح المتواصل للقوانين الحتمية للآلية الكلاسيكية في ثلاثة قرون من التطبيقات كان مؤشرًا قويًّا للغاية على أن التقدم في مجالاتٍ جديدة من المرجح جدًّا أن يؤدي إلى قوانين كانت أكثر حتمية من تلك الموجودة بالفعل. (في الواقع، كان العديد من الفيزيائيين في ذلك الوقت يأملون في أن يتم في النهاية استنتاج قوانين الميكانيكا الإحصائية الكلاسيكية بشكلٍ كاملٍ ومثالي على أساسٍ حتميٍّ) وهكذا، يبدو أن التجربة التاريخية تعلمنا ألا نقوم باستقراء بسيطٍ للاتجاهات السابقة، عندما نصل إلى السؤال عن الدرجة التي ستظهر بها قوانين النطاقات الجديدة سواء بسماتٍ إحصائية أو محددة بدقة. بدلًا من ذلك، يبدو من الواضح أنه لا ينبغي لنا أن نقرر هذا السؤال مسبقًا، ولكن بدلًا من ذلك، يجب أن نكون مستعدين لتجربة أنواعٍ مختلفة من القوانين ومعرفة النوع الذي يسمح بأكبر قدرٍ من التقدم في فهم النطاقات الجديدة.

بهذه الروح الموصوفة أعلاه فقط نرغب في النظر إلى النظريات التي نوقشت في هذا الفصل. نحن لا نعتبرها قوانين مطلقة ونهائية نضعها كاعتباراتٍ مسبقة، أو حتى نظريات نهائية للمستوى التالي يجب معالجتها في الفيزياء. بل إننا نعتبرها مقترحاتٍ مؤقتة بحتة نبدأ بها ونأمل المضي قدمًا من خلالها. في الواقع، كما سنرى، لقد أُحرِز قدرٌ كبيرٌ من التقدم منذ أن تمَّت صياغة مقترحات من هذا النوع لأول مرة، وخضعت النظريات، كما هو متوقع في العمل العلمي العادي في أي مجال، إلى عملية إثراء مستمرة وتنقيح. نأمل أن تؤدي هذه العملية في النهاية إلى نظرياتٍ متفوقة تختلف نوعيًّا عن تلك التي كانت بمثابة نقاط انطلاق، ولكن ربما ترتبط بها بنفس المعنى الذي يرتبط به الشخص الناضج بطفولته.

٢. الاعتبارات العامة للمستوى الفرعي من الميكانيكا الكمومية

قبل المضي قدمًا في النظر بالتفصيل في بعض النظريات المحددة التي أشرنا إليها في القسم الأول، سنضع أولًا عددًا من النقاط العامة المتعلقة بالمستوى الفرعي للميكانيكا الكمومية، التي يمكن مناقشتها من دون مساعدة من مثل هذه النظريات المحددة.

نلاحظ أولًا أنه إذا تبنَّينا فرضية المستوى الفرعي للميكانيكا الكمومية الذي يحتوي على متغيراتٍ خفية، عندئذٍ، كما هو موضح في الفصل الثالث، القسم الثالث، فإننا نُدفع إلى اعتبار الطابع الإحصائي للنظرية الكمومية الحالية ناشئًا عن تقلبات عشوائية لأنواعٍ جديدة من الكيانات أو الجسيمات الموجودة في المستوى الأدنى. إذا أخذنا في

الاعتبار فقط تلك الكيانات التي يمكن تعريفها على مستوى الميكانيكا الكمومية وحده، فستخضع هذه الكيانات إلى عدم تحديد حقيقي في حركاتها، لأن العوامل المحددة المهمة (أي المتغيرات الخفية) لا يمكن ببساطة تحديدها في هذا المستوى. ومن ثم، كما هو الحال في التفسير المعتاد للنظرية الكمومية، فإننا نعتبر اللا حتمية التي ينطوي عليها مبدأ هايزنبرج ضرورة موضوعية وليس مجرد نتيجة لنقصٍ بسيطٍ في المعرفة من جانبنا فيما يتعلق ببعض الحالات الافتراضية «الحقيقية» للمتغيرات على مستوى الميكانيكا الكمومية. وبالتالي، ليس وجود اللا حتمية والحاجة إلى نظرية إحصائية هو ما يميز وجهة نظرنا الحالية عن وجهة نظرنا الاعتيادية. لهذه الميزات أمور مشتركة بين وجهتي النظر. لكن يتمثَّل الاختلاف الرئيسي في أننا نعتبر هذا النوع الخاص من اللا حتمية والحاجة إلى هذا النوع من المعالجة الإحصائية شيئًا موجودًا فقط في سياق مستوى الميكانيكا الكمومية، بحيث يمكننا من خلال توسيع السياق، تقليل اللا حتمية تحت الحدود التي أقرَّها مبدأ هايزنبرج.

لتجاوز الحدود التي وضعها مبدأ هايزنبرج، سيكون من الضروري استخدام أنواعٍ جديدة من العمليات الفيزيائية التي تعتمد بشكلٍ كبيرٍ على تفاصيل ما يحدث في المستوى الفرعي للميكانيكا الكمومية. كما سنرى لاحقًا، هناك سببٌ للاعتقاد بأن مثل هذه العمليات ربما يمكن العثور عليها في مجال طاقات عالية جدًّا وبمسافات قصيرة جدًّا. رغم ذلك فمن الواضح أنه في أي عملية يمكن معالجتها بدرجة

كافية من التقريب بواسطة قوانين النظرية الكمومية الحالية، لا يمكن للكيانات الموجودة في المستوى الأدنى أن تلعب فيها أي دورٍ مهمٍّ للغاية. يمكن الحصول على معلومات قليلة جدًّا عن هذه الكيانات من خلال رصد نتائج هذا النوع من العمليات. في مثل هذا الرصد، سينطبق مبدأ هايزنبرج على درجة عالية جدًّا من التقريب كحدٍّ صحيحٍ على مدى جودة تحديد حالة النظام المادي الفردي، بينما من الواضح، إذا رصدنا النظام بمساعدة العمليات الفيزيائية الحسَّاسة للحالات الدقيقة للمتغيرات الخفية، فإن هذا القيد لن يكون قابلًا للتطبيق.

لتوضيح ما يعنيه مبدأ اللا حتمية بمزيدٍ من التفصيل من حيث المستوى الفرعي للميكانيكا الكمومية، سيكون من المفيد العودة هنا إلى تشبيه الحركة البراونية، الذي تناولناه بالفعل في الفصل الثالث، القسم الثالث.

كما رأينا، تخضع حركة جسيم الدخان لتقلبات عشوائية، تنشأ عن تصادمات مع الذرات الموجودة على مستوى أدنى. نتيجة لهذه الاصطدامات، لا يمكن تحديد حركاتها بالكامل من خلال أي متغيرات (مثل تموضع وسرعة الجسيم) الموجودة على مستوى الحركة البراونية نفسها. في الواقع، فإن نقص التحديد ليس فقط مماثلًا بشكلٍ نوعي لتلك التي حصلنا عليها في النظرية الكمومية ولكن كما أوضح فورث Furth (1)(*) يمتد القياس حتى إلى الشكل الكمومي لعلاقات اللا حتمية. وبالتالي، إذا لاحظنا جسيم دخان متحركًا خلال فترة زمنية

(*) تشير الأرقام المرجعية إلى قائمة المراجع في نهاية هذا الفصل.

قصيرة، t، فسنجد تقلبات عشوائية في الحجم ΔX في التموضع المتوسط، والحجم Δ P، في متوسط القوة الدافعة، والتي تتبع العلاقة الرياضية التالية(†):

$$\Delta P \Delta X \geq C$$

حيث C ثابت يعتمد على درجة حرارة الغاز، وكذلك على خصائص أخرى مثل اللزوجة. إذا رجع القارئ إلى الفصل الثالث، القسم الرابع، فسوف يرى أن شكل هذه العلاقة الرياضية هي نفسها تمامًا قانون هايزنبرج، باستثناء أن ثابت بلانك، h، قد استبدل بالثابت C، والذي يعتمد على حالة الغاز.

ومع ذلك، هناك إحالة مهمة لا يكتمل من خلالها التناظر بين الحركة البراونية والنظرية الكمومية. ينشأ هذا الاختلاف أساسًا في حقيقة أن C ليس ثابتًا كونيًّا بعكس h. نتيجة لذلك، من حيث المبدأ على الأقل، سنكون قادرين على تغيير الظروف بشكلٍ مناسبٍ لجعل C صغيرة بشكلٍ عشوائيٍّ (على سبيل المثال عن طريق خفض درجة الحرارة) وبالتالي تقليل اللا حتمية إلى ما دون أي قيمة مرغوبة. من ناحية أخرى، لا يعتمد الثابت، h، على الظروف بأي طريقة معروفة، لذا فإن علاقات هايزنبرج تعني -بقدر إمكاناتنا على التحديد- لا حتمية

(†) في الأساس، تأتي هذه العلاقة من الصيغة $(\Delta x)^2 = a\Delta t$ لمتوسط مربع المسافة التي يتحركها الجسيم في حركاته العشوائية خلال الزمن Δt. هكذا يصبح لدينا الصيغة الرياضية التالية $\left[\left(\frac{\Delta x^2}{\Delta t}\right)\right]^{\frac{1}{2}} = a^{\frac{1}{2}}(\Delta t)^{\frac{1}{2}}$، التي تعبر عن مربع تقلبات القوة الدافعة (بافتراض أن متوسط السرعة يساوي صفرًا وذلك لتبسيط الصيغة الرياضية)

إذن بالتعويض عن $\Delta X = [\overline{(\Delta x)^2}]^{\frac{1}{2}}$ يصبح لدينا $\Delta X \Delta P = ma = C$

كونية، على الأقل ضمن مجال الميكانيكا الكمومية. هذا يعني أنه بينما يمكننا من خلال اختيارٍ مناسبٍ للظروف بناء جهاز (مثل الميكروسكوب) لا يتأثَّر بشكلٍ كبيرٍ بنوع الحركة البراونية التي نرغب في رصدها، لا يمكننا الحصول على نتيجة مماثلة فيما يتعلق باللا حتمية في الميكانيكا الكمومية. لتحسين القياس، يجب علينا بالتالي أن نفترض أننا في المجال الكمومي مقيدون فعليًّا باستخدام جهاز يخضع هو نفسه للحركة البراونية إلى حدٍّ يمكن مقارنته مع تلك التي تمر بها الأنظمة الدقيقة التي نحاول مراقبتها. ومع ذلك، إذا تذكرنا أنه من وجهة نظرنا، فإن كل المادة في جميع مظاهرها المعروفة تخضع باستمرارٍ لتقلباتٍ تنشأ في المستوى الفرعي للميكانيكا الكمومية، يمكننا أن نرى أن الامتداد أعلاه للتماثل له ما يبرره. بالنظر إلى أن هذه التقلبات الإحصائية موجودة في كل مكان مع نفس الخصائص بشكل أساسي، فإننا نستنتج أن الطابع العام والموحد للقيود التي ينطوي عليها مبدأ هايزنبرج في النطاق الكمومي لن يكون نتيجة غير متوقعة لافتراضاتنا.

للتغلب على هذه القيود، يجب علينا الاستفادة من خصائص المادة التي اعتمدت بشكلٍ كبيرٍ على المستوى الفرعي للميكانيكا الكمومية. تتمثَّل إحدى طرق القيام بذلك في إجراء الرصد بمساعدة العمليات التي تصبح سريعة جدًّا مقارنة بتقلبات المستوى الفرعي للميكانيكا الكمومية، بحيث ينتهي القياس بالكامل قبل أن تغير هذه التقلبات الأشياء كثيرًا (تمامًا مثل تصوير كائن يتحرك بسرعة، نحتاج إلى كاميرا سريعة جدًّا). من المرجح أن نحصل على مثل هذه العمليات السريعة

في نطاق الطاقة العالية لأنه تبعًا لعلاقة أينشتاين، E = hv، الطاقة العالية، E، تعني عملية عالية التردد v.

أخيرًا، يعمل تشبيه الحركة البراونية أيضًا على إبراز أسلوبين مختلفين من أساليب التقيد التي قد تظهر فيها اللا حتمية الناشئة عن تقلبات عشوائية للمستوى الفرعي من الميكانيكا الكمومية. دعونا نفترض ذلك، ليس الحركة البراونية لجزيئات الدخان، بل حركة قطرات الضباب الدقيقة جدًّا. من الواضح أن هناك نوعًا من اللا حتمية في حركة هذه القطرات لا يمكن إزالته إلا من خلال الانتقال إلى سياقٍ أوسع، بما في ذلك جزيئات الهواء التي تُضرب بها هذه القطيرات باستمرارٍ. ومع ذلك، يظل صحيحًا في حركاتها البراونية غير المنتظمة، أن تحتفظ القطرات بوضعها المميز في الوجود كأجسامٍ مائية صغيرة جدًّا. من ناحية أخرى، عندما نقترب من درجة الحرارة الحرجة وضغط الغاز(*) يظهر سلوكٌ جديدٌ؛ لأن القطرات الدقيقة تبدأ في أن تصبح غير مستقرة. تدخل المادة بعد ذلك مرحلة تتشكَّل فيها القطرات وتذوب باستمرارٍ، ونتيجة لذلك، تصبح المادة براقة.

لدينا هنا نوعٌ جديدٌ من التقلبات الإحصائية، التي تؤدي إلى اللا حتمية في نمط وجود المادة ذاته (أي بين وجودها في شكل قطرات وفي شكل غاز متجانس).

(*) تحدد درجة الحرارة والضغط الحرجتان النقطة التي يختفي عندها التمييز بين الغاز والسائل. أعلى من هذه النقطة لا يوجد انتقالٌ نوعي حادٌّ بين السائل والغاز، بينما يمكن أن يحدث مثل هذا التحول أسفل منها. إذا قمنا بتسخين سائل محصور في حاوية قوية فوق النقطة الحرجة، يختفي الحد الذي يفصل بين المراحل الغازية والسائلة، مما يدل على وجود مرحلة واحدة فقط، والتي يمكن اعتبارها غازًا شديد الكثافة.

وبالمثل، من الممكن أن يكون نمط وجود الإلكترون في النهاية لا حتميًّا، عندما نكون قد فهمنا الطابع التفصيلي للتقلبات الكمومية. في الواقع، حقيقة أن الإلكترون يُظهر ازدواجية (جسيم/ موجة) في سلوكه تشير إلى أن هذا النوع الثاني من اللا حتمية سيتضح أنه النوع المناسب؛ لأنه في حالة وجود هذا النوع من اللا حتمية، فإنه سيؤدي إلى مفهوم الإلكترون ككيانٍ يتأرجح باستمرارٍ من سلوك يشبه الموجة إلى سلوكٍ يشبه الجسيمات، وبالتالي لديه القدرة على إظهار كلا من نمطي السلوك، ومع ذلك، سيتأكد كلٌّ منهما بشكلٍ مختلفٍ في أنواع البيئة المختلفة التي توفر له، على سبيل المثال، من خلال ترتيبات مختلفة لأجهزة المختبر.

بالطبع، ليس لدينا طريقة في الوقت الحالي لتحديد أي من هذه التفسيرات لمبدأ اللا حتمية هو التفسير الصحيح. لن يكون مثل هذا القرار ممكنًا إلا عندما نكون قد وجدنا نظرية مناسبة يمكنها التعامل مع مستوى أدنى من النظرية الكمومية. وفي الوقت نفسه، من المهم وضع كلا الاحتمالين في الاعتبار. في العمل اللاحق، سنناقش أمثلة لكلا النوعين من النظريات.

٣.استعراض تاريخي موجز لمقترحات التفسيرات البديلة للنظرية الكمومية

من المهم أن نلاحظ أن الخطوات الأولى نحو تفسيرٍ بديلٍ للنظرية الكمومية قد بدأت منذ نحو ثلاثين عامًا من قبل دي برولي (2) وماديلونج Madelung (3) في نفس الوقت تقريبًا الذي ظهر فيه التفسير الاعتيادي في شكله النهائي الحالي. ومع ذلك، لم تُنفَّذ أي من هاتين الخطوتين بما يكفي لإثبات إمكانية المعالجة المتسقة لجميع الجوانب الأساسية

للنظرية الكمومية. في الواقع، تعرَّض تفسير دي برولي لانتقادات شديدة من قِبَل بعض مؤيدي التفسير الاعتيادي (4). ونتيجة لهذه الانتقادات من جهة ومن جهة أخرى كنتيجة للانتقادات الإضافية التي وجهها إلى نفسه، تخلَّى دي برولي عن مقترحاته لفترة طويلة.. (5)

بعد أن تلاشت هذه الجهود، لم يبدأ الميل المنهجي إلى التشكيك في التفسير الاعتيادي للنظرية الكمومية في التطور على نطاقٍ ملموسٍ حتى عام 1950. من بين أكثر الجهود الحاسمة السابقة في هذا الاتجاه جهود بلوخينزيف وتيرليتسكي Blokhinzhev and Terletzky (6). أوضح هؤلاء الفيزيائيون أنه ليس من الضروري تبني تفسير بور وهايزنبرج، وأظهروا أنه بدلًا من ذلك، يمكننا النظر باستمرارٍ إلى النظرية الكمومية الحالية على أنها معالجة إحصائية في الأساس، ستستكمل في النهاية بنظرية أكثر تفصيلًا تسمح بمعالجة شبه كاملة لسلوك النظام الفردي. ومع ذلك، لم يقترحوا في الواقع أي نظريات أو نماذج محددة لمعالجة الأنظمة الفردية. ثم في عام 1951، كنتيجة جزئية لتحفيز المناقشات مع الدكتور أينشتاين، بدأ المؤلف في البحث عن مثل هذا النموذج وبالفعل بعد ذلك بوقتٍ قصيرٍ (7) وجدا تفسيرًا سببيًّا بسيطًا للميكانيكا الكمومية والذي -كما تعلم لاحقًا- كان قد اقترحه بالفعل دي برولي في عام 1927. وفي غضون ذلك، نفذت النظرية إلى حدٍّ بعيدٍ بحيث إن الاعتراضات الأساسية التي كانت قد أثيرت ضد اقتراحات دي برولي قد أمكن الرد عليها. حدث ذلك بشكلٍ أساسي بمساعدة نظرية القياسات (8) التي أظهرت أن التفسير الجديد كان متسقًا مع جميع الخصائص الأساسية للنظرية الكمومية. كنتيجة

جزئية لهذا العمل، وجزئيًّا كنتيجة لاقتراحاتٍ إضافية قدَّمها فيجي Vigier (9)، عاد دي برولي (5) بعد ذلك إلى مقترحاته الأصلية، حيث شعر الآن أن عليه الرد على الاعتراضات الحاسمة.

في هذه المرحلة، كما هو موضح في القسم الأول، لم يكن الغرض الرئيسي للمؤلف هو اقتراح نظرية جديدة نهائية، بل بالأحرى إظهار- بمساعدة مثال ملموس- أن التفسيرات البديلة للنظرية الكمومية كانت في الواقع ممكنة. في الواقع، كانت النظرية في شكلها الأصلي، على الرغم من أنها متسقة تمامًا بطريقة منطقية، لها العديد من الجوانب التي بدت مصطنعة تمامًا وغير مرضية. نقطة انطلاق مفيدة لمزيدٍ من التطورات، التي كان من المأمول تعديلها وإثراؤها بما يكفي لإزالة هذه الصفات غير المرضية. هذه التطورات، التي حدثت بالفعل (12 ،11)، على الأقل جزئيًّا، والتي لا تزال جارية، سنناقشها بمزيدٍ من التفصيل في القسم الخامس. وفي الوقت نفسه، لقد بُذِل عددٌ من الجهود المستقلة إلى حدٍّ كبيرٍ في نفس الاتجاه العام من قبل فيجي (9)، تاكابياسي Takabayasi(13)، فيني Fenyes (14)، فايزل Weizel (15) وغيرهم الكثير. على الرغم من عدم تمكن أي من الجهود المذكورة أعلاه من تجنب بعض أنواع الميزات المصطنعة أو غير المرضية تمامًا، فإن كلًّا منها يقدم أفكارًا جديدة تستحق مزيدًا من الدراسة. من الواضح إذن أنه حتى لو لم يؤدِ أي من التفسيرات البديلة للنظرية الكمومية التي اقترحت حتى الآن إلى نظرية جديدة يمكن اعتبارها نهائية، فإن الجهد المبذول لإيجاد مثل هذه النظريات أصبح مع ذلك موضوعًا للبحث. من جانب المزيد والمزيد من الفيزيائيين، الذين على ما يبدو أصبحوا

غير راضين تمامًا عن الاستمرار في البحث الذي يمكن الوصول إليه في إطار التفسير الاعتيادي.

٤. مثال واضح لتفسير بديل للنظرية الكمومية

في هذا القسم، سوف نرسم بطريقة نوعية مثالًا محددًا لتفسيرٍ بديلٍ للنظرية الكمومية. هذا المثال ليس هو النموذج الأصلي الذي اقترحه المؤلف، ولكنه يحتوي بالفعل على عددٍ من التعديلات والميزات الجديدة، التي تهدف إلى إزالة بعض الجوانب غير المرضية للمقترحات السابقة.

نبدأ بالتذكير أنه في نطاق الميكانيكا الكمومية، المادة قادرة –في ظل ظروفٍ مختلفة– على إظهار سلوك يشبه الموجة أو الجسيم، بحيث يقدم هذا إثباتًا على أن مفهوم الموجة ومفهوم الجسيمات هما نفسهما، غير قادرين على التعامل مع الثراء الكامل للخصائص التي تظهرها المادة في هذا النطاق. الآن، الفكرة الأولى والأبسط التي تقترح نفسها في مواجهة هذه المشكلة هي أنه ربما تنشأ الصعوبة من حقيقة أنه في النظريات الموجودة سابقًا، تدلنا إلى احتمالين فقط، وهما: احتمال الموجة النقية واحتمال الجسيم النقي. يمكن اعتبار هذين الاحتمالين على أنهما متنافيان. من ناحية أخرى، من الواضح أنه في أي عملية معينة، يمكن أن تكون الموجة والجسيم موجودين معًا في نوعٍ من الترابط. بالطبع، لا يشكل هذا الاقتراح إثراءً كبيرًا جدًّا للمفاهيم التي كانت مستخدمة حتى الآن، ولكن كما سنرى، فإنه قادرٌ بالفعل على تمثيل الخصائص الأساسية للمادة في النطاق الكمومي.

نقوم الآن بصياغة وجهة النظر هذه بمزيدٍ من التفصيل. نفترض

أولًا أن المرتبط بكل من الجسيمات «الأساسية» في الفيزياء (مثل الإلكترون) هو جسم موجود في منطقة صغيرة من الفراغ. سنناقش الحجم المحتمل لهذه المنطقة لاحقًا، لكن في الوقت الحاضر نفترض فقط أنها أصغر من حجم الذرة، وهي في الواقع صغيرة جدًّا لدرجة أنه في معظم التطبيقات على المستوى الذري يمكن تقريب الجسم كنقطة رياضية (تمامًا كما في الأشكال الأولى للنظرية الذرية، كنَّا قادرين لعدة أغراضٍ على اعتبار الذرَّات كنقاطٍ بشكلٍ تقريبي).

الخطوة التالية هي افتراض وجود موجة مرتبطة بهذا الجسم، والتي من دونها لا يمكن العثور على الجسم أبدًا. يُفترض أن تكون هذه الموجة تذبذبًا في نوعٍ جديدٍ من المجال، الذي يمكن تمثيله رياضيًّا بواسطة المجال ψ لشرودنجر. بعبارة أخرى، لم نعد نفترض أن دالة شرودنجر الموجية مجرد رمزٍ رياضي مناسب للتلاعب به من أجل حساب احتمالات معينة، ولكنها أصبحت تمثل مجالًا حقيقيًّا موضوعيًّا إلى حدٍّ ما مثل الجاذبية والكهرومغناطيسية، ولكن لديها بعض الخصائص الجديدة الخاصة بها. بدلًا من أن تتبع معادلات ماكسويل أو معادلات مجال الجاذبية، سيتبع هذا المجال معادلة شرودنجر، التي توفر -كما في حالة المجالات الأخرى- معادلة تفاضلية جزئية تحدد التغييرات المستقبلية للمجال من حيث قيمته عند كل النقاط في الفضاء في لحظة معينة من الزمن(*).

(*) المجال ψ يتكوَّن من عددٍ مركبٍ، لكن هذا لا يخلق صعوبة حقيقية، حيث يمكننا دائمًا كتابته كـ $U + iV$ حيث تكون U وV أعدادًا حقيقة. وبالتالي، فإن الدالة ψ هي مجرد طريقة مختصرة للحديث عن حقلين حقيقيين مترابطين (للمزيد انظر: D.Bohm, Quantum Theory, Chapter III).

نفترض الآن أن المجال والجسم مترابطان بمعنى أن المجال يمارس نوعًا جديدًا من القوة للـ«الميكانيكا الكمومية» على الجسم، وهي القوة التي تبدأ في إظهار نفسها بقوة في النطاق الذري، بحيث يمكننا أن نفهم سبب عدم ظهورها سابقًا في دراسة النطاق الأوسع. نفترض أيضًا أن الجسم قد يمارس تأثيرًا متبادلًا على المجال، لكن هذا التأثير المتبادل صغيرٌ بما يكفي بحيث يمكن إهماله في نطاق الميكانيكا الكمومية، على الرغم من أنه –كما سنرى لاحقًا– من المحتمل أن يكون مهمًّا في النطاق الفرعي للميكانيكا الكمومية.

فيما يتعلق بالخصائص الدقيقة لقوة «الميكانيكا الكمومية» التي يمارسها المجال على الجسم، فإن هذا ليس مهمًّا جدًّا على مستوى النظرية التي نعمل بها، لأن مجموعة كبيرة جدًّا من أنواع القوى يمكن أن تؤدي بشكلٍ أساسي إلى نفس النتائج. كل ما هو مهم بالنسبة إلى الحاضر هو افتراض أن القوة تنتج ميلًا لسحب الجسم إلى مناطق تكون فيها $|\psi|$ ذات قيمة أكبر(†).

إذا كان الاتجاه أعلاه هو كل ما كان موجودًا، فسيجد الجسم نفسه في النهاية في المكان الذي يكون فيه المجال ψ أعلى كثافة. نفترض

(†) لاحظ أن «القوة الكمومية» في هذا النموذج تختلف تمامًا عمَّا كانت عليه في بعض النماذج السابقة، التي نوقشت في المراجع (7) و(8). في هذه النماذج السابقة، افترض أن هذه القوة مشتقة من «فرق الجهد الكمومي» quantum- potential: $\hbar 2\Delta 2R/2mR$ حيث $\psi=Re18/\hbar$ وحيث R و S هما أعداد حقيقية. هنا لا حاجة إلى مثل هذا الافتراض المحدد. يتميز النموذج الحالي بأنه أبسط من ناحية المفهوم من بعض النماذج السابقة. علاوة على ذلك، كما سنرى في القسم السادس، فهو أقرب إلى ما تقترحه الجهود المبذولة باستخدام النظرية النسبية واللف المغزلي للإلكترون.

الآن كذلك أن هذا الاتجاه يقاومه حركات عشوائية يمر بها الجسم، وهي حركات مماثلة للحركة البراونية. من الواضح أن هذه الحركات العشوائية يمكن أن يكون لها العديد من المصادر. مثلًا يمكن أن تسبِّبها تقلبات عشوائية في المجال نفسه. في الواقع، لقد كان من سمات جميع المجالات الأخرى المعروفة حتى الآن أن الحلول النموذجية لمعادلات المجال تمثِّل فقط بشكل عام نوعًا ما من متوسط الحركة. على سبيل المثال، لا تتذبذب المجالات الكهرومغناطيسية الحقيقية بطريقة بسيطة ومنتظمة، ولكنها بشكلٍ عامٍّ لها تقلبات معقدة وغير منتظمة (على سبيل المثال، تلك التي تمثل الإشعاع الحراري الذي تسببه الذرات على جدران حاوية، إلخ). وبالمثل، فإن المجالات الهيدروديناميكية hydrodynamic fields (حركة الموائع)، التي تمثل توزيعات السرعة والكثافة للسوائل أو الموائع الحقيقية، تظهر بشكلٍ عامٍّ تقلبات مضطربة، حول متوسط يتبع أنواعًا معينة من المعادلات الهيدروديناميكية المبسطة. ومن ثم، من المعقول أن نفترض أن المجال ψ يمر بتقلب عشوائي حول المتوسط الذي يفي بمعادلة شرودنجر وأن هذه التقلبات تتصل بالجسم. ثم تمثل تفاصيل هذه التقلبات خصائص المجال المرتبط بالمستوى الفرعي للميكانيكا الكمومية، حيث نتعامل مع مستوى الميكانيكا الكمومية من خلال جزء المتوسط الإحصائي الذي يتبع معادلة شرودنجر. من ناحية أخرى، يمكن للأجسام الحصول على حركة عشوائية على المستوى الفرعي للميكانيكا الكمومية بطرقٍ أخرى، على سبيل المثال، كما في الحركة البراونية العادية، عن طريق

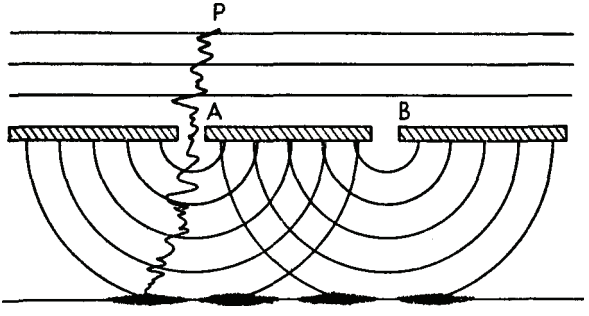
التفاعل المباشر مع أنواعٍ جديدة من الكيانات الموجودة في هذا المستوى الأدنى. في الواقع، في المرحلة الحالية من النظرية، ليست ذات صلة من أين تأتي هذه التقلبات. كل ما هو مهم هنا هو افتراض وجودها ورؤية آثارها. يمكن بعد ذلك طرح مسألة أصلها بشكلٍ مناسبٍ فقط من خلال دراسة المستوى الفرعي للميكانيكا الكمومية.

بمجرد الاعتراف بوجود هذه التقلبات، نرى بعد ذلك أنها ستنتج ميلًا لهذا الجسم للتحرك بطريقة عشوائية إلى حدٍّ ما على كامل المساحة التي يمكن الوصول إليها. لكن هذا الاتجاه تعارضه «القوة الكمومية» التي تسحب الجسم إلى الأماكن التي يكون فيها المجال ψ أكثر كثافة. ستكون النتيجة النهائية هي إنتاج توزيع متوسط في مجموعة إحصائية للأجسام، والتي تفضل المناطق التي يكون فيها المجال ψ أكثر كثافة، ولكنها لا تزال تترك فرصة لجسم نموذجي لقضاء بعض الوقت في الأماكن التي يكون فيها المجال ψ ضعيفًا نسبيًّا. في الواقع، نتحصل على سلوكٍ مشابه إلى حدٍّ ما في الحركة البراونية الكلاسيكية لجسيم في مجال الجاذبية، حيث يعارض مجال الجاذبية الحركة العشوائية التي تميل إلى حمل الجسيم إلى جميع أجزاء الحاوية، والتي تميل (أي مجال الجاذبية) إلى شدها نحو الأسفل. في هذه الحالة، يتمثَّل التأثير النهائي في إنتاج توزيع احتمالي يتبع المعادلة التالية $p = e^{mgz/xT}$ (*)، الذي يصف ميل الجسيمات إلى التركز في القاع ومع ذلك في بعض الأحيان وتحت تأثير حركاتها العشوائية تندفع إلى ارتفاعاتٍ كبيرة. في مشكلة الميكانيكا الكمومية، يمكننا –عن

(*) حيث m كتلة الجسيم، z ارتفاعه، T هي درجة حرارة الوسط، g ثابت الجاذبية، x ثابت بولتزمان.

طريق معالجة تُعطى في مكان آخر(†) أنه مع الافتراضات المعقولة فيزيائيًّا المتعلقة بالقوة الكمومية والحركات العشوائية القادمة من المستوى الفرعي للميكانيكا للكمومية- أن نحصل على توزيع احتمالات بورن $P = |\psi|^2$.

ما معنى هذه النتيجة؟ هذا يعني أنه بدلًا من البدء من توزيع بورن الاحتمالي كخاصية مطلقة ونهائية وغير قابلة للتفسير للمادة، فقد أظهرنا كيف يمكن أن تخرج هذه الخاصية من حركات عشوائية تنشأ في المستوى الفرعي من الميكانيكا الكمومية.



الشكل السادس - 1

تظهر المعالجة الأكثر تفصيلًا (التي تظهر في المراجع (7) و(8) و(11)) أن النتيجة أعلاه كافية لتؤدي إلى تفسيرٍ يتوافق مع جميع النتائج الأساسية للنظرية الكمومية. هنا سوف نوضح طريقة واحدة فقط يحدث بها ذلك، وهي تفسير ازدواجية الموجة-الجسيم. للقيام بذلك،

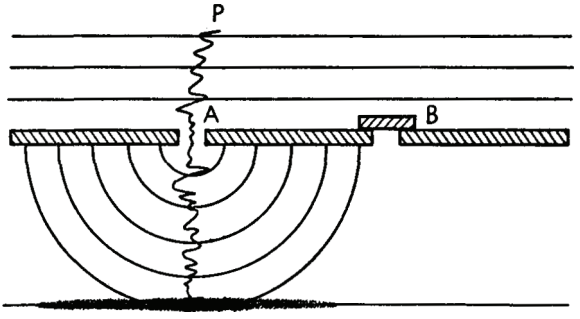
(†) يرجى مطالعة المرجع 11.

سنفترض تجربة يرسل فيها الإلكترونات بشكلٍ منفصلٍ ومستقلٍّ عموديًّا على نظام يحتوي على شقين، كما هو موضح في الشكل السادس- 1. يُفترض أن يكون لكل إلكترون في البداية نفس القوة الدافعة، وبالتالي نفس الدالة الموجية(*)، التي تتخذ في الواقع شكل موجة مستوية بشكلٍ عمودي على نظام الشق. سوف تنحرف هذه الموجات من خلال نظام الشق كما هو موضح في الشكل، وسنحصل على نمطٍ من الشدة العالية والمنخفضة على شاشات الكشف خلف الحائل المشقوق، تمامًا كما في حالة الكوانتات الضوئية، التي ناقشناها في الفصل الثالث.

لكن الجسيم الصغير المرتبط بالإلكترون يخضع لحركة عشوائية. وبالتالي، فإنه يتبع مسارًا غير منتظمٍ يبدأ من النقطة P، كما هو مبين في الشكل السادس- 1. ثم يصل كل إلكترون إلى الشاشة عند نقطة معينة. بعد مرور عددٍ كبيرٍ من الإلكترونات عبر النظام المشقوق، سنحصل على نمطٍ إحصائي لهذه النقاط، حيث تتناسب كثافة الإلكترونات مع شدة المجال $|\psi|^2$ ، على الشاشة. إن الميل الإحصائي إلى الظهور حيث يكون $|\psi|^2$ هو الأكبر ويرجع ذلك إلى تأثيرات «القوة الكمومية» بينما تشرح الحركات العشوائية سبب تقلب النقاط الدقيقة التي تظهر عندها الجسيمات المختلفة بطريقة غير منتظمة.

(*) هذا يتبع من علاقة دي برولي، $p = h/\lambda$؛ بالنسبة إلى مجالات شرودنجر لجميع الإلكترونات سوف تأخذ نفس العلاقة الرياضية، $e^{ipz/\hbar}$، بالطبع، يجب أن تتكون جميع الموجات من حزمٍ، ولكن في هذه الحالة، تكون الحزمة أكبر بكثيرٍ من الشقوق بحيث يمكننا تقريبها كموجة مستوية لا نهائية. للمزيد على سبيل المثال طالع:

D.Bohm, Quantum Theory, Chapter 3.



الشكل السادس- 2

لنفترض الآن أننا أغلقنا الشق «B». كما هو موضح في الشكل السادس- 2 سيتوقف نمط الموجة الآن عن إنتاج أنماط الخطوط القوية/ الضعيفة. وبالتالي، نحصل على نمطٍ جديدٍ من الإلكترونات على الشاشة. ومن ثم، فإن إغلاق الشق B يؤثِّر حتى في الجسيمات التي تمر عبر الشق A، لأنه يؤثِّر في «القوة الكمومية» التي يتأثَّر بها الجسيم في أثناء تحركه بين نظام الشق والشاشة.

بهذه الطريقة، يمكننا أن نفهم كيف تنشأ ثنائية الموجة-الجسيم. من ناحية أخرى، في التفسير الاعتيادي، مثل هذا الفهم غير ممكن. كل ما يمكننا فعله هو قبول حقيقة أن الإلكترونات تدخل نظام الشق، وتظهر على الشاشة بنمط تداخلٍ دون مزيدٍ من المناقشة. أما عن كيفية حدوث ذلك، فلا يمكن حتى طرح مثل هذا السؤال في إطار التفسير الاعتيادي. وبالتالي، وفقًا لمبدأ المكاملة الموضح في الفصل الثالث، القسم السابع، قد نستخدم نموذج الموجة لمناقشة كيفية تحكم نظام

الشق في نمط التداخل الإحصائي، وقد نستخدم نموذج الجسيمات لمناقشة حقيقة تلقي نقاط فردية على الشاشة وليس التوزيع المستمر للمادة. ولكن لا يُفترض أن تكون هناك فكرة شاملة يمكن أن تسمح لنا حتى بالنظر في مسألة كيف يمكن لنظامٍ واحدٍ للمادة يُفهم على أنه يتبع -شيئًا ما- من حيث المبدأ مسار حركة محددًا بدقة ولا لبس فيه (أي فريدًا)، يمكن أن يؤدي إلى نمط التداخل الإحصائي وظهور سلسلة من النقاط المنفصلة على الشاشة.. ولكن، كما رأينا هنا، تحققت هذه النتيجة من خلال الوسيلة البسيطة المتمثلة في اعتبار أن الإلكترون هو مزيج من الجسيم والمجال، مترابط ويخضع لتقلبات عشوائية مناسبة في حركاته.

أخيرًا، دعنا نلاحظ أنه في نموذجنا لم نصر على نظرية سببية بحتة، لأننا استخدمنا أيضًا افتراض التقلبات العشوائية الناشئة عند مستوى أعمق. ومع ذلك، فإن النقطة الأساسية هنا هي أن قوانين المستوى الفرعي للميكانيكا الكمومية، السببي والإحصائي، تختلف نوعيًّا عن تلك الخاصة بالمستوى الكمومي، وتؤدي إلى تلك الخاصة بالمستوى الأخير فقط كتقريب. وبالتالي، لا يوجد سببٌ يجعل معادلة شرودنجر لها أي صلة وجوبية على المستوى الأدنى، حيث افترضنا أن هذه المعادلة هي متوسط مرتبط فقط بالمستوى الأعلى. في الواقع، قد يكون المجال $\mathbf{v}$ نفسه مجرد متوسط لأنواعٍ جديدة من المتغيرات التي تحددت عند المستوى الأدنى.

ومن الممكن أيضًا أن التقريب هنا ينهار حينما نهمل فيه الفعل

المتبادل للجسم على المجال. علاوة على ذلك، من الواضح تمامًا أن التقريب الذي نعتبر فيه الجسم كنقطة (وبالتالي نهمل بنيته الداخلية) يجب أن ينهار في العمليات التي تحدث عند المستوى الأدنى.

بشكلٍ عامٍّ، إذن، نرى أنه قد تفتحت مجموعة هائلة من الاحتمالات لأنواعٍ جديدة من النظريات، مما أدى إلى النظرية الحالية في النطاق الكمومي كتقريبٍ جيدٍ، وإلى أنواعٍ مختلفة للغاية من النظريات في نطاقاتٍ جديدة. لا يمكن النظر في هذه الاحتمالات إذا حافظنا على افتراض الصلاحية المطلقة والنهائية لمبدأ اللا حتمية، ومعه التفسير الاعتيادي للنظرية الكمومية. وكما سنرى لاحقًا، هناك سببٌ وجيه لافتراض أن بعض هذه الاحتمالات من المحتمل أن تكون مفيدة في معالجة النطاقات الجديدة للظواهر المرتبطة بالطاقات العالية جدًّا والمسافات القصيرة جدًّا.

٥. انتقادات التفسير الجديد المقترح للنظرية الكمومية

سنناقش الآن عددًا من الانتقادات المهمة لتفسير النظرية الكمومية التي قدمناها في القسم الرابع.

أولًا، يجب الإشارة إلى أنه -كما أوردناه حتى الآن- لا تأخذ النظرية في الاعتبار بعض المشكلات المهمة مثل تلك التي يثيرها اللف المغزلي للإلكترون ونظرية النسبية. في حين أنه من الصحيح أن معادلة شرودنجر، التي تتجاهل اللف المغزلي والنسبية، هي إلى حدٍّ ما تقريبٌ جيدٌ، فهي ليست كافية سواء في نطاق الطاقات العالية جدًّا أو حتى في المعالجة الدقيقة جدًّا في نطاق الطاقة المنخفضة.. نظرًا إلى أن

هدفنا الصريح هو تطبيق التفسير الجديد في نطاق الطاقات العالية، فمن الواضح أنه من الضروري أن نواصل النظر في اللف المغزلي والنسبية. سيتطلَّب ذلك أن نتعامل مع معادلة ديراك، التي تأخذ في الاعتبار تأثيرات هذه الخصائص العامة.

ثانيًا، حتى في نطاق الطاقات المنخفضة، تواجهنا مشكلة خطيرة عندما نوسع النظرية الواردة في القسم الرابع إلى معالجة أكثر من إلكترون واحد. تنشأ هذه الصعوبة في الظروف التي لا تصف معادلة شرودنجر (وكذلك معادلة ديراك) موجة في الفضاء ثلاثي الأبعاد العادي، ولكنها بدلًا من ذلك تصف موجة في فراغٍ ثلاثي الأبعاد مجرد، عندما يكون N هو عدد الجسيمات(*). بينما يمكن توسيع نظريتنا بطريقة متسقة منطقيًّا عن طريق إدخال مفهوم الموجة في فراغٍ أبعاده 3N(†)، من الواضح أن هذا الإجراء غير مقبولٍ حقًّا في النظرية الفيزيائية، وأقل ما يمكن هو يمكن اعتباره حيلة نستخدمها مؤقتًا حتى نحصل على نظرية أفضل يمكن من خلالها التعبير عن كل شيء مرة أخرى في الفراغ العادي ثلاثي الأبعاد.

أخيرًا، نموذجنا الذي يُنظر فيه إلى الموجة والجسيم ككياناتٍ مختلفة أساسًا تتفاعل بطريقة ليست ضرورية لأنماط وجودها، لا يبدو

(*) فكرة الفضاء أو الفراغ ذو أبعاد 3N مفهوم رياضي بحتٌ. يمكن وصف نقطة في الفضاء ثلاثي الأبعاد باستخدام ثلاثة أرقام، وهي إحداثياتها الثلاثة. يمكننا بطريقة رياضية بحتة تعميم هذه الفكرة. وهكذا، باستخدام أربعة أرقام يمكننا وصف إحداثيات نقطة في فضاء رباعي الأبعاد، وباستخدام N من هذه الأرقام، يمكننا وصف إحداثيات في فضاء ذي أبعاد N.

(†) قدمت هذه الفكرة من خلال المراجع 7 و8.

قابلًا للإقناع. حقيقة أن الموجة والجسيم لم يعثر عليهما بشكلٍ منفصلٍ تشير إلى أنهما جانبان مختلفان من نوعٍ جديدٍ جوهري من الكيانات الذي من المحتمل أن يكون مختلفًا تمامًا عن الموجة البسيطة أو الجسيم البسيط، ولكن الأمر الذي يؤدي إلى هذين المظهرين المحددين هو شيء على سبيل التقريبات الصالحة في ظل الظروف المناسبة.

ومع ذلك، يجب التأكيد على أن هذه الانتقادات لا توجه بأي حالٍ من الأحوال إلى الاتساق المنطقي للنموذج، أو إلى قدرته على شرح الخصائص الأساسية للنطاق الكمومي. بدلًا من ذلك، فهي تستند إلى معايير واسعة، مما يشير إلى أن العديد من سمات النموذج غير قابلة للتصديق، وبشكلٍ أكثر عمومية، إن التفسير المقترح في القسم الرابع ليس عميقًا بالقدر الكافي. وبالتالي، فإن ما يبدو هو أن هذا التفسير تخطيطي إلى حدٍّ ما ويبسط ما هو في الأساس عملية معقدة للغاية من خلال تمثيلها من حيث مفاهيم الموجات والجسيمات في التفاعل.

٦. مزيد من التطورات في النظرية

سننظر الآن في عددٍ من التعديلات وإثراء النظرية، التي تهدف إلى حل المشكلات التي تثيرها الانتقادات التي نوقشت في القسم الخامس.

نبدأ بالنظر في مشكلة اللف المغزلي. كانت خطوتنا الأولى هنا هي محاولة توسيع النظرية لتشمل معادلة باولي، التي تأخذ اللف المغزلي في الاعتبار، لكنها لا تزال تهمل تأثيرات النسبية، بحيث تكون جيدة فقط عند السرعات المنخفضة مقارنةً بالضوء.

للتعامل مع هذه المشكلة توجهنا بالتفكير في العديد من الأفكار الجديدة نسبيًّا. خطوتنا الجديدة الأولى هي التوقف عن تقريب الجسم المتصل بالإلكترون كنقطة رياضية. إن أبسط طريقة للحركة يمكن أن يمتلكها جسمٌ بحجمٍ غير صفري (بالنسبة إلى ذلك الذي تمتلكه نقطة) هو الدوران حول مركز كتلته. في الواقع، كما هو موضح في أي نص أولي عن الميكانيكا، إذا اعتبرنا مثل هذا الجسم جامدًا تمامًا، فيمكن وصف حركاته الداخلية تمامًا من حيث ثلاث زوايا (زوايا أويلر) التي تحدد اتجاهه في الفراغ [Euler angles هي ثلاث زوايا لوصف جسم صلب (الجسم الذي لا تتغير الأبعاد النسبية بين نقاطه بتقدم الزمن) في الفضاء الإقليدي ثلاثي الأبعاد]. بالطبع، لا يمكن لأي جسم حقيقي أن يكون جامدًا أو صلبًا rigid تمامًا، لكن قد نفترض أن الجسم الذي يتعين علينا التعامل معه صارمٌ وصلدٌ بدرجة كافية حتى نتمكن من تجاهل آثار ضعف صلابته، على الأقل فيما يتعلق بمستوى اهتماماتنا. ثم يفسر اللف المغزلي للإلكترون من حيث دوران هذا الجسم، مما يؤدي إلى نشوء قوة دافعة زاوية «حقيقية»، أعلى وفوق تلك الناتجة عن حركته المدارية.

على أساس هذا النموذج الأكثر شمولًا، يمكننا بعد ذلك الوصول إلى تفسيرٍ كاملٍ ومتسقٍ لمعادلة باولي. لا نرغب هنا في الدخول في تفاصيلها، التي قدمت في مكان آخر، (12) ولكن يجب أن نشير فقط إلى أن التعامل مع اللف المغزلي للإلكترون كان كافيًا لتوسيع النظرية، التي كانت طبيعية ومنطقية تمامًا من خلال مراعاة حقيقة أن الكيانات التي ندرسها ليست نقاطًا.

كانت الخطوة التالية هي توسيع هذه النظرية إلى معادلة ديراك، وبالتالي أخذ النسبية في الاعتبار(*). لن نناقش تفاصيل هذه النظرية هنا، لأنها تقنية بحتة. من الجدير بالذكر أن شيئًا جديدًا أنتجه هذا النموذج، لأننا نجد الآن أن هذا النموذج يسمح للمجال ψ بالتذبذب بعدة طرق مختلفة. في إحدى هذه الطرق، تتبع معادلة ديراك، ولكن كما في حالة نموذج معادلة شرودنجر التي ناقشناها في القسم الرابع، فإنه يفعل ذلك فقط في التقريب المطبق على التذبذبات الصغيرة للمجال حول خلفية متقلبة عشوائيًّا متوسطها يقترب من الصفر. ولكن بعد ذلك يمكن أن تتأرجح بطريقة تتبع دالة معادلة المجال لماكسويل، التي كما رأينا في الفصل الثاني القسم السادس، هي المعادلات التي تحقق المجال الكهرومغناطيسي. علاوة على ذلك، وجد أنه في التقريب الأعلى، يقترن هذان التذبذبان، بالطريقة الصحيحة (أي بالطريقة التي وجد أنها ضرورية في النظريات الحالية لتؤدي إلى علاجات صحيحة للعلاقة بين الإلكترون والمجالات الكهرومغناطيسية). وبالتالي، نحن قادرون من نظرية واحدة على الحصول على معالجة موحدة لنوعين من المجالات، والتي افترضت في السابق بشكلٍ منفصلٍ، جنبًا إلى جنبٍ مع اقترانهما. علاوة على ذلك، فإن النظرية غنية بما يكفي بحيث يمكن أن تؤدي إلى المزيد من أنماط التذبذب، وسنرى في القسم الثامن أن هذه قد تكون مهمة فيما يتعلق بأنواعٍ جديدة من الجسيمات، مثل الميزونات التي توجد في طاقة عالية جدًّا العمليات.

(*) تم الانتهاء من هذا العمل مؤخرًا فقط وسيُنشر لاحقًا.

فيما يتعلق بالنقد الثاني المذكور في القسم الخامس وهو الحاجة إلى إدخال مجالات في فراغٍ متعدد الأبعاد من أجل معالجة مشكلة الأجسام المتعددة، فإن العمل الجاري الآن قد قطع شوطًا طويلًا نحو الإشارة إلى حلٍّ ممكن لـهذه الصعوبة(†). يعتمد هذا العمل على نقطة انطلاق، وهي ليست استخدام معادلة شرودنجر لأجسامٍ متعددة، والتي يمكن تعريفها في فراغٍ متعدد الأبعاد، بل على ما يسمى بنظرية المجال «الكمومي الثاني» "second-quantized" field theory والتي يتم تحديد كمياتها الأساسية في فراغٍ من ثلاثة أبعاد. ينظر معظم الفيزيائيين النظريين إلى هذه النظرية بشكلٍ عام على أنها أفضل وأهم صياغة موجودة للنظرية الكمومية نفسها.

في هذه النظرية، تكون نقطة البداية هي افتراض أن الكيانات الأساسية هي مجالات، مثل الكهرومغناطيسية، والإلكترونية، والميزونية، إلخ. تُعتبر هذه المجالات أنظمة ميكانيكية تخضع للقوانين العامة للنظرية الكمومية، تشير هذه القوانين إلى عددٍ من الخصائص المهمة للمجالات، وهي:

(1) حتى في الفراغ، تخضع المجالات لتقلباتٍ عشوائية عنيفة وسريعة للغاية، ومع ذلك، فإن هذه التقلبات تعمل كخلفية موحدة لا يمكن رصدها مباشرة على مستوى الرؤية بالعين المجردة، لأنها في المتوسط تنتج تأثيرًا ضئيلًا في هذا المستوى.

(2) علاوة على هذه التقلبات العشوائية، توجد تذبذباتٌ منهجية

(†) اقترح دي برولي وفيجي اتجاهًا آخر يمكن من خلاله البحث عن حل لهذه المشكلة، انظر المرجع (5) و (9).

صغيرة نسبيًّا. لا تُلغى هذه التذبذبات على مستوى الرؤية بالعين المجردة، ولكنها تضاف لتنتج تأثيراتٍ تراكمية يمكن اكتشافها هناك. إن الأمر كما هو شائع في المستويات الأعلى هو نتيجة هذه التذبذبات المنتظمة. وبالتالي، فإن وجود إلكترون في منطقة معينة من الفراغ يعني في هذه النظرية أن يكون لديك في هذه المنطقة تذبذبٌ منهجي ولكن موضعي، مسؤول عن جميع المظاهر التي تحدد خصائص الإلكترون هنا (الشحنة، الكتلة، القوة الدافعة، القوة الدافعة الزاوية، إلخ).

(3) تشير قوانين النظرية الكمومية إلى أن بعض خصائص المجال ستكون منفصلة (مثل الشحنة والكتلة والطاقة والقوة الدافعة والقوة الدافعة الزاوية). هذا التحفظ مسؤول عن خصائص المجال الشبيهة بالجسيمات.

في التفسير الاعتيادي، تشبه نظرية المجال الكمومي جميع الأشكال الأخرى للنظرية الكمومية، ولا تعتبر أكثر من مجرد وسيلة لمعالجة الرموز الرياضية للحصول على إجابات صحيحة لبعض النتائج التجريبية. وبالتالي، فإن الخصائص الموصوفة أعلاه لا تؤخذ على محمل الجد، وتعتبر بالفعل في أفضل الأحوال طرقًا ملائمة للحديث عن هذه التلاعبات الرياضية. من ناحية أخرى، نحن نعتمد هنا وجهة نظر نفترض فيها أن العمليات المجهرية تحدث بالفعل، وأن هدفنا هو فهم كيفية حدوث ذلك. وبالتالي، فإننا قادرون على محاولة تطوير النموذج الموصوف أعلاه بشكل أكبر، وهو ما اقترحته نظرية المجال الكمومي بشدة.

في هذا الصدد، من المثير للاهتمام أن نموذجنا لمعادلة ديراك، الذي حصلنا عليه على أساسٍ مختلفٍ نوعًا ما، يحتوي على العديد من الميزات المشابهة لتلك التي اقترحتها نظرية المجال الكمومي الثاني. في الواقع، إن الجمع بين النموذجين يقودنا إلى نظرية جديدة، حيث تظهر كل من معادلة ديراك ونظرية المجال الكمومي الثاني كتقريبين فقط على مستوى الميكانيكا الكمومية، ولكن ليس في المستوى الفرعي للميكانيكا الكمومية.. لم يكن من الممكن حتى الآن العمل على الآثار الكاملة لهذه النظرية، ولكن هناك بالفعل الكثير من الأدلة لصالح الصورة العامة التالية، أي أن المجال يعمل كموجة، ومع ذلك (بسبب المصطلحات غير الخطية في المعادلات) تظهر ميلًا إلى إنتاج تركيزات منفصلة وشبيهة بالجسيمات للطاقة، والشحنة، والقوة الدافعة والكتلة، إلخ. وهكذا، فإننا ننتقل إلى وجهة نظر تشبه تلك المقترحة في القسم الثاني فيما يتعلق بالحركة البراونية لقطرات الضباب بالقرب من النقطة الحرجة، أي أن التركيزات الشبيهة بالجسيمات تتشكَّل وتتحلَّل دائمًا. بالطبع، إذا ذاب جسيمٌ في مكانٍ معين، فمن المحتمل جدًّا أن يتشكَّل في مكانٍ قريبٍ. وهكذا، على المستوى الكبير، يظل المظهر الشبيه بالجسيم في منطقة صغيرة من الفراغ، يتبع مسارًا محددًا جيدًا، إلخ. من ناحية أخرى، عند المستوى الأدنى، لا يتحرك الجسيم بشكلٍ دائمٍ ككيانٍ قائمٍ، ولكنه يتشكَّل بطريقة عشوائية بتركيزاتٍ مناسبة لطاقة المجال.

علاوة على ذلك، من الواضح أن استكمال هذا النموذج لن يجيب فقط عن الانتقاد الثاني في القسم الخامس، ولكن أيضًا عن الانتقاد

الثالث، لأنه في هذه الحالة، ستنشأ جوانب المادة والجسيم من حركات نوع أكثر تعقيدًا من الكيان الموجود على مستوى أدنى ولن يتم افتراضه ببساطة ككياناتٍ منفصلة ولكن متفاعلة.

من الواضح إذن أنه في حين أننا لم ننتج بعد نظرية نهائية عن المستوى الفرعي للميكانيكا الكمومية من شأنها أن تؤدي إلى جميع خصائص النظرية الكمومية الحالية بطريقة طبيعية كتقريبٍ ثابتٍ عند مستوى معين، فعلى الأقل لدينا عدة أسطر من البحث في هذا الاتجاه، لذا فإن احتمالات تحقيق مثل هذه النظرية ليست بعيدة بأي حالٍ من الأحوال.

٧. الأزمة الحالية في الفيزياء على المستوى المجهري

سنناقش الآن بإيجاز الأزمة الحالية في الفيزياء المجهرية، من أجل وضع أساس لشرح بعض مزايا وجهة النظر تجاه النظرية الكمومية التي طورناها في هذا الفصل.

دعونا أولًا نناقش الجوانب النظرية لهذه الأزمة(*). عندما نطبق النظرية الكمومية الحالية على الديناميكا الكهربية للجسيمات «الأولية» (مثل الإلكترونات والبروتونات، إلخ)، يبدو أن التناقضات الداخلية تبدأ في الظهور داخل النظرية. ترتبط هذه التناقضات بالتنبؤ بقيمٍ غير محدودة لخصائص فيزيائية مختلفة، مثل كتلة وشحنة الإلكترون. تنشأ كل هذه اللا نهائيات من استقراء النظرية الحالية لمسافاتٍ صغيرة بشكلٍ

(*) هذه المشكلة في تفاصيلها معقَّدة للغاية، ولا يمكن مناقشتها من دون الاستعانة بمعالجة رياضية مطولة ومعقدة. لذلك سنقدم هنا فقط ملخصًا نوعيًّا للجوانب الأساسية للمشكلة.

غير محدودٍ. من بين الأشياء التي تجعل مثل هذا الاستقراء ضروريًّا، من أهمها الافتراض الذي يبدو أنه جزءٌ جوهري من النظريات الحالية القائلة بأن الجسيمات «الأولية»، مثل الإلكترونات، هي نقاط رياضية بمعنى أنها لا تشغل حيزًا من الفراغ على الإطلاق. من ناحية أخرى، على الرغم من سنوات عديدة من البحث النشط من جانب الفيزيائيين النظريين في جميع أنحاء العالم، لم يُعثَر على طريقة لدمجه باستمرارٍ في النظرية الكمومية الحالية بافتراض أن الإلكترون يشغل مساحة محدودة من الفراغ(*). على الرغم من أنه قد قدم اقتراحًا أن اللا نهائيات ربما تأتي من أسلوبٍ غير مناسبٍ لحل المعادلات (أي نظرية التغاير perturbation theory)، فإن الجهود المستمرة لتحسين هذه التقنية لم تسفر بعد عن أي نتائج إيجابية، وبالفعل تلك النتائج التي أمكن الحصول عليها تفضل الاستنتاج أن الأسلوب الرياضي في الأساس ليس هو المسؤول عن الخطأ، لكن النظرية نفسها ليست متسقة منطقيًّا.

في إطار النظرية الحالية، لا يزال من الممكن حساب العديد من النتائج، وهي تلك التي لا تعتمد بشكلٍ حاسمٍ على الحجم المفترض للجسيم. قبل بضع سنوات، تحققت نجاحاتٌ جديدة مهمة في هذا الاتجاه عن طريق تومانجا Tomanaga (16) وشفانجر Schwinger (17) وفاينمان Feyman (18)، مع توقع بعض التفاصيل الدقيقة جدًّا لطيف غاز الهيدروجين، وكذلك مع التجارب التي تقيس العزم المغناطيسي للإلكترون. على الرغم من أن هذه النتائج

(*) تنشأ معظم الصعوبات فيما يتعلق بجعل مثل هذا الافتراض منسجمًا مع نظرية النسبية.

مثيرة للإعجاب، باعتبارها أمثلة لحساباتٍ معقدة للغاية أدَّت إلى تنبؤات تجريبية صحيحة، فإنها تلقي القليل من الضوء على مشكلة اللا نهايات التي تُعَد واحدة من أهم مظاهر الأزمة الحالية في الفيزياء. من أجل فحصٍ دقيقٍ لهذه الحسابات يظهر أنها لا تعتمد بشكلٍ كبيرٍ على ما يحدث على مسافاتٍ أقصر بكثيرٍ من طول موجة كومبتون للإلكترون Compton wave-length (نحو 3×10^{-11} سم) ، بينما الاعتبارات الأخرى التي سنناقشها تقترح حاليًّا أن فشل النظريات الحالية يجب أن يصبح مهمًّا أولًا عند نحو 10^{-13} سم. يشكل اتفاق هذه الحسابات مع التجربة بعد ذلك تحققًا ممتازًا وإثباتًا صحيحًا للنظرية الكمومية الحالية في النطاق الذي تقترح فيه جميع المؤشرات الأخرى أنه يجب أن تكون صحيحة. ومع ذلك، فقد أصبح من الواضح أيضًا أنه نظرًا إلى أن هذا النوع من التجارب غير حساسٍ للغاية لتفاصيل ما يحدث في مجال المسافات القصيرة جدًّا، فإنه لا يوفر أداة واعدة للدراسة في هذا النطاق.

من ناحية أخرى، أدَّت التجارب التي أجريت على جسيماتٍ ذات طاقة عالية جدًّا (بترتيب 100 مليون إلكترون فولت أو أكثر) إلى مجموعة محيرة من الظواهر الجديدة لا يوجد علاجٌ مناسبٌ لها في النظرية الحالية، لأنه كما أشرنا في الفصول السابقة، نكتشف أن ما يسمى بـ «الجسيمات الأولية» في الفيزياء، مثل البروتونات والنيوترونات، يمكن الآن أن يتحوَّل بعضها إلى بعض. علاوة على ذلك، اكتشفت العديد من الجسيمات الجديدة، مثل البوزيترون، والنيوترينو، وقرابة عشرة أنواعٍ مختلفة من «الميزونات» وأنواع عديدة جديدة من الجسيمات تُسمَّى

الهايبرونات hyperons. يبدو أنه لا يوجد حدٌّ مرئي لعملية اكتشاف جسيمات جديدة في الأفق حتى الآن. ومعظم هذه الجسيمات الجديدة غير مستقرة، ولديها القدرة على تحول بعضها إلى بعض، و«التحلل» في النهاية إلى نيوترونات، وإلكترونات، وبروتونات. إلى جانب ذلك، يمكن «تكوينها» جميعًا في تصادماتٍ نشطة لجزيئاتٍ أخرى مع الأنوية الذرية. علاوة على ذلك، يشير تحليل أكثر دقة للبيانات إلى أن هذه الخصائص الجديدة للمادة تصبح مهمة فقط عندما تقترب الجسيمات من مسافة 10^{-13} سم أو أقل. ومن ثَمَّ، في التجارب التي أُجريت على المستوى الذري، عمليًّا لا يوجد أي مؤشر على أن هذه الخصائص الجديدة يمكن العثور عليها.

من الواضح إذن أن المخطط بأكمله الذي من خلاله يُنظر إلى الكون على أنه مكونٌ من أنواعٍ معينة من «الجسيمات الأولية» قد أظهر عدم كفاءته، وأن هناك حاجة إلى مفهومٍ مختلفٍ تمامًا هنا. وهكذا، عندما اكتشف عدم استقرار وتحول مماثل للذرات في التحولات الإشعاعية قبل نصف قرن، سرعان ما أصبح واضحًا أن «العناصر» الكيميائية لم تكن أولية حقًّا، فهي تتكوَّن في الواقع -كما اكتشف لاحقًا- من البروتونات والإلكترونات والنيوترونات. وبالمثل، يبدو من المعقول أن نستنتج أنه في نطاق تجارب الطاقة العالية جدًّا، فإننا نزعج الجسيمات «الأولية» التي نعرفها حتى الآن بدرجة كافية بحيث تبدأ بنيتها الفعلية في الظهور. وفقًا للاعتبارات التي ناقشناها سابقًا، يجب أن يكون حجم هذه البنية في حدود 10^{-18} سم.

من السهل أن نرى أن هناك أسبابًا قوية لافتراض وجود صلة بين مشكلة بنية الجسيمات «الأولية» ومشكلة اللا نهايات التي تنبَّأت بها النظريات الحالية. لأنه إذا كان للجسيمات بنية، فهذا يعني أنها تشغل حيزًا ما. وإذا احتلَّت مساحة من الفراغ فلن تكون نقاطًا رياضية، حتى لا تكون هناك فرصة لظهور هذه اللا نهايات. ما هي البنية الداخلية لهذه الجسيمات بالضبط هذا ما لا نعرفه حتى الآن، ولكن معرفة ذلك هو مشكلتنا الآن. من الواضح أنه يجب أن يكون شيئًا جديدًا بالنسبة إلى ما نعرفه حتى الآن، في القسم التالي سنناقش المؤشرات الموجودة الآن بخصوص طبيعة هذه البنية.

٨. مزايا التفسير الجديد للنظرية الكمومية في توجيه البحث في النطاقات الجديدة

سنناقش الآن بعض المزايا الرئيسية للتفسير الجديد المقترح للنظرية الكمومية عن التفسير الاعتيادي في توجيه البحث الهادف إلى حل هذه الأزمة.

أولًا، دعنا نتذكر أن إحدى المشكلات الرئيسية التي نواجهها الآن في هذا المجال وهي مشكلة إنشاء بنية جسيم «أولي»، واكتشاف أنواع الحركات التي تحدث داخل هذه البنية، وهي حركات من شأنها أن تساعد على تفسير «تكوين» و«تدمير» أنواعٍ مختلفة من الجسيمات، وتحوُّل بعضها إلى بعض. في التفسير المعتاد للنظرية الكمومية، من الصعب للغاية النظر في هذه المشكلة. إن الإصرار على عدم السماح بتصور ما يحدث على هذا المستوى يعني أن يقتصر دور الباحث على

إجراء تلاعباتٍ رياضية عمياء على أمل أن يؤدي أحد هذه التلاعبات بطريقة ما إلى نظرية جديدة وصحيحة.

ثانيًا، يتضمن التفسير الاعتيادي للنظرية الكمومية مخططًا رياضيًّا وفيزيائيًّا عامًّا معينًا لا يبدو أنه ينسجم جيدًا مع فكرة أن للمادة أنواعًا جديدة من الخصائص المرتبطة بالبنية الداخلية للجسيمات «الأولية». هذا المخطط العام، الذي ذكرناه بالفعل في الفصل الثالث، القسم التاسع، هو المخطط الذي يتضمن معادلاتٍ خطية بحتة للدالة الموجية في فراغ التكوين، «الأشياء القابلة للرصد» التي أمكن الحصول عليها من المؤثرات الرياضية الخطية، تفسير احتمالي بحت لدالة الموجة، إلخ. إذا اعتمدنا هذا المخطط، فإن الاحتمالات الرياضية الوحيدة التي تُركت مفتوحة يبدو أنها تعديل الإصدارات الحالية من النظرية الكمومية، عن طريق تعديل المعادلات بطريقة ما لقطع الإسهامات من مسافاتٍ قصيرة والتي تؤدي إلى اللا نهايات. على مدار العشرين عامًا الماضية، كُرِّس قدرٌ كبيرٌ من البحث المكثَّف لمحاولات القيام بذلك بطرقٍ مختلفة (عن طريق عمليات القطع، والمؤثرات الرياضية للمسافات المحدودة، ومصفوفات التشتت S-matrices، إلخ)، ولكن لم تظهر أي من هذه الجهود حتى الآن أيَّ وعدٍ يؤدي إلى نظرية متسقة. استرشدت هذه المحاولات بشكلٍ عامٍّ بالتوقعات الشائعة، كما رأينا في القسم الأول، من قبل علماء الفيزياء النظرية الحديثة، أن سلوك الأشياء في النظريات المستقبلية سيكون أقل دقة في التحديد مما هو ممكن في النظريات الحالية. بالطبع، لا يمكن إثبات أن هذه التوقعات

خاطئة بالتأكيد. لكن فشل العدد الكبير من الجهود التي بُذلت بالفعل في هذا الاتجاه يشير إلى أنه قد يكون من المفيد تجربة خطوطٍ أخرى للنهج، لا سيما بالنظر إلى أن التقييد على خط النهج المقبول حاليًّا لا يمكن تبريره بأي حالٍ من الأحوال بأي دليلٍ تجريبي أو نظري تقدمه الفيزياء نفسها.

من ناحية أخرى، عندما نهاجم هذه المشكلات في إطار التفسير الجديد للنظرية الكمومية، تتفتح عددٌ كبيرٌ من الاحتمالات الجديدة المثيرة للاهتمام. أولًا، يسهل العمل إلى حدٍّ كبيرٍ من خلال حقيقة أنه يمكننا تخيل ما يحدث، بحيث يمكن دفعنا إلى أفكار جديدة ليس فقط من خلال البحث مباشرة عن معادلات جديدة، ولكن أيضًا من خلال إجراءٍ متعلقٍ بالتفكير من حيث المفاهيم والنماذج التي ستساعد على اقتراح معادلاتٍ جديدة، التي من غير المرجح أن تقترحها الطرق الرياضية وحدها. ومع ذلك، فإن الأهم من ذلك هو حقيقة أنه من حيث مفهوم المستوى الفرعي للميكانيكا الكمومية، يمكننا النظر في مجموعة كاملة من الأنواع الجديدة نوعيًّا من النظريات، مع الاقتراب من الشكل المعتاد للنظرية الكمومية فقط كتقريباتٍ تتحقق في حالاتٍ محدودة.

علاوة على ذلك، هناك عددٌ من الأسباب التي تشير إلى أن الميزات الجديدة لمثل هذه النظريات من المحتمل أن تكون ذات صلة بمعالجة العمليات التي تنطوي على طاقاتٍ عالية جدًّا ومسافاتٍ قصيرة جدًّا، بعض هذه الأسباب هي:

(1) إذا كان هناك مستوى فرعي للميكانيكا الكمومية، إذن، كما

رأينا في القسم الثاني، قد تكون العمليات ذات الطاقة العالية جدًّا والتردد العالي جدًّا أسرع من العمليات التي تجري في المستوى الأدنى، في مثل هذه الحالات، ستصبح تفاصيل المستوى الأدنى مهمة، وستنهار الصيغة الحالية للنظرية الكمومية.

على سبيل المثال، من وجهة نظرنا، فإن «تكوين» جسيم مثل الميزون، يُنظر إليه على أنه عملية محددة جيدًا تحدث في المستوى الفرعي للميكانيكا الكمومية. في هذه العملية تتركز طاقة المجال في منطقة معينة من الفراغ بكمياتٍ منفصلة، في حين أن «تدمير» الجسيم هو مجرد عملية عكسية، حيث تتشتت الطاقة وتأخذ شكلًا آخر. في النطاق الكمومي، التفاصيل الدقيقة لهذه العملية ليست مهمة، وبالتالي يمكن تجاهلها. هذا هو في الواقع ما يحدث في النظرية الكمومية الحالية التي تناقش «إنشاء» و«تدمير» الجسيمات على أنها مجرد نوعٍ من «الفرقعة» popping داخل وخارج الوجود بطريقة لا يُفترض ببساطة أن تخضع لمزيدٍ من الوصف(*). ومع ذلك، مع عمليات الطاقة العالية السريعة جدًّا، قد تعتمد النتائج بشكلٍ جيدٍ على هذه التفاصيل، وإذا كان يجب أن يكون هذا هو الحال، فإن النظرية الكمومية الحالية لن تكون كافية لمعالجة مثل هذه العمليات.

(2) كما رأينا في القسم السابق، تؤدي معالجة كمومية ديراك في نظريتنا إلى إمكانية وصف العديد من أنواع المجالات المختلفة من

(*) يتم ذلك رياضيًّا بمساعدة ما يُسمَّى بالمؤثرات الرياضية للإنشاء والتدمير، الذين يصفون ظهور نوعٍ معين من الجسيمات في حالة معينة من خلال البيان المجرد بأن عدد هذه الجسيمات قد زاد بمقدار وحدة، بينما يوصف زوالها بالقول إن هذا العدد قد تناقص بمقدار وحدة.

حيث أنماط الاهتزاز المختلفة لحقلٍ أساسي واحدٍ. علاوة على ذلك، في العمليات النشطة للغاية، فإن التقريب الذي ينخفض إلى الشكل المعتاد للنظرية الكمومية سوف ينهار. هذه الحقيقة سيكون لها عواقب مرغوبة أخرى تتمثَّل في أنه يمكن التخلص من اللا نهايات المميزة للنظرية الكمومية الحالية. لأنه في نظريتنا يمكن ملاحظة أنه في المعالجة الدقيقة، لا يمكن أن تصبح النتائج غير محدودة. وبالتالي، فإننا قادرون على تفسير اللا نهايات كنتيجة للاستقراء غير المبرر لجميع صفات النظرية الكمومية الحالية في المسافات قصيرة جدًّا والطاقات عالية جدًّا.

يمكن ملاحظة أن الافتراض بأن الشكل المعتاد للنظرية الكمومية سيستمر في الصمود في نطاق الطاقة العالية يعادل الافتراض بأنه لا يوجد مستوى فرعي للميكانيكا الكمومية، أو على الأقل، إذا كان هناك مثل هذا المستوى، فلن نصل بعد إلى نقطة تكون فيها آثاره كبيرة. من الممكن بالطبع أن يكون هذا الافتراض صحيحًا. ولكن أظهرت أدلة كافية لصالح معقولية الافتراض المعاكس بأنه لم يعُد من المبرر حصر جميع الأبحاث في الفيزياء النظرية على تلك الخطوط التي تتناسب مع استمرار التفسير الاعتيادي للنظرية الكمومية.

٩. تفسير بديل للنظرية الكمومية والفلسفة الآلية

إن النظر في التفسير البديل للميكانيكا الكمومية الذي ناقشناه في هذا الفصل يعمل على إظهار أنه عند التجريد من نظرية الفرضيات غير ذات الصلة التي لا أساس لها من الصحة المطلقة والنهائية لمبدأ اللا حتمية، يوجهنا إلى خطٍّ جديدٍ مهمٍّ للتطور، وهو يضرب جذور الفلسفة

الآلية بأكملها. لأننا نرى الآن أن هناك مستوى كاملًا تكون فيه تقلبات الصدفة جزءًا لا يتجزَّأ من نمط وجود الأشياء، بحيث يجب أن تتشابك في نسيج نظرية هذا المستوى بطريقة أساسية. وبالتالي، فقد أرشدتنا إلى اتخاذ خطوة مهمة تتجاوز المفهوم الكلاسيكي للصدفة باعتبارها مجرد تأثيراتٍ للحالات الطارئة التي تعدِّل شروط الحدود أو تقدم قوى خارجية متقلبة بشكلٍ عشوائي بطريقة لا يمكن التنبؤ بها في سياق الاهتمام، ولكنها لا تلعب دورًا أساسيًّا في صياغة القوانين الأساسية التي تنطبق في مثل هذا السياق.

ومع ذلك، كما رأينا في الفصل السابق، إذا توقفنا عند هذه النقطة يجب علينا التحول من الآلية الحتمية إلى الآلية اللا حتمية. لتجنُّب الآلية اللا حتمية، يجب أن نفترض أن تقلبات الصدفة تأتي من شيء آخر، نظرًا إلى أنه، كما أوضح هايزنبرج وبور جيدًا، لا يوجد في النطاق الكمومي أي شيء يمكن أن يبدأ هذه التقلبات، فمن الواضح أنه للعثور على أصلها يجب أن ننتقل إلى نطاقٍ جديدٍ. كما رأينا في هذا الفصل، هناك الكثير من الأدلة التي تشير إلى معقولية فكرة أنها نشأت في المستوى الفرعي من الميكانيكا الكمومية، ومع ذلك، وبغض النظر عن المقترحات المحددة التي قدمناها هنا، فإن النقطة الأساسية فيما يتعلق بمسألة الآلية هي أن التقلبات يجب أن تأتي من أنواعٍ جديدة نوعيًّا من العوامل الموجودة في نطاقٍ جديدٍ.

ضمن النطاق الجديد الموصوف أعلاه، نتوقع بطبيعة الحال أن أنواعًا جديدة من القوانين ستعمل، قد تشمل أنواعًا جديدة من القوانين

السببية بالإضافة إلى أنواعٍ جديدة من قوانين الصدفة. بالطبع، إذا كان علينا الآن افتراض أن هذه القوانين الجديدة لن تكون بالتأكيد أكثر من قوانين سببية بحتة، فسوف يعود المرء بعد ذلك إلى الآلية الحتمية، في حين أن الافتراض المماثل يقول بأنها بالتأكيد قوانين الاحتمالات مرة أخرى مما سيحملنا إلى الآلية اللا حتمية. من ناحية أخرى، لقد تجنَّبنا في المقترحات المقدمة في هذا الفصل كلا التطرفين الدوجمائيين والعشوائيين، نظرًا إلى أننا من وجهة نظرنا، كما اقتضى الموقف، هناك إمكانية وجود سماتٍ جديدة للقوانين السببية («القوة الكمومية» التي لا تظهر في مستويات أعلى) وكذلك لقوانين الصدفة (التقلبات العشوائية الناشئة في المستوى الفرعي للميكانيكا الكمومية).

بالطبع، كما أشرنا في القسم الخامس، لا نعتبر أن مقترحاتنا السابقة توفر تفسيرًا مرضيًّا ونهائيًّا تمامًا لقوانين النطاق الكمومي. بمعنى ما، السبب الأساسي هو أن المفاهيم الأساسية التي أخذناها في الاعتبار في النظرية (تفاعل الموجات والجسيمات) لا تزال على الأرجح قريبة جدًّا من تلك المطبقة في المجال الكلاسيكي لتكون مناسبة لنطاقٍ جديدٍ تمامًا مثل ذلك الذي عالجناه في النظرية الكمومية. في الواقع، فإن الجهد العام بأكمله لفهم النظرية الكمومية من حيث النماذج القريبة جدًّا من تلك الموجودة في النطاق الكلاسيكي غالبًا ما ينتقد باعتباره يخضع للفكرة الآلية. هذا النقد سيكون في الواقع صحيحًا إذا كانت النية تتوقف عند هذه النقطة. من ناحية أخرى، إذا اعتبرنا هذه النظريات شيئًا محددًا قد يكون من المفيد الانطلاق منها، فيبدو واضحًا أن مثل

هذا النقد لا ينطبق على هذه الحالة.

من المهم أن نضيف هنا أن هناك أسبابًا وجيهة تجعل النظر المؤقت في التفسيرات الآلية للنظرية الكمومية نقطة انطلاق جيدة يُرجح أن تنشأ عنها تطورات نوعية جديدة.

أولًا، يجب علينا أن نتذكر أن النظريات الآلية غالبًا ما تنطوي على خصائص نوعية جديدة، وهكذا، على سبيل المثال، عند إدخال عددٍ كبيرٍ من العناصر الآلية البسيطة في التفاعل، نحصل على أنواعٍ جديدة بشكلٍ أساسي من التأثيرات الجماعية (مثل خصائص واسعة النطاق لمجموعة من الذرات). وبالتالي، قد نتوقع أن النظر في المفاهيم الآلية القديمة في السياقات الجديدة ربما يؤدي بالفعل إلى بعض النتائج الجديدة نوعيًّا.

ثانيًا، غالبًا ما تشير الدراسة المتأنية للتناقضات ونقاط الضعف في نظرية آلية معينة إلى مفاهيم جديدة تحل هذه التناقضات أو تقضي على نقاط الضعف. وهكذا، فإن التحليل الدقيق للنظرية الآلية للإلكترونات التي أجراها لورنتز كان مفيدًا للغاية في اقتراح نظرية النسبية، التي أعطت حلًّا للعديد من الصعوبات التي أثارتها نظرية لورنتز. في القسم السادس، وصفنا الجهود المبذولة للتعامل مع بعض نقاط الضعف في تفسيرنا الأصلي، التي بالمثل تشير إلى تغييرات كبيرة بالنسبة إلى المفهوم الأصلي.

ثالثًا، للإصرار على أنه بمجرد اجتيازنا النطاق الآلي، لن يكون للمفاهيم الآلية بالتأكيد أي صلة على الإطلاق مهما كانت دوجمائية

مثل هذا الإصرار على أن هذه المفاهيم يجب أن تكون مناسبة لكل نطاقٍ ستدرس فيه على الإطلاق. أفضل إجراء هو تجربة كل نوعٍ من المفاهيم التي يمكننا التفكير فيها، ومعرفة النوع الأفضل في كل نطاقٍ معين. يوضح العمل الموصوف في هذا الفصل أن المفاهيم الآلية يمكن أن تذهب إلى أبعد مما كان يُعتقد حتى الآن أنه ممكنٌ في النطاق الكمومي.

أخيرًا، من المهم التأكيد على قيمة البدء ببعض النظريات التي تقف على قاعدة صلبة والعمل قدمًا من هناك. من دون نقطة البداية الراسخة هذه، من المرجح أن يصبح نقد النظريات الحالية عقيمًا على المدى الطويل، لأنه من الصعب للغاية لاعتباراتٍ عامة بحتة أن تقودنا إلى أفكارٍ جديدة نوعيًّا. وبالتالي، من الناحية العملية، فإن مثل هذا النقد المصحوب بعدم وجود اقتراحاتٍ جديدة ملموسة، من المرجح أن يتركنا بلا بديلٍ حقيقي سوى الاستمرار في العمل وفقًا للخطوط المعتادة، على أمل أن التطورات التجريبية الجديدة أو الرؤى النظرية الجديدة المحظوظة والرائعة ستؤدي في النهاية إلى نظرية جديدة. من ناحية أخرى، لترك التقدم المستقبلي في هذا الخط فقط للتجربة أو على أمل الحصول على صدفة، فإن الرؤى الجديدة تعني أننا نتخلَّى عن إحدى وظائف النقد المهمة، وهي المساعدة على اقتراح خطوط بحثٍ بديلة محددة من المرجح أن تؤدي إلى الاتجاه الصحيح، وكما أشرنا هنا، هناك سببٌ وجيه لافتراض أن المقترحات المحددة المشار إليها في هذا الفصل قد تكون مفيدة في تحقيق هذا الغرض.

Bibliography

قائمة مراجع الفصل الرابع

(1) R.Furth, Zeits. f. Phys., 81, 143 (1933).

(2) L.de Broglie, Compt. Rend., 183, 447 (1926); 185, 380 (1927).

(3) E.Madelung, Zeits. f. Phys., 40, 332 (1926).

(4) Reports on the Solvay Congress, Gauthier-Villars, Paris (1928), p. 280 .

(5) L.de Broglie, The Revolution in Physics, Routledge & Kegan Paul, London (1954).

(6) Uspekhi.fizich. Nauk, 45 (Oct. 1951); French translation in Questions Scientifiques, Vol. 1 (Editions de la Nouvelle Critique, Paris (1952)). See also D.J.Blokhinzhev, Grundlagen der Quantenmechanik, Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin (1953).

(7) D.Bohm, Phys. Rev., 85, 166 (1952).

(8) D.Bohm, Phys. Rev., 85, 180 (1952).

(9) Vigier's suggestions are discussed in L.de Broglie, La Physique Quantique Restera-t-elle Indeterministe,

Gauthier-Villars, Paris (1953).

(10) D.Bohm, Prog. Theor. Physics, 9, 273 (1953).

(11) D.Bohm and J.P.Vigier, Phys. Rev., 96, 208 (1954).

(12) D.Bohm, R.Schiller, and J.Tiomno, Supplemento al Nuovo Cimento, I, Serie X, 48 (1955)

(13) T.Takabayasi, Prog. Theor. Physics, 8, 143 (1952); 9, 187 (1953).

(14) I.Fenyes, Zeits.f. Physik, 132, 81 (1952).

(15) W.Weizel, Zeits f. Physik, 134, 264 (1953); 135, 270 (1953).

(16) Fukada, Miyamoto and Tomanaga, Prog. Theor. Physics, 4, 47 and 121 (1949). (17) J.Schwinger, Phys. Rev., 74, 749 and 769 (1949); 80, 440 (1950).

(18) R.P.Feyman, Phys. Rev., 75, 486 and 1736 (1949).

❊ ❊ ❊

الفصل الخامس

مفهوم أعم للقانون الطبيعي

١. مقدمة

لقد رأينا خلال هذا الكتاب أنه طوال عدة قرون كان هناك اتجاهٌ قويٌّ للفلسفة الآلية بشكلٍ أو بآخر ليتم تبنيها بشكلٍ عامٍّ بين الفيزيائيين. في الفصلين الثاني والثالث، وصفنا أساسيات هذه الفلسفة بشيء من التفصيل، وقدمنا مخططًا عامًّا لكيفية تطور هذه الفلسفة استجابة للمشكلات الجديدة التي واجهتها الفيزياء خلال القرنين التاسع عشر والعشرين. في هذا الفصل سوف ننتقد هذه الفلسفة، موضحين نقاط الضعف في افتراضاتها الأساسية، ثم ننتقل إلى اقتراح وجهة نظر مختلفة وأوسع نؤمن أنها تتوافق أكثر مما تفعله الآلية لآثار البحث العلمي في مجموعة واسعة من المجالات. بالإضافة إلى تقديم وجهة النظر الأوسع هذه بشيء من التفصيل، سنبيِّن أيضًا كيف تسمح بحلٍّ أكثر إرضاءً للعديد من المشكلات المهمة، العلمية والفلسفية، أكثر مما هو ممكن في إطار الفلسفة الآلية.

٢. ملخص الخصائص الأساسية للفلسفة الآلية

الخصائص الأساسية للفلسفة الآلية في الشكل الأكثر عمومية التي تطورت حتى الآن في الفيزياء هي كما يلي:

يمكن اختزال التنوع الهائل للأشياء الموجودة في العالم، سواء في التجارب المشتركة أو في البحث العلمي، تمامًا وبشكلٍ كاملٍ وغير مشروط (أي من دون تقريبٍ وفي كل مجالٍ ممكن) إلى مجرد تأثيرات عامة محددة ومحدودة في إطار القوانين. في حين أنه من المسلَّم به أن تفاصيل هذه القوانين قد تخضع للتغييرات وفقًا للنتائج التجريبية الجديدة التي يمكن الحصول عليها في المستقبل، فإن صفاتها العامة الأساسية تعتبر مطلقة ونهائية. هذا يعني أن الكيانات الأساسية التي من المفترض أن توجد، وأنواع الصفات التي تحدد أنماط وجود هذه الكيانات، والأنواع العامة للعلاقات من حيث التعبير عن القوانين الأساسية، من المفترض أن تتناسب بشيء من المخطط الفيزيائي والرياضي الثابت والمحدود، والذي يمكن من حيث المبدأ أن يخضع لصيغة كاملة وشاملة، إذا لم يكن من المفترض أن هذا قد تم بالفعل. في الأساس، التغييرات الوحيدة التي تعتبر ممكنة ضمن هذا المخطط هي التغييرات الكمية في المعاملات أو الوظائف التي تحدد حالة النظام (كما تسمح طبيعة النظام تحديد هذه الحالة)(*)، بينما التغييرات النوعية الأساسية في أنماط وجود الكيانات الأساسية والأشكال التي يمكن بها التعبير عن القوانين الأساسية لا يُنظر إليها على أنها ممكنة. وبالتالي، فإن جوهر

(*) على سبيل المثال، في التفسير الاعتيادي للنظرية الكمومية، تخضع حالة النظام -بشكلٍ عام- فقط للتحديد الإحصائي.

الموقف الآلي يكمن في افتراضه للصفات الأساسية الثابتة، مما يعني أن القوانين نفسها ستختزل أخيرًا إلى العلاقات الكمية البحتة. كما رأينا في الفصول السابقة، شهدت الفلسفة الآلية تطورًا واسعًا في شكلها المحدد، مع الاحتفاظ بالخصائص الأساسية الموضحة أعلاه، في أشكالٍ تميل إلى أن تصبح أكثر تعقيدًا ودقة مع المزيد من تطور العلم.

٣. نقد الفلسفة الآلية

سنراجع الآن بعض أهم الانتقادات التي يمكن توجيهها ضد الفلسفة الآلية.

أولًا، لم يؤكد التطور التاريخي للفيزياء الافتراضات الأساسية لهذه الفلسفة، بل عارضها باستمرارٍ. وهكذا، منذ زمن نيوتن، أدخلت السلسلة الكاملة من التغييرات المحددة في بنية المفهوم للفيزياء(†) -التي ناقشناها في الفصل الثاني- وأيضًا التغييرات الثورية في الإطار العام بأكمله، والتي أحدثتها نظرية النسبية والنظرية الكمومية(‡). علاوة على ذلك، تواجه الفيزياء الآن أزمة يُعترف فيها عمومًا بضرورة حدوث تغييرات أخرى، من المحتمل أن تكون ثورية مقارنة بالنسبية والنظرية الكمومية مثلما كانت هذه النظريات ثورية مقارنة بالفيزياء الكلاسيكية.

ثانيًا، الافتراض الآلي للطابع المطلق والنهائي لأي سمة من سمات

(†) مفهوم المجال، هو مفهوم التغيرات الكمية التي تؤدي إلى التغيرات النوعية، أي مفاهيم الصدفة والقانون الإحصائي.

(‡) ناقشنا هذه التغييرات، خاصة تلك الناتجة عن النظرية الكمومية، بشكل رئيسي في الفصلين الثالث والرابع.

نظرياتنا ليس ضروريًّا أبدًا، لأن الاحتمال مفتوحٌ دائمًا أن هذه الميزة لها صلاحية نسبية ومحدودة فقط، وأن حدود صلاحيتها يمكن اكتشافها في المستقبل. وهكذا، فإن قوانين نيوتن للحركة، التي اعتبرت مطلقة ونهائية لأكثر من مائتي عام، وُجدت في النهاية أن لها مجالًا محدودًا من الصلاحية، وقد أُظهِرت هذه الحدود أخيرًا بمساعدة النظرية الكمومية ونظرية النسبية. في الواقع، كما رأينا بمزيدٍ من التفصيل في الفصل الثاني، القسمين الثالث عشر والخامس عشر، فإن الأطروحة الآلية القائلة بأن بعض سمات نظرياتنا مطلقة ونهائية هي افتراض لا يخضع لأي نوعٍ من الأدلة التجريبية التي يمكن تصورها، لذا فإنها في أحسن الأحوال ذات طابعٍ فلسفي بحت.

ثالثًا، افتراض السمة المطلقة والنهائية لأي سمة من سمات نظرياتنا يتعارض مع الروح الأساسية للمنهج العلمي نفسه، الأمر الذي يتطلَّب إخضاع كل سمة للتحقيق والاختبار المستمر، الأمر الذي قد يظهر التناقضات عند أي مرحلة نصل إليها سواء كان داخل نطاقٍ جديدٍ أو في أثناء دراسة أكثر دقة للمجالات المعروفة سابقًا مما نفذت حتى الآن. في الواقع، فإن النمط الطبيعي الذي تطور من دون استثناء في كل مجالٍ من مجالات العلوم التي درست حتى الآن كان مجرد ظهورٍ لسلسلة لا نهاية لها من هذه التناقضات، كلٌّ منها أدَّى إلى نظرية جديدة تسمح بفهمٍ أفضل وأعمق للمادة الموجودة قيد التحقيق والبحث. وبالتالي، فإن التطبيق الكامل والمتسق للمنهج العلمي يكون منطقيًّا فقط في سياقٍ نمتنع فيه عن افتراض الطابع المطلق والنهائي لأي سمة من سمات أي نظرية، وبالتالي لا نقبل فيه فلسفة الآلية.

بالطبع، لا تثبت الحجج المذكورة أعلاه أن الفلسفة الآلية خاطئة بالتأكيد. لأنه من المتصور دائمًا أن المشكلة حتى الآن هي أننا لم نعثر على النظرية الحقيقية المطلقة والنهائية، وأن هذه النظرية قد تكون في مكانٍ ما وراء أفق البحث العلمي الحالي. من ناحية أخرى، فإن عدم كفاية هذه الفلسفة التي أثبتت تاريخيًّا حتى الوقت الحاضر، وحقيقة أن افتراضاتها الأساسية لا يمكن إثباتها، وحقيقة أنها تتعارض مع الروح الكاملة للمنهج العلمي، توحي إلينا بما يلي: قد يكون من المفيد لنا أن نفكر في وجهات النظر التي تخرج عن حدود الفلسفة الآلية؛ سنهتم طوال بقية هذا الفصل بتطوير وجهة نظر لها مثل هذا الهدف.

٤. وجهة نظر تتجاوز الفلسفة الآلية

نواة وجهة نظر تتجاوز الفلسفة الآلية وهي أيضًا في توافق أفضل مع الخبرة العلمية العامة واحتياجات البحث العلمي التي قدمت بالفعل في الفصل الأول، القسم العاشر وفي الفصل الثاني، القسم الخامس عشر، فيما يتعلق بالبنية شديدة الثراء والمتنوعة التي وجدت حتى الآن في الواقع في قوانين الطبيعة. الميزة الأهم التي تميز هذا الهيكل العام هي: أي مجموعة معينة من الصفات وخصائص المادة وفئات القوانين التي يمكن التعبير عنها من حيث هذه الصفات والخصائص قابلة للتطبيق بشكلٍ عامٍّ فقط ضمن سياقات محدودة، عبر نطاقات محدودة من الشروط وإلى درجات محدودة من التقريب، تخضع هذه الحدود لتحديدٍ أفضل بمساعدة المزيد من البحث العلمي. في الواقع، تُظهر كل من طبيعة البيانات التجريبية ونتائج التحليل المنطقي

الأكثر تفصيلًا أنه بخلاف القيود المذكورة أعلاه على صحة أي نظرية معينة، فإن الاحتمال مفتوحٌ دائمًا لوجود مجموعة متنوعة غير محدودة من الخصائص والصفات الإضافية، مثل الكيانات، والأنظمة، والمستويات، إلخ، التي تطبق عليها أنواعٌ جديدة من قوانين الطبيعة. أو أن يجمع كل الاحتمالات المتنوعة المذكورة أعلاه في فئة واحدة من «الأشياء»، نرى أن التحليل المنهجي والمتسق لما يمكن أن نستخلصه فعليًّا من البيانات التجريبية والرصدية يقودنا إلى فكرة أن الطبيعة قد تحتوي على ما لا نهاية له من أنواعٍ مختلفة من الأشياء.

من الواضح أن وجهة النظر هذه تحملنا تمامًا خارج نطاق ما يمكن اعتباره فلسفة آلية. لأنه، كما نتذكر، تتضمن وجهة النظر الآلية افتراض أن التنوع المحتمل في الخصائص والصفات الأساسية الموجودة في الطبيعة محدودٌ، بحيث يُسمح لنا على الأكثر بالنظر في اللا نهايات الكمية، التي تأتي من إجراء عددٍ محددٍ من أنواع الأشياء أكبر أو أكثر عددًا. علاوة على ذلك، من الواضح أيضًا أن الفكرة التي توجهنا إليها تختلف تمامًا عن تلك الخاصة بسلسلة من التقريبات المتتالية التي تتلاقى مع مجموعة محددة من القوانين النهائية والثابتة. من الواضح أنه لا يوجد سببٌ يجعل الصفات والخصائص الجديدة والقوانين الجديدة المقابلة تؤدي دائمًا فقط إلى تصحيحاتٍ أصغر تتلاقى بهذه الطريقة البسيطة والموحدة نحو نتائج محددة. قد يكون هذا ما يحدث في سياقاتٍ معينة وضمن نطاقٍ محددٍ من الظروف، ومع ذلك، لا يوجد مبررٌ تجريبي يمكن تصوره لاستبعاد احتمال أن تؤدي هذه الصفات والخصائص والقوانين الجديدة

في سياقات مختلفة أو في ظل ظروفٍ متغيرة إلى تأثيراتٍ ليست صغيرة فيما يتعلَّق بتلك التي تأتي من الخصائص والصفات والقوانين المعروفة سابقًا. وهكذا، مثلًا نجد أن قوانين النسبية والنظرية الكمومية تؤدي في الواقع -في ظل ظروفٍ خاصة- إلى تصحيحاتٍ صغيرة لتلك الخاصة بميكانيكا نيوتن، وكما هو معروف جيدًا فإنها تؤدي بشكلٍ عامٍّ إلى نتائج نوعية جديدة ذات أهمية هائلة، نتائج غير واردة في ميكانيكا نيوتن على الإطلاق. من الواضح أن نفس الاحتمال موجودٌ بالضرورة فيما يتعلق بأي قوانين جديدة أخرى قد تكتشف في النهاية. لذلك، فإن الافتراض بأن قوانين الطبيعة تشكِّل سلسلة لا نهائية من الخطوات الأصغر التي تقترب مما هو في جوهرها حد آلي هو افتراض عشوائي وغير قابلٍ للإثبات مثل افتراض مجموعة محدودة من القوانين التي تسمح بمعالجة شاملة لكل الطبيعة.

نرى إذن، فيما يتعلق بالبيانات التجريبية للعلم، أنها لا تستطيع تبرير أي قيود مسبقة على الإطلاق، سواء على الخصائص أو الأهمية النسبية في الظروف والسياقات المختلفة للصفات الغنية والمتنوعة التي لا تنضب والخصائص التي قد تكون موجودة في الطبيعة. يمكن الكشف عن هذه الصفات والخصائص -التي يمكن دائمًا- بقدر ما نستطيع أن نقول- أن تكون مخفية وراء أخطاء وأوجه قصور أي مجموعة معينة من النظريات- في وقتٍ لاحقٍ في تحقيق أو بحث يمكن إجراؤه في ظل ظروفٍ جديدة، في سياقاتٍ جديدة، أو إلى درجاتٍ جديدة من التقريب.

حتى الآن، قادنا تحليلنا لطبيعة البيانات التجريبية والنظريات

العلمية فقط إلى النظر في إمكانية أن الطبيعة قد تحتوي على ما لا نهاية من الصفات المهمة المحتملة أو الفعلية (أي الصفات التي لها أهمية كبيرة أو التي يمكن أن تصبح ذات أهمية كبيرة في ظل ظروفٍ مناسبة وفي سياقاتٍ مناسبة). من الواضح الآن، مع ذلك، أن هناك بالفعل احتمالين فقط فيما يتعلق بهذه المشكلة. فإما أن تكون الصفات التي لها هذا النوع من الأهمية محدودة العدد، أو أنها ليست كذلك. لنفترض أن الأول هو في الأساس العودة إلى شكلٍ أو آخر من الفلسفة الآلية، والتي، كما رأينا، يمكنها إثارة الكثير من الاعتراضات. إذا كنَّا نرغب في الخروج عن الفلسفة الآلية، فلا خيار أمامنا سوى النظر في عواقب الافتراض بأن عدد هذه الصفات المهمة غير محدودٍ.

لقد قادنا بالتالي إلى رؤية الخطوة الحاسمة الأولى نحو وجهة نظر تتجاوز الفلسفة الآلية. من ناحية أخرى، في هذه المرحلة من التحليل، تقدم وجهة النظر هذه نفسها كواحدٍ من بديلين محتملين: أي إما الآلية وإما لا نهائية الصفات الهامة المحتملة أو الفعلية، من الواضح أننا يجب أن نختار أحدهما، ولكن على أي أساس يمكننا اتخاذ مثل هذا الاختيار؟ للإجابة عن هذا السؤال نشير إلى أن فكرة اللا نهائية النوعية للطبيعة qualitative infinity of nature تصبح أكثر من مجرد بديلٍ للفلسفة الآلية، إذا أخذنا في الاعتبار دور الشروط والسياق ودرجة التقريب في تقييد نطاق قابلية أي نظرية معينة في التطبيق. لأنه، مع هذه الإضافة، فإنها تشكِّل وجهة نظر أوسع، بمعنى أنها تحتوي داخلها على كل تلك النتائج المترتبة على الآلية التي تمثِّل مساهمة حقيقية في

تقدم البحث العلمي، بينما لا تحتوي على النتائج التي لا تقدم مثل هذه المساهمة والتي تعيق البحث العلمي. لرؤية هذا، نلاحظ أولًا أنه، فيما يتعلق بأي نطاق معين من الظواهر، فإن الشكل المحدد لافتراض اللا نهائية النوعية للطبيعة التي قدم اقتراحه أعلاه لا يتعارض مع فكرة أن هذه الظواهر يمكن معالجتها بشيء من المجموعات المحدودة من الصفات والقوانين، وفي الواقع، من حيث عدد أصغر بكثيرٍ من عدد عناصر البيانات التجريبية التي قد تكون متاحة. من الواضح أنه إذا لم يكن ذلك ممكنًا، فستفقد أحد أهم إنجازات النظريات العلمية، لأنها لن تسمح بعد الآن بتفسير(*) والتنبؤ بعددٍ كبيرٍ من الظواهر المستقلة للوهلة الأولى على أساس نسبيَّة بعض الصفات العامة والخصائص والقوانين والمبادئ، إلخ.

لقد كان الاعتراف بهذه الإمكانية واستغلالها العملي في مجموعة واسعة من المجالات هو بالفعل المساهمة الأساسية التي قدمتها الفلسفة الآلية للعلم في المراحل الأولى من تطورها(†). مع ذلك، فقد رأينا، ما دمنا نقوم بتأهيل نظرياتنا من خلال تحديد السياق والظروف ودرجات التقريب التي تكون صالحة فيها، أو على الأقل من خلال الاعتراف بأن هذه القيود على صحتها يجب اكتشافها في النهاية، فإن فكرة اللا نهائية النوعية للطبيعة تقودنا إلى التعامل مع أي مجالٍ معين من الظواهر بنفس الطريقة تمامًا كما هو الحال إذا تبنَّينا وجهة نظر آلية. فقط فيما يتعلق

(*) دعونا نتذكر، كما هو موضح في الفصل الأول، القسم الثالث، يشكِّل التفسير إظهار أن بعض الأشياء تنبع بالضرورة من أشياء أخرى.

(†) على سبيل المثال، راجع الفصل الثاني، القسم الثالث.

بالتنبؤات في النطاقات الجديدة، وفي السياقات الجديدة، وإلى درجات جديدة من التقريب، فإن اللا نهائية النوعية للطبيعة تملي قدرًا إضافيًّا من الحذر، لأنها تعني أن أي عددٍ محدودٍ من الصفات والخصائص والقوانين سيثبت في النهاية أنه غير كافٍ (وأين يجب تحديده تجريبيًّا فقط). وكما رأينا، فإن شكل البيانات نفسها، بالإضافة إلى التحليل المنطقي لمعناها، يفرض نفس مقياس الحذر تمامًا. إذن نرى أنه لا يمكن فقدان أي من الاستنتاجات الراسخة التي يمكن الحصول عليها بمساعدة افتراض عددٍ محدودٍ من الصفات في الطبيعة إذا افترضنا بدلًا من ذلك أن عدد هذه الصفات غير محدودٍ، وفي نفس الوقت التعرف على دور السياقات والظروف ودرجات التقريب(‡). كل ما يمكن أن نفقده هو التوهم بأن لدينا أسبابًا جيدة لنفترض أنه من حيث المبدأ يمكننا -أو في النهاية سنكون قادرين- على التنبؤ بكل ما هو موجود في الكون في كل سياق وفي جميع الظروف الممكنة.

لا يمكن فقط أن نفقد أي شيء ذي قيمة حقيقية للعمل العلمي إذا تبنينا فكرة اللا نهائية النوعية للطبيعة في الشكل المحدد الذي وصفناه هنا، ولكن على العكس من ذلك، يمكن كسب الكثير من خلال القيام بذلك لأنه، أولًا، يمكننا بالتالي تحرير البحث العلمي من القيود غير ذات الصلة (والتي نتجت في الواقع غالبًا عنها) التي تميل إلى الافتراض

(‡) من خلال الاعتراف بأن عددًا محدودًا ومحددًا بشكلٍ عامٍّ من الصفات والخصائص والقوانين قد يكون مناسبًا في سياقاتٍ وشروطٍ ودرجات تقارب معينة، نتجنب الوقوع ببساطة في التكاثر العشوائي للصفات التي كانت مميزة من وجهة نظر ما قبل الآلية، خاصة في الشكل المدرسي للفلسفة الأرسطية التي كانت سائدة في العصور الوسطى.

القائل بأن مجموعة معينة من الخصائص والصفات والقوانين العامة يجب أن تكون صحيحة لاستخدامها في جميع السياقات والظروف الممكنة وبجميع درجات التقريب الممكنة. ثانيًا، نحن منقادون إلى مفهوم طبيعية الأشياء الذي يتوافق تمامًا مع أهم سمات المنهج العلمي الأساسية؛ أي شرط الاستقصاء والنقد والاختبار المستمر لكل سمة من سمات كل نظرية، بغض النظر عن مدى أهمية هذه النظرية. هذا الرأي يشرح ضرورة إجراء البحث العلمي بهذه الطريقة فقط وليس بأي طريقة أخرى، لأنه إذا لم يكن هناك حدٌّ للصفات في الطبيعة، فلا يمكن أن يكون هناك حدٌّ لحاجتنا إلى فحص واختبار جميع ميزات كل قوانينها. أخيرًا، كما سنبيِّن في بقية هذا الفصل، يؤدي افتراض اللا نهائية النوعية للطبيعة إلى حلٍّ مرضٍ لعددٍ من المشكلات المهمة، العلمية والفلسفية، أكثر مما هو ممكن في إطار الفلسفة الآلية، وهذا بدوره يعطي المزيد من الأدلة على أنها وجهة نظر أفضل لتوجيه البحث العلمي.

ختامًا، فإن فكرة اللا نهائية النوعية للطبيعة تسمح لنا بالاحتفاظ بجميع الإنجازات الإيجابية التي تحققت بفضل تطوير الفلسفة الآلية. بالإضافة إلى ذلك، يمكننا من تجاوز الآلية من خلال إظهار قيود الفلسفة الأخيرة والإشارة إلى اتجاهاتٍ جديدة قد تخضع فيها مفاهيمنا ونظرياتنا لمزيدٍ من التطوير. بطبيعة الحال، لا نرغب هنا في أن نقترح أن اللا نهائية النوعية للطبيعة هي عقيدة نهائية، أي لا يمكن بعد ذلك اتخاذ خطوات أخرى. في الواقع، مع تقدم العلم يبدو من المحتمل جدًّا أن نجد أن اللا نهائية النوعية للطبيعة في النهاية ستتناسب مع بعض وجهات

النظر الأكثر عمومية، التي بدورها ستحتفظ بإنجازاتها الإيجابية، والتي ستتجاوزها، كما تجاوزت الحركة اللا نهائية النوعية للطبيعة الفلسفة الآلية. لكن، في هذا الفصل، هدفنا هو مجرد لفت الانتباه إلى العديد من العوامل التي تشير إلى الحاجة إلى هذه الخطوة المهمة التي تنقلنا خارج حدود الفلسفة الآلية، وإظهار المزايا العديدة التي تأتي من اتخاذ هذه الخطوة.

٥. عرض أكثر تفصيلًا لمعنى اللانهائية النوعية للطبيعة QUALITATIVE INFINITY OF NATURE

في هذا القسم سوف نبرز بمزيدٍ من التفصيل ما هي النظرة العامة للعالم التي تنطوي عليها فكرة اللانهائية النوعية للطبيعة، وسوف نوضح كيف يتفق هذا الرأي مع النتائج الفعلية للبحث التي حصلنا عليها حتى الآن في مجال الفيزياء.

من أجل جعل المناقشة ممكنة بشكلٍ ملموسٍ نسبيًّا، سنبدأ بالنظر في مثالٍ محددٍ: النظرية الذرية للمادة. الآن، كما هو معروف جيدًا، استندت الأشكال الأولى للنظرية الذرية إلى افتراض أن الصفات والخصائص الأساسية التي تحدد أنماط وجود الذرات كانت محدودة العدد. من ناحية أخرى، كما أشرنا عدة مرات، كشفت دراسات أعمق للذرة عن المزيد والمزيد من التفاصيل حول بنية أساسية متحركة، تحتوي داخلها على ثراء من الخصائص والصفات التي لم تظهر أبدًا حتى الآن أدنى علامة على استنفادها أو أن تقترب من النفاد. وهكذا، وجد في الذرات بنية من الإلكترونات تتحرك حول نواة مركزية تتكون

من النيوترونات والبروتونات التي تشارك بدورها في أنواعٍ مميزة أخرى من الحركات الخاصة بها. ضمن كل هذه الحركات ظهرت التقلبات الإحصائية في الميكانيكا الكمومية في أنواعٍ مختلفة. ثم جاء اكتشاف بنية للإلكترونات والبروتونات تتضمن في بعض الطرق غير المفهومة جيدًا حركات الجسيمات غير المستقرة مثل الميزونات والهايبرونات. لا يزال هناك إدراك لاحق لأنه نظرًا إلى إمكانية «تكوين» هذه الجسيمات الأخيرة و«تدميرها» وتحويل بعضها إلى بعض، فمن المحتمل جدًّا أن يكون لها أيضًا بنية أخرى مرتبطة بحركات بعض الأنواع التي لا تزال أعمق من الكيانات التي لم تُعرف طبيعتها بعد.

السمة الأساسية للبنية الفرعية الغنية والمترابطة للغاية للمادة المتحركة الموصوفة أعلاه هي: لا تتغير الخصائص الكمومية فيها باستمرارٍ فحسب، بل إن الصفات الأساسية التي تحدد نمط وجودها يمكن أن تخضع أيضًا لتحولاتٍ أساسية عندما تتغير الظروف بشكلٍ كافٍ. وبالتالي، في حالات التفريغ الكهربائي، يمكن أن تتأثَّر الذرات وتتأين، وفي هذه الحالة تحصل على العديد من الخواص الفيزيائية والكيميائية الجديدة. تحت القصف بجزيئاتٍ عالية الطاقة للغاية، يمكن تحفيز نوى العناصر الكيميائية المختلفة وتحويلها إلى أنواعٍ جديدة من الأنوية الذرية، مع تغييرات جذرية في خواصها الفيزيائية والكيميائية. علاوة على ذلك، في العمليات النووية، يمكن تحويل النيوترونات إلى بروتونات، إما عن طريق انبعاث النيوترينوات وإما الميزونات. وبالطبع، كما رأينا، الميزونات غير مستقرة، لذا فإن نمط وجودها ذاته

يقتضي ضرورة تحويلها إلى أنواعٍ مختلفة من الجسيمات. وبالتالي، فإن المزيد من البحث في بنية المادة لم يُظهر فقط -بقدر ما تمكنَّا من تحديده- مجموعة متنوعة غير محدودة من الصفات والعمليات والعلاقات، ولكنه أظهر أيضًا أن كل هذه الأشياء تخضع للتحولات الأساسية التي تعتمد على الظروف.

حتى الآن، نميل إلى التأكيد على العمق الذي لا ينضب في خصائص وصفات المادة. بمعنى آخر، لقد درسنا كيف أظهرت التجارب وجود مستوى داخل مستوى أنواعٍ أصغر من الكيانات، كلٌّ منها يساعد على تكوين البنية الفرعية للكيانات الموجودة فوقها في الحجم، ويساعد كل منها على توضيح من خلال حركاتها -على الأقل تقريبًا- كيف ولماذا تكون صفات الكيانات المذكورة أعلاه على ما هي عليه في ظل ظروف معينة، وكذلك كيف ولماذا يمكن أن تتغير بطرق أساسية عندما تتغير الظروف. ولكن الآن يجب أن نأخذ في الاعتبار حقيقة أن الصفات والخصائص الأساسية لكل نوع من الكيانات لا تعتمد فقط على بنيتها الفرعية ولكن أيضًا على ما يحدث في خلفيتها العامة. في الفيزياء، لم تميل الأبحاث حتى الآن إلى التأكيد على هذه الميزة لقوانين الطبيعة بقدر ما أكدت على البنية الفرعية. ومع ذلك، فإن المجالات المختلفة (مثل الكهرومغناطيسية والجاذبية والميزونية Mesonic وما إلى ذلك) التي أدخلت في بنية المفهوم للفيزياء والتي تمثل إلى حدٍّ ما اعترافًا صريحًا بأهمية الخلفية. كما رأينا، تدخل هذه الحقول (التي يتطلب نمط وجودها تعريفًا عبر مناطق واسعة من الفراغ)

في تعريف الخصائص الأساسية لجميع الجسيمات الأساسية للفيزياء الحالية. علاوة على ذلك، عندما تكون هذه المجالات مستثارة بشدة، فإنها أيضًا يمكن أن تؤدي إلى تحولات نوعية في الجسيمات، وبالعكس فإن للجسيمات تأثيرًا مهمًّا على طبيعة المجالات. في الواقع، تُظهر مناقشة النظرية الكمومية الواردة في الفصلين الثالث والرابع أن الحقول والجسيمات مرتبطة ارتباطًا وثيقًا بطريقة أعمق، بمعنى أن كليهما ربما يكونان جانبين متعارضين لبعض أنواع الكيانات الأكثر عمومية، ولا يزال يتعيَّن اكتشاف طابعها التفصيلي(*). وهكذا، فإن الخطوة التالية في الفيزياء قد تظهر عدم كفاية الإجراء البسيط المتمثل في مجرد المرور بمستوى بعد مستوى من الجسيمات الأصغر والأصغر، والتي ربما تكون متصلة بمجالاتٍ تتفاعل مع هذه الجسيمات. بدلًا من ذلك، قد نجد أن الخلفية تدخل بطريقة أساسية للغاية حتى في تعريف الشروط لوجود الأنواع الجديدة من الكيانات الأساسية التي سنأتي إليها في النهاية، أيًّا ما ستكون.

وبالتالي، هذا قد يقودنا إلى نظرية يظهر فيها تكاملٌ أقرب بكثير للبنية الفرعية والخلفية في كلية متماسكة جيدًا مما هو الحال في النظريات الحالية. نرى من المناقشة أعلاه أن اللا نهائية النوعية للطبيعة لا تعادل الفكرة التي تعبر عنها القصيدة المعروفة:

«البراغيث الكبيرة..

(*) يقدم هذا الاقتراح من خلال ازدواجية الموجة والجسيم في الخصائص العامة للمادة، مما يعني أنه قد يتعيَّن علينا التعامل مع نوعٍ جديدٍ من الأشياء التي يمكن -في ظل ظروفٍ مناسبة- التصرف كجسيمٍ متموضع أو مثل مجال ممتد.

لديها براغيث صغيرة على ظهورها..

لتلدغها..

البراغيث الصغيرة لديها براغيث أصغر..

وهكذا إلى ما لا نهاية».

أولًا، إننا لا نفترض أن نفس نمط الأشياء يتكرر بالضرورة على جميع المستويات؛ وثانيًا، نحن لا نفترض حتى إن النمط العام للمستويات التي عثر عليها على نطاقٍ واسعٍ في الطبيعة حتى الآن يجب أن يستمر بالضرورة من دون حدود. في حين أننا لا نستطيع أن نقرر هذا السؤال لِمَا هو معروف في الوقت الحاضر، لقد اقترحنا بالفعل الأسباب التي تجعلنا نقترب الآن من نقطة يجب عندها على الأقل إثراء فكرة المستويات إلى حدٍّ كبيرٍ من خلال التضمين الصريح لتأثيرات الخلفية التي تعتبر ضرورية للغاية لوجود الكيانات التي تصفها نظرياتنا. علاوة على ذلك، من الواضح أنه من الممكن تمامًا أننا كلما تغلغلنا أكثر، سنجد أن طبيعة تنظيم الأشياء داخل المستويات ستتغير بشكلٍ جذري لدرجة أنه حتى نمط المستويات نفسه سيتلاشى في النهاية يُستبدَل به شيء مختلف تمامًا. ومن ثم، في حين أن اللا نهائية النوعية للطبيعة تتوافق مع لا نهائية المستويات، فإنها لا تعني بالضرورة مثل هذا اللا نهاية. وبشكلٍ أعم، لا تتطلَّب هذه الفكرة مسبقًا استمرارًا لأي سمة خاصة للنمط العام للأشياء التي عثرت عليها حتى الآن، ولا تستبعد مسبقًا إمكانية استمرار مواجهة أي صفة من هذا القبيل، ربما في سياقاتٍ جديدة وأشكال جديدة، بغض النظر عن المدى الذي قد

نذهب إليه. تُترك مثل هذه الأسئلة للإجابة بالكامل من خلال نتائج البحث العلمي في المستقبل.

ومع ذلك، هناك تقريرٌ عامٌّ واحدٌ يمكن طرحه في هذه المرحلة حول التنوع الذي لا ينضب للأشياء التي قد توجد في الكون؛ أي أنه يجب أن تتمتع بدرجة معينة من الاستقلالية والاستقرار في أنماط وجودها. حتى الآن، وجدنا دائمًا أن مثل هذا الاستقلال الذاتي موجود(*). في الواقع، إذا لم يكن موجودًا، فلن نكون قادرين على تطبيق مفهوم «الشيء» ولن يكون هناك أي طريقة حتى لصياغة أي قوانين من الطبيعة. كيف يمكن أن يكون هناك كائنٌ أو كيانٌ أو عملية أو جودة أو خاصية أو نظامٌ أو مستوى أو أي شيء آخر يهتم الإنسان بذكره، ما لم يكن لهذا الشيء درجة معينة من الاستقرار والاستقلالية في نمط وجوده، مما يمكِّنه من الحفاظ على هويته لبعض الوقت، وما الذي يمكِّنه من تحديد ذاته على الأقل بشكلٍ جيدٍ بما يكفي للسماح بتمييزه عن الأشياء الأخرى؟ إذا لم توجد مثل هذه الأشياء المستقلة نسبيًّا وتقريبيًّا، فستفقد القوانين أهميتها الأساسية (على سبيل المثال، لا يمكن اختبارها من حيث المبدأ عن طريق تغيير الظروف بمساعدة التجارب بالطريقة الموضحة في الفصل الأول، القسم الثالث، لأن الأشياء الأساسية التي ستدخل في القوانين ستغير جميع أنماطها المميزة للوجود مع أقل تغيير في الظروف).

ختامًا، لقد أظهر البحث العلمي الفعلي حتى الآن الحاجة إلى تحليل

(*) قد يكون لهذه الاستقلالية أسسٌ عديدة؛ على سبيل المثال تأثيرات شيء ما في شيء آخر مع زيادة الفصل بينهما، تلاشي هذا التأثير مع مرور الزمن، والمسح الكهربائي، ووجود الحدود القصوى، ومثل هذه التأثيرات.

الطبيعة من حيث سلسلة من المفاهيم التي تنطوي على الاعتراف بوجود المزيد من أنواع الأشياء؛ ولم يظهر تطوير مثل هذه المفاهيم الجديدة أي علامات على النهاية. حتى الوقت الحاضر، نظمت الأنواع المختلفة من الأشياء الموجودة في الطبيعة، على الأقل فيما يتعلق بالبحث في مجال الفيزياء، على أنها منظمة في مستويات. يدخل كل مستوى في البنية الفرعية للمستويات الأعلى، وبالعكس تعتمد خصائصه على الظروف العامة في الخلفية المحددة جزئيًّا في مستويات أخرى أعلى وأدنى، وجزئيًّا في نفس المستوى. من الممكن تمامًا أن تكشف المزيد من الدراسات عن نمطٍ أكثر عمومية لتنظيم الأشياء. على أي حالٍ، من الواضح أن نتائج البحث العلمي حتى الآن تدعم بقوة فكرة أن الطبيعة لا تنضب في الصفات والخصائص التي يمكن أن تمتلكها أو تطورها. إذا كان يمكن التعبير عن قوانين الطبيعة بأي نوعٍ من المصطلحات على الإطلاق، فمن الضروري أن تتمتع الأشياء التي يمكن تحليلها على الأقل بدرجة معينة من الاستقلال الذاتي التقريبي والنسبي في أنماط وجودها، وهو الحفاظ على مجموعة من الاختلافات في الظروف التي توجد فيها.

٦. الصدفة والروابط السببية الضرورية

بمساعدة النظرة العامة للعالم الموصوفة في القسم الخامس، سنشرع الآن في إظهار أن فرضية النوعية التي هي أضعف من أن تتجاوز هذه الحدود القصوى لا تنتج أي تأثيرات مهمة؛ حقيقة أن المكونات الفردية لجسيمٍ ما (مثل الذرات) صغيرة جدًّا بحيث لا يكون لها تأثيرٌ

ملموسٌ على الكائن ككل، في حين أن هناك بشكلٍ جماعيٍّ استقلالًا كبيرًا لحركات المكونات التي تؤدي إلى إلغاء تقلبات الصدفة. توجد العديد من مصادر الاستقلالية الأخرى، ومما لا شك فيه أنه سيكتشف المزيد في المستقبل. توفر اللا نهائية للطبيعة إطارًا يمكن أن يلائم بشكلٍ طبيعي المفهوم المقترح في الفصل الأول، للصدفة والترابط السببي الضروري كوجهين لكل عملية طبيعية حقيقية.

أولًا، نشير إلى أنه إذا كان هناك عددٌ غير محدودٍ من أنواع الأشياء في الطبيعة، فلا يمكن لأي نظام لقانون حتمي بحت أن يصل إلى صلاحية مثالية، لأن كل نظام من هذا القبيل يعمل فقط مع عددٍ محدودٍ من أنواع الأشياء، وبالتالي يترك بالضرورة خارج الاعتبار عددًا لا نهائيًّا من العوامل، سواء في البنية الفرعية للكيانات الأساسية التي تدخل في نظام القانون المعني وفي البيئة العامة الموجود بها هذه الكيانات. وبما أن هذه العوامل تمتلك درجة معينة من الاستقلالية، فيمكننا أن نستنتج من المبدأ الذي ناقشناه في الفصل الأول، القسم الثامن، أن الأشياء التي تُترك خارج أي نظامٍ نظري تخضع عمومًا لنوعٍ من التقلب العشوائي. ومن ثم، فإن تحديدات أي نظرية سببية بحتة تخضع دائمًا لاضطرابات عشوائية، تنشأ عن تقلبات الصدفة في الكيانات الموجودة خارج السياق الذي تعالجه النظرية المعنية. وهكذا يصبح من الواضح لماذا تكون الصدفة جانبًا أساسيًّا من أي عملية حقيقية، ولماذا أي مجموعة معينة من القوانين السببية ستوفر فقط معالجة جزئية ومن جانبٍ واحدٍ لهذه

العملية، والتي يجب تصحيحها من خلال أخذ الصدفة في الاعتبار(*).

بالطبع، لا يجب افتراض أن كل عدم كفاية أو انهيار للقوانين السببية يجب أن يكون بالضرورة نتيجة لتأثيرات تقلبات الصدفة. في الواقع، كما حدث فيما يتعلق بالتجارب التي أدَّت إلى نظرية النسبية (تجربة ميكلسون مورلي، إلخ)، قد يمثِّل فشل مجموعة معينة من القوانين السببية مجرد انحرافٍ بسيطٍ وقابل للتكرار بين تنبؤات هذه القوانين والنتائج التجريبية. يشير أي انحراف من هذا النوع فقط إلى أنه يجب يجب استبدال قوانين سببية أحدث وأكثر شمولًا ودقة بالقوانين السببية المعنية (كما حدث بالفعل مع ميكانيكا نيوتن، التي استبدلت ميكانيكا النسبية الأعم والأصح تقريبًا). على الرغم من ذلك، في كثيرٍ من الأحيان تكشف التجارب ليس فقط الانحرافات البسيطة والقابلة للتكرار عن تنبؤات مجموعة معينة من القوانين السببية، ولكن بالأحرى انهيارًا للمخطط بأكمله الذي من خلاله عثر على مجموعة محددة من الخصائص لتكون مرتبطة بشكلٍ فريدٍ وضروري. يتجلَّى مثل هذا الانهيار في ظهور تقلبات في الصدفة، التي لا تظهر من أي شيء في السياق قيد البحث، بل تظهر من خلال أنواعٍ مختلفة نوعيًّا من العوامل الموجودة في سياقات جديدة بالنسبة إلى السياقات قيد الاعتبار(**).

(*) بشكلٍ عام، يجب تصحيح القوانين السببية من خلال مراعاة الحالات الطارئة (انظر الفصل الأول، القسم الثامن)؛ بسبب الطبيعة المعقدة متعددة الجوانب والمترابطة لهذه الحالات الطارئة، ومع ذلك يمكن معالجة متوسط الأثر في مجموعة واسعة من الظروف، من حيث تقلبات الصدفة ونظرية الاحتمالات.

(**) على سبيل المثال، هذا ما يحدث في الفيزياء الكلاسيكية. بالنسبة إلى جسيم مثل الإلكترون يتبع المدار الكلاسيكي تقريبًا، وفي معالجة أكثر دقة وجد أنه يخضع لتقلباتٍ عشوائية في حركاته، تنشأ خارج سياق المستوى الكلاسيكي (انظر الفصلين الثالث والرابع).

في مثل هذه الحالة، يُنظر إلى القانون السببي الأصلي على أنه صالح فقط عند الحد الذي تُلغى فيه تقلبات الصدفة المعنية، بينما في أي تطبيق معين سيكون للقانون حدٌّ أدنى مميز معين من الخطأ. هذا الهامش من الخطأ هو خاصية موضوعية للقانون المعني، وهي خاصية تحددها قيم تقلبات الصدفة الناشئة خارج السياق قيد التحقيق والدراسة.

والعكس صحيح، ومع ذلك، فإن القيد المميز على نطاق صلاحية أي قانون سببي معين ينتج عن إهمال تأثيرات تقلبات الصدفة يتم موازنته بقيدٍ مناظر على نطاق صلاحية أي قانون معين من قوانين الصدفة، والذي ينتج عن إهمال الترابط السببي المنتظم بين السياقات المختلفة. في كثيرٍ من الحالات (مثل رميات الزهر أو النرد)، تكون هذه الترابطات غير مهمة لدرجة أنها لم تكن ذات أهمية في أي تطبيقاتٍ حقيقية. ومع ذلك، لا يجب أن يكون الأمر كذلك دائمًا. على سبيل المثال، سنفترض حالة إحصاءات التأمين. هنا، سنكون قادرين على عمل تنبؤات تقريبية فيما يتعلق بمتوسط عمر الفرد في مجموعة معينة (على سبيل المثال، عمر محدد، وطول، ووزن، إلخ) دون الحاجة إلى الخوض في بحثٍ مفصَّل عن العديد من العوامل المعقدة التي تساهم في حياة أو موت كل فرد في هذه المجموعة. هذا ممكن فقط لأن العوامل المسؤولة عن وفاة أي فرد متنوعة للغاية ومتشعبة، وتميل إلى العمل بشكلٍ مستقلٍّ إلى حدٍّ ما عن الطريقة التي تؤدي إلى قوانين إحصائية منتظمة(†). لكن الافتراض الكامن وراء استخدام هذه القوانين الإحصائية ليست دائمًا صحيحة. وهكذا، في حالة حدوث وباء أو حرب، فإن الترابط المنهجي بين سبب

(†) راجع الفصل الأول، القسم الثامن.

وفاة كثير من الأفراد ينمو بقوة بحيث تصبح التنبؤات الإحصائية من أي نوع مستحيلة عمليًّا. إن تطبيق قوانين الصدفة بشكلٍ غير نقدي (من دون انتقاد)، من خلال تجاهل إمكانية التصحيح بسبب الترابط السببي الذي قد يكون غير مهمٍّ في بعض الحالات ولكنه مهمٌّ بشكلٍ حاسمٍ في حالات أخرى، هو بالتالي قادر على أن يؤدي إلى نتائج خاطئة مثل التطبيق غير النقدي للقوانين السببية، حيث نتجاهل التصحيحات التي قد تكون ناجمة عن تأثيرات تقلبات الصدفة.

وجهة النظر التي تتجنب الأخطاء التي تنجم عمومًا عن افتراض أن القوانين السببية أو قوانين الصدفة هي أنواع أساسية ونهائية من القوانين كما هو مقترح في الفصل الثاني، القسم الخامس عشر. في وجهة النظر هذه، نعتبر كلا الفئتين من القوانين نوعًا من التقريب، بمعنى أنه مثلما يمكن أن ينشأ القانون السببي كتقريبٍ إحصائي لمتوسط سلوك مجموعة كبيرة من العناصر التي تخضع لتقلبات عشوائية، يمكن أن ينشأ قانون الصدفة كتقريبٍ إحصائي لتأثيرات عددٍ كبيرٍ من العوامل السببية التي تخضع لحركاتٍ مستقلة بشكلٍ أساسي(*). ومع ذلك، في الواقع لا القوانين السببية ولا قوانين الصدفة يمكن أن تكون صحيحة تمامًا على الإطلاق، لأن كلًّا منها يتجاهل حتمًا بعض جوانب ما يحدث في سياقات أوسع. في ظل ظروف معينة، قد يكون أحد هذين النوعين من القوانين أو الآخر تمثيلًا أفضل لتأثيرات العوامل المهيمنة، وبالتالي قد يكون التقريب الأفضل لهذه الظروف المعينة. ومع ذلك، مع

(*) كما أشرنا في الفصل الثاني، القسم الرابع عشر، يمكن إثبات هذين الاحتمالين رياضيًّا، وكذلك بمساعدة المزيد من أنواع الحجج النوعية.

التغييرات الكافية في الشروط، قد يتوقف أي نوع من القانون في النهاية عن تمثيل حتى ما هو ضروري في سياق معين وقد يتعين استبدال الآخر به. وبالتالي، فإننا نعتبر هذين النوعين من القوانين بمثابة تقديم وجهات نظر مختلفة بشكلٍ فعالٍ لأي عملية طبيعية معينة، مثل أننا في بعض الأحيان قد نحتاج إلى وجهة نظر أو أخرى لمعرفة ما هو ضروري، بينما في أوقات أخرى، قد نضطر إلى دمج كلا الرأيين بطريقة مناسبة. لكننا لا نفترض، كما هو الحال عمومًا في الفلسفة الآلية(†)، أنه يمكن في النهاية التعامل مع الطبيعة بأكملها بشكلٍ كاملٍ وغير مشروطٍ من حيث جانب واحد فقط من هذه الجوانب، بحيث يُنظر إلى الجانب الآخر على أنه غير ضروري، أي مجرد ظلٍّ لا يقدم أي مساهمة أساسية في تمثيلنا للطبيعة ككل. وهكذا، فإن فكرة اللا نهائية النوعية للطبيعة تقودنا إلى ضرورة النظر إلى قوانين الطبيعة من جانب السببية ومن جانب الصدفة، وكذلك بشكلٍ عامٍّ من اتجاهات جديدة قد تتجاوز هذين الحدين.

٧. العلاقات التبادلية والطابع التقريبي والنسبي لاستقلال أنماط وجود الأشياء

اللا نهائية النوعية للطبيعة لها تأثيرٌ مهمٌّ في مشكلة العلاقات المتبادلة بين الأشياء، وعلى مسألة المدى الذي تتمتع به أنماط وجود الأشياء المختلفة باستقلالية تقريبية.

أولًا، نلاحظ أن الترابط الكوني بين الأشياء كان واضحًا منذ فترة طويلة من خلال الأدلة التجريبية بحيث لم يعُد بإمكاننا التشكيك فيه

(†) راجع الفصل الثاني، القسمين الثاني عشر والثالث عشر.

حتى. ومع ذلك، من وجهة نظر آلية يُفترض أن هذا الترابط يمكن في النهاية أن يختصر إلى لا شيء أكثر من مجرد تفاعل بين الكيانات الأساسية التي يتكوَّن منها النظام. نعني بهذا أنه في العمل المشترك بين هذه الكيانات لا يمكن أن يكون هناك سوى تغييرات كمية في خصائصها، بينما لا يمكن حدوث تغييرات نوعية أساسية في أنماط وجودها، بشرط أن تكون هذه الكيانات هي بالفعل الكيانات الأساسية خارج الأشياء الذي يتكوَّن منها النظام. وهكذا، في قوانين نيوتن للحركة، هناك مساواة في الفعل ورد الفعل للجسيمات الأولية بعضها على بعض، ولكن هذا الفعل ورد الفعل لا يفترض أن يؤثر في خصائص الجسيمات بطريقة أساسية.

من ناحية أخرى، من حيث مفهوم اللا نهائية النوعية للطبيعة، يقودنا -كما رأينا في الأقسام السابقة- إلى استنتاج مفاده أن كلَّ كيانٍ، مهما بدا أساسيًّا، يعتمد في وجوده على الوقاية من الظروف المناسبة في الخلفية اللا نهائية والبنية الفرعية، ومع ذلك، يجب أن تتأثر الظروف في الخلفية والبنية الفرعية نفسها بشكلٍ واضحٍ بترابطها المتبادل مع الكيانات قيد الدراسة. في الواقع، كما أوضحنا في العديد من الأمثلة، يمكن لهذا الترابط، في ظل الظروف المناسبة، أن ينمو بقوة لدرجة أنه يؤدي إلى تغييرات نوعية في أنماط وجود كل نوع من الكيانات المعروفة حتى الآن(*). ينبغي لنا أن نشير إلى هذا النوع من الترابط باسم العلاقة المتبادلة، لتمييزها عن مجرد تفاعل.

(*) على سبيل المثال، انظر القسم الخامس والفصل الثاني، القسم الثالث عشر.

يظهر الآن السؤال بشكلٍ طبيعي تمامًا، «في هذا النوع الأساسي جدًّا من العلاقة المتبادلة إذا كان كل شيء في علاقة مع كل شيء آخر، وهي علاقة يمكن من خلالها أن تتحوَّل الصفات الأساسية وأنماط الوجود، فكيف يمكننا فصل هذه العلاقات بهذه الطريقة للحصول على معالجة واضحة للقوانين التي تحكم الكون، أو أي جزء منه؟».

الإجابة هي أن جميع تأثيرات الروابط المتبادلة ليست ذات أهمية متساوية بشكلٍ عامٍّ. بالطبع لدينا الحقيقة المعروفة التي سبق أن أشرنا إليها في الفصل الأول، القسم الرابع، وهي أنه في السياقات المناسبة، لا ينتج عن العديد من الاتصالات المتبادلة أي تأثيرات مهمة، بحيث يمكن تجاهلها. من ناحية أخرى، إذا أخذنا في الاعتبار وجود علاقة متبادلة مهمة بين شيئين، فعلينا بشكلٍ عامٍّ أن نأخذ كلا الاتجاهين لهذا الاتصال في الاعتبار. إذا كان كلا الاتجاهين لهما أهمية متشابهة، فسنجد صعوبة بالغة في فصل العلاقات الحقيقية بين الأشياء، لأن شيئًا واحدًا يؤثر في الصفات الأساسية والقوانين التي تحدد نمط وجود الآخر؛ ويعود هذا الأثر في عملية معقدة.

ومع ذلك، تُظهر الخبرة في مجموعة واسعة من مجالات العلوم أن كلا الاتجاهين من الاتصال المتبادل لا يجب أن يكون لهما دائمًا أهمية مماثلة. عندما لا يكون لديهما نفس الدلالة، من الواضح أن المشكلة تكون مبسطة لأن الشيء الذي له تأثيرٌ كبيرٌ في الآخر هو العامل المسيطر والمتحكم في العلاقة. في هذه الحالة يمكننا دراسة قوانين وأنماط كونتها العوامل ذات الأهمية الكبرى إلى درجة جيدة

من التقريب، بغض النظر عن الآثار التي قد يسببها العامل الثانوي أو الأضعف. تتمثَّل المشكلة الأساسية في البحث العلمي في العثور على الأشياء في سياق معين، وفي مجموعة معينة من الظروف، تكون قادرة على التأثير في أشياء أخرى من دون أن تتغيَّر بشكلٍ كبيرٍ في صفاتها الأساسية وخصائصها وقوانينها. هذه، إذن، الأشياء ضمن النطاق قيد النظر، مستقلة في خصائصها الأساسية بدرجة كافية من التقريب. عندما نعثر على مثل هذه الأشياء، عندها يمكننا الاستفادة منها في التنبؤ والتحكم في الأشياء الأخرى التي تعتمد أنماط وجودها وخصائصها الأساسية عليها. على سبيل المثال، في حالة العلاقة بين المستوى الأعلى واسع النطاق والمستوى الذري، نجد، كما هو موضح في الفصل الثاني، القسم الثالث عشر، أنه في ظل الظروف التي نقابلها عادةً وفي معظم السياقات التي عولجت في البحث الفيزيائي، فإن تأثير الحركات الذرية في قوانين المستوى الأعلى واسع النطاق أهم بكثيرٍ من تأثيرات المستوى الأعلى واسع النطاق على قوانين الحركات الذرية. وبالتالي، يصبح من الممكن من خلال دراسة قوانين الحركات الذرية القيام بأنواعٍ عديدة من التنبؤات التقريبية المتعلقة بقوانين وخصائص الأشياء على المستوى الأعلى واسع النطاق وبهذه الطريقة يمكن تحسين فهمنا والتحكم في المستوى الأعلى واسع النطاق.

من ناحية أخرى، كما رأينا أيضًا في الفصل الثاني، القسم الثالث عشر، فإن تنبؤنا بخصائص المستوى الأعلى واسع النطاق من خلال تلك الخاصة بالمستوى الذري لا يمكن أبدًا أن يكون مثاليًّا، وذلك

فقط لوجود تأثير تبادلي صغير ولكنه حقيقي بين المستوى الأعلى واسع النطاق على قوانين المستوى الذري. ويرجع ذلك إلى البنية التحتية الإلكترونية والنووية للذرة، التي يمكن أن تتأثر بشكلٍ كبيرٍ بالظروف المناسبة على المستوى الأعلى واسع النطاق (مثل درجات الحرارة العالية جدًّا). علاوة على ذلك، كما رأينا، يمكن أن تنشأ نفس الاحتمالية فيما يتعلق بالبنية الفرعية لكل كيان معروف في الفيزياء (مثل الإلكترونات والبروتونات والميزونات وما إلى ذلك)، بشرط أن تتغير الظروف على المستوى الأعلى واسع النطاق بشكلٍ مناسبٍ. ونتيجة لذلك، فإننا ننتهي إلى استنتاجٍ مفاده أنه في اتصالاتها المتبادلة مع الأشياء الموجودة في أي مستوى أدنى معين، يجب أن تتمتع الكيانات على مستوى الرؤية بالعين على الأقل ببعض الاستقلالية النسبية في أنماط وجودها، بمعنى أن هذه الأنماط لا يمكن التنبؤ بها تمامًا من المستوى الأدنى المحدد (أو المستويات) المعنية. على الرغم من أن تأثيرات هذه الاستقلالية قد تكون ضئيلة في مجموعة واسعة من الظروف والسياقات، فإنها قد تصبح مع ذلك مهمة للغاية في ظروفٍ وسياقاتٍ أخرى.

إذن، نرى أن وجود العلاقات المتبادلة للأشياء يعني أن كل «شيء»(*) موجود في الطبيعة يقدم بعض الإسهام في ماهية الكون ككل، مساهمة لا يمكن اختزالها بالكامل، بشكلٍ كاملٍ، وغير مشروطٍ،

(*) دعونا نتذكر أننا هنا نستخدم كلمة «شيء» بمعنى عام جدًّا، بحيث تمثِّل أي شيء (مثل الجسيمات، والكيانات، والصفات، والخصائص، والأنظمة، والمستويات، وما إلى ذلك).

في التأثيرات من أي مجموعة أو مجموعات محددة من الأشياء الأخرى التي تكون في حالة ترابطٍ متبادلٍ. والعكس صحيح، هذا يعني أيضًا بوضوح أنه لا يمكن لأي شيء أن يتمتع باستقلالية كاملة في نمط وجوده، لأن خصائصه الأساسية يجب أن تعتمد على علاقاته بأشياء أخرى. وهكذا يُنظر إلى فكرة الشيء على أنها تجريدية، حيث تُفصل من ناحية المفهوم عن خلفيته وبنيته الفرعية اللا نهائية. ومع ذلك، لا يوجد شيء لا يمكن أن يوجد بمعزلٍ عن السياق الذي تجرد منه من ناحية المفهوم. وبالتالي، فإن العالم لا يصنع من خلال تجميع «الأشياء» المختلفة فيه، بل بالأحرى، هذه الأشياء هي فقط تقريبًا ما نجده في التحليل في سياقات معينة وفي ظل ظروف مناسبة.

باختصارٍ، إذن، يقودنا مفهوم اللا نهائية للطبيعة إلى اعتبار كل شيء موجود في الطبيعة نوعًا من التجريد والتقريب. من الواضح أننا يجب أن نستخدم مثل هذه التجريدات والتقديرات فقط لأننا لا نستطيع أن نأمل في التعامل مباشرة مع اللا نهائية النوعية والكمية للكون. تتمثَّل مهمة العلم، إذن، في العثور على النوع الصحيح من الأشياء التي يجب تجريدها من العالم من أجل المعالجة الصحيحة للمشكلات في مختلف السياقات ومجموعات الشروط. ثم يحصل على الدليل على أن أي أنواع معينة من الأشياء هي الأشياء المناسبة لسياقٍ معين من خلال إظهار أنها تزودنا بتقريبٍ جيدٍ للسمات الأساسية للواقع في سياق الاهتمام. بمعنى آخر، نطلب أن تؤدي النظريات المصاغة من حيث هذه التجريدات إلى تنبؤات صحيحة، وإلى التحكم في العمليات الطبيعية

وفقًا للخطط الموضوعة على أساس هذه النظريات. عندما لا يحدث هذا، يجب علينا بالطبع مراجعة تجريداتنا حتى يتحقق النجاح في هذه الجهود. وبالتالي، فإن البحث العلمي يقودنا عبر سلسلة لا تنتهي من هذه المراجعات التي يقودنا فيها إلى تجريدات مفاهيمية لأشياء مستقلة نسبيًّا في درجات تقريبية أعلى وسياقات أوسع ومجموعات أوسع من الشروط.

٨. عملية التحول THE PROCESS OF BECOMING

حتى الآن، ناقشنا خصائص وصفات الأشياء بشكلٍ أساسي بقدر ما يمكن تجريدها من العمليات التي تغير فيها هذه الأشياء دائمًا خصائصها وصفاتها لتصبح أشياء أخرى. سننظر الآن بمزيدٍ من التفصيل في خصائص هذه العمليات التي يمكن الإشارة إليها بالمصطلح العام «الحركة». نعني بكلمة «الحركة» ألا يقتصر الأمر على إزاحة وتحريك الأجسام عبر الفراغ فقط، بل نعني أيضًا تضمين جميع التغييرات والتحولات المحتملة للمادة، الداخلية والخارجية، النوعية والكمية، إلخ.

لقد أثبتت وجود وضرورة عملية الحركة الموصوفة أعلاه بطرقٍ لا حصر لها في جميع العلوم. وهكذا، تُظهر دراسة علم الفلك أن الكواكب والنجوم والسدم والمجرات جميعها تشارك في عددٍ كبيرٍ جدًّا من أنواع الحركات المميزة. تنبع هذه الحركات من تأثيرات قوى الجاذبية التي ستجعل الأجسام تبدأ بالتحرك حتى لو كانت في البداية في حالة سكون، وكذلك بسبب القصور الذاتي الذي يبقيها في حالة حركة.

ونتيجة لهذه الحركات، على مدى فترات زمنية تصل إلى مليارات السنين، يمكن أن تظهر إلى الوجود نجومٌ جديدة، وكواكب جديدة، وسدم جديدة، ومجرات جديدة، ومجرات جديدة من المجرات، إلخ، في حين أن التنظيم الأقدم للأشياء يختفي من الوجود. على الأرض، أظهر علم الجيولوجيا أن السمات الدائمة الواضحة لسطحها تتغير دائمًا. وهكذا، نتيجة لتدفق المياه وعمل الرياح، فإن الصخور والجبال الموجودة، وحتى القارات، تتآكل باستمرارٍ بينما تؤدي الحركات الجوفية باستمرارٍ إلى تكوين أحجارٍ جديدة. يُظهر علم الأحياء أن الحياة هي عملية مستمرة من التعقيد الذي لا ينضب، حيث تنشأ أنواعٌ مختلفة من الكائنات الحية وتعيش وتموت. في الواقع، الحفاظ على وجود كل كائن حي يحدث من خلال عمليات التمثيل الغذائي المميزة التي تحدث داخله، وكذلك من خلال الحركات اللازمة له للحصول على الغذاء والمواد الأخرى من بيئته. مع مرور الوقت، نتيجة لتأثيرات الانتقاء الطبيعي وعوامل أخرى، يجب أن تتطور أشكال الحياة؛ وفي هذه العملية، ظهرت أنواعٌ جديدة من الكائنات الحية بينما انقرضت الأنواع القديمة. على مدى فتراتٍ أطول من الوقت، نشأت الحياة نفسها من أساس مادة غير حية، على الأرجح نتيجة لحركاتٍ على المستوى غير العضوي من النوع الذي اقترحه أوبارين Opharin (*)؛ ومع تغيُّر الظروف، قد يتعيَّن عليها لاحقًا أن تختفي من الوجود، ربما لإفساح المجال لشيء جديدٍ، لا يمكننا في الوقت الحاضر أن يكون لدينا فكرة

(*) انظر الفصل الأول، القسم الثامن.

عنه. في الكيمياء نرى أنه نتيجة الاستثارة الحرارية للجزيئات ولأسبابٍ أخرى، يجب أن تتفاعل المركبات الكيميائية المختلفة لإنتاج أنواعٍ جديدة من المركبات، بينما يجب فصل الأنواع الموجودة بالفعل من المركبات إلى مركباتٍ أبسط. في الفيزياء، نجد، على المستوى الذري وما دونه، حركة شاملة ومتواصلة تتبع نتيجة ضرورية للقوانين المناسبة لهذه المستويات، التي تكتشف أنها أكثر عنفًا كلما تعمقنا في اختراقها. وهكذا، لدينا حركات ذرية، وحركات إلكترونية ونووية، وحركة المجالات، وتقلبات كمومية، وتقلبات محتملة في مستوى الميكانيكي الكمومية، إلخ، علاوة على ذلك، كما يحدث في المستويات الأعلى، لا تتغيَّر الخصائص الكمية للأشياء فقط في هذه الحركات (على سبيل المثال التموضع والسرعة.. إلخ، للجسيمات المختلفة، وقوة المجالات المختلفة، إلخ)، وكذلك الصفات الأساسية التي تحدد أنماط وجود الكيانات، مثل الجزيئات، والذرات، والنيوكليونات، والميزونات، إلخ، والتي نتعامل معها في هذه النظرية.

باختصارٍ، إذن، لم يعثر على أي سمة لأي شيء لا تخضع للحركات الضرورية والمميزة، وبعبارة أخرى، فإن مثل هذه الحركات ليست اضطراباتٍ غير أساسية تُفرض من الخارج على نوعٍ من المادة موجود بشكلٍ ثابتٍ. بدلًا من ذلك، فهي متأصلة ولا غنى عنها في ماهية المادة، بحيث لا يكون من المنطقي بشكلٍ عام مناقشة الأمر بصرف النظر عن الحركات الضرورية لتحديد نمط وجودها.

الآن، الحركات المختلفة التي تحدث في المادة لها خاصية أخرى

مهمة للغاية وهي بشكلٍ عامٍّ- لا تنسق بسلاسة ولا يمكن تنسيقها لتحقيق نتائج بسيطة ومنتظمة. بدلًا من ذلك، غالبًا ما تكون معقدة للغاية وسيئة التنسيق وتحتوي في داخلها على عددٍ كبيرٍ جدًّا من الميول المستقلة والمتناقضة نسبيًّا.

هناك سببان عامان لضرورة تطور هذه الميول المتناقضة، أولًا: لأن هناك دائمًا اضطرابات صدفة تنشأ عن أسباب مستقلة أساسًا، وثانيًا: لأن العمليات المنهجية الضرورية لوجود الأشياء قيد المناقشة هي كقاعدة عامة متناقضة في بعض آثارها طويلة المدى. سنقدم هنا بعض الأمثلة المأخوذة من المجالات التي ناقشناها في الفقرة السابقة. وهكذا، في مجال علم الفلك، نجد أنه جزئيًّا كنتيجة لاضطرابات الصدفة من المجرات الأخرى وجزئيًّا كنتيجة لقوانين الحركة تحت قوى الجاذبية الناشئة في نفس المجرة، فإن النجوم لها توزيعٌ معقدٌ للغاية وغير منتظم لـ سرعات تسير في جميع أنواع الاتجاهات، مما يؤدي إلى تمزق بعض أنظمة النجوم، بينما تتشكَّل أنظمة جديدة. على سطح الأرض، قد تنتج العواصف، والزلازل، وغيرها، التي هي مصدر صدفة بالنسبة إلى حياة فردٍ معين، ظروفًا لا تسمح لهذا الفرد أن يستمر في الوجود، في حين يمكن تحقيق نتيجة مماثلة بالشيخوخة، التي تنتج عن آثار عمليات التمثيل الغذائي الضرورية للحفاظ على الحياة. بالانتقال إلى موضوع الفيزياء، نرى أن كلًّا من تأثيرات تقلبات الصدفة وعمل القوانين السببية المنهجية تؤدي باستمرارٍ إلى تقلبات معقدة وعنيفة في المستويات المختلفة، وتنسيقها ليس جيدًا على الإطلاق، وهي غالبًا ما تؤدي إلى اتجاهاتٍ متناقضة في الاقتراحات. في الواقع، لا تنبع هذه الميول

المتناقضة بالضرورة من القوانين التي تحكم الحركات فقط، بل يجب أن تكون موجودة حتى تمتلك أشياء كثيرة خصائص مميزة تساعد في تحديد ماهيتها. على سبيل المثال، لن يكون للغاز خصائصه النموذجية إذا كان لجميع الجزيئات ميلٌ قوي إلى التحرك معًا بطريقة منسقة. بشكلٍ عام، الاستقلالية النسبية في أنماط وجود أشياء مختلفة تعني استقلالًا معينًا لهذه الأشياء، وهذا بدوره يعني أن التناقضات بين هذه الأشياء يمكن أن تنشأ. لأنه إذا حدث تنسيق الأشياء بطريقة لا يمكن أن تتعارض بعضها مع بعض، فلا يمكن أن تكون مستقلة بشكلٍ حقيقي.

إذن، نستنتج أن الحركات المتعارضة والمتناقضة هي القاعدة في جميع أنحاء الكون، وهذا جانب أساسي لنمط الأشياء ذاته.

الآن قد يُسأل كيف يمكن لأي نوعٍ من الجودة أو الخاصية أو الكيان أو المستوى أو المجال، إلخ، أن يكون له وجودٌ مستقلٌ تقريبًا، في مواجهة حقيقة أن عددًا لا نهائيًّا من أنواع الحركات المستقلة نسبيًّا مع الميول المتناقضة تحدث في بيئتها وفي بنيتها الفرعية. الجواب هو أن وجود أي جودة أو خاصية أو كيان أو مستوى أو مجال معين، أصبح ممكنًا من خلال موازنة العمليات التي تميل إلى تغييرها في اتجاهاتٍ مختلفة. وهكذا، في الحالة البسيطة للسائل(*)، لدينا موازنة لتأثيرات القوى بين الجزيئات التي تميل إلى تماسك الجزيئات معًا، وتميل الحركات الحرارية العشوائية إلى تعطيل النظام بأكمله. في المجرة، لدينا موازنة لقوى الجاذبية ضد ميول الطرد المركزي بسبب الدوران

(*) انظر الفصل الثاني، القسم العاشر.

والتأثيرات التدميرية للمكونات العشوائية لحركات النجوم. في الذرات لدينا توازنٌ مماثلٌ للقوى الجاذبة للنواة ضد التأثيرات التدميرية بسبب التقلبات الكمومية في الحركات الإلكترونية وميول الطرد المركزي بسبب دوران الإلكترونات حول النواة. مع الكائنات الحية، لدينا نظامٌ أكثر دقة وتعقيدًا لموازنة العمليات. بطبيعة الحال، لا يمكن إجراء التحليل الكامل لهذه العملية، لكن يمكننا أن نرى بالفعل أن الاتجاهين الأساسيين للعمليات في الكائنات الحية هما تلك التي تؤدي إلى النمو وتلك التي تؤدي إلى التحلل. إذا استمرَّت عمليات النمو من دون رادعٍ، فإن النتيجة النموذجية المحتملة هي تطور السرطان، الذي يؤدي في النهاية إلى تدمير الكائن الحي. من ناحية أخرى، إذا استمرت العمليات المعاكسة من دون رادعٍ، فإن الأعضاء ستضمر وتذبل، وسيدمر الكائن الحي مرة أخرى في النهاية، ثم يتطلب الحفاظ على الحياة موازنة تقريبية لتدمر الأنسجة وتعفنها من خلال نمو أنسجة جديدة.

من الواضح الآن أنه إذا تم الحفاظ على الصفات والخصائص والكيانات والمجالات والمستويات وما إلى ذلك من خلال توازن العمليات التي تميل إلى تغييرها، فيمكن أن يكون هذا التوازن، بشكلٍ عامٍّ، تقريبيًّا ومشروطًا فقط. ونتيجة لذلك، فإن أي شيء يخضع للتغيير مع تغير الظروف، سواء من خلال تغييرات الظروف التي تنتج خارجيًّا أو عن طريق التغييرات التي قد تكون عواقب ضرورية للحركات الداخلية المرتبطة بنمط وجود الشيء المعني. لتوضيح هذه النقطة، دعونا نعود إلى مشكلة السائل. إذا ظلَّت درجة حرارة السائل وضغطه

وما إلى ذلك ثابتة، فسيستمر توازن العمليات الجزيئية التي تحافظ على الحالة السائلة. لكن من الواضح أن التفكير في عينة معزولة من السائل هو تجريد. يوجد أي سائل حقيقي في بيئة ما، والتي لا يمكن أن تفشل في التغيير مع الوقت الكافي. وبالتالي، إذا كانت الحاوية على الأرض، فإنها ستكون عرضة لتغيرات درجة الحرارة، والعواصف والزلازل التي قد تدمر أي آلية لتثبيت درجة الحرارة المحيطة بها، وعلى مدى فترات زمنية أطول للعمليات الجيولوجية التي قد يكون لها تأثيراتٌ مماثلة. وبالتالي، يمكن التنبؤ بأمان أنه إذا أخذنا في الاعتبار كمثالٍ، فترة مئة مليون سنة، فلن تظل عينة معينة من السائل على حالتها السائلة طوال هذا الوقت. عند تحليل هذه المشكلة بشكلٍ أكبر، نرى أنه عندما ننظر في سياقاتٍ أوسع وفتراتٍ زمنية أطول، سيكون هناك المزيد والمزيد من الفرص لتغيير الظروف بطريقة يحدث فيها تغيير أي توازن معين للعمليات بشكلٍ أساسي. هذا لأنه سيكون قادرًا على الدخول في علاقات متبادلة مع المزيد والمزيد من الكيانات والمجالات والأنظمة المستقلة نسبيًّا، إلخ، والتي يمكن أن تؤثِّر حركاتها في العمليات المعنية. في الواقع، إذا ذهبنا إلى أقصى درجات التفكير في مناطق المجرات الفائقة في الفضاء والعهود الزمنية المقابلة، فإننا نرى أن هناك احتمالًا لمثل هذا النطاق الواسع من التغييرات في الظروف التي سيحدثها كل نوعٍ من الكيانات أو المجال أو النظام أو المستوى في النهاية تخضع لتغييرات جوهرية، حتى للتدمير أو الانقراض، بينما ستظهر أنواعٌ جديدة من الكيانات والمجالات والمستويات في مكانها. على سبيل المثال، هناك حاليًّا نظرية قيد المناقشة يفترض فيها أنه منذ قرابة خمس

مليارات[+] سنة أو أكثر، كانت أجزاء الكون المرئية لنا الآن مركزة في الأصل في مساحة صغيرة نسبيًّا ذات درجة حرارة عالية للغاية، وكثافة عالية لدرجة أنه لا يمكن أن توجد ذرات ولا نوى ولا إلكترونات ولا بروتونات ولا نيوترونات كما نعرفها الآن. (كانت المادة قد اتخذت بعد ذلك شكلًا آخر لا يمكننا أن نفكر فيه كثيرًا في الوقت الحاضر.) ومن ثم يُفترض أن هذا الجزء المحدد من الكون قد انفجر ثم برد ليؤدي في النهاية إلى ظهور الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات، والذرات، والغبار، والسدم، والمجرات، والنجوم، والكواكب، إلخ، عن طريق سلسلة من العمليات التي لا نحتاج إلى المضي قدمًا فيها هنا. إن تباعد النجوم، الذي اقترحه ما يسمى بالانزياح الأحمر[*]، سيكون تأثيرًا متبقيًا للسرعات التي انطلقت بها المادة في هذا الانفجار. الآن، من المهم جدًّا تأكيد مدى تأمل أجزاء كبيرة من هذه النظرية[†].

(*) **ملاحظة المترجم**: الرقم المقترح حاليًّا 13.8 مليار سنة تقريبًا.

(*) لقد فُسِّر «الانزياح الأحمر» red shift للخطوط الطيفية للنجوم على أنه انزياح دوبلر بسبب حركة التباعد. إذا كان هذا التفسير صحيحًا، فإن النجوم تتباعد بعضها عن بعض بسرعة تتناسب إلى حدٍّ ما مع مسافاتها. يمكن أن تصل سرعات أبعد النجوم المرئية إلى 10000 ميل في الثانية، ومن المفترض أن النجوم البعيدة لا تزال تتمتع بسرعات أعلى. ومع ذلك، هناك العديد من التفسيرات المحتملة لنفس الظاهرة؛ على سبيل المثال ربما يختلف سلوك الضوء على مسافات طويلة اختلافًا طفيفًا عن السلوك الذي تنبَّأت به معادلات ماكسويل، بحيث يتضاءل تردد الضوء في أثناء انتقاله عبر الفضاء.

(†) في الأشكال المنشورة فعليًّا لهذه النظرية، يُفترض أن الكون كله (وليس جزءًا منه فقط) قد تركز في الأصل في الفضاء الصغير المشار إليه أعلاه. حتى لو لم نقم بهذا الافتراض الإضافي، فإن النظرية هي بالفعل تخمينية تمامًا. لكن هذا الافتراض الإضافي مبني على نظرية أينشتاين للنسبية العامة، التي ثبت أنها ذات مستوى تقريبي منخفض نسبيًّا فقط في مجالات الجاذبية الضعيفة لتركيزات منخفضة من المادة وعلى مناطق محدودة من الفضاء. ثم يُجرى استقراء هائل لحقول الجاذبية ذات الشدة العالية، لتركيزات لم يسمع بها من المادة، وإلى منطقة من الفضاء=

ومع ذلك، ولأغراضنا هنا، من المثير للاهتمام أنه نعطي مثالًا على مدى انتشار آثار كسر توازن العمليات المتعارضة داخل حالة المادة شديدة الكثافة الموجودة سابقًا؛ لأن الانفجار الناتج سيؤدي إلى ظهور كل شيء موجود في الجزء المرئي لنا الآن من الكون.

على أي حالٍ، مهما كانت المرحلة السابقة غير المعروفة عمليًّا في الوقت الحالي لعملية تطور هذا الجزء المعين من الكون، يوجد الآن قدرٌ كبيرٌ من الأدلة التي تشير إلى أن المجرات والنجوم والأرض تأتي من بعض حالات الأشياء الموجودة سابقًا والمختلفة تمامًا. فيما يتعلَّق بما حدث على كوكبنا بعد ظهوره، لدينا بالطبع أدلة أفضل بكثيرٍ قادمة من الآثار المتبقية في الصخور والحفريات وما إلى ذلك. ثم، عند النظر في أصل الحياة، لدينا فرضية أوبارين Opharin، الذي يقدم على الأقل الخطوط العريضة العامة لكيفية ظهور المادة الحية على الأرض. هنا نرى أهمية التنسيق غير المكتمل والطابع المتناقض للأنواع المختلفة من العمليات التي حدثت على الأرض في الوقت المعني؛ بالنسبة إلى العواصف وتيارات المحيطات والتيارات الهوائية وما إلى ذلك، كان من الممكن أن تؤدي إلى اختلاط المركبات العضوية المختلفة حتى ظهرت أخيرًا مادة بدأت تتكاثر على حساب المواد العضوية المحيطة. نتيجة لذلك، خلقت الصفات المتناقضة للحركات على المستوى غير العضوي الظروف التي يمكن أن يظهر فيها مستوى جديد تمامًا،

= لا تحتوي على كثافة من المادة أقل من بقية الكون. في حين لا يمكن إثبات خطأ هذا الاستقراء في الوقت الحالي، فهو على أي حالٍ مثالٌ على الفلسفة الآلية المتطرفة. إذا قمنا بحذف هذه الاستقراءات التي لا صلة لها بالموضوع ولا أساس لها من الصحة من النظرية، فإن الفرضية لا تزال مثيرة للاهتمام لأخذها في الاعتبار.

مستوى المادة الحية. ومن الآن فصاعدًا، لم تعُد التغييرات في البيئة غير الحية هي الأسباب الوحيدة للتنمية. لأن الخاصية الأساسية للحياة هي أن العمليات الضرورية لوجودها ستغيرها. وهكذا، في حالة الكائن الحي الفردي، فإن توازن النمو والتحلل لا يكون مثاليًّا أبدًا، بحيث ينمو الكائن الحي في المراحل المبكرة من حياته، ثم يصل إلى توازن تقريبي عند النضج، ثم تبدأ عمليات التحلل بالفوز مما يؤدي إلى الموت. فيما يتعلَّق بمختلف أنواع الكائنات الحية التي ينظر فيها بشكلٍ جماعي، فإنها توفر لبعضها بيئة مشتركة، سواء من خلال المنافسة أو من خلال تعاونها. وبالتالي، نتيجة لتطور العديد من أنواع الكائنات الحية، تتغيَّر البيئة بطريقة يحدث فيها تغيير توازن العمليات التي تحافظ على وراثة مثل هذه الأنواع، والنتيجة هي التطور المعروف للأنواع.

باختصارٍ، نرى أن طبيعة العالم ذاتها تحتوي على تنوعٍ هائلٍ من الحركات والاتجاهات والعمليات شبه المستقلة والمتضاربة. وبالتالي، إذا أخذنا في الاعتبار أي شيء معين، فإن الحركات التي تحدث خارجيًّا أو تلك التي تحدث داخليًّا والتي هي جوانب متأصلة في نمط وجوده ستؤدي في النهاية إلى تغيير أو تدمير توازن العمليات الضرورية للحفاظ على هذا الشيء في الوجود في شكله الحالي وخصائصه الحالية. لهذا السبب، يجب بالضرورة أن يخضع أي شيء أو جانب معين من هذا الشيء لتعديلاتٍ أساسية وفي النهاية للتدمير أو التحلل، ليحل محله أنواعٌ جديدة من الأشياء.

في الختام، فإن فكرة اللا نهائية النوعية للطبيعة تقودنا إلى اعتبار العملية الأبدية ولكن المتغيرة باستمرارٍ للحركة والتطور الموصوفة

أعلاه باعتبارها جانبًا متأصلًا وأساسيًّا لماهية الأمر. في هذه العملية، لا يوجد حدٌّ للأنواع الجديدة من الأشياء التي يمكن أن تنشأ، ولا يوجد حدٌّ لعدد أنواع التكوينات الانتقالية، النوعية والكمية، التي يمكن أن تحدث، هذه العملية، التي توجد فيها أنواعٌ لا متناهية من القوانين الطبيعية، هي مجرد عملية تحوُّل، التي وصفها هيراقليطس لأول مرة منذ عدة آلاف من السنين (على الرغم من أننا بالطبع لدينا الآن فكرة أكثر دقة عن طبيعة هذه العملية مما كان لدى الإغريق القدماء).

٩. في تجريد صفة مفهوم التحول المحدد وغير المتغير

يتضح من القسم السابق أن الأدلة التجريبية المتاحة حتى الآن تُظهر أنه لم يُكتشَف أي شيء حتى الآن له نمط وجود يظل محددًا إلى الأبد بأي طريقة معينة. بدلًا من ذلك، كل عنصر، مهما بدا أنه أساسي، أمكن العثور عليه دائمًا في ظل ظروف مناسبة للتغيير حتى في صفاته الأساسية، وليصبح شيئًا آخر. علاوة على ذلك، كما رأينا أيضًا، فإن فكرة اللا نهائية النوعية للطبيعة تعني ضمنًا أن كل نوعٍ من الأشياء لا يمكن أن يتغير بهذه الطريقة الأساسية فقط، بل إنه مع توفر الوقت الكافي، فإن الظروف في خلفيتها اللا نهائية وبنيتها الفرعية ستتغير كثيرًا إلى الحد الذي يمكنها أن تقدمه. ومن ثم، فإن فكرة شيء ما بنمط وجودٍ محددٍ بشكلٍ شاملٍ وغير متغيرٍ يمكن أن يكون مجرد تقريبٍ وتجريدٍ من التعقيد اللا نهائي للتغييرات التي تحدث في عملية التحول الحقيقية. لن يكون مثل هذا التقريب والتجريد قابلين للتطبيق إلا لفتراتٍ زمنية قصيرة بما يكفي بحيث لا يمكن أن تحدث تغييرات مهمة في الخصائص والصفات

الأساسية التي تحدد أنماط وجود الأشياء قيد الدراسة.

عندما نتعامل مع أزمنة طويلة بما يكفي بحيث تدخل أنواعٌ أساسية من الأشياء في أي نظرية محددة لتخضع لتغييرات نوعية أساسية، فإن ما ينهار هو افتراض أنه يمكننا تحديد أنماط وجود هذه الأشياء بدقة وبشكلٍ شاملٍ من حيث المفاهيم التي كانت قابلة للتطبيق قبل حدوث هذا التغيير. في الواقع، حقيقة أن الشيء نفسه قادر على الخضوع لتغيير نوعي هي في حد ذاتها خاصية تشكل جزءًا أساسيًّا من نمط وجود الشيء ورغم ذلك فهي خاصية غير واردة في المفهوم الأصلي له. على سبيل المثال، كما رأينا في الفصل الأول، القسم السادس، فإن حقيقة أن الماء السائل يتحوَّل إلى بخارٍ عند تسخينه وإلى ثلجٍ عند تبريده، هي خاصية أساسية للسائل المعني، من دونها لا يمكن أن يكون الماء كما نعرفه. ومع ذلك، من الواضح أن المفهوم الأصلي للماء باعتباره ليس أكثر من سائلٍ لا يحتوي على هذه الاحتمالات، صراحةً أو ضمنًا، كخصائص ضرورية لهذا السائل، ومن ثم، فإن هذا المفهوم لا يعطي تمثيلًا دقيقًا وشاملًا لجميع خصائص السائل المعني.

الآن الطريقة التي نتعامل بها مع هذه المشكلة هي النظر إلى التحولات بين المواد الصلبة والسائلة والبخارية التي تحدث في درجات حرارة معينة كجزءٍ من الصفات التي تحدد نمط وجود فئة واحدة أوسع من المادة؛ مثل الماء. ولكن الآن نفس النوع من المشاكل يظهر مرة أخرى على مستوى جديدٍ. لأن القوانين التي تحكم تحولات هذه الصفات تعتبر بدورها جزءًا من المواصفات الأبدية والشاملة

لخصائص المادة، الذي هو الماء. من ناحية أخرى، هذا القانون قابلٌ للتطبيق وله معنى فقط في ظل ظروف محدودة. على سبيل المثال، لن يكون له صلة بدرجات الحرارة العالية جدًّا على المادة بحيث لا يمكن أن توجد أشياء مثل الذرات، وبالتالي لا توجد مادة مثل الماء. وبالتالي، فإننا قادرون على تضمين الماء كحالة خاصة لفئة لا تزال أوسع من الأشياء (مثل أنظمة الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات، إلخ) والقوانين التي تحكم تحويل الماء إلى أنواع أخرى من المواد كجزءٍ من طريقة كونهم من هذه الفئة الأوسع نطاقًا. ولكن إذا مرَّت كل الأشياء في نهاية المطاف بتحولات نوعية، فإن العملية الموصوفة أعلاه لن تنتهي أبدًا. وهكذا نستنتج أن الفكرة القائلة بأن كل الأشياء يمكن أن تصبح أنواعًا أخرى من الأشياء تعني أن التعريف الكامل والقابل للتطبيق إلى الأبد لأي شيء معين غير ممكن من حيث أي عددٍ محدودٍ من الصفات والخصائص.

ومع ذلك، إذا بدأنا الآن من الجانب الآخر، بمعنى: من مفهوم اللا نهائية النوعية للطبيعة، يمكننا على الفور الوصول إلى نوعٍ من تعريف نمط وجود أي نوع معين من الأشياء لا يتعارض مع إمكانية أن يصبح شيئًا آخر. لأنه، كما رأينا في القسم السابع، تشير العلاقات المتبادلة بين جميع الأشياء إلى أنه لا يوجد شيء معين يمكن -أن يكون بالضبط وفي جميع النواحي- نوع الشيء الذي يحدده أي تجريد محدد للمفهوم. بدلًا من ذلك، فهو دائمًا شيء أكثر من هذا، وعلى الأقل في بعض النواحي، شيء مختلفٌ. ومن ثم، إذا أصبح الشيء شيئًا آخر، فلا يوجد

بالضرورة تناقض غير قابلٍ للحل لأنه على أي حالٍ لم يمثِّله مفهومنا الأصلي عنه بالضبط. من الناحية المنطقية، فإن ما تفعله وجهة النظر هذه تجاه معنى تجريدنا للمفهوم، هو بالتالي خلق مساحة لإمكانية التغيير النوعي، من خلال دفعنا إلى إدراك أن تلك الجوانب من الأشياء التي تم تجاهلها -في ظل ظروف مناسبة- قد تتوقف عن إحداث تأثيراتٍ ضئيلة، وقد تصبح بالفعل مهمة للغاية بحيث يمكنها إحداث تغييراتٍ جوهرية في الخصائص الأساسية للأشياء قيد الدراسة.

قد نوضح الاستنتاجات المذكورة أعلاه من خلال العودة إلى مناقشة أكثر تفصيلًا للتحولات بين البخار والماء السائل والجليد. وهكذا، كما رأينا في الفصل الثاني وفي الفصل الحالي، فإن المفهوم في نطاق الرؤية بالعين المجردة لحالة معينة من المادة (على سبيل المثال، غازية أو سائلة أو صلبة) يترك خارج الاعتبار عددًا هائلًا من أنواع العوامل التي لا يمكن تحديدها في نطاق الرؤية بالعين المجردة وحده.

من بينها حركات الجزيئات التي تشكِّل التقلبات الكمومية للسائل، وتقلبات المجال، والحركات النووية، والحركات الميزونية، والحركات في مستوى الفرعي للميكانيكا الكمومية، إلخ. باختصارٍ، قد نقول إن السائل الحقيقي أكثر ثراءً في الصفات والخصائص من مفهومنا عنه على مستوى رؤيتنا بالعين المجردة. ومع ذلك، فهي أكثر ثراءً بحيث يمكن تجاهل هذه الخصائص الإضافية، في مجموعة متنوعة من التطبيقات، في نطاق الرؤية بالعين المجردة. ومع ذلك،

عندما نأتي إلى مشكلة فهم سبب إمكانية حدوث التحولات بين الغاز والسائل والصلب، لم يعد بإمكاننا تجاهل الخصائص الإضافية للسائل الحقيقي تمامًا. وهكذا، كما هو موضحٌ في الفصل الثاني، القسم العاشر، فإن الحركات الجزيئية قادرة على تفسير السمات الأساسية على الأقل للتحول في النظام من حالة تكون فيها مجموعة واحدة من الصفات هي المحدِّدة للعوامل المهيمنة والمسيطرة (أي تلك المقابلة للغاز) إلى الحالة التي تستبدل فيها بمجموعة أخرى من الصفات (على سبيل المثال تلك المقابلة لسائل). علاوة على ذلك، وفقًا لمفهوم اللا نهائية النوعية للطبيعة، يمكن الحصول على نفس النوع العام من النتيجة لجميع الأشياء، بما في ذلك مثلًا الكيانات الأساسية التي ربما اكتشفت في أي مرحلة معينة من مراحل تطور الفيزياء.

إن فكرة الأنماط غير المتغيرة والمحددة بشكلٍ شاملٍ لوجود الأشياء ليست مجرد فكرة مجردة تفشل عند تطبيقها في فترات زمنية طويلة جدًّا (بسبب إمكانية حدوث تغييرات نوعية أساسية)، ولكنها أيضًا تفشل في حالة الأزمنة التي تكون قصيرة جدًّا. هذا لأن الخصائص والصفات المميزة لشيء ما تعتمد بطريقة أساسية على العمليات التي تحدث في الخلفية والبنية الفرعية للشيء المعني. وهكذا، تنشأ خصائص الذرة (مثل الترددات الطيفية، والتفاعل الكيميائي، إلخ) وتحدد بشكل أساسي في عملية حركة الإلكترونات في المدار، التي تستغرق فترة زمنية قدرها 10^{-15} ثانية. لكن خلال فترات زمنية أقصر، تكون خصائص الذرة ككل محددة بشكل سيئ لدرجة أنه ليس من المناسب اعتبارها

محددة أو معرفة أصلًا. يمكن الحصول على تصور أفضل لماهية الذرة من خلال اعتبارها مجموعة من الإلكترونات المتحركة حول النواة. ولكن مع تقصير الفترة الزمنية أكثر من ذلك، تظهر نفس المشكلة فيما يتعلق بالإلكترونات والبروتونات والنيوترونات والميزونات وما إلى ذلك. وإذا ذهبنا إلى نطاقٍ أوسع، فسيرى القارئ بسهولة أنه تحصلنا على سلوك مماثل (مثلًا يتم الحفاظ على وجود كائن حي من خلال عمليات التمثيل الغذائي والعصبي الداخلية التي تكون سريعة مقارنة بالفترة التي يكون فيها من المنطقي تحديد الخصائص الأساسية لمثل هذا الكائن). في الواقع، فإن فكرة اللا نهائية النوعية للطبيعة تعني أن مثل هذا السلوك أمرٌ لا مفرَّ منه. لأنها، كما رأينا في القسم السابق، تحافظ على كل نوع من الأشياء في الوجود من خلال توازن العمليات المتعارضة في خلفيتها اللا نهائية وبنيتها الفرعية، التي تميل إلى تغييرها بطرقٍ مختلفة. وبالتالي، لا يمكن تحديد خصائص شيء من هذا القبيل إلا على مدى فترات زمنية طويلة بما يكفي بحيث لا يحدث تقلبات في متوسط تأثيرات كل هذه العمليات بشكلٍ كبيرٍ.

من الواضح إذن أن كل مفاهيمنا من نواحٍ كثيرة هي تمثيلات مجردة للمادة في طور التحول. ومع ذلك، فإن اختيار مثل هذه التجريدات مقيدٌ بشرط أن تمثل ما هو ضروري في سياقٍ معين إلى درجة مناسبة من التقريب وفي ظل ظروف مناسبة.

من الواضح أن النوع المعين من التجريد المستخدم قد يختلف اعتمادًا على السياق. وهكذا، في نظريات الأنواع البسيطة من الظواهر

حيث يمكن تقريب الأشياء على أنها في حالة توازن، يمكن تصور أنماط وجود الكيانات والخصائص الأساسية على أنها ثابتة تمامًا (على سبيل المثال كما في الاستاتيكا والديناميكا الحرارية). ومع ذلك، في دراسة الظواهر التي تكون فيها الحركة مهمة، هناك حاجة إلى مستوى أعلى من التجريد. على سبيل المثال، في الميكانيكا، نفترض نظامًا من الجسيمات يمكنه تغيير مواقعه دون التوقف عن اعتباره مكونًا من جسيمات. بمعنى آخر، وجود الجسيمات لا علاقة له بمواقعها، وبالتالي يمكننا اعتبارها تتحرك عبر الفراغ. لكن القوانين غير المتغيرة التي تنطبق على هذه الحركات تعتبر الآن جزءًا أساسيًّا من أنماط وجود الجسيمات المعنية. وبالتالي، فإننا لم نفلت من ضرورة النظر في أنماط الوجود غير المتغيرة والمحددة بشكلٍ شاملٍ. بالطبع، يمكننا من حيث المبدأ أن نذهب إلى أبعد من ذلك ونفترض أنه حتى قوانين حركة الجسيمات تتطور مع مرور الوقت. ولكن بعد ذلك ما زلنا نفترض أن القوانين العليا المطبقة على عملية التطور هذه كانت نفسها غير متغيرة ومن حيث المبدأ قابلة للتحديد بشكل شامل في شكلها. من ناحية أخرى، وفقًا لمفهوم أن كل شيء يشارك في عملية التحول، حتى هذه السمات الأخيرة للقوانين لا يمكن أن تكون غير متغيرة تمامًا بحيث يمكن تحديدها بشكلٍ شاملٍ من حيث عدد محدود من أنواع الأشياء.

نستنتج، إذن، أننا يجب أن نصل أخيرًا إلى مرحلة في كل نظرية حيث نقدم مفهوم الشيء بأنماطٍ غير متغيرة ومحددة بشكلٍ شاملٍ للوجود، فقط لأننا لا نستطيع أن نأخذ في الاعتبار جميع الخصائص

والصفات والعلاقات الغنية التي لا تنضب الموجودة في طور التحول. في هذه المرحلة، نقوم بعمل تجريدٍ لعملية التحول الحقيقية. يعتمد ما إذا كان التجريد مناسبًا أم لا على ما إذا كانت الظواهر المحددة التي ندرسها تعتمد بشكلٍ كبيرٍ على ما تجاهلناه أو تركناه. مع التقدم الإضافي للعلم، يقودنا بعد ذلك من خلال سلسلة من هذه الأفكار التجريدية، التي تقدم تمثيلاتٍ أفضل من أي وقتٍ لجوانب أكثر للمادة في العملية الملموسة والحقيقية للتحول.

الآن، عندما نشير إلى عملية التحول بكلمة «ملموس»، فإننا نعني بذلك لفت الانتباه إلى جودة التحول الخاص، كونه غريبًا، وفريدًا من نوعه، حيث نجد دائمًا أنها من سمات الأشياء الحقيقية عندما ندرسها من خلال تفاصيل كافية. على سبيل المثال، إذا أخذنا في الاعتبار أي مفهوم (مثل التفاح)، فلن يحتوي هذا المفهوم على أي شيء يسمح لنا بتمييز تفاحة عن أخرى. قد نشير بعد ذلك إلى الصفات الأخرى التي تجعل هذا التمييز ممكنًا (مثل التفاح الأحمر، والتفاح الصلب، والتفاح الحلو، وما إلى ذلك). من الواضح أنه لا يوجد عددٌ محدودٌ من هذه الصفات يمكن أن يعطي تمثيلًا كاملًا لأي مثالٍ محددٍ لتفاحة حقيقية. بالطبع، من خلال التعمق (على سبيل المثال من خلال إعطاء الحالة الفيزيائية والكيميائية لكل جزء من التفاحة) يمكننا الاقتراب من هدفنا. لكن هذه العملية لا يمكن أن تنتهي أبدًا. حتى أنماط وجود الذرات الفردية، والإلكترونات، والبروتونات، إلخ، داخل التفاحة تُحَدد بدورها من خلال عددٍ لا نهائي من العمليات المعقدة في بنيتها الفرعية وخلفياتها. وهكذا، نرى أنه نظرًا

إلى أن كل نوعٍ من الأشياء يُعَرف فقط من خلال مجموعة لا تنضب من الصفات لكلٍّ منها درجة معينة من الاستقلالية النسبية، فإن مثل هذا الشيء يمكن ويجب أن يكون فريدًا بالفعل؛ أي ليس متطابقًا تمامًا مع أي شيء آخر في الكون، مهما كانا متشابهين(*).

بمزيدٍ من التحليل، نلاحظ الآن أنه نظرًا إلى أن جميع العوامل اللا نهائية التي تحدد ماهية أي شيء تتغير دائمًا بمرور الوقت، فلا يمكن أن يظل هذا الشيء متطابقًا مع نفسه مع مرور الوقت. في بعض النواحي، يقودنا هذا إلى فكرة أعمق عن عملية التحول أكثر مما كنَّا عليها من قبل. في كل لحظة من الزمن، يكون لكل شيء، عند النظر إليه من جانبٍ واحدٍ، عددٌ هائلٌ (في الواقع لا نهائي) من الجوانب المشتركة مع تلك التي كانت له قبل زمنٍ قصيرٍ. في الواقع، إذا لم يكن الأمر كذلك، فلن يكون شيئًا؛ بمعنى أنه لن يحافظ على أي نوعٍ من الهوية على الإطلاق. من ناحية أخرى، عندما يُنظر إليه من جانبٍ آخر، فإنه يحتوي على عددٍ هائلٍ (في الواقع لا نهائي) من الجوانب التي لم يكنها قبل زمنٍ قصيرٍ. بالنسبة إلى الأنواع النموذجية من الأشياء التي نتعامل معها بشكلٍ عامٍّ، فإن هذه الجوانب الأخيرة ليست ضرورية في السياقات

(*) وفقًا لمبدأ استبعاد باولي Pauli exclusion principle، يُقال إن أي إلكترونين «متطابقان». يأتي هذا الاستنتاج من حقيقة أنه في إطار النظرية الكمومية الحالية لا يمكن أن يكون هناك خاصية يمكن من خلالها التمييز بينهما. من ناحية أخرى، فإن الاستنتاج القائل بأنهما متطابقان تمامًا من جميع النواحي لا يمكن اتباعه إلا إذا قبلنا افتراض التفسير المعتاد للنظرية الكمومية بأن الشكل العام الحالي للنظرية سيستمر في كل مجال ستدرسه على الإطلاق. إذا لم نقم بهذا الافتراض، فمن الواضح دائمًا أنه من الممكن افتراض أن الفروق بين الإلكترونات يمكن أن تنشأ عند مستوياتٍ أعمق.

والظروف العادية التي نعمل من خلالها. في السياقات الجديدة (على سبيل المثال، مقياس زمني دون ذري أو مقياس زمني مجري فائق) أو في ظل ظروف جديدة (مثل درجات حرارة عالية جدًّا)، قد تكتسب هذه الجوانب أهمية حاسمة.

لقد قادتنا هذه الطريقة إلى استنتاج مفاداه أن عملية التحول ستكون بالضرورة -في كل لحظة- جوانب معينة محددة وفريدة من نوعها. بعبارة أخرى، يجب أن يكون لكل شيء في كل لحظة من وجوده صفات معينة -في بعض النواحي- تنتمي بشكل فريد إلى ذلك الشيء وإلى تلك اللحظة. إن فكرة أنماط الوجود غير المتغيرة والمحددة بشكل شامل هي إذن تجريد يتم الحصول عليه بشكلٍ عامٍّ من خلال النظر فيما هو مشترك بين الشيء ونفسه في لحظاتٍ مختلفة، أو للعديد من الأشياء المماثلة في نفس الوقت. من خلال القيام بذلك، من الواضح أننا نتجاهل الاختلافات بين هذه الأشياء، التي تعد جانبًا أساسيًّا تمامًا مثل أوجه التشابه. من خلال التجريد بمزيدٍ من التفاصيل في هذه الاختلافات، يتم توجيهنا بعد ذلك إلى رؤية جوانب أحدث ولكن أكثر دقة حيث تحتوي هذه الاختلافات على علاقاتٍ مشتركة أو متشابهة تنطبق على كل هذه الأشياء. وبالتالي، فإن تفرد كل شيء في كل لحظة من الزمن ينعكس في مفاهيمنا المجردة من خلال الثراء غير المحدود وتعقيد المفاهيم التي نحتاج إليها للحصول على تمثيل تجريدي أفضل للمادة في عملية التحول، أو بكلماتٍ أخرى، من خلال عدم استنفاد الصفات التي يمكن العثور عليها في الطبيعة.

١٠. أسباب عدم صلاحية حتمية لابلاس

نحن الآن جاهزون لنرى لماذا حتمية لابلاس الآلية لا تنطبق إذا كانت فكرة اللا نهائية النوعية للطبيعة صحيحة. هذا النوع من الحتمية يعني ضمنًا أن قوانين الطبيعة تسمح للوجود الفائق الذي اقترحه لابلاس أن يكون موجودًا في مجملها. من ناحية أخرى، وفقًا لوجهة النظر التي قدمناها، فإن هذا مستحيلٌ.

أولًا، دعونا نتذكر أنه بغض النظر عن المدى الذي يذهب إليه المرء في التعبير عن قوانين الطبيعة، فإن النتائج ستعتمد دائمًا بطريقة لا مفرَّ منها على حالات الطوارئ المستقلة أساسًا التي توجد خارج السياق قيد التحقيق، والتي تخضع بالتالي لتقلبات الصدفة المتعلقة بالحركات داخل السياق المعني. لهذا السبب، من الواضح أن القوانين السببية المطبقة داخل أي سياقٍ محددٍ لن تكون كافية للتنبؤ التام حتى بما يجري داخل هذا السياق بمفرده.

ثانيًا، ومع ذلك، فإن الاستقلال الأساسي للسياقات المختلفة يعني ضمنيًّا أن العمليات التي تحدث داخل سياقٍ معينٍ لا يمكن أن توفر انعكاسًا كاملًا ومثاليًّا لما يحدث في السياقات اللا نهائية الكلية الممكنة. على سبيل المثال، بسبب إلغاء تقلبات الصدفة، لا تنعكس التفاصيل الدقيقة للحركات الذرية عادةً إلى حدٍّ كبيرٍ على قوانين مستوى الرؤية بالعين المجردة. يجب بعد ذلك، بشكلٍ عام، اكتشاف قوانين كل سياق جديد بمساعدة أنواع جديدة من التجارب، تعد لتهيئة الظروف التي تنعكس فيها قوانين السياق

الجديد قيد التحقيق بشكلٍ كبيرٍ في سلوك جهاز القياس. ومن ثم، حتى لمعرفة ماهية مجمل جميع قوانين الطبيعة، يجب على الكائن الخارق أن يقوم بعددٍ لا نهائي من أنواع التجارب المختلفة، كل منها سيعطي نتائج تعتمد بشكلٍ كبيرٍ على قوانين سياقٍ مختلفٍ، حتى يمكنه الحصول على المعلومات اللازمة. عند القيام بذلك، يجب أن يكون قادرًا على اكتشاف ليس فقط جميع أنواع القوانين المعمول بها بالفعل، ولكن أيضًا جميع القوانين الجديدة التي يمكن التعبير عنها من حيث لا نهائية الصفات الجديدة والكيانات الجديدة والمستويات الجديدة التي ستصل إلى الوجود، على طول الطريق إلى المستقبل اللا متناهي. من الواضح، إذن، أنه إذا كان الكائن الفائق الذي اقترحه يشبهنا إلى حد الحصول على معرفته من خلال سلسلة من التحقيقات لكل جزئية من الكون، وليس -على سبيل المثال- من خلال الوحي الإلهي أو من خلال حدسٍ مسبقٍ يجده في أعماق عقله، فإنه لن يكون قادرًا على التنبؤ بمستقبل الكون بأكمله أو حتى الاقتراب من مثل هذا التنبؤ باعتباره حدًّا، بغض النظر عن مدى جودة الآلة الحاسبة التي سيستخدمها. وإذا كان لديه مثل هذه الإيحاءات أو الحدس، فلن يكون من الضروري إجراء حساب، لأن التنبؤ التفصيلي لسلوك الكون سيتطلب معجزة أكبر قليلًا فقط من تلك التي سيتعلم بها القوانين الأساسية للكون بالدرجة الأولى.

إذن، نرى أن سلوك العالم لا يتحدد بدقة من خلال أي خط آلي بحت أو كمي بحت للعلاقة السببية. لكن هذا لا يعني أنه عشوائي.

لأنه إذا أخذنا أي تأثيرٍ معينٍ، فيمكننا دائمًا من حيث المبدأ تتبعه إلى الأسباب التي جاءت منها جوانبه الأساسية. فقط عندما نذهب أبعد وأعمق إلى الماضي، نكتشف ثلاث نقاط مهمة: أولًا، أن عدد الأسباب التي تساهم بشكلٍ كبيرٍ في تأثير معين يزداد بلا حدودٍ؛ ثانيًا، وجد أن أنواعًا مختلفة من العوامل السببية ذات أهمية كبرى؛ وأخيرًا، أن هذه الأسباب تعتمد على حالات طارئة جديدة تؤدي إلى أنواعٍ جديدة من الصدف. خسوف القمر كمثالٍ، على مدى فترات زمنية معتدلة، يُعد هذا حدثًا يمكن التنبؤ به بدقة إلى حدٍّ ما، والذي يتم تحديده بشكلٍ أساسي من خلال إحداثيات وعزم الأرض والقمر بالنسبة إلى الشمس. ولكن كلما طالت المدة التي سنحسب من خلالها الخسوف، يجب أن يكون هذا التحديد أكثر دقة، من أجل إتاحة التنبؤ بالأثير بدقة معينة. للحصول على تفاصيل الحركة تصبح حساسة للغاية للظروف الأولية الدقيقة. نتيجة لذلك، فإن الاضطرابات الناشئة عن الكواكب الأخرى، والمد والجزر في الأرض، والقمر، والشمس، وغيرها من الحالات الطارئة المستقلة تصبح مهمة بشكل أساسي. على مدى فتراتٍ زمنية طويلة بما فيه الكفاية، حتى التقلبات الناشئة عن الحركات الجزيئية يمكن أن يكون لها من حيث المبدأ آثارٌ كبيرة؛ ولكن قبل أن يصبح هذا مهمًّا حقًّا، كان يجب أن نذهب بعيدًا إلى الماضي للوصول إلى الطور المختلف نوعيًّا للسدم الغازية التي جاءت منها الأرض والقمر والشمس. هنا نرى أن الحركات العشوائية لجزيئات الغاز في هذه السدم ساهمت في جعل الكسوف يحدث في النهاية بالطريقة التي

حدث بها. إذا عدنا إلى الوراء، فقد نصل إلى الحالة الكثيفة للمادة، والتي ربما كانت موجودة قبل الانفجار الذي ربما أدى إلى الحالة الحالية لهذا الجزء المرئي من الكون. بعد ذلك، أصبحت حركات الكيانات الموجودة في هذه الحالة السابقة، أيًّا كانت، لها دورٌ في جعل الكسوف يحدث بالطريقة التي يحدث بها الآن. لكن هذه الحركات ستعتمد على شيء ما قد حدث في زمنٍ أبكر. وهلم جرًّا بلا حدودٍ. علاوة على ذلك، من الواضح أن خسوف القمر ظاهرة تخضع لنوعٍ بسيطٍ للغاية من التحديد، بسبب أن الأرض والقمر معزولان تقريبًا عن الأشياء الأخرى. في العمليات الأخرى، حيث تكون درجة العزلة أقل بكثيرٍ، يكون التشابك والانصهار لتأثيرات المزيد من الحالات الطارئة والمزيد من الصفات المختلفة كلما عدنا إلى الوراء أكبر بكثيرٍ. وهكذا، على مدى فترة زمنية لا نهائية، من الواضح أن تحديد السمات الأساسية للتأثير ليس آليًّا بحتًا، لأنه لا يشمل عددًا لا حصر له من العوامل العرضية فحسب، بل يشمل أيضًا عددًا لا نهائيًّا من أنواع الصفات والخصائص وقوانين الاتصال وكلها تخضع لتغييراتٍ جوهرية مع مرور الوقت.

١١. القابلية للانعكاس REVERSIBILITY في مواجهة عدم القابلية للانعكاس IRREVERSIBILITY لقوانين الطبيعة.

في هذا القسم، سنقدم بعض الملاحظات بشأن الآثار المترتبة على اللا نهائية النوعية للطبيعة فيما يتعلَّق بمسألة ما إذا كانت قوانين الطبيعة قابلة للانعكاس أم غير قابلة للانعكاس.

من المعروف أن قوانين الفيزياء في النطاق المجهري أثبتت حتى الآن أنها قابلة للانعكاس. ينتج هذا عن حقيقة أنه بدءًا من أي حلٍّ للمعادلات الأساسية للنظام (قوانين نيوتن للحركة، وقوانين النسبية، وقوانين النظرية الكمومية)، يمكن إيجاد حلٍّ آخر ممكن عن طريق استبدال الزمن(*)، t، بقيمة سلبية للزمن، t-. فيزيائيًّا، يعني هذا أنه في ظل أي حركة، من الممكن دائمًا –من حيث المبدأ على الأقل– أن تحدث حركة مماثلة يمكن تنفيذها بترتيبٍ عكسي. بالطبع، للحصول على مثل هذا الانعكاس للحركة في الواقع، سيتعيَّن علينا تغيير شروط الحدود بشكلٍ مناسبٍ (على سبيل المثال، عكس جميع سرعات الجسيمات المختلفة، ومعدلات تغير المجالات، إلخ). مثل هذا الانعكاس، بشكلٍ عامٍّ، لا يحدث تلقائيًّا، على الأقل خلال أي فترات زمنية مهمة عمليًّا. لإثبات أن الأمر كذلك، سنفترض كمثالٍ صندوقين من الغاز، أحدهما يحتوي على الهيدروجين والآخر يحتوي على الأكسجين، ودعنا نتخيَّل أننا فتحنا أنبوبًا يربط بينهما. كما هو معروف، سوف تنتشر الغازات بعضها في بعض. والسبب بالطبع هو أن الحركات المعقدة وغير المنتظمة لجزيئات الهيدروجين ستميل إلى حملها إلى الغرفة التي تحتوي في الأصل على الأكسجين، بينما تميل الحركات المماثلة لجزيئات الأكسجين إلى حملها إلى الغرفة التي تحتوي في الأصل على الهيدروجين. كما رأينا في الفصل الثاني، القسم الثاني عشر، يمكن

(*) في حالة النظرية الكمومية، يجب أيضًا استبدال الدالة الموجية ψ بمكافئها من الأعداد المركبة، لكن هذا لا يغير أي احتمالات للعمليات الفيزيائية التي تعتمد فقط على $|\psi|$.

معالجة هذه العمليات من حيث قوانين الصدفة، بحيث يمكن تطبيق نظرية الاحتمالات عليها. نظرًا إلى أنه من المحتمل بشكلٍ متساوٍ على مدى فترة طويلة من الزمن أن يشغل أي جزيء معين أي منطقة معينة من الفراغ، فإننا نستنتج أنه في المتوسط وعلى المدى الطويل سنحصل على مزيجٍ موحدٍ عمليًّا من الهيدروجين والأكسجين. رغم ذلك فإن من سمات قوانين الصدفة أن تقلبات بعيدة عن القيمة المتوسطة يمكن أن تحدث، على الرغم من ندرة هذه التقلبات الكبيرة. تظهر عملية حسابية بسيطة، باستخدام قانون الاحتمالات المناسب لهذه التقلبات، أن مجموعة الحركات التي ستدفع بكل الهيدروجين والأكسجين إلى العودة إلى حاوياتهم الأصلية، في ظل الظروف النموذجية، لن تحدث لمدة $10^{10^{10}}$ سنة (أي: 1 متبوعًا بعشرة آلاف مليون أصفار). من الواضح إذن، على الرغم من أن الحركة قد تنعكس من حيث المبدأ، فإن احتمال حدوث ذلك ضئيلٌ للغاية لدرجة أننا قد نتجاهل هذا الاحتمال لأغراضٍ عملية، لا سيَّما بالنظر إلى حقيقة أنه، على أي حالٍ، لا يمكن أن تستمر حاويات الغاز على حالتها لمدة طويلة (أي أن الإناء نفسه أو الحاوية سوف يتحلَّل قبل هذا الزمن بمدة طويلة).

من الممكن عن طريق التحليل الموصوف أعلاه فهم عدم القابلية للانعكاس الملحوظة في مختلف الظواهر الفيزيائية، مثل تدفق الحرارة، وإنشاء توازن حراري وميكانيكي في السوائل، إلخ، لكن هذا يحيلنا إلى مشكلة مزعجة. بالنسبة إلى التقليل المذكور أعلاه من عدم القابلية للانعكاس المرصود في ظواهر معينة واسعة النطاق

لتأثيرات الصدفة، لا يغير حقيقة أن المعادلات الأساسية للحركة قابلة للانعكاس، بحيث لا يوجد سببٌ ملزمٌ لضرورة أن تتم العمليات بشكلٍ عامٍّ دائمًا في اتجاه واحد فقط، لأن أي اتجاه سيكون ممكنًا من حيث المبدأ. وبالتالي، إذا تمكنت بالفعل من عكس جميع السرعات ومعدلات تغير المجالات لأي سبب كان (على سبيل المثال عن طريق الصدفة)، فيمكن أن تنتقل الحرارة من درجة حرارة منخفضة إلى درجة حرارة أعلى، ويمكن أن تتدفق المياه من البحر إلى منابعها في الجبال، إلخ. حقيقة أن هذه الأحداث غير محتملة بشكل خيالي لا ينتقص من مشكلة المبدأ المعروضة هنا، وهي: «هل الآثار غير القابلة للإلغاء irrevocable effects عمومًا بمرور الزمن في مجموعة واسعة من المجالات تنتج بشكلٍ حقيقي من الخلط العشوائي وفقًا لقوانين الصدفة لأنواع حركة الجزيئات وأنواع الحركة الأخرى، والتي يكون عكسها ممكنًا من حيث المبدأ ولكن من غير المحتمل عمليًّا اعتباره ذا أهمية حقيقية؟».

إذا أخذنا في الاعتبار طبيعة قوانين الفيزياء التي تنطوي عليها اللا نهائية النوعية للطبيعة، يمكننا الإجابة على الفور عن هذا السؤال بالنفي، لأنه، كما رأينا، فإن فكرة القانون الرياضي واحد-إلى-واحد الذي يعطي تطابقًا رياضيًّا مثاليًّا بين المتغيرات المحددة جيدًا في الماضي والمستقبل، هو مجرد فكرة مجردة وجيدة بما يكفي لوصف نطاقات محدودة من الظواهر خلال فترات زمنية محدودة، ولكنها رغم ذلك، ليست صالحة لجميع النطاقات الممكنة لمدى زمني غير محدودة. وهكذا، كما أشرنا

في القسم الثامن، فإن الكيانات ذاتها التي تعالجها الفيزياء الآن، والتي تفي بقوانين الفيزياء المدروسة حاليًّا، يجب أن تكون قد نشأت في وقتٍ ما في الماضي، في حين أن الظروف المتغيرة التي نتجت جزئيًّا عن آثار هذه القوانين فقط وجزئيًّا عن طريق الصدفة ستؤدي في النهاية إلى مرحلة من الكون تظهر فيها أنواع جديدة من الكيانات التي ستتبع أنواعًا جديدة من القوانين. على نطاقٍ أصغر نرى أيضًا أن مستوياتٍ جديدة مثل مستوى المادة الحية قد ظهرت إلى الوجود حين ظهرت صفات مميزة جديدة وقوانين جديدة. وبالتالي، ليس لدينا ما يبرر إجراء استقراء غير محدود لأي مجموعة محددة من القوانين لجميع النطاقات الممكنة لمدى زمني غير محدود. هذا يعني أن وصف قوانين الطبيعة على أنها قابلة للانعكاس تمامًا من حيث المبدأ هي مجرد نتيجة لتمثيلٍ بسيطٍ للغاية للواقع. عندما ننظر إلى القوانين الميكانيكية في سياقاتها المناسبة للصفات الأساسية المتغيرة باستمرارٍ، يصبح من الواضح أن التغييرات النوعية غير القابلة للإلغاء تحدث بالفعل، والتي لا يمكن حتى عكسها من حيث المبدأ. هذا لأنه، بالنسبة إلى الأنظمة ذات التعقيد الملموس، لا يمكن فصل الطابع الأساسي للقوانين المطبقة تمامًا عن العمليات التاريخية التي تحصلت فيها هذه الأنظمة على صفات خصائصها(*). إن إمكانية حدوث مثل هذا السلوك واضحة بشكلٍ خاصٍّ فيما يتعلق بالمادة الحية، لأن نمط الوجود ذاته هنا والصفات والقوانين الأساسية التي تحدد هذا النمط من الوجود

(*) بالطبع، قد لا يكون هذا هو السبب الوحيد أو حتى السبب الرئيسي لعدم ملاحظة عدم القابلية للانعكاس في الطبيعة، ولكن على أي حالٍ لهذا السبب وحده سنتتبع عدم القابلية للانعكاس.

تنشأ في العملية التي من خلالها يأتي الكائن الحي إلى الوجود، ويمر عبر مختلف مراحل حياته. وبالتالي، من المستحيل تمامًا أن يصبح الإنسان إنسانًا إلا من خلال عملية النمو، من خلال الجنين، والطفولة، والبلوغ، إلخ. ولكن عندما يحلل المرء العمليات التي تحدث في مادة غير حية خلال فترات زمنية طويلة بما يكفي، يجد المرء سلوكًا مشابهًا. هنا فقط تكون العملية أبطأ كثيرًا لدرجة أن التجريد الذي نتصور فيه أن المادة لها خصائص مستقلة عن تطورها التاريخي المحدد عادة ما تكون جيدة جدًّا ما دام المرء يأخذ بعين الاعتبار الفترات الزمنية التي تقاس بوحدات أصغر من مليارات السنين.

تظهر أهمية النظر في تأثير التغيرات النوعية في الأنماط الأساسية لوجود الأشياء أيضًا عندما نفكر في تنبؤات «الموت الحراري» للكون، التي كانت شائعة بشكلٍ خاصٍّ في نهاية القرن التاسع عشر. يشير «الموت الحراري» إلى التنبؤ بأنه في النهاية، بسبب الاختلاط العشوائي وخلط الجزيئات، ستصبح درجة حرارة الكون موحدة، وبالتالي على النطاق الواسع على الأقل، لا يمكن أن يحدث أي شيء، بحيث يكون الكون قد «مات». ومع ذلك، قبل وقتٍ طويلٍ من حدوث ذلك، من الواضح أنه من الممكن تمامًا ومن المحتمل جدًّا أن التطورات الجديدة نوعًا التي تعكس الطابع اللا متناهي واللا محدود للعملية الكونية للتحول ستؤدي إلى إبطال تنبؤات من النوع الموصوف أعلاه. على سبيل المثال، مثلما كان هناك زمنٌ قبل وجود الجزيئات والذرات والإلكترونات والبروتونات، يمكن أن يؤدي التطور الإضافي للكون

أيضًا إلى زمنٍ جديدٍ يختفي فيه من الوجود يُستبدَل به شيء آخر. وقد تتوفر مصادر جديدة للطاقة تأتي من عملية التحول اللا نهائية حتى لو استمرت الذرات والجزيئات وما إلى ذلك في الوجود. وهكذا، في القرن الماضي، كانت الطاقة الميكانيكية والكيميائية والحرارية والكهربائية والضوء والجاذبية فقط معروفة. نحن نعرف الآن الطاقة النووية، التي تشكِّل خزانًا أكبر بكثيرٍ. لكن من المحتمل جدًّا أن البنية الفرعية للمادة تحتوي على طاقات تتجاوز الطاقات النووية بقدر ما تفوق الطاقات النووية الطاقات الكيميائية. في الواقع، هناك بالفعل بعض الأدلة لصالح هذه الفكرة. وهكذا، إذا قام المرء بحساب طاقة «نقطة الصفر» بسبب تقلبات الميكانيكا الكمومية في سنتيمتر مكعب واحد من الفراغ، فإننا ننتج 10^{38} إرج ergs (وحدة من وحدات قياس الطاقة وخاصة الطاقة الحرارية)، وهو ما يعادل الطاقة التي تتحرر من انشطار نحو 10^{10} كن من اليورانيوم(*). بالطبع، توفر هذه الطاقة خلفية ثابتة غير متوفرة في مستوانا في ظل الظروف الحالية، ولكن مع تغير الظروف في الكون، قد يتوفر جزءٌ منه في مستوانا.

لا يقتصر الأمر على أن العملية الكونية اللا نهائية نوعيًّا وكميًّا تصبح معقدة للغاية حتى لعكس نفسها أو للوصول إلى نوع من التوازن

(*) في الواقع، وفقًا للنظريات الحالية، هذه الطاقة لا نهائية، ولكن إذا افترضنا أن النظرية صحيحة في التقلبات التي لها أطوال موجية تتراوح بين 10^{-13} سم، عندها نحصل على القيمة المذكورة أعلاه للطاقة. تم اختيار طول الموجة هذا، لأنه يُعتقد عمومًا أن النظريات الحالية للديناميكا الكهربائية الكمومية تتفكك عند أطوال موجية أقصر، وتنهار بطريقة تجعل تأثيرات التقلبات الكمومية محدودة. وبالتالي، في تقدير تقريبي للغاية، قد نتجاهل تأثيرات أطوال موجية الأقصر من 10^{-13} سم.

النهائي، ولكنها أيضًا لا يمكن أن تستمر في دورة. لأنه حتى لو كانت القوانين المطبقة في سياقات وشروط معينة يجب أن تكون متسقة مع الكون له دورة، فإن هذه القوانين ستتجاهل دائمًا عددًا لا نهائيًّا من الأنواع الجديدة من العوامل، والتي ستصبح مهمة على المدى الطويل مع تغيُّر الظروف بشكلٍ كافٍ. ما لم تنسق هذه العوامل الجديدة تمامًا مع تلك الموجودة بالفعل في سياقات ومجموعات ظروف أكثر محدودية، فإنها في النهاية ستكسر الحلقة وتحدث تغييرات نوعية أساسية. ولكن بسبب استقلاليتها النسبية والتقريبية، لن يتم تنسيق هذه العوامل بشكلٍ عام بهذه الطريقة، ومن ثم فإن السلوك الدوري سيكون أيضًا غير متسق مع طبيعة الكون الذي نعتني به هنا.

ختامًا إذن، إن فكرة اللا نهائية النوعية للطبيعة تعني أن تطوُّر الكون في الوقت المناسب سيؤدي إلى تنوعٍ لا ينضب للأشياء الجديدة.

١٢. المطلق في مواجهة النسبي - طبيعة الواقع الموضوعي

سنلخص الآن الأفكار التي قدمناها في هذا الفصل، في الواقع في جميع أنحاء الكتاب بأكمله من حيث معالجة الآثار المترتبة على طبيعة اللا نهائية النوعية للطبيعة، فيما يتعلق بمشاكل الطابع المطلق ضد الطابع النسبي للحقيقة، وما يعنيه مفهوم الواقع الموضوعي في إطار وجهة النظر هذه.

أولًا، دعونا نتذكر أننا قادرون على فهم الطبيعة من حيث التنوع الذي لا ينضب وتعدد الأشياء، وكلها مرتبطة بشكلٍ متبادلٍ وجميعها تشارك بالضرورة في عملية التحول، التي يوجد فيها عددٌ غير محدودٍ من أنواع الحركات المستقلة والمتناقضة نسبيًّا. نتيجة لذلك، لا يمكن

أن يكون أي نوع معين من الأشياء أكثر من مجرد تجريد من هذه العملية، وهو تجريد صالح ضمن درجة معينة من التقريب، في نطاقاتٍ محددة من الظروف، ضمن سياقٍ محدود، وعلى مدى زمني مميز. من الواضح أن مثل هذا التجريد لا يمكن أن يمثِّل حقيقة مطلقة؛ للقيام بذلك، يجب أن يكون صالحًا من دون تقريب، ودون قيدٍ أو شرطٍ، في جميع السياقات الممكنة، وفي جميع الأوقات. ومن ثم، فإن أي نظرية معينة ستشكِّل حقيقة تقريبية ومشروطة ونسبية.

قد نطرح السؤال التالي، «هل حقيقة أن أي نظرية معينة يمكن أن تكون تقريبية ومشروطة وصحيحة نسبيًّا تعني أنه لا توجد حقيقة موضوعية؟» للتأكد من أن الأمر ليس كذلك، من الضروري فقط طرح السؤال الإضافي حول ما إذا كان سلوك الأشياء عشوائيًّا. على سبيل المثال، هل سيكون من الممكن اختيار القوانين الطبيعية التي تحافظ على درجة معينة من التقريب وفي مجموعة معينة من الظروف حسب الرغبة، وفقًا لأذواقنا، أو مع ما نشعر أنه سيكون مفيدًا لنا في حل أنواعٍ مختلفة من المشاكل العملية؟ حقيقة أننا لا نستطيع فعل ذلك في الواقع، تظهر أن هذه القوانين لها محتوى موضوعي، بمعنى أنها تمثِّل نوعًا من الضرورة المستقلة عن إرادتنا والطريقة التي نفكر بها في الأشياء. هذا لا يعني أننا لا نستطيع -بشكلٍ عامٍّ- اتخاذ خياراتنا الخاصة فيما يتعلق بما سنفعله أو لن نفعله. ولكن ما لم تسترشد هذه الاختيارات بالمفاهيم التي تعكس بشكلٍ صحيحٍ العلاقات الضرورية الموجودة في الطبيعة، فإن عواقب أفعالنا لن تكون بشكلٍ عامٍّ ما اخترناه، بل شيئًا

مختلفًا، وشيئًا غالبًا ما كنَّا نختاره. لنستهدف فقط إذا كنا نعرف ما الذي سيحدث حقًّا من أفعالنا(*).

صحيحٌ تمامًا أن نفس القوانين الطبيعية يمكن معالجتها في كثيرٍ من الأحيان بمساعدة سلسلة من أنواع مختلفة جدًّا من تجريدات المفهوم. وبالتالي، في مجال الفيزياء الكلاسيكية، يمكننا العمل بشكلٍ جيدٍ مع التجريدات المناسبة للميكانيكا الكلاسيكية (على سبيل المثال، الجسيمات التي تتبع المدارات المحددة بقوانين محددة)، أو يمكننا استخدام تلك المناسبة للميكانيكا الكمومية (مثل الأنظمة الموجودة في الحالات المنفصلة، التي تطبق عليها قوانين الاحتمالات)، ثم تأخذ حدًّا للأعداد الكبيرة من الكوانتات الصغيرة جدًّا. أي من هذه الإجراءات المختلفة التي استخدمناها لن يكون مهمًّا في هذا النطاق بالذات، لأن كليهما سيؤدي إلى نفس النتائج بشكلٍ أساسي. في الواقع، كما أشرنا في الفصل الأول، القسم العاشر، تلعب تجريدات المفاهيم المختلفة الممكنة هنا دور وجهات النظر المختلفة لجوانب مختلفة من نفس الواقع الأساسي. إلى الحد الذي تكون

(*) على سبيل المثال، يمكننا اختيار الخروج من النافذة والتحليق إلى أعلى في السماء، ومع ذلك، إذا حاولنا القيام بذلك، فسنسقط. سيحدث نفس الشيء حتى لو وجهنا في أفعالنا من خلال مجموعة من المفاهيم التي أدَّت بنا إلى استنتاج مفاده أنه كان من الممكن التحليق إلى أعلى بمجرد رفرفة ذراعي المرء وقول بعض الكلمات السحرية. في الواقع، إذا كنَّا نرغب في الطيران، فإن ما يجب أن نفعله هو أن يكون لدينا تصورٌ أعمق وأكثر دقة لقوانين الديناميكا؛ وبناءً على ذلك، تبنى أجهزة مناسبة مثل الطائرات، والصواريخ.. إلخ. وهكذا، في التحليل الأخير، لا تعتمد قوانين الطبيعة على كيفية تفكيرنا فيها أو على ما نختار القيام به، ولكن يجب أن تسترشد الإجراءات بالمفاهيم الصحيحة لهذه القوانين إذا كانت ستؤدي إلى النتائج التي نهدف إليها.

فيه هذه التجريدات المختلفة لها مجال مشترك للصلاحية، يجب أن تؤدي إلى نفس النتائج (تمامًا كما يجب أن تكون الآراء المختلفة متسقة بعضها مع بعض في نطاق التداخل الخاص بها).

يتضح من المناقشة السابقة أن جزءًا ضروريًّا من تعريف المدى الذي يكون فيه قانون معين صحيحًا يكمن في تحديد نطاق صلاحيته. لإنجاز تعريف هذا النطاق، يجب أن نجد الأخطاء في القانون المعني. لمزيدٍ من المعلومات التي نعرفها عن هذه الأخطاء، سنعرف بشكلٍ أفضل الشروط والسياق ودرجة التقريب التي يمكن من خلالها تطبيق هذا القانون بشكلٍ صحيحٍ، وبالتالي يمكننا معرفة مجال صلاحيته بشكل أفضل.

الآن، إذا كانت هناك مجموعة قوانين نهائية ومحددة بشكلٍ شاملٍ وتشكِّل حقيقة مطلقة، فيمكننا اعتبار جميع الأخطاء على أنها خصائص ذاتية بحتة، ناتجة عن عدم التأكد في معرفتنا بشأن هذه الحقيقة المطلقة. من ناحية أخرى، من حيث مفهوم اللا نهائية النوعية للطبيعة، نرى أن كل قانون يمكن صياغته يجب أن يحتوي على أخطاء، لأنه ببساطة يمثِّل الطبيعة من حيث مجموعة محدودة من المفاهيم، والتي تفشل حتمًا في أن تأخذ في الاعتبار عددًا لا نهائيًّا من الصفات والخصائص الإضافية المحتملة أو المهمة للمادة. بعبارة أخرى، يجب أن تكون هناك أخطاء مرتبطة بأي قانون معين وهي تعتبر سمات أساسية وموضوعية لذلك القانون ناتجة عن العديد من العوامل المتنوعة التي يجب أن يتجاهلها

القانون المعني(*). كجزء ضروري من تعريف أهميتها الحقيقية المتعلقة بنتائجها الصحيحة.

يتضح من المناقشة أعلاه أن البحث العلمي لا يؤدي ولا يمكن أن يؤدي إلى معرفة بالطبيعة خالية تمامًا من الخطأ، بل إنه يقود وقادرٌ على أن يقود فقط إلى عملية لا تنتهي حيث تتزايد درجة الحقيقة في معرفتنا باستمرارٍ. يمكن إنجاز الخطوة الأولى في أي جزءٍ من هذه العملية بشكلٍ عامٍّ بمساعدة أنواعٍ جديدة من التجارب والملاحظات أو باستخدام أشكال أكثر دقة لأنواعٍ مألوفة بالفعل من التجارب والملاحظات تعمل على الكشف عن بعض الأخطاء التي لا مفرَّ منها الموجودة في أي مرحلة في أثناء تطوير نظرياتنا. تأتي الخطوة التالية بعد أن اكتشفنا بعض القوانين الجديدة التي تنطبق في المجالات الأحدث والأوسع التي توجهنا إليها بهذه الطريقة. لأنه، كما رأينا من حيث عدد من الأمثلة المقدمة في الفصول السابقة(**)، هذه القوانين الجديدة لا تقترب فقط من القوانين القديمة باعتبارها تقريبية تحمل في الحالات المحددة، ولكنها تساعد أيضًا على تحديد درجة التقريب والظروف التي ضمنها ستطبق القوانين القديمة بالفعل. وبالتالي، مع التقدم الإضافي للعلم في

(*) في القسم السادس، رأينا حالة خاصة تتعلق بالطابع الجوهري للأخطاء في قوانين الطبيعة. وبالتالي، فإن القوانين السببية تحتوي حتمًا على أخطاء ناتجة عن إهمال تقلبات الصدفة الناشئة في سياقاتٍ خارجة عمَّا يعالجه القانون السببي المعني. وبالعكس، يجب أن تحتوي قوانين الصدفة على أخطاء ناتجة عن إهمال الترابط السببي الناجم عن القوانين المعمول بها في سياقات أوسع.

(**) على سبيل المثال نهج نظرية الكمومية مقارنة بالنظرية الكلاسيكية والنسبية مقارنة بميكانيكا نيوتن.

مجالات جديدة، يصبح من الممكن بالنسبة إلينا تحديد الأخطاء في القوانين القديمة بمزيدٍ من التفاصيل وفي المزيد من النواحي، وبهذه الطريقة يمكن تحديد مجالات صلاحية هذه القوانين بدقة أكثر وبشكلٍ شبه كاملٍ.

الآن، إذا تمكَّنَّا من تحديد جميع الأخطاء في قانون معين تمامًا، فسنعرف الحقيقة المطلقة حول هذا القانون. لأننا سنعرف بعد ذلك متى وأين، وإلى أي درجة من التقريب، يمكن أن يكون صحيحًا، حتى لا نتوجه أبدًا إلى تنبؤات خاطئة من خلال استخدامه. بالطبع، لا يمكننا تحديد جميع الأخطاء في أي قانون معين بالكامل؛ ونتيجة لذلك، لا يمكننا في الواقع الوصول إلى مثل هذه الحقيقة المطلقة فيما يتعلق بالقانون المعني. ومع ذلك، في العديد من المجالات، يمكننا تحديد الأخطاء جيدًا بهذه الطريقة بحيث يمكننا القول إنه على الأقل بالنسبة إلى المجالات المحددة قيد الدراسة، فإننا نقترب أكثر من الحقيقة المطلقة (أكثر أو أقل على حسب قدرتنا على الاقتراب أكثر فأكثر من تمثيل الشكل المنحني عن طريق رسمه في سلسلة من الخطوط المستقيمة الصغيرة مع المزيد من الجوانب وبالتالي لإعطاء سلسلة من التقريبات المتتالية التي تقترب من نتيجة محددة ومحدودة).

فيما يتعلق بالطبيعة ككل، لا يمكن القول إن هذه العملية المستمرة للكشف عن الأخطاء في نظرياتنا تقودنا عبر سلسلة من التقريبات المتتالية التي تتلاقى على هدفٍ محددٍ ومحدودٍ، مما يشكِّل حقيقة مطلقة. لأنه مع تقدُّم العلم، نجد أن عملية الكشف عن الأخطاء في

النظريات السابقة تشير باستمرارٍ إلى وجود المزيد من أنواع الأشياء الجديدة، التي لم تكن مهمة في السياقات والظروف التي تمَّت دراستها حتى نقطة معينة في تطويرنا للأبحاث، ولكنها قد تكون ذات أهمية حاسمة في السياقات والظروف الجديدة. نتيجة لذلك، فإن هدف الحقيقة المطلقة التي تنطبق في جميع السياقات والظروف الممكنة يستمر في الانحسار وراء الآفاق الجديدة التي تظهر أمامنا بينما نواصل دراساتنا لخصائص الطبيعة التي لا تنضب بمزيدٍ من التفصيل وفي المزيد من الطرق المختلفة. صحيح أنه لا يوجد شيء في بنية الكون يمكن أن يمنعنا من الدخول في نهاية المطاف في هذه الدراسات لمعرفة أي شيء بعينه. في الواقع، مع نمو فهمنا للعلاقات المتبادلة بين الأشياء بشكلٍ أفضل، سنكون قادرين على إجراء المزيد من أنواع القياسات التي تتعمَّق بشكلٍ أعمق في بنية الكون والتي تمتد أكثر من منطقة معينة من الفضاء والزمن الذي يتمحور فيه وجودنا. لأن هذه العلاقات ستمكننا من استنتاج طبيعة الأشياء الموجودة على مستويات مختلفة أو بعيدة عنَّا، على أساس التجارب والملاحظات على الأشياء الموجودة على مستوانا والتي هي في مجال المكان والزمن الذي هو في متناولنا الآن. وبالتالي، فإن أي نوعٍ من الأشياء، من حيث المبدأ، يمكن معرفته. من ناحية أخرى، بغض النظر عن مدى تقدُّم البشرية جمعاء في أي فترة زمنية محددة، مهما كانت طويلة، لا يمكنها الوصول أو حتى الاقتراب من معرفة كاملة وغير مشروطة للواقع ككل. وبالتالي، فيما يتعلق بالواقع ككل، فإن تشبيه النهج إلى شكلٍ منحنٍ معين عن

طريق مجموعة من الخطوط الأصغر ليس مناسبًا. قد يكون التشبيه الأفضل هو وجود جسيم في الحركة البراونية، يمكن الاقتراب من مساره بهذه الطريقة فقط ضمن درجة معينة من التقريب، ولكن يجب معالجته، عندما نتعمق أكثر، بمساعدة المزيد من الصفات والخصائص الجديدة، مثل تلك المرتبطة بالذرات والجزيئات المتحركة، والتقلبات الكمومية، إلخ.

إذا توقفنا عند هذه النقطة في تحليلنا لمشكلة الحقيقة، فسنركز انتباهنا على جانب التنوع اللا متناهي وتعدد الأشياء في الكون، وبالتالي فإننا سوف نغفل كيف تتحد هذه الجوانب المختلفة من هذه الأشياء في عالمٍ واحدٍ، لأننا نميل إلى التفكير في الأشياء والصفات على أنها متداخلة واحدة تلو الأخرى في خط لا ينتهي أو متناثر في الفضاء في فوضى لا حدود لها. من أجل رؤية العالم من جانب كونه وحدة واحدة، يجب أن نبدأ من فكرة أن الواقع الأساسي هو مجموع المادة الموجودة بالفعل في عملية التحول. إنها الحقيقة الأساسية لأن لها نوعًا مستقلًّا من الوجود بحيث لا تعتمد أي من خصائصها على أي شيء آخر خارجها. هذا لأن كلية المادة في طور التحول تحتوي، بحكم التعريف، على كل ما هو موجود. إذا وجدنا أن شيئًا ما خارج أي جزء معين مما نفكر فيه، فهذا يعني فقط أنه يجب علينا تحديد فئة أوسع، والتي تشمل الجزء المعني بالإضافة إلى ما هو خارجها. وهكذا، على الرغم من أن الوجود والخاصية التي تحدد نمط وجود أي شيء يمكن، بل يجب أن تكون مشروطة بأشياء أخرى، فإن وجود الكل اللا نهائي للمادة في

عملية التحول غير ممكن، لأنه مهما كان ممكنًا أن يكون عرضيًّا هو أيضًا بحكم التعريف الوارد مضمن في هذا المجموع.

ثم نأتي إلى مسألة التحديد التفصيلي لماهية هذه المادة في عملية التحول، ونعني بهذا أننا نرغب في تحديد خصائصها وصفاتها الأساسية، وتحديد خصائصها العامة.

الآن، تكمن السمة الأساسية والجوهرية لمجموع المادة في عملية التحول على وجه التحديد في حقيقة أنه لا يمكن تمثيلها إلا بمساعدة سلسلة لا تنضب من التجريدات، كل تجريدٍ له صلاحية تقريبية فقط، في سياقاتٍ وشروطٍ محدودة، وعلى مدى فترات زمنية ليست قصيرة جدًّا ولا طويلة جدًّا. هذه التجريدات لها العديد من العلاقات المفهومة عقلانيًّا فيما بينها. وبالتالي، فإنها تمثِّل الأشياء التي تخضع لعلاقاتٍ متبادلة بعضها مع بعض، وتساعد كل نظرية، أمكن التعبير عنها من حيث نوع معين من التجريد، في تحديد نطاقات صحة النظريات المختلفة، معبرًا عنها بمصطلحات أنواع أخرى من التجريدات. حقيقة وجود كل هذه العلاقات ليست مفاجئة، لأن كل نظرية هي نوع من التجريد من نفس مجمل المادة في عملية التحول. والعكس صحيح، حقيقة أننا بحاجة إلى سلسلة لا تنضب من مثل هذه الأفكار التجريدية من أجل تمثيل أفضل للواقع ككل ليس مفاجئًا أيضًا، بشرط أن نتذكر -كما رأينا في القسم التاسع- أن هذا الواقع ملموس؛ أي له جوانب فريدة لكل شيء في كل مقدارٍ من وجوده.

يمكن بعد ذلك تحديد الخصائص الملموسة لمجموع المادة في

عملية التحول بتفاصيل غير محدودة من حيث العلاقات بين الأشياء التي يمكن للمرء أن يجردها من هذه العملية نفسها. يمكن تعريف كل شيء موجود في هذه العملية، لتقريب أفضل وفي سياقات أوسع تدريجيًّا، من حيث علاقاته المتبادلة مع المزيد من الأشياء الأخرى. هذا هو السبب الأساسي الذي يجعل دراسة أي شيء تلقي الضوء على أشياء أخرى، وبالتالي تؤدي في النهاية إلى فهمٍ أعمق لخصائصه. في الواقع، إذا كان من الممكن تحديد مجمل كل العلاقات المتبادلة بين الأشياء، فإن هذا سيمكننا من تحديد المادة في عملية التحول تمامًا. لكل شيء موجود، بما في ذلك جميع خصائصه المميزة وصفاته، كل حدث يحدث، وكل قانون يتعلق بهذه الأحداث والأشياء، يعرف فقط من خلال مثل هذه العلاقات المتبادلة. وما المزيد الذي نحتاج إليه لتعريف المادة في عملية التحول، باستثناء ما هو غير موجود، وليس له خصائص وصفات، ولا يتبع أي قوانين، ولا يتحقق، وبالتالي فهو على وجه التحديد لا شيء؟ بالطبع، كما سبق أن أشرنا، لا يمكننا في الواقع معرفة كل هذه العلاقات المتبادلة في أي زمنٍ محدودٍ، مهما كان طويلًا. ومع ذلك، فكلما تعلمنا عنها أكثر، عرفنا أكثر عن ماهية المادة في عملية التحول، حيث إن كليتها لا يمكن تعريفها إلا بمجموع كل هذه العلاقات.

في الختام، يمكن الحصول على تصورٍ ثابتٍ لِمَا نعنيه بالجانب المطلق من الطبيعة إذا بدأنا بالنظر إلى الكلية اللا نهائية للمادة في عملية التحول كحقيقة أساسية. هذه الكلية مطلقة بمعنى أنها لا تعتمد على أي

شيء آخر لوجودها أو لتعريف أي من خصائصها. من ناحية أخرى، لا يمكن تحديد ما هو محدد بشكلٍ ملموسٍ إلا من خلال العلاقات بين الأشياء التي يمكن تحليلها بشكلٍ تقريبي. تحتوي كل علاقة على محتوى معين مطلق، ولكن يجب، كما رأينا، تعريف هذا المحتوى بتقريبٍ أقرب، بمساعدة المفاهيم والنظريات الأوسع، التي تأخذ في الاعتبار المزيد من العوامل التي تعتمد عليها هذه العلاقة. ومن ثم، على الرغم من أن نمط الوجود لكل شيء لا يمكن تحديده إلا بالنسبة إلى الأشياء الأخرى، فإننا لا نقود إلى وجهة نظر النسبية الكاملة. تشير وجهة النظر هذه إلى أنه لا يوجد محتوى موضوعي لمعرفتنا على الإطلاق، إما لأنه من المفترض أن تعرف بشكلٍ كاملٍ بالنسبة إلى المراقب، وإما لوجهة النظر العامة والظروف الخاصة لكل فرد، أو المفاهيم المسبقة وأنماط التفكير (أو «الأسلوب» style) التي قد توجد في مجتمع معين أو في حقبة معينة من الزمن(*). من وجهة نظرنا، نحن نعترف بأن كل الأشياء المذكورة أعلاه تلوِّن معرفتنا وتؤثر فيها؛ لكننا نعترف أيضًا أنه لا يزال هناك حقيقة مطلقة وفريدة وموضوعية. لمعرفة هذا الواقع بشكلٍ أفضل، وبالتالي تصحيح وإزالة بعض المفاهيم المسبقة والثغرات التي لا مفرَّ منها في معرفتنا في أي وقتٍ معين، يجب أن نواصل أبحاثنا العلمية، بهدف إيجاد المزيد من الأشياء التي تتعلَّق بالمادة في عملية التحول والتي يمكن تحليلها تقريبيًّا، دراسة العلاقات بين هذه الأشياء

(*) ربما إن أفضل وصف لوجهة النظر هذه هو افتراض أن «النسبية مطلقة». بعبارة أخرى، يُقال إنها الحقيقة المطلقة الوحيدة حيث لا يوجد محتوى مطلق لمعرفتنا على الإطلاق.

بشكلٍ تقريبي أفضل، واكتشاف المزيد من تفصيل القيود المفروضة على قابلية تطبيق كل مجموعة محددة من المفاهيم والقوانين. إن الصفة الجوهرية للبحث العلمي، إذن، هي أنه يتجه نحو المطلق بدراسة النسبي، في تعدده وتنوعه الذي لا ينضب.

* * *

ختام

(تمهيد الكاتب للطبعة الجديدة)

لقد مرَّ وقتٌ طويلٌ على نشر هذا الكتاب لأول مرة، وقد طُلب مني كتابة مقدمة موجزة، واستطلاع وتقييم ما خرج من الأفكار التي قدمت فيه.

يبدأ الكتاب بمناقشة السببية والمصادفة في القانون الطبيعي بشكلٍ عامٍّ، ويتبع ذلك شرح أكثر تفصيلًا لكيفية ظهور هذه الفئات في الفيزياء الكلاسيكية. ما كان مهمًّا بشكلٍ خاصٍّ في تطوير الفيزياء الكلاسيكية هو أنها أدَّت إلى فكرة أن الكون يمكن مقارنته بآلة عملاقة، ومع ذلك، كما هو موضح في الكتاب، فإن التطورات الحديثة في الفيزياء، ولا سيما النسبية والنظرية الكمومية، لا تتناسب مع مثل هذه الفلسفة الآلية. بدلًا من ذلك، فإنهم يقترحون بشدة الحاجة إلى نهجٍ شاملٍ جديدٍ جذري، يتجاوز الآلية. لا يعطي التفسير الاعتيادي للنظرية الكمومية فكرة واضحة عن مدى بعيدٍ لهذا التغيير، لأنه يعمل فقط كخوارزمية رياضية، مجموعة من القواعد تسمح فقط بحساب النتائج المحتملة لمجموعة إحصائية متشابهة من القياسات. في الفصل الرابع، نوقش تفسيرٌ بديلٌ، حيث يفترض أن يكون الإلكترون (على سبيل المثال)

جسيمًا مصحوبًا دائمًا بنوعٍ جديدٍ من مجال الموجة. على الرغم من أن هذا التفسير قد قدم اقتراحه لأول مرة، فإنه يعطي نفس التنبؤات لجميع النتائج التجريبية كما يفعل التفسير الاعتيادي، كما أنه يوفر رؤى جديدة حول المعنى المادي للنظرية الكمومية. ومن ثم فهو قادر على إبراز المدى الذي قطعته هذه النظرية فعليًّا عن المفاهيم الآلية الكامنة وراء الفيزياء الكلاسيكية.

ومع ذلك، فقد نُظِر إلى هذا التفسير من حيث الجسيم بالإضافة إلى المجال على أنه يوفر فقط طريقة مؤقتة لفهم النظرية الكمومية، والتي يجب أن تكون بمثابة نقطة انطلاق مما يعني ضمنًا إمكانية اكتشاف أنواعٍ جديدة أخرى من امتداد النظرية. إلى أي مدى إذن أثبتت التطورات اللاحقة هذا الهدف؟ من وجهة نظري، فقد نجح هذا الخط الفكري، خاصة فيما يتعلق بتطوير طرقٍ جديدة أخرى للتفكير في العلاقة بين الكل والأجزاء، التي ينطوي عليها هذا النهج.

كانت الخطوة الأولى المهمة في هذا التطور هي الدراسة بمزيدٍ من التفصيل لما هو متضمن في التفسير الجديد المقترح للنظرية الكمومية، بدءًا من نظام الجسم الواحد(1) والذهاب إلى نظام الجسم المتعدد (3)،(2). (خاصة تلك التي تنطوي على العمل على المسارات التفصيلية) أصبح من الواضح أنه حتى نظام الجسم الواحد له ميزة غير آلية في الأساس، بمعنى أنه يجب فهم بيئته من دون تقسيم، حيث يطبق تحليل النظام الكلاسيكي المعتاد في النظام بالإضافة إلى البيئة، التي تعتبر خارجية بشكلٍ منفصلٍ. يصبح هذا الكمال أكثر وضوحًا في

نظام الجسم المتعدد، حيث يوجد بشكلٍ عامٍّ تفاعل غير محلي بين جميع الجسيمات المكونة، وهو لا يسقط بالضرورة عندما تكون هذه الجسيمات بعيدة بعضها عن بعض. الأمر اللافت هنا هو أن العلاقات المتداخلة للأجزاء (أو الكيانات الفرعية) داخل النظام تعتمد بشكلٍ حاسمٍ على حالة الكل، بطريقة لا يمكن التعبير عنها من حيث خصائص الأجزاء وحدها(4). بالطبع تنتظم الأجزاء بطرقٍ تتدفق من الكل، لكن هنا ينهار المفهوم الآلي المعتاد بأن التنظيمات، وفي الواقع، السلوك الكلي للكل مشتق من أجزائه ومن علاقاتها الداخلية المحددة مسبقًا.

يمكن إثبات أن قانون الكل يعني ضمنيًّا أنه على المستوى العادي من الخبرة (وكذلك في المستوى الذي تغطيه الفيزياء الكلاسيكية)، يقع الكل تقريبًا في هيكل من الكيانات الفرعية المستقلة نسبيًّا، وتتفاعل بشكلٍ أو بآخر خارجيًّا وميكانيكيًّا. ومع ذلك، في وصف أدق وأكثر جوهرية، يُنظر إلى الكلية الكمومية والكمومية غير الموضعية على أنهما العاملان الرئيسيان. لقد برز هذا بشكلٍ خاصٍّ في تجربة أينشتاين وبودولسكي وروزين، التي تؤكد على هذه الميزات بطريقة واضحة جدًّا. لقد طورت العديد من التحسينات والتعديلات على هذه التجربة، وبمساعدة مبرهنة بل لعدم المساواة المعروفة، أصبح من الممكن إجراء اختبار دقيق للغاية للكمومية غير الموضعية. يؤكد عدد من التجارب -التي انتهت بأحدثها والتي قدمها آسبكت(5)- بشدة تنبؤات النظرية الكمومية، وتشير إلى أن المفاهيم الكلاسيكية للموقع وقابلية التحليل قد انهارت. يقدم التفسير الجديد للنظرية الكمومية تفسيرًا واضحًا

وبسيطًا ومفهومًا بشكلٍ حدسي لكيفية أن يكون النظام الكمومي كليًّا غير مقسم، حيث يمكن أن تحدث اتصالًا غير موضعي من النوع الموصوف أعلاه.

هذه النوعية من الكلية غير القابل للتجزئة وعدم الموضعية تعطيان نظرة ثاقبة على سمة متناقضة أخرى للنظرية الكمومية، هو «انهيار الدالة الموجية»، والتي يُقال في التفسير المعتاد أنها تحدث في القياسات(6). بتطبيق هذا التفسير على عملية القياس، نرى أنه لا حاجة إلى مثل هذا «الانهيار». بهذه الطريقة، من الممكن فهم الكون على أنه حقيقة فريدة ومستقلة، تشمل كلًّا من المراقب وما يراقبه. علاوة على ذلك، نحصل على منظورٍ جديدٍ حول مسألة ما إذا كان الكون محددًا تمامًا أم لا، يحدد كل كائن أو حدث أو عملية..إلخ، من حيث المبدأ، ولكن في النهاية، فإن أساس هذا التحديد هو الكلية غير المجزَّأة للكون نفسه، هذا الأخير هو في الواقع يحدد ذاته، ومع ذلك، يمكننا أن نرى أنه لا توجد حتمية آلية للأجزاء، وفقًا للعلاقات التي يمكن تحديدها مسبقًا بصرف النظر عن الحالة الكلية.

في الواقع، عندما يمتد هذا التفسير إلى نظريات المجال(7)، لا يُنظر إلى العلاقات المتداخلة للأجزاء فحسب، بل أيضًا إلى وجودها نفسه على أنه ينبع من قانون الكلية. لذلك لم يتبق شيء من المخطط الكلاسيكي، حيث يُشتق الكل من أجزاء موجودة مسبقًا مرتبطة بطرقٍ محددة مسبقًا. بدلًا من ذلك، فإن ما لدينا يذكِّرنا بالعلاقة بين الكل والأجزاء في الكائن الحي، حيث ينمو كل عضو ويحافظ على نفسه

بطريقة تعتمد بشكلٍ حاسمٍ على الكل.

هناك تطورٌ إضافي يحمل فكرة الكلية إلى أبعد من ذلك وهو النظام الضمني (أو المضمن enfold)(8) . (لإعطاء فكرة عن معنى كلمة «المضمن» في هذا السياق، يمكننا أن نتخيل كيف نقوم بعمل طيات folds في ورقة قد تحتوي على العلاقات الأساسية للشكل الإجمالي الذي نقدمه عند فتح الورقة) الاقتراح هو أن جميع الكائنات والكيانات والنماذج وما إلى ذلك التي تبدو تجربة عادية يتم تضمينها في مجالٍ كليٍّ، وأن هناك حركة مستمرة من الانفتاح والتوسيع، حيث يتم خلقهما واستدامتهما وتذويبهما في النهاية. وبهذه الطريقة، يرتبط كلُّ عنصرٍ داخليًّا بالكلية، بمعنى أن الكل يتضمن نشاطاته بالداخل هذا يعني أن النشاط الديناميكي، الداخلي والخارجي، وهو أمر أساسي لكل جزء، يتضمنه الكون بأكمله، وبالتالي لجميع الأجزاء الأخرى. وهكذا نحصل على فهمٍ أعمق حتى الآن لكلية الكون غير المقسم مما يجعل من الممكن رؤية إضافية للكون في كليته.

المزيد من الدراسات جارية على هذا المنوال الآن. في هذه الدراسات، يُنظر إلى خصائص الزمكان على أنها تتكشف من بنية أعمق متشابكة، حيث تختلف المبادئ الأساسية أو الترتيب أو الاتصال أو التنظيم تمامًا عن تلك الخاصة بالهندسة العادية. تطور أشكال رياضية جديدة للتعامل مع مثل هذه الهياكل بطريقة دقيقة(9).ويتجاوز هذا التطور إلى أبعد من الآلية كما وصفت سابقًا. في الواقع، إنها تعني شيئًا قريبًا من اللا نهائية النوعية للطبيعة، كما هو مقترح في هذا الكتاب،

ولكن لدينا الآن كلية لا نهائيًّا، والذي وفقًا لمبادئه الخاصة، يحدد تسلسلًا هرميًّا لأفرع من الكل، بطريقة تجعل كل منها مستقلًّا نسبيًّا ومستقرًّا.

باختصارٍ، إذن، فإن الأفكار المقترحة في هذا الكتاب كانت في الواقع بمثابة نقطة انطلاقٍ إلى مزيدٍ من التطورات، والتي، إذا جاز التعبير، تكشف ما هو ضمني فيها. لا يزال هذا التطور مستمرًّا في تقديم المزيد من الأفكار حول المعنى الأعمق للنظرية الكمومية. وأشعر أن هناك سببًا وجيهًا لتوقع أن مثل هذه الأفكار ستؤدي، عاجلًا أم آجلًا، إلى مزيدٍ من المقترحات الرياضية، التي من شأنها أن تقدم تنبؤات تجريبية محددة في مجالات جديدة، بما يتجاوز ما يمكن تغطيته بواسطة الشكل العام الحالي للقوانين الرياضية لـلنظرية الكمومية.

مراجع

1 C.Philippidis, C.Dewdney, and B.Hiley, Nuovo Cimento, 52B, 15 (1979).

2 D.Bohm and B.Hiley, Foundations of Physics, 5, 93 (1975).

3 D.Bohm and B.Hiley, Foundations of Physics, 12,1001 (1982).

4 D.Bohm and B.Hiley, Foundations of Physics, to be published.

5 A. Aspect, Phys. Rev. 14D, 1944 (1976).

6 D.Bohm and B.Hiley, Foundations of Physics, to be published.

7 Ibid.

8 D.Bohm, Wholeness and the Implicate Order, Routledge & Kegan Paul, London (1980).

9 D.Bohm, P.Davies and B.Hiley, Preprint.

التعريف بالمترجم

مصطفى أحمد علي العدوي، مهندس كهرباء (مدير إدارة الكهرباء والآلات الدقيقة) بشركة نفط مصرية..

حاصل على درجة الماجستير في الهندسة الكهربائية 2016، له عددٌ من الأبحاث في مجالات الهندسة والطاقة، المشرف السابق لفريق الفيزياء والفلك والهندسة بمبادرة أنا أصدق العلم، له 200 مقالٍ علمي مترجَم في مبادرات أنا أصدق العلم/ أخبار العلوم/ الباحثون السوريون/ في العلم.

صدر له ثلاثة مؤلفات أدبية: مجموعتان قصصيتان «الـ.....» عن الهيئة العامة المصرية للكتاب في عام 2015، و«مجتمع المتوحدين السري» 2017، ورواية «وهم كوتارد» الجزائر2019-.

كما صدرت ترجمته لكتاب نيلز بور «فيزياء الكم والمعرفة الإنسانية» دار آفاق عام 2022.

كتاب متشيو كاكو «معادلة الإله.. البحث عن نظرية كل شيء» دار آفاق عام 2022

حصل على المركز الأول للقصة القصيرة في مسابقة نقابة المهندسين المصرية 2017، وهو عضو سابق بنادي أدب جامعة المنصورة، وعضو مؤسس لنادي أدب كلية الهندسة جامعة المنصورة.

الفهرس

تقديم –لويس دي برولي 5

الفصل الأول: السببية والصدفة في القانون الطبيعي 11

1. مقدمة 11

2. السببية في العمليات الطبيعية 16

3. الارتباط في مواجهة الروابط السببية 18

4. الأسباب المهمة خلال سياقٍ ما 22

5. المزيد من المعايير العامة للعلاقات السببية 28

6. قوانين السببية وخصائص الأشياء 32

7. العلاقات السببية 38

8. الحالات الطارئة، والصدفة، والقانون الإحصائي 46

9. نظرية الاحتمالات 54

10. اعتبارات عامة لقوانين الطبيعة 60

11. ملخص 67

الفصل الثاني:

السببية والصدفة في الفيزياء الكلاسيكية: الفلسفة الآلية 69

1. مقدمة 69

2. الميكانيكا الكلاسيكية 70

3. فلسفة الآلية 73

4. تطورات بعيدة عن فكرة آلية في الفيزياء الكلاسيكية 78

5. النظرية الموجية للضوء 79

6. نظرية المجال 81

7. حول ماهية طبيعة المجال الكهرومغناطيسي 84

8. نظرية المجال والآلية 88
9. النظرية الجزيئية للحرارة والنظرية الحركية للغازات 91
10. عن العلاقة بين المستوى المجهري ومستوى الرؤية
بالعين المجردة تبعًا للنظرية الجزيئية 95
11. التغيرات النوعية والكمية 100
12. الصدفة والقانون الإحصائي والاحتمالات في الفيزياء 104
13. إثراء بنية المفهوم في الفيزياء الكلاسيكية والفلسفة الآلية 107
14. وجهة نظر جديدة تجاه الاحتمالات
والقانون الإحصائي – آلية اللا حتمية 118
15. تلخيص الفكرة الآلية 125
الفصل الثالث: النظرية الكمومية 129
1. مقدمة 129
2. أصل النظرية الكمومية 133
3. مشكلة إيجاد تفسير سببي للنظرية الكمومية 149
4. مبدأ اللا حتمية 154
5. إنكار السببية فيما يتعلق بالمجال الذري
نتيجة لمبدأ اللا حتمية 159
6. إنكار مفهوم الاستمرارية في المجال الذري 167
7. إنكار جميع نماذج المفهوم المحددة بدقة في المجال
المجهري – مبدأ المكاملة. 170
8. نقد الاستنتاجات التي قدمها التفسير المعتاد للنظرية
الكمومية على أساس مبدأ اللا حتمية 175
9. التفسير المعتاد للنظرية الكمومية في صيغة الآلية اللا حتمية 188
الفصل الرابع: تفسير بديل للنظرية الكمومية 193
1. مقدمة 193
2. الاعتبارات العامة للمستوى الفرعي من الميكانيكا الكمومية 196
3. استعراض تاريخي موجز لمقترحات التفسيرات

البديلة للنظرية الكمومية 202
4. مثال واضح لتفسير بديل للنظرية الكمومية 205
5. انتقادات التفسير الجديد المقترح للنظرية الكمومية 214
6. مزيد من التطورات في النظرية 216
7. الأزمة الحالية في الفيزياء على المستوى المجهري 222
8. مزايا التفسير الجديد للنظرية الكمومية في توجيه البحث في النطاقات الجديدة 226
9. تفسير بديل للنظرية الكمومية والفلسفة الآلية 230
الفصل الخامس: مفهوم أعم للقانون الطبيعي 237
1. مقدمة 237
2. ملخص الخصائص الأساسية للفلسفة الآلية 238
3. نقد الفلسفة الآلية 239
4. وجهة نظر تتجاوز الفلسفة الآلية 241
5. عرض أكثر تفصيلًا لمعنى اللا نهائية النوعية للطبيعة 248
6. الصدفة والروابط السببية الضرورية 254
7. العلاقات التبادلية والطابع التقريبي والنسبي لاستقلال أنماط وجود الأشياء 259
8. عملية التحول 265
9. في تجريد صفة مفهوم التحول المحدد وغير المتغير 275
10. أسباب عدم صلاحية حتمية لابلاس 285
11. القابلية للانعكاس في مواجهة عدم القابلية للانعكاس لقوانين الطبيعة 288
12. المطلق في مواجهة النسبي – طبيعة الواقع الموضوعي 295
ختام: (تمهيد الكاتب للطبعة الجديدة) 307
التعريف بالمترجم 315