

Journey of Physics between Continuity and Discontinuity Salah Osman

(Menoufia University, Egypt)

Salah_mohamed@art.menofia.edu.eg □

مسيرة الفيزياء بين مقولتي الاتصال والانفصال

دكتور / صلاح عثمان

من كتاب: الاتصال واللاتناهي بين العلم والفلسفة، منشأة المعارف، الاسكندرية، ١٩٩٨،

ص ص ١٥١ - ٢٤١

تمهيد:

١ - كان مبدأ الاتصال، عبر مسيرة العلم قديماً وحديثاً، قضية أولية تُلحّ حيثما بُحث الزمان أو المكان، وحيثما بُحثت المادة أو الحركة. وكانت قوانين نيوتن في الحركة، وقانونه العام في الجاذبية، تنويجاً لجهودٍ نظرية وتجريبية سابقة تؤكد الاتصال؛ فليس ثمة قفزات في الطبيعة، وكل جسم متحرك، بالدفع أو بالجذب، فحركته تتناسب تدريجياً على نحو متصل، وفقاً لإطارٍ مطلق ذو بعدين: مكان متصل يتألف من عدد لا متناه من النقاط المتجانسة، وزمان متصل به عدد لا متناه من الأوقات المتجانسة والمتدفقة إلى الأمام بسرعة متساوية خلال الكون. أما الجسم المتحرك ذاته، فقوامه جزيئات مصمتة لا متناهية العدد والصغر، تدفعها وتجذبها قوى يمكن صياغتها صياغة رياضية حاسمة.

وبهذا التصور الميكانيكي للأجسام وحركاتها، بدا الكون وكأنه محكومٌ بعددٍ محدودٍ من القوانين الرياضية تُسوغ التنبؤ بالمستقبل، بدلالة الماضي والحاضر، وتبعاً لمعادلات تفاضلية تُتيح لنا الإمساك باللامتناهي في الصغر. وما علينا إلا أن نرضخ لهذه المعادلات وتلك القوانين إذا ما أردنا تسخير الطبيعة.

أما الرياضيات الحديثة، فقد تخلت تدريجياً عن التمثيل الهندسي أو الدالي للاتصال، الذي أقره من قبل نيوتن وليبنيز، حتى أصبح في النهاية مفهوماً عددياً مجرداً، خالٍ من متناقضات الأعداد اللامتناهية. وعلى هذا المستوى الرياضي المجرد تتساوى فرص التحقق الواقعي لكلٍ من الاتصال والانفصال، فكلاهما قائم على التعريف، ولا شأن للرياضيات البحتة بما هو متحقق بالفعل على أرض الواقع .

ونريد الآن أن ندلف إلى ما اعتبرته الرياضيات خارجاً عن مجال اختصاصاتها، أعني إلى ميدان البحث عما إذا كانت الظواهر الطبيعية بمستوياتها الثلاثة: المحلي Local - أي مستوى

الخبرة الأرضية المباشرة - والكوني والذري، تكشف أو لا تكشف عن تحقق الاتصال. وتلك هي المهمة التي اضطلعت بها الفيزياء المعاصرة، لاسيما بعد أن قدّم ديدكند وكانطور ترجمة وافية للغة التي كتبت بها الطبيعة، وهي الأعداد بكافة أشكالها وأنماطها الترتيبية.

٢ - وقد تجلت المعالجة الفيزيائية المعاصرة لموضوع الاتصال في نظريتين كبيرتين تقاسمتا البحث في الظواهر الطبيعية منذ بداية القرن العشرين: إحداهما نظرية النسبية (الخاصة والعامّة)، والأخرى نظرية الكم. وبينما تُعيد النسبية الخاصة صياغة القوانين الأساسية للحركة على نحو أدق مما قدمه نيوتن، تتجه النسبية العامة إلى تعليل خواص المادة على النطاق الواسع، أي على مستوى الكون الأكبر، حيث النجوم والكواكب وحركاتها التجاذبية. أما نظرية الكم فتعلّل خواص المادة على النطاق الضيق جدًّا، أي على مستوى الكون الذري. وليس هناك فيما يبدو أية رابطة بين النسبية العامة والكم، اللهم إلا في أساسهما المشترك وهو النسبية الخاصة^(١).

ومن ناحية أخرى، بينما تتجح النسبية في تحطيم الأطر المطلقة التي افترض نيوتن أن قوانين الطبيعة تعمل بمقتضاها، وهي الزمان والمكان، تُحرز نظرية الكم نجاحًا مماثلًا في تفتيت عالم الذرة الذي ظنه نيوتن مصممًا لا داخل له. والحق أنها لمهمة شاقّة أن نعرض في بحثٍ واحد لنظريتين أثارتا من المشكلات الفلسفية أكثر مما اضطلعتا بحله. ولكننا مع ذلك سنحاول تتبع الخطوط الرئيسة لكليهما، تدفعنا رغبة ملحة في الحصول على إجابة شافية عما إذا كان الاتصال قائمًا في الطبيعة أم لا.

٣ - ولن يتسنى لنا فهم النظريتين دون أن نلّم بمقدماتهما، أعني بإرهاصات التغيير التي اجتاحت القرن التاسع عشر، والتي لمسنا جانبًا منها في مجال الرياضيات. أما في مجال الفيزياء فقد خرجت علينا التجارب المختلفة بمشاهدات ونتائج جديدة تستعصي على مبادئ الميكانيكا التقليدية، وتند عن منهجها. ومن ثم كان لابد من توسيع البناء النظري في الفيزياء بما يكفي لاستيعاب المشاهدات الجديدة. ولا يعني ذلك - كما يُصور البعض - انهيار النسق النيوتوني أو مراجعته برمته. فالحقيقة أن هذا النسق ظل حتى أواخر القرن التاسع عشر - ولم يزل في مجالات ليست قليلة - مناهجًا أثيرًا لكل العلماء الذين يبحثون في الفيزياء النظرية. وكانت مبادئه الأساسية كافية منطقيًا لدرجة أن الحاجة إلى مراجعتها لم يكن من الممكن أن تنهض إلا بدافع من الحقيقة التجريبية وتحت ضغطها^(٢).

(١) رسل: الف باء النسبية، ترجمة فؤاد كامل، مراجعة محمد مرسي أحمد، شركة مركز كتب الشرق الأوسط ومكتبتها، القاهرة، ١٩٧٧، ص ١١٣.

(٢) ألبرت آينشتين: أفكار وآراء (مجموعة مقالات مجمعة، ترجمة رمسيس شحاتة، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، ١٩٨٦) ص ص ٤٥-٤٦.

* وعلى هذا يجب ألا ننساق وراء الدعاوى الحماسية التي تؤكد سقوط النسق النيوتوني ودفنه إلى الأبد في مقبرة النسبية والكم. فهذه الدعاوى تخلع على النظريات الجديدة سمة الثورية، لكن كلمة الثورة قد تكون مدعاة =

بعبارة أخرى، نستطيع الزعم بأن أزمة الميكانيكا التقليدية إنما تنحصر في شموليتها، أي في الظن بإمكان تطبيقها على كافة المجالات التي تفرعت إليها الفيزياء. وبالتالي فهي في حقيقتها أزمة نمو - شأنها في ذلك شأن أزمة الرياضيات التقليدية - تستلزم التوصل إلى قوانين جديدة يمكنها احتواء ما استجد من وقائع تجريبية. وقد تركزت هذه الأخيرة في فروع فيزيائية ثلاثة، وهي: الحرارة، والضوء، والكهرباء. ومجمل ما توصلت إليه البحوث الفيزيائية في هذه الفروع خلال القرن التاسع عشر يُعرف عامة بالميكانيكا الكلاسيكية^(٣). وهي موضوع الجزء الأول من هذا البحث.

أولاً: وجهة النظر الكلاسيكية:

أ- الديناميكا الحرارية (الثرموديناميكا) :

٤ - الثرموديناميكا Thermodynamics فرعٌ حديثٌ نسبياً من فروع الفيزياء، يعني ببحث العلاقة بين خواص المواد وتفاعلاتها تحت تأثير الحرارة، فضلاً عن تحول الطاقة من وجه إلى آخر^(٤). وعلى هذا فهي امتداد لبحوث الحرارة التجريبية التي بدأها جاليليو عام ١٥٩٣ حين ابتكر أول ميزان حراري عرفه العلم الحديث^(٥).

= للتضليل، لأن قوانين نيوتن لاتزال كافية لتفسير التجربة العادية. بل لقد كانت كافية تماماً لكي تحمل الإنسان إلى القمر ثم تعيده إلى الأرض سالمًا. أما دقة النسبية فلا نحتاج إليها إلا في حالات خاصة، كحالة السرعات التي تقترب من سرعة الضوء. يقول الفيزيائي ليوبولد إنفالد، صديق أينشتاين ومعاونه، «ليس صحيحاً كل الصحة أن يُقال أن أينشتاين أثبت عدم صلاحية ميكانيكا نيوتن للتطبيق، بل الأصح أن يُقال أنه بيّن أوجه قصورها، ذلك أن النطاق الذي تصلح فيه للتطبيق لا يزال واسعاً». ويؤكد آينشتاين نفسه هذه المقولة فيصرح بأن ابتكار النظرية النسبية «إنما يرجع بالضرورة إلى مجرد الرغبة في جعل النظرية الفيزيائية تتفق على قدر المستطاع مع الحقائق المُشاهدة». ثم يستطرد قائلاً: «إننا لا نواجه هنا عملاً ثورياً بل استمراراً طبيعياً لاتجاه بدأ منذ أجيال، إن التخلي عن أفكار معينة عن الفضاء والزمن اعتبرت من قبل أساسية لا يجوز اعتباره عملاً تعسفياً ولكنه تمشيئاً مع الحقائق المُشاهدة». ومن المعروف أن أينشتاين كان مؤيداً بقوة لأهم مبادئ النسق النيوتوني، وهو مبدأ السببية الذي يستند بدوره إلى مبدأ الاتصال. ولا يزال هذا المبدأ كما سنرى يناطح مبدأ الانفصال الذي سيطر على الأبحاث الذرية منذ اكتشاف نظرية الكم.

See: Infeld, L. *Albert Einstein: His Work and its Influence on Our World* Scribner's, N. Y., 1950, p. 20.

وأيضاً: روبرت م. أغروس & جورج ن. ستانسيو: **العلم في منظوره الجديد**، ترجمة كمال خلالي، سلسلة عالم المعرفة، الكويت، العدد (١٣٤)، فبراير ١٩٨٩، ص ١٢٠-٢١ & أينشتاين: المرجع السابق، ص ١١.
 (٣) جيمس جينز: **الفيزياء والفلسفة**، ترجمة جعفر رجب، دار المعارف، القاهرة، ١٩٨١، ص ١٥٧.
 (٤) مجمع اللغة العربية: **معجم الفيزياء الحديثة**، تصدير إبراهيم بيومي مذكور، الهيئة العامة لشئون المطابع الأميرية، القاهرة، ج ٢، ١٩٨٦، مادة «ثرموديناميكا»، ص ٣١٧.
 (٥) ميتشيل ويلسون: **الطاقة**، ترجمة مكرم عطية، مراجعة نزيه الحكيم، دار الترجمة والنشر لشئون البترول، بيروت، ١٩٧١، ص ص ٢٩ - ٣٠.

وبصدد تفسير العلماء لماهية الحرارة، نجد أنهم حتى منتصف القرن التاسع عشر تقريباً، كانوا يعملون وفق نظرية قديمة - ربما ترجع إلى ديموقريطس^(٦) - تخلع على الحرارة شكلاً غامضاً لا وزن له من أشكال المادة، سُمي بـ «السيال الحراري» Caloric، وعلى الرغم مما أحرزته هذه النظرية من نجاح في تفسير الظواهر الحرارية، إلا أنها لم تكن دائماً التفسير الوحيد والمقنع لماهية الحرارة، فمنذ عام ١٦٢٠ كان الفيلسوف الإنجليزي فرنسيس بيكون F. Bacon (١٥٦١-١٦٢٦) قد عاد إلى وجهة النظر الأفلاطونية، حيث أعلن بجلاء أن الحرارة ما هي في جوهرها إلا مجرد حركة. وقد تابعه في ذلك من بنى موطنه الفيزيائيان روبرت بويل R. Boyle (١٦٢٧-١٦٩١)، وروبرت هوك R. Hooke (١٦٣٥-١٧٠٣)، فوصف الأخير الحرارة بأنها لا شيء سوى الإثارة السريعة والعنيفة لجزيئات جسم ما. وفي عام ١٧٩٨ لقي هذا الاتجاه دعماً مؤثراً من قبل الفيزيائي الأمريكي بنجامين طومبسون B. Thompson (١٧٥٣-١٨١٤) - المعروف بالكونت رمفورد - الذي أثبت عملياً أن الحرارة نتيجة طبيعية للحركة الاحتكاكية لجزيئات المادة^(٧).

ومع تجارب روبرت ماير R. Mayer (١٨١٤-١٨٧٨) في ألمانيا، وجيمس جول J. Joule (١٨١٨-١٨٨٩) في إنجلترا ثبت بما لا يدع مجالاً للشك أن الحرارة ليست سوى «طاقة» ناجمة عن الحركة التلقائية والعشوائية للجزيئات المادية، وأن في الإمكان تحويلها من الشكل الحراري إلى أشكال أخرى ميكانيكية وكهربائية^(٨).

وبثبوت كون الحرارة شكلاً من أشكال الحركة، وبالتالي من الطاقة، أصبح من اليسير إدراك التكافؤ بين الطاقة والشغل الميكانيكي*. وتمت بذلك صياغة القانون الأول للترموديناميكا

(٦) أنظر فيرنر هانيرنبرج: *المشاكل الفلسفية للعلوم النووية*، ترجمة أحمد مستنجر، مراجعة محمد عبدالمقصود النادي، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، ١٩٧٢، ص ٣٤.

(٧) ميتشيل ويلسون: المرجع السابق، ص ٣٥.

(٨) المرجع ذاته، ص ٣٧ - ٣٨.

* الشغل Work والطاقة Energy مفهومان من أهم المفاهيم الموروثة عن الميكانيكا التقليدية. والشغل، كما يُعرّف في الأخيرة بدقة، هو «الجهد المبذول بقوة ما على مدى مسافة ما». فحين أدفع جسمًا ما، بقوة معينة ولمسافة معينة، فإنني حينئذ أكون قد بذلت شغلاً مكافئاً لحاصل ضرب القوة في المسافة التي تحركها الجسم. وعلى هذا فالشغل هو طريقة بها يمكن أن تتغير الحالة الآنية للنظام System (أي للمادة موضوع البحث أو التجربة). أما الطاقة فهي القدرة على بذل الشغل اللازم لتغيير حالة النظام. وأقرب مثال ترموديناميكي لذلك هو الغاز الواقع تحت كباس في وعاء اسطواني محكم الغلق، فلو أنني دفعت الكباس إلى أسفل بقوة (ق) خلال مسافة (ف)، فإن الغاز حينئذ يتعرض لقدرة من الشغل (ش) = ق × ف. ولذلك تتغير حالته (حيث يتقلص حجمه ويزداد ضغطه). أما تسخين الوعاء فيؤدي إلي زيادة طاقة النظام، فيتمدد الغاز وبيدلاً قدرًا من الشغل يتمثل في دفع الكباس إلى أعلى مرة أخرى، وهذا هو معنى التكافؤ بين الشغل والطاقة.

المعروف بقانون بقاء الطاقة Conservation of energy، ومؤداه أن «الطاقة لا تفنى ولا تُستحدث، ولكنها يمكن أن تتحول من صورة إلى أخرى»^(٩). ولا تعنينا هنا الانعكاسات الفلسفية لهذا القانون، والتي تجلت في محاولة الفيلسوف والكيميائي الألماني وليم أوزوالد W. Ostwald (١٨٥٣-١٩٣٢) التوفيق بين المادية والمثالية بنظريته القائلة بأن الطاقة هي المبدأ الأول للوجود. وأن العمليات المادية والفكرية بأكملها ما هي إلا تحولات للطاقة^(١٠). وإنما ذكرنا هذا القانون كتمهيد للقانون الثاني الأكثر أهمية لموضوع الاتصال واللاتناهي، والذي جاء ثمرة لجهود الفيزيائي الفرنسي سادي كارنو S. Carnot (١٧٩٦-١٨٣٢)، ونظيره الألماني رودلف كلاوزيوس R. Clausius (١٨٢٢-١٨٨٨) في مجال الطاقة الحرارية.

٥ - بدأت اسهامات كارنو في مجال الترموديناميكا بمقالٍ وحيدٍ نشره عام ١٨٢٤ تحت عنوان «أفكار حول القوة الحرارية المُحرّكة»، يعالج فيه مدى إمكانية تطوير الآلات البخارية التي تقوم بعملها وفقاً لعملية دائرية: تبدأ بتسخين الماء في وعاءٍ اسطوانيٍّ مُحكم مُزود بكباس، فيتحوّل الماء بذلك إلى بخار، وبفعل التمدد يؤدي البخار شغلاً ميكانيكياً يتمثل في دفع الكباس إلى أعلى، ثم ينتقل البخار من خلال إحدى الفتحات إلى مكثف بارد ليعود فيه ماء كما كان، وعلى إثر ذلك ينزل الكباس إلى موضعه الأصلي الابتدائي، ولتبدأ بذلك دورة أخرى جديدة^(١١).

ويطرح كارنو في بداية مقاله المذكور بعض التساؤلات: ماذا عن القوة المحركة للحرارة؟ هل هي قوة لا تنضب؟ وهل هناك حد للتحسينات الممكن إدخالها على المحركات البخارية؟ ومن خلال إجابته عن هذه التساؤلات، أوضح كارنو أن فقدان بعض الحرارة أمرٌ ضروري لتشغيل أي محرك بخاري، وأنه من المستحيل تحويل الحرارة المتلقاة بأكملها إلى شغل ميكانيكي: إذ لما كان تكثيف البخار هو في جوهره عملية تبريد، فلا بد إذن من فقدان بعض الحرارة التي لا يمكن استردادها. وهكذا اكتشف كارنو أن على الحرارة أن تتحد من درجة عليا إلى درجة دنيا كيما

= See, Academician G. S. Landsberg (ed.), *Textbook of Elementary Physics*, Trans. from Russian by A. Troitsky, Mirr Pub., Moscow, 1972, Vol. 1, p. 161 & 168. Also, Van Fraassen: *An Introduction of the Philosophy of Time and Space*, Columbia University Press, N. Y., 1985.p ، 87.

وأيضاً: لاندوا وآخرون: *الفيزياء العامة، الميكانيكا والفيزياء الجزيئية*، ترجمة أحمد صادق القرمانلي، دار مير للطباعة والنشر، موسكو، ١٩٧٥، البند ٥٦، ص ٢٠٣ وما بعدها.

(٩) محمد عبد اللطيف مطلب: *الفلسفة والفيزياء*، دائرة الشؤون الثقافية والنشر، بغداد، ١٩٨٥، ص ٥٩،

وأيضاً: *معجم الفيزياء الحديثة*، مادة «بقاء الطاقة»، ج ١، ص ٥٢.

(١٠) المرجع ذاته، ص ص ٥٩ - ٦١.

(١١) ولسون: *الطاقة*، ص ٥٨ & وايضا لاندوا وآخرون: *الفيزياء العامة*، البند ٦٣، ص ص ٢٣٤ وما بعدها.

تستطيع العمل، ولكنه لم يدر أنه بهذا الكشف كان يشير إلى واحدٍ من أهم قوانين الترموديناميكا، ألا وهو القانون الثاني، الذي كان لـ كلاوزيوس فضل السبق إلى صياغته حين قال: «من المستحيل على آلة تعمل بصورة مستقلة - دون عونٍ من خارجها - أن تنقل الحرارة من جسمٍ ما إلى آخر أعلى درجة». وفي عام ١٨٥٤ وضع الفيزيائي الإنجليزي وليام تومسون W. Thomson (١٨٢٤-١٩٠٧)، المعروف بـ اللورد كلفن - هذا القانون نفسه في صورة مغايرة بعض الشيء، فقال: «من المستحيل، بالوسائل المادية غير الحية، أن نحصل على أي أثر ميكانيكي من أي جزء كان من المادة بتبريده إلى درجة حرارة أدنى من درجة أبرد الأشياء المحيطة به». أما جوهر هذا القانون فهو التالي: «أن الحرارة لا تنتقل بصورة عفوية من مكان بارد إلى مكان حار»^(١٢).

٦- وبهذا القانون تعلن الترموديناميكا أول تضادٍ نظري وتجريبي مع الخواص الثابتة لقوانين الميكانيكا الأساسية*. بل وترسخ أيضًا واحدًا من أهم مبادئها المميزة، وهو المبدأ المعروف بـ لا إرتدادية** Irreversibility العمليات الحرارية؛ فلو نظرنا مثلاً إلى حركة الأجسام وفقاً لقوانين الميكانيكا التقليدية، لوجدنا أنها «معقولة» بغض النظر عن التغيير في المؤشر الزمني؛ أي سواء كان الزمان ينساب إلى الأمام أو إلى الوراء. وهكذا فلو أن جسمًا ألقي على الأرض بسرعة ما، وبزاوية ما، فليس من المستحيل نظرياً ارتداد المؤشر الزمني ليعود الجسم إلى موضعه الأصلي بنفس السرعة وبنفس الزاوية^(١٣)، تماماً كما لو كنا نحرك فيلماً سينمائياً بعكس اتجاهه الأصلي.

ولا تقف هذه القابلية للارتداد عند حدود القوانين النيوتونية فحسب، ولكنها تتعداها لتشمل كافة قوانين الظواهر الكهرومغناطيسية Electro-magnetic والكماتية Quantum والنسبوية Relativistic التي ظهرت بعد ذلك^(١٤).

(١٢) ويلسون: المرجع السابق، ص ٥٨.

* تعني بقوانين الميكانيكا الأساسية كافة قوانين الميكانيكا التقليدية والمعاصرة. والحقيقة أن تطورات الترموديناميكا كانت لها انعكاساتها الفلسفية والفيزيائية قبل وبعد النسبية والكم، خاصة فيما يتعلق بمشكلة الزمان، وكان ينبغي أن نؤجل بعض النقاط حتى نهاية هذا البحث، ولكننا آثرنا عرضها في هذا الموضع حتى لا نفتقد الترابط بين الكشف الفيزيائي ونتائجه، وإن كان ذلك يُخل بالبعد التاريخي لهذه النتائج.

** هي الكلمة التي يترجمها مجمع اللغة العربية بـ «اللامعكوسية» (معجم الفيزياء الحديثة، ج٢، ص ٢٧٠) ولكننا فضلنا ترجمتها بـ «اللاإرتدادية» تمييزاً لكلمة Reverse التي تعني «معكوس» أو «مقلوب» عن كلمة Reflex التي تحمل نفس المعنى، والتي نستخدمها في وصف الأعداد اللامتناهية بأنها «منعكسة».

(١٣) لانداو وآخرون: المرجع السابق، البند (٦٢)، ص ٢٣١، وأيضاً: نوربيرت فينر: السبيرنتيكا، ترجمة رمسيس شحاتة & إسحق إبراهيم حنا، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، ١٩٧٢، ص ٥٩.

(14) See: Van Fraassen, Op. Cit, p.86, also: Jacob, F., *The Possible and the Actual*, University of Washington Press, Seattle and London, 1982, p 52.

فالجسيمات الذرية مثلاً لا تكثرث إطلاقاً باتجاه سهم الزمان، وليس هناك ما يمكن استتباطه من دراستها بحيث يوحي لماذا ينبغي على الزمان أن ينساب في اتجاه دون آخر. وتعرف هذه اللامبالاة التي تنصف بها الجسيمات الذرية والقوانين الفيزيائية نحو اتجاه سهم الزمان بتماثل ارتداد الزمان Time-reversal symmetry^(١٥).

أما في الترموديناميكيا، فإن ارتداد العمليات الحرارية بالمؤشر الزمني أمرٌ مستحيل تماماً، ولو حدث وتلامس جسمان بدرجتى حرارة مختلفتين، فإن الجسم الأكثر سخونة لا بد وأن ينقل حرارته إلى الجسم الأقل سخونة. ولكن العملية العكسية، أي الانتقال الذاتي المباشر للحرارة من الجسم الأقل سخونة إلى الجسم الأكثر سخونة، فلا يمكن أن تحدث أبداً^(١٦).

كذلك الحال لو تركنا قَدْحًا من الشاي المغلي في غرفة مغلقة، حيث لا بد وأن يستمر الإستنزاف الذاتي لحرارة القَدْح حتى تصل الغرفة بكافة أنحاءها ومشمولاتها إلى درجة حرارة واحدة، أو إلى ما يُعرف بحالة الاتزان الحراري Thermal equilibrium أما استجماع هذه الحرارة من جو الغرفة وارتدادها ذاتياً إلى القَدْح مرة أخرى فأمر مستحيل تماماً^(١٧).

وبهذا المعنى تكون جميع العمليات الحرارية التي تحدث في الطبيعة عمليات لا إرتدادية؛ فلو استبدلنا الكون كله بالغرفة المغلقة، فسوف يصل الكون في يوم ما إلى ما يُسمى بحالة الموت الحراري Heat death، حيث تكون كل أشكال الطاقة قد تحولت إلى حرارة وكل حرارة قد وُزعت على الكون بالقسطاس. وهذا يعني في النهاية أنه ما من شغل سيكون مستطاعاً^(١٨). وكما يصف كلاوزيوس هذه الحالة ينحت كلمة الإنتروبيا Entropy * كمقياس لمستوى الطاقة

(١٥) إيبين نيكلسون: *الزمان المتحول*، في كتاب: كولن ولسون & جون جرانت: *فكرة الزمان عبر التاريخ*، ترجمة فؤاد كامل، مراجعة شوقي جلال، سلسلة عالم المعرفة، الكويت، العدد ١٥٩ مارس ١٩٩٢، ص ٢٥٤.
(١٦) لاندو وأخرون: المرجع السابق، البند (٦٢) ص ص ٢٣١- ٣٢.

(17) Lucas, J. R., *A Treatise on Time and Space*, Methuen & Co. LTD, London, 1973, Op. Cit, p.52.

(18) Van Fraassen, Op. Cit., p. 90.

وأيضاً: ولسون: *الطاقة*، ص ٩٥.

* الإنتروبيا كلمة من أصل إغريقي تعني التغيير، كان كلاوزيوس هو أول من استخدمها كمقياس لحالة الفوضى التي تتجه إليها الجسيمات المادية في نظام ما مغلق. ووفقاً للقانون الثاني للترموديناميكيا، فإن إنتروبيا النظام لا بد وأن تميل دائماً إلى الزيادة؛ فعلى سبيل المثال، لو كان لدينا قَدْرًا من القهوة وقَدْرًا من اللبن، فهنا يكون لدينا درجة من النظام من حيث أن هذه القهوة وذلك اللبن كل منهما منفصل عن الآخر. فإذا صببنا الآن شيئاً من كل منهما في فنجان وحركنا المزيج فإننا نحصل على قهوة بيضاء. ولا سبيل إلى أن يفصل هذا المزيج بغتة ليعود إلى مكوناته الأساسيين. وعلى هذا يمكن القول أن أية عملية تتزايد فيها إنتروبيا النظام تكون عملية لا إرتدادية، وكلما كان تزايد الإنتروبيا كبيراً كلما كانت درجة اللا إرتدادية كبيرة، وذلك نظراً للحركة العشوائية اللا منتظمة واللا محكومة للجزيئات المادية اللامتناهية العدد، والتي تستلزم لحساب مواضعها المتغيرة بشكل عشوائي =

في الكون، والانتروبيا القصوى Higher entropy هي الإصطلاح الذي يقابل حالة الاتزان الحراري، حيث تُمسي كل الأشياء في الكون عند درجة حرارة واحدة^(١٩).
 ٧- وكان من الطبيعي أن تُلقى تطورات الترموديناميكا بظلالها على مشكلة الزمان؛ فمن ناحية، بدأ الشك يُتطرق إلى البناء الزمني المطلق الذي تصوره نيوتن كخط مستقيم متجانس، ينساب منذ الازل وإلى الأبد بسرعة متساوية، فلو كان هذا التصور صحيحاً، فمعنى هذا استقلال التدفق الزمني عن مجرى حوادث العالم دون بداية أو نهاية، ولكن ها هي الترموديناميكا تتبؤنا بأن الكون مآله إلى فناء، وتؤكد على الترابط الوثيق بين الآتات الزمانية المتدفقة، وبين تصاعد الإنتروبيا الكونية التي تحملنا معها إلى نقطة اللا عودة. وهكذا عادت فكرة ليبنتز عن الزمان النسبي الإدراكي لتطل برأسها من جديد، ولتمهد بذلك الطريق لظهور النسبية الفيزيائية لأينشتين مع بداية هذا القرن. ومن ناحية أخرى، لاحت في الأفق بوادر اعتراضات فلسفية قوية على فكرة سريان الزمان ذاتها؛ إذ لو كان الزمان متدفقاً، فمعنى هذا أنه يتحرك، ولو كان متحركاً، فلا بد وأن تُقاس سرعته في ضوء نوع من الزمان أكثر أساسية، أو أن يكون البديل هو أن ينساب الزمان بالنسبة لنفسه وهذا باطل منطقياً^(٢٠).

وكمخرج لهذه الأزمة حاول الفيزيائيون محاصرة المشكلة بنبذهم لفكرة انسياب الزمان برمتها، وبإحلالهم لفكرة أن الزمان أو الصيرورات الزمانية لا تماثلية Asymmetric^(٢١)، وهو ما دفع بالمشكلة إلى منعطفٍ جديد، ألا وهو البحث في البنية التوبولوجية لمتصل الزمان. ولنتوقف قليلاً عند هذه النقطة.

إننا نعرف أن المكان متماثل في كافة الاتجاهات، أو لنقل بلغة الفيزياء أنه مُوحَّد الخواص Isotropic، فماذا إذن عن الزمان؟ هل هو متماثل كالمكان؟ أم أنه متباين الخواص Anisotropic وفقاً لعلاقةٍ لا تماثلية بين أناته؟ بعبارة أخرى هل للزمان البنية التوبولوجية التي للخط المستقيم؟ وإذا كان كذلك فهل لهذا الخط اتجاؤه وحيد تفرضه علاقة ترتيب لا تماثلية بين نقاطه، بحيث يبطل القول بارتداد الحوادث الزمانية في عكس هذا الاتجاه؟^(٢٢).

= عددًا لا قبل لنا به من المعادلات. ولهذا السبب نقل الفيزيائي النمساوي لودفيج بولتسمان L. Boltzmann (١٨٤٤ - ١٩٠٦)، مفهوم الإنتروبيا إلى مجال الاحتمال الإحصائي، حيث صارت زيادة الإنتروبيا تعني إمكانية انتقال النظام من حالة أقل احتمالاً إلى حالة أكثر احتمالاً. أنظر: إيبين نيكلسون: **الزمان المتحول**، ص ٢٥٢-٥٣، وأيضاً لاندوا وآخرون: **الفيزياء العامة**، البند (٦٥)، ص ٢٣٩ - ٤٢.
 And see also, Van Fraassen, Op. Cit, pp 89-92 & Boltzmann, I, *Lectures on Gas Theory*, trans. by S. G. Bruch, University of California Press, Berkeley, 1964, pp 446 FF.

(١٩) ويلسون: **الطاقة**، ص ٥٩.

(٢٠) إيبين نيكلسون: المرجع السابق، ص ١٧٢.

(٢١) المرجع ذاته، ص ٢٥٠ - ٥١.

(22) See Van Fraassen, Op. Cit , p. 60

الحق أننا لو نظرنا إلى ظواهر الكون الكبير، لوجدنا سهم الزمان يشير إلى اتجاه واحد فقط نحو المستقبل. تؤكد ذلك عمليات التطور البيئي و البيولوجي التي تبدو بلا رجعة. وتؤكد أيضاً طبيعة العمليات الحرارية اللا إرتدادية التي أقرها القانون الثاني للثرموديناميكاً^(٢٣). أما لو نظرنا إلى قوانين الفيزياء الميكانيكية - بما فيها قوانين النسبية والكم - فلن نستطيع أن نجد دليلاً على طبيعة الزمان ذات الاتجاه الواحد. فأين الحقيقة إذن؟.

لا شك أننا سنواجه بعالم غريب لو أُتيح لنا مشاهدة الزمان منسباً إلى الوراء، فسوف ينكص الطاعنون في السن متجهين صوب الطفولة، والمباني المنهارة سوف ترتفع من التراب لتستأنف حالاتها الأصلية القديمة. وسوف تتلاقى الأمواج على حبات الحصى التي سوف تقفز في أيدي الناس الذين قذفوا بها ذات يوم إلى الماء، وهلم جرا، ... وستكون الحياة أشبه بشريط سينمائي يدور إلى الوراء. ولا توجد أية شواهد لتأييد إمكانية هذا الحدث، كما لا يوجد أي احتمال على أن العمليات الزمانية يمكن أن ترند بعكس اتجاهها^(٢٤). لكن هناك إمكانية أخرى، هي أن يكون الزمان مغلقاً توبولوجياً، أي أن تكون البنية التوبولوجية له هي تلك التي للدائرة، ومعنى هذا أن يعود الكون بعد إتمام دورته الزمانية ليبداً دورة أخرى جديدة هي تكرار لدورته القديمة^(٢٥).

ورغم وجهة هذه الفكرة، إلا أنه لا يوجد أيضاً أي دليل فيزيائي على صحتها، وإنما هو مجرد فرض طرّح قديماً، ويُطرح الآن، وربما يعود إليه الإنسان يوماً ما في المستقبل طالما ظل يفكر في طبيعة الزمان*.

(٢٣) إيبين نبلكسون: المرجع السابق، ص ص ٢٥١ - ٥٢.

(٢٤) المرجع ذاته، ص ٢٥٥.

(25) Op .Cit, P62.

* يُذكرنا هذا الفرض بنظرية التكرار الأبدي Eternal recurrence التي لجأ إليها الإنسان في مرحلة التفلسف الأولى قبل سقراط، والتي تحمس لها الفيلسوف الألماني فريدريك نيتشه F. Nietzsche (١٨٤٤-١٩٠٠) في أواخر القرن التاسع عشر. ومجمل هذه النظرية، أن الزمان ليس إلا دائرة مغلقة تتكرر عليها الحوادث دائماً أبداً. ولما كان من المستحيل نظرياً ترتيب النقاط على الدائرة وفقاً لعلاقتي «قبل» و«بين» المستخدمين في ترتيب النقاط على الخط المستقيم، فقد انبرى الرياضي الإيطالي جيوفاني فايلاي G.Vailati لبحث هذه المسألة، ونجح في إقرار علاقة جديدة للترتيب الدائري، عُرفت بعلاقة الانفصال الزوجي Pair separation. وفحوى هذه العلاقة أنه إذا كانت (أ)، (ب)، (ج)، (د) أربع نقاط على الدائرة وأردنا ترتيبها، فمن الممكن أن نقول أن الزوج (أ)، (ج) يفصل بين الزوج (ب)، (د)، تماماً كما يفصل العدان (٣، ٧) بين (٥، صفر) أو بين (٥، مالانهاية). وقد وضع فايلاي خمس بديهيات رأى أنها كافية لتكوين المتسلسلات من علاقة الانفصال الزوجي الرباعية الحدود.

See For more detail, Op, Cit, pp. 66 FF & also Danto, A., *Nietzsche as Philosopher*, Macmillan, N.Y., 1965, pp. 205-209.

٨ - بقي أن نشير إلى نقطتين أخيرتين ترتبطان بمبدأ اللارتردادية الزمانية، وإن كانتا تحملانا إلى طريقين مختلفين تماماً؛ تنحصر النقطة الأولى فيما خلفه هذا المبدأ من أصداء فلسفية واسعة، ساهمت في تدعيم بعض الرؤى الميتافيزيقية لمفهوم الاتصال، حيث اندفع برجسون - على سبيل المثال - إلى تأكيد الفرق بين زمان الفيزياء القابل للإرتداد الذي لا يستجد فيه جديد، والزمان الحيوي التطوري غير القابل للإرتداد الذي يكون فيه ثمة جديد دائماً^(٢٦). وبهذه الرؤية يحصر برجسون حقيقة الاتصال في إطار فكر حدسي ميتافيزيقي لا سبيل إلى بلوغه بالنهج العلمي الميكانيكي.

أما النقطة الثانية فعلى خلاف الأولى تؤكد مفهوم الاتصال بالمعنى العلمي الرياضي الذي هاجمه برجسون بشدة. فعلى الرغم من أن اللارتردادية الزمانية تتسم في جوهرها بطابع إحصائي، تفرضه الحركة العشوائية لجزيئات النظام اللامتناهية العدد، إلا أنها توصف ثرموديناميكياً وفق متصل من الاحتمالات Continuum of probabilities لحركة الجزيئات ككل، وذلك بدلاً من قيمتي الصدق المنفصلتين (صادق وكاذب) اللتين استخدمهما نيوتن في وصف حركة كل جزيء على حدة^(٢٧).

وتفصيل ذلك أنه بينما كانت الميكانيكا التقليدية تتعامل مع نقاط مادية مفردة، يمكننا نظرياً تحديد مواضعها الابتدائية والوسيطة والنهائية بدقة كافية، ووصف اتصالها بالمعنى الهندسي أو الدالي الذي قال به نيوتن، فإن الثرموديناميكا على العكس من ذلك، تتعامل مع حشد من النقاط ذات الحركة العشوائية اللا منتظمة. ولذا تلجأ إلى تعميم قيم الصدق النيوتنانية داخل صف متصل من قيم الاحتمال، لا بالمعنى المكاني الذي تصوره نيوتن، ولكن بالمعنى التحليلي المجرد الذي قال به كل من ديديكند وكانتور^(٢٨).

ب- طبيعة الضوء Nature of Light

٩ - يُمثل البحث في طبيعة الضوء بُعداً آخر من أبعاد التمرد على ما يمكن أن نسميه محدودية النسق النيوتوني إزاء الحقائق التجريبية. كما يُمثل أيضاً مدخلاً لعبور الفيزياء إلى عالمي النسبية والكمّ مع بداية القرن العشرين.

ولكي نفهم هذا التمرد لابد وأن نعود إلى الوراء قليلاً. وبالتحديد إلى النصف الثاني من القرن السابع عشر، حيث كانت هناك نظريتان متنافرتان تصفان طبيعة الضوء، وإن كانت

= وأيضاً رسل: أصول الرياضيات، ج٣، ص ص ١٦، ١٧.

(٢٦) نوربيرت فينر: السيرنيتكا، ص ٦٦.

(27) Lucas, *A Treatise on Time and Space*, op. Cit, p. 258, also Lucas, *Space, Time, and Causality*, The Clarendon Press, Oxford, 1984, p. 188.

(28) Lucas, *A Treatise on Time and Space*, p. 259.

كل منهما تفترض الصلاحية العامة للميكانيكا التقليدية لتطبيقها على جميع ظواهر الحركة الضوئية^(٢٩).

تصور نيوتن من خلال النظرية الأولى أن الضوء يتكون من أعداد لا نهائية من جسيمات Particles دقيقة تقذفها الأجسام المضيئة في كل اتجاه كضحايا قنبلة دائمة الانفجار^(٣٠). هذه الجسيمات - كما هو متوقع من حركتها - تنتشر في خطوط مستقيمة، وتخضع تماماً لقوانين الميكانيكا النيوتونية، وتلك هي النظرية الجسيمية Corpuscular theory للضوء التي نشرها نيوتن لأول مرة عام ١٦٧٠ في إحدى المجلات العلمية، ثم فصلها عام ١٧٠٤ في كتابه الشهير «البصريات» Optics^(٣١).

أما النظرية الثانية، وتُعرف بالنظرية الموجية Undulatory (Wave) theory، فقد تحمس لها الفيزيائي الهولندي كريستيان هايجنز C. Huygens (١٦٢٩-١٦٩٥) الذي أعلن عام ١٦٧٨ في محاضرة أمام الجمعية العلمية الفرنسية، أن قوام الضوء موجات مرنة Elastic Waves مماثلة لتلك التي يحملها الهواء من مصدر الصوت لتسبب الإحساس بالسمع. ولما كان الضوء، بعكس الصوت، يمكنه الانتشار في الفراغ Vacuum، فضلاً عن سرعته الرهيبة - المتناهية - (٣٠٠,٠٠٠ كم / ث = 3×10^8 سم / ث)*، والتي تبلغ سرعة الصوت بالقياس إليها حوالي جزء من المليون^(٣٢). فقد افترض هايجنز أن الحيز الكوني يمتلئ بوسط رقيق مرن، هو

(٢٩) فيليب فرانك: فلسفة العلم (الصلة بين الفلسفة والعلم)، ترجمة علي علي ناصف، المؤسسة العربية للدراسات والنشر، بيروت، ١٩٨٣، ص ١٦٦.

(٣٠) بانيش هوفمان: قصة الكم المثيرة، ترجمة أحمد مستجير، المؤسسة المصرية العامة للتأليف والنشر، القاهرة، بدون تاريخ، ص ٨.

(٣١) محمد علي العمر: مسيرة الفيزياء الفيزياء علي الحبل المشدود بين النظرية والتجربة، مجلة عالم الفكر، المجلد العشرون، العدد الأول، الكويت، ١٩٨٩، ص ٤١.

* كانت أول محاولة تجريبية لقياس سرعة انتشار الضوء هي تلك التي قام بها جاليليو عام ١٦٠٧، حين حاول قياس الفترة الزمنية المنقضية بين إرسال شعاع من الضوء إلى نقطة ما، واستقبال شعاع آخر ينطلق من نفس النقطة بمجرد وصول الشعاع الأول إليها. وعلى الرغم من أن محاولته لم تسفر عن نتيجة إيجابية، إلا أن اكتشافه لأقمار كوكب المشترى Jupiter أدى إلى توفير الأساس الذي اعتمدت عليه المحاولة التالية التي قام بها الفلكي الدانمركي رومر Roemer (١٦٤٤-١٧١٠)، ففي عام ١٦٧٦ توصل رومر بملاحظته لخصوف أقمار المشترى إلى أن سرعة الضوء تساوي تقريباً ٢١٥,٠٠٠ كم / ث. ثم توالت بعد ذلك محاولات التأكد من هذه القيمة حتى وصلت الآن إلى ٢٩٩,٧٩٢,٩ كم / ث، وتلك هي سرعة الضوء الحقيقية على وجه الدقة، وإن كنا نقول مجازاً أنها ٣٠٠,٠٠٠ كم / ث.

See: *Textbook of Elementary Physics*, Vol. 3, pp. 297 - 300.

(32) *Textbook*, vol. 3, p. 154.

«الأثير»، وظيفته حمل الموجات الضوئية الفائقة السرعة، وأن هذا الوسط يخضع أيضًا لقوانين الميكانيكا النيوتونية^(٣٣).

١٠ - ولم يكن غريبًا أن يرفض نيوتن هذه النظرية، وأن يتمسك بالبناء الجسيمي النقطي للضوء؛ فالنقاط المادية هي عصب النهج الميكانيكي العام الذي اتبعه في وصف الحوادث الفيزيائية. بل إنها في رأيه هي الممثل الوحيد للواقع بقدر ما يستطيع هذا الواقع التغيير^(٣٤).

واستنادًا إلى ما سبق، بالإضافة إلى ظاهرة «الظل» التي تُنفي القول بطبيعة موجية للضوء، راح نيوتن يثبت أن النظرية الجسيمية تفسر الوقائع البصرية المعروفة آنذاك، كانتقال الضوء في خطوط مستقيمة، وانعكاسه في المرايا، وانكساره في الأجسام البلورية^(٣٥). لكنه فشل رغم ذلك في الإجابة عن التساؤل الخاص بمصير تلك النقاط الضوئية إذا ما حدث امتصاص للضوء. كما بدا من غير المعقول أن نسلم بوجود نقاط مادية من أنواع جد مختلفة، كان ينبغي فرض وجودها لكي تقوم بتمثيل المادة ذات الوزن من ناحية، والضوء من ناحية أخرى^(٣٦).

أما هايجنز فقد كان من الشجاعة بحيث استطاع أن يواجه نيوتن بفرض مختلف تمامًا، رأى أنه يقدم تفسيرًا أفضل لظاهرتي الانعكاس والانكسار*، وإن كان يستلزم بعض الوقت لتفسير ظاهرة الظل التي تؤكد انطلاق الشعاع الضوئي في خط مستقيم، وعدم انحرافه عند الزوايا كما هو متوقع من سلوك الموجات.

ويقضي الفرض الذي عُرف فيما بعد بـ «مبدأ هايجنز» Huygens' principle بأن الأشعة الضوئية ما هي إلا ذبذبات Oscillations في الأثير. يمكنها الانتشار في صورة موجات كروية

(٣٣) فيليب فرانك: المرجع السابق، ص ١٦٦.

(٣٤) آينشتين: أفكار وآراء، ص ٥٤.

(٣٥) محمود أمين العالم: فلسفة المصادفة، دار المعارف بمصر، القاهرة، ١٩٧٠، ص ٢٧١.

(٣٦) آينشتين: المرجع السابق، ص ٥٥.

* الانعكاس Reflection هو تغيير الشعاع الضوئي لاتجاهه في وسط ما عندما يصطدم بسطح وسط آخر. أما الانكسار Refraction فهو تغيير الشعاع الضوئي لاتجاهه عندما ينفذ خلال سطح يفصل الوسط الأصلي له عن وسط آخر. (معجم الفيزيكا الحديثة، ج٢، مادتي «الانعكاس» و«الانكسار»، ص ٢٦٢، ص ٢٦٣). وقد فسر نيوتن ظاهرة الانعكاس بأن أضفي على الجسيمات الضوئية صفة ذبذبة غريبة لا تتسم بها جسيمات المادة ذات الوزن، فجعلها شبيهة في حركتها، لا بطلقات الرصاص، ولكن بالتحليق النابض للطيور. ومن الواضح أن نيوتن يكاد يقترب بهذا التفسير من النظرية الموجية، وإن ظل يرفضها بشدة تجنبًا للقول بفكرة الأثير. أما الانكسار فقد فسره نيوتن باختلاف التأثير على الجسيمات في وسط عن الآخر. بينما أعطاه هايجنز تفسيرًا أدق ينحصر في اختلاف سرعة الموجات الضوئية بين الوسطين.

See: *Textbook*, Vol. 3, pp. 269 - 271.

وأيضًا: هوفمان: قصة الكم المثيرة، ص ص ٩ - ١٠.

Spherical أو مستوية Plane تبعًا للشكل الذي يتخذه صدر - أو سطح - الموجة Wave-front في كل لحظة.

ويمكن اعتبار كل نقطة في هذا الصدر كمصدر فرعي ينشر الموجات الثانوية (موجات) Wavelets في كل اتجاه بالسرعة المميزة للوسط (أي للأثير). وبتجميع هذه الموجات نحصل على الصدر الجديد للموجة. وهكذا ينتقل صدر الموجة متخذًا شكلًا جديدًا في كل موضع وفي كل لحظة^(٣٧).

وعلى الرغم من أن النظرية الموجية كان لها من يُناصرها حتى في عصر نيوتن، فضلًا عن اقتناع نيوتن نفسه بأن ظاهرة التحلل الطيفي لشعاع الضوء حال نفاذه من منشور زجاجي، تؤيد النظرية الموجية، إلا أن عدم اقتناعه بفكرة الأثير كان عاملاً هاماً من عوامل سيادة النظرية الجسيمية لما يقرب من قرنين من الزمان^(٣٨). وكان لابد من انتظار تجربة حاسمة تتكفل بتصفية إحدى النظريتين وتأييد الأخرى.

١١ - ومع بداية القرن التاسع عشر، بُعثت النظرية الموجية من جديد بفضل أعمال الفيزيائي الإنجليزي توماس يونج T. Young (١٧٤١-١٨٢٠)، الذي قدّم تفسيراً وافياً لظاهرة التداخل Interference الضوئي يدعم القول بالموجات. وكان هايجنز قد بنى رفضه لنظرية نيوتن على حقيقة أن الجسيمات لا بد وأن ترتطم ببعضها البعض إذا ما التقى شعاعان من الضوء، أو مرّ أحدهما خلال الآخر، الأمر الذي تنفيه الشواهد التجريبية^(٣٩). ولم يستطع هايجنز تقديم التفسير النظري لهذه الظاهرة، حتى أثبت يونج عام ١٨٠١ تطابق حركة الموجات الضوئية وحركة موجات الماء، ذلك أن التقاء سلسلتين من الموجات، بحيث تتفق ذرى إحداهما مع ذرى الأخرى، يؤدي إلى تكوين سلسلة من الذرى أشد ارتفاعاً. أما لو التقت ذرى إحداهما بقواعد الأخرى، فسوف تمثل القواعد عن آخرها بالذرى القادمة، لتنتج في النهاية سلسلة مستوية من الموجات^(٤٠). وهكذا فالتداخل أمرٌ تقتضيه طبيعة الضوء من حيث هو حركة موجية، لا من حيث هو جسيمات منطلقة كما افترض نيوتن.

ومن ناحية أخرى، تمكن الفيزيائي الفرنسي أوغسطين فرينيل A. Fresnel (١٧٨٨ - ١٨٢٧) من تفسير ظاهرة الظل التي تذرع بها نيوتن في قوله بالجسيمات، فأوضح أن موجات

(37) *Textbook*, Vol. 3, pp. 268 - 269.

(٣٨) أنظر: آينشتين: المرجع السابق، ص ١٠٢، وأيضاً:

- محمد علي العمر: *مسيرة الفيزياء*، ص ٤١.

- كولنجود: *فكرة الطبيعة* (ترجمة أحمد حمدي محمود، مراجعة توفيق الطويل، الهيئة العامة للكتاب

والأجهزة العلمية، القاهرة، ١٩٦٨) ص ص ١٧١ - ٧٢.

(٣٩) هوفمان: المرجع السابق، ص ١٠.

(٤٠) محمود أمين العالم: *فلسفة المصادفة*، سبق ذكره ص ٢٧٢.

الضوء هي مجرد تماوج لا تزيد المسافة فيه بين قمتي موجتين متتاليتين على ١/٥٠.٠٠٠ من البوصة أو نحو ذلك، وعندما يسير شعاع موجي بهذا الطول فإنه لا يعاني كثيراً من الانحراف أو التباعد أو الحيود Diffraction أما إذا كانت الموجة طويلة، فإن الشعاع يتوزع بسرعة وينحرف عند الزوايا كما يفعل الصوت^(٤١).

ولم يمض وقت طويل بعد وفاة فرينيل حتى استطاع الفيزيائي الفرنسي ليون فوكوه L. Foucault (١٨١٩-١٨٦٨) إجراء التجربة الحاسمة المنتظرة للفصل بين النظريتين، مستنداً في ذلك إلى الخلاف الكمي الوحيد بينهما، ألا وهو مقدار سرعة إنتشار الضوء خلال الماء؛ فطبقاً للنظرية الجسيمية، ينتقل الضوء خلال الماء بسرعة أكبر من سرعة انتقاله خلال الهواء (بسبب زيادة التجاذب المتبادل بين الجسيمات في الوسط الأكثر كثافة) أما النظرية الموجية فتقضي بأن سرعة انتقال الضوء في الماء أقل منها في الهواء. وأثبت فوكوه بتجربته الحاسمة أن الضوء ينتقل في الماء بسرعة أقل من سرعة انتقاله في الهواء، بل وبنفس القدر الذي قالت به نظرية الموجات^(٤٢). وهكذا شهد منتصف القرن التاسع عشر (١٨٥٠) أفول نجم النظرية الموجية للضوء (مؤقتاً)، وبزوغ نجم جديد في أفق الفيزياء، يرسل أشعته وفقاً لقوانين الميكانيكا التقليدية، ولكنها في النهاية أشعة من طبيعة موجية.

ونخلص من ذلك إلى نتيجة هامة. تتمثل في تأكيد النظرية الموجية لاتصال الحركات الضوئية في الزمان وعبر المكان. وهو بلا شك اتصال مختلف عن ذي قبل، ولكنه مع ذلك لا يحمل معه تغييراً يُذكر في الأسس الميكانيكية للفيزياء؛ فكما رأينا، لم يكن الخلاف بين النظريتين - الموجية والجسيمية - خلافاً كميّاً، اللهم إلا في نقطة واحدة لا تؤدي إلى زعزعة يقين القوانين النيوتونية. وإنما كان خلافاً كيفيّاً، منشأه تصور كل فريق لطبيعة المتصل الضوئي؛ فبينما هو عند نيوتن وأتباعه متصلاً من الجسيمات المنطلقة في خط مستقيم، يراه هايجنز ومؤيديه متصلاً من الموجات، أو من ذبذبات الأثير. وسوف نرى كيف أدى هذا التصور الأخير إلى نشأة مفهوم المجال Field الذي وجد فيه الفيزيائيون حلاً مُقنعاً لمشكلة الاتصال الكوني، تلك التي وقف نيوتن أمام غموضها حائراً، فعبر عنها بمصطلح أشد غموضاً هو التأثير عن بُعد .Action at a distance

ج- المجال الكهرومغناطيسي Electromagnetic field:

١٢ - على الرغم مما أحرزته النظرية الموجية من نجاح، وما توافر لها من أدلة وشواهد دامغة، إلا أنها لم تكن هي الكلمة الأخيرة للعلم بشأن طبيعة الضوء. وعلينا أن نتذكر أننا مازلنا في رحاب الميكانيكا الكلاسيكية. ولم نتطرق بعد إلى التطورات العلمية في القرن العشرين، بكل

(٤١) محمد علي العمر: المرجع السابق، ص ٤٨.

(٤٢) فيليب فرانك: فلسفة العلم، ص ١٦٦.

ما تحمله من توسعات نظرية، وما تحققه من إنجازات عملية. ولو أردنا وصفًا دقيقًا لموقع النظرية الموجية في تاريخ العلم، لقلنا - بلغة الفيلسوف والفيزيائي الأمريكي توماس كون T. Khum (١٩٢٢ - ١٩٩٦) - أنها كانت تمثل نموذجًا إرشاديًا لفيزياء البصرييات وما يرتبط بها خلال النصف الثاني من القرن التاسع عشر^(٤٣). بمعنى أن معظم ما شهدته تلك الحقبة من بحوث فيزيائية، إنما كان امتدادًا لهذه النظرية وتطويرًا لها.

ولعل أهم هذه البحوث هو ما قدمه الفيزيائي الإنجليزي ميشيل فاراداي M. Faraday (١٧٩١ - ١٨٦٧)، ونظيره الاسكتلندي جيمس كليرك ماكسويل J. k. Maxwell (١٨٣١ - ١٨٧٩) في ميداني الكهرباء والمغناطيسية.

كان اهتمام فاراداي منصبًا على توصيف العلاقة بين الظواهر الكهربائية والمغناطيسية وتأثيراتها المتبادلة*. ومن خلال تجاربه الرائدة في هذا الميدان، أدرك فاراداي قصور القانون العام لنيوتن في الجاذبية عن تفسير طبيعة الاتصال التجاذبي بين النقاط المادية. إن هذا القانون يُتيح لنا تحديد مقدار القوة المؤثرة بين جسمين متجاذبين - أو متنافرين - كالأرض والقمر ولكنه لا يُخبرنا بشيء عن ماهية هذه القوة، ولا عن كيفية عملها خلال الفضاء الممتد الذي يبدو خاليًا. فكيف يمكن للقمر أن يحرك مياه المحيطات بدون سلسلة من الاتصالات المستمرة بين القمر والأرض على هيئة حزمة من الخيوط أو المطاطات، أو بدون سائل ينقل الضغط أو التوتر المستمر؟ أليس من حقنا أن نتساءل: ما الذي يقوم في الحقيقة بدور الخيوط والمطاطات أو السوائل؟^(٤٤).

(٤٣) توماس كون: *بنية الثورات العلمية*، مرجع سابق، ص ٤٣.

* من المعروف أن الشحنات الكهربائية الساكنة تؤثر على بعضها البعض بقوة تسمى بالقوى الكهرستاتيكية Electrostatic forces. فإذا تحركت هذه الشحنات بالنسبة لبعضها، نشأ بسبب حركتها قوى إضافية تُعرف بالقوى المغناطيسية Magnetic forces وأبسط مثال لهذه الأخيرة، تلك القوة التجاذبية - أو التنافرية - التي تنشأ بين سلكين يمر بهما تيار كهربائي. وكان الفيزيائي الدنمركي كريستيان أورستيد C. Oersted (١٧٧٧ - ١٨٥١) هو أول من اكتشف العلاقة المتبادلة بين الظواهر الكهربائية والمغناطيسية، حين لاحظ عام ١٨١٩ أن الإبرة المغناطيسية تنحرف إذا قُرب منها سلك يحمل تيارًا كهربائيًا. وفي عام ١٨٣١ وجد فاراداي أن تيارًا كهربائيًا لحظيًا ينشأ في دائرة كهربائية عند توصيل أو قطع التيار في دائرة أخرى مجاورة لها. وتلى ذلك اكتشاف أن هذا التيار اللحظي ينشأ أيضًا عند تقريب أو إبعاد مغناطيس من الدائرة، فيما عُرف بظاهرة الحث الكهرومغناطيسي Electro magnetic induction. ومن الثابت الآن أن جميع الظواهر المغناطيسية تنشأ عن القوى الموجودة بين الشحنات الكهربائية المتحركة.

See: *Textbook*, Vol. 2, pp 231 - 232, pp. 288 FF.

And see for more detail: Purcell, E. M, *Electricity and Magnetism*, Berkeley, Physics Course 2, N.Y., 1965.

(٤٤) جينز: *الفيزياء والفلسفة*، ص ١٥٩.

Also Lucas, *Space, Time and Causality*, p. 176.

وللإجابة عن هذا التساؤل اقترح فاراداي وجود هالة لا مرئية Invisible halo من التأثيرات الناجمة عن المادة، والممتدة خلال المكان بين الأجسام المختلفة^(٤٥). هذه الهالة من التأثيرات، يمكن الاقتناع بوجودها إذا تصورنا المغناطيس أو الشحنة الكهربائية المتحركة كأخطبوط ضخ له زوائد عديدة يرسلها في كل الاتجاهات. وعن طريق هذه الزوائد التي أطلق عليها فاراداي اسم خطوط القوى Lines of forces يستطيع الجسم المادي أن يقوم بعملية الجذب والتنافر^(٤٦).

وهكذا أصبح الفضاء المحيط بالمادة، في نظر فاراداي، على درجة كبيرة من التعقيد، إذ يحتوي على عدد كبير من الخطوط المنحنية التي تساعدنا في النهاية على فهم التفاعل والاتصال بين النقاط المادية المتباعدة، أو المنفصلة على مستوى الرؤية العادية.

١٣ - وربما كان الخروج من مأزق التأثير عن بعد، عن طريق نظرية خطوط القوة لفاراداي، هو أعمق تطور شهدته الفيزياء منذ أيام نيوتن. ولكنه مع ذلك كان ينقصه التحديد الرياضي اللازم لأية نظرية فيزيائية. ولم يكن القيام بهذا العمل أمراً سهلاً، إلا أنه وجد طريقه إلى التحقق حين وجّه ماكسويل اهتمامه الشديد لآراء فاراداي، فصاغ هذه الآراء في أربع معادلات تفاضلية جزئية*، تصف سلوك القوى الكهربائية والمغناطيسية الناجمة عن الشحنات والتيارات الموجودة في النظام الفيزيائي في جميع الظروف المقبولة تقريباً^(٤٧).

وبهذا الإنجاز الذي يُعد تنويجاً لجهود فاراداي، عرفت الفيزياء واحداً من أهم المفاهيم النظرية عبر تاريخها، ألا وهو مفهوم المجال، الذي أصبح يشكل الأساس لكافة النظريات الفيزيائية، بدءاً من نظريات الكهرومغناطيسية، وحتى نظرية النسبية العامة لاينشتاين^(٤٨).

ويمكن تعريف المجال بصفة عامة بأنه:

«الشكل الرياضي الأكثر نقاءً لخطوط القوة التي اقترحها فاراداي».

(45) Davies, P., *Super Force, The Search for a Ground Unified Theory of Nature*, Simon & Schuster, Inc. N. Y, 1985, p. 60.

(٤٦) هوفمان: قصة الكم المثيرة، ص ص ١١ - ١٢ .

* تختص معادلات ماكسويل كما هو واضح بالتعبير عن الحركة المتصلة للقوى الكهربائية والمغناطيسية عبر الفضاء الخالي، ولذا تُسمى بالمعادلات التفاضلية الجزئية، تمييزاً لها عن المعادلات التفاضلية الكلية التي وضعها نيوتن للتعبير عن حركة النقاط المادية. وقد كان هذا النظام المزدوج من المعادلات هو الثمن الذي لا بد للفيزياء أن تدفعه إذا ما أرادت فهم الاتصال عبر الفضاء دون أن تعود لمفهوم التأثير عن بعد الذي استخدمه نيوتن. أنظر: آينشتاين: أفكار وآراء، ص ٥٥، ص ص ٨٥ - ٨٧.

(٤٧) محمد علي العمر: مسيرة الفيزياء، ص ٥٩.

(48) Lucas, Op. Cit, p. 178.

فبدلاً من الفرض بأن الفضاء يمتلئ بأعداد لاحصر لها من الزوائد المنفصلة، علينا أن نتصور أنها قد انصهرت جميعاً في كتلة واحدة منتشرة هي المجال الكهرمغناطيسي^(٤٩).

يقول الفيزيائي الأمريكي ريتشارد فاينمان R. Feynman (١٩١٨ - ١٩٨٨): «المجال الحقيقي هو دالة رياضية نستخدمها لتجنب فكرة التأثير عن بعد»^(٥٠).

وعلى هذا، فلو كان المكان كياناً أساسياً مُمتلئاً كما أخبرنا ديكرت، فإن المجال هو وسيلة بها نعرف شيئاً ما هاماً عنه. إنه يُعين لكل نقطة في المكان عدداً حقيقياً: قد يكون لا متجهاً Scalar، أو متجهاً Vector، أو كمية ممتدة Tensor*. وهكذا يخبرنا المجال بشيء ما عن المكان ككل، ربّما يكون شيئاً معقداً، ولكنه في النهاية يُشبع شرط الاتصال، وما يستتبعه من مفاهيم، ولعل أهمها مفهوم السببية^(٥١).

١٤ - ورغم قوة الجانب الكمي لنظرية المجال، إلا أن جانبها الأنطولوجي بدا ضعيفاً. فالمجالات - كما تصفها معادلات ماكسويل - ماهي إلا كيانات رياضية مجردة، تستعصي على الخبرة الحسية المباشرة، وبالتالي فهي عرضة لنفس الاعتراضات التي وجهها باركلي لأولئك الذين اعتقدوا بوجود اللامتاهي في الصغر.

لكن هذه العقبة لم تكن لتثني ماكسويل عن مواصلة الطريق. فمضى يُطور النتائج الرياضية التي حصل عليها ويوسع من نطاقها، حتى وصل في النهاية إلى أن معادلاته تؤدي - من بين الحلول المتعددة - إلى حل موجي، أي إلى وضع تنتشر فيه المجالات على شكل موجات كهرمغناطيسية خلال الأثير^(٥٢).

كذلك تنبأ ماكسويل عام ١٨٦٤ بأن موجاته المقترحة لا بد وأن تنتقل خلال الأثير بسرعة الضوء. بل إن الضوء نفسه، بألوانه الطيفية المختلفة هو شكل من أشكال هذه الموجات التي تتباين فقط وفقاً لأطوالها وتردداتها. فإذا كان الضوء ذا تردد منخفض، فسوف يُطابق اللون الأحمر، وكلما ازداد التردد تحول الضوء تدريجياً إلى اللون البرتقالي فالأصفر. وهكذا حتى اللون البنفسجي، وهو آخر ألوان الطيف المرئية. أما إذا ارتفع التردد فوق ذلك، فسوف نصل

(٤٩) هوفمان: المرجع السابق، ص ١٢.

(50) Robert, B. Leighton & Matthew Sands (eds.), *Feynman Lectures*, Addison-Wesley, Mass., 1963, Vol. II, quoted by Lucas, Op. Cit, p. 178.

* اللامتجه هو اسم أو وصف لأية كمية فيزيائية تتعين بمقدارها فقط دون الاتجاه. أما المتجه فهو كمية تتعين بمقدارها واتجاهها معاً. وأما الكميات الممتدة فهي تعميم أبعد للمتجهات. أنظر: *معجم الفيزيقا الحديثة*، ج ٢، مادة «اللامتجه»، ص ٢٧٥ & مادة «المتجه»، ص ٣٣٤.

Also: *Textbook*, Vol. 1, pp. 55 FF.

(51) Loc. Cit, p. 178.

(٥٢) محمد علي العمر: المرجع السابق، ص ٥٩.

إلى الضوء اللامرئي المُسمى بالأشعة فوق البنفسجية، ثم إلى الأشعة السينية*، ثم إلى أشعة جاما التي تنتج عن الراديوم والمواد المشعة الأخرى، وإلى بعض مكونات الأشعة الكونية. وإذا ما انخفض التردد عن موجة الضوء الأحمر، فسوف نقابل الأشعة تحت الحمراء، وأشعة الحرارة، ثم نصل أخيراً إلى أشعة الراديو المعروفة بالموجات اللاسلكية^(٥٣). ولم يعش ماكسويل ليرى تنبؤاته وقد تحققت؛ ففي عام ١٨٨٧، تمكن الفيزيائي الألماني هاينريخ هيرتز H. Hertz (١٨٥٧ - ١٨٩٤) من توليد الموجات اللاسلكية في المعمل بواسطة دائرة كهربائية، واستقبالها بدائرة أخرى تبعد عنها، ليؤكد بذلك صدق توقعات ماكسويل، وصواب استنتاجاته الرياضية^(٥٤). وهكذا أصبح علم البصريات فرعاً من فروع الكهرمغناطيسية. وغدا المجال جزءاً أساسياً من أجزاء الواقع الموضوعي للفيزياء، ينازع الجسيمات في أولية الوجود^{**}. أما الأثير فقد بقي فرضاً ميكانيكياً غامضاً، يلعب دوراً مستتراً في إرضاء الضمير العلمي لفيزياء القرن التاسع عشر.

ثانياً: النسبية واتصال الظواهر الفيزيائية:

١٥- كان هدفنا من تتبع مراحل التطور الفيزيائي خلال القرن التاسع عشر هو أن نوضح مدى ثبات فكرة الاتصال كنتيجة مؤكدة لكافة البحوث القائمة على الرؤى النيوتونية للعالم الفيزيائي. ونصل الآن إلى الشطر الأول من أهم إنجازات الفيزياء خلال القرن العشرين، أعني نظرية النسبية (بشقيها الخاص والعام).

وأول ما يلفت النظر بصدده النظرية، أنها وإن كانت قد استحدثت من المفاهيم ما لم تتعارف عليه الميكانيكا التقليدية والكلاسيكية، إلا أنها لم تخرج عن التوجه العام للفيزياء - قديمها وحديثها - بشأن فكرة الاتصال، بل جاءت - كما سنرى - تدعيماً لهذه الفكرة، وترسيخاً لما يرتبط بها من مبادئ وفروض علمية وفلسفية. هذا من ناحية، ومن ناحية أخرى، رغم ما تتسم به النظرية من طابع رياضي واستنتاجي، إلا أن استنتاجاتها لم تولد من فراغ، وإنما سبقتها

* الأشعة السينية (أو أشعة إكس X rays): اكتشفها الفيزيائي الألماني فيلهلم رونتجن W. Roentgen (١٨٤٥ - ١٩٢٣)، عام ١٨٩٥. وهي من طبيعة الضوء المرئي ذاتها، وإن كان طول موجتها أقل كثيراً (معجم الفيزياء الحديثة، مادة «الأشعة السينية»، ج٢، ص ٣٤٥).
(٥٣) هوفمان: قصة الكم المثيرة، ص ١٤.

(54) Textbook, Vol. 3, pp. 123 F.

** من المعروف أن أينشتاين كان من أشد المناصرين لمفهوم المجال في مقابل مفهوم الجسيم، حيث بذل خلال النصف الثاني من حياته جهداً كبيراً أملاً في وضع نظرية عامة تربط بين المجالين: الكهرمغناطيسي والجاذبي، ويكون المجال فيها أولياً مقابل الجسيمات المادية، لكنه لم ينجح في مساعاه. كذلك كان حال هايزنبرج الذي سعى في الاتجاه المضاد مناصرًا للجسيم، لكنه لم ينجح أيضاً ومازالت الجهود تبذل حتى يومنا هذا لتحقيق هذا الهدف: هدف التخلص من ثنائية الموجة - الجسيم.

محاولات أخرى نظرية وتجريبية. منها على الجانب النظري هندسة ريمان الكروية ونظرية المجال لماكسويل، أما على الجانب التجريبي، فأمامنا تجربة الأثير، المعروفة بتجربة «ميكلسون - مورلي». ورغم انتماء التجربة لتراث النصف الثاني من القرن التاسع عشر، إلا أن التطور الطبيعي لمولد النسبية يجعلها أشد التصاقاً بفيزياء القرن العشرين.

أ- تجربة ميكلسون - مورلي Michelson-Morley Experiment :

١٦ - حين وضع ماكسويل نظريته عن المجال، كان وجود الأثير بالنسبة له أمراً مسلماً به؛ فهو في رأيه ذلك الناقل، أو تلك البيئة الوسيطة، التي تنتقل خلالها الطاقة الإشعاعية، والتي تهتز عبرها الموجات الكهرمغناطيسية، تماماً كما أن الهواء ناقل للموجات الصوتية.

وفي غضون ذلك، افترض الفيزيائيون أن الأثير يمكن أن يُفسَّر بأنه المكان المطلق الذي ذهب إليه نيوتن؛ فلو كان الأثير ساكناً، ويملاً المكان كله، فيبدو من المعقول إذن أن يؤخذ الأثير على أنه المعيار المطلق للسكون في الكون. وإذا كان الضوء ينتقل بسرعة ثابتة خلال هذا الوسط، فإنه من الممكن إجراء التجارب لإثبات السرعة التي تتحرك بها الأرض خلال الأثير. وبذلك نبرهن على الحركة المطلقة للأرض، ونثبت في الوقت ذاته وجود الأثير^(٥٥).

ولم يلبث هذا الافتراض أن وُضع موضع التنفيذ أو التنفيذ عام ١٨٨١، حين ابتكر الفيزيائي الأمريكي ألبرت ميكلسون A. Michelson (١٨٥٢ - ١٩٣١) جهازاً حساساً لهذا الغرض، يُعرف الآن بمقياس التداخل Interferometer.

وبمزيد من الدقة والتعقيد، أعاد ميكلسون تجربته الشهيرة عام ١٨٨٧ بالاشتراك مع صديقه إدوارد مورلي E. Morley (١٨٣٨ - ١٩٢٣)، ليفصلاً بذلك القول في فرض الأثير والحركة المطلقة^(٥٦).

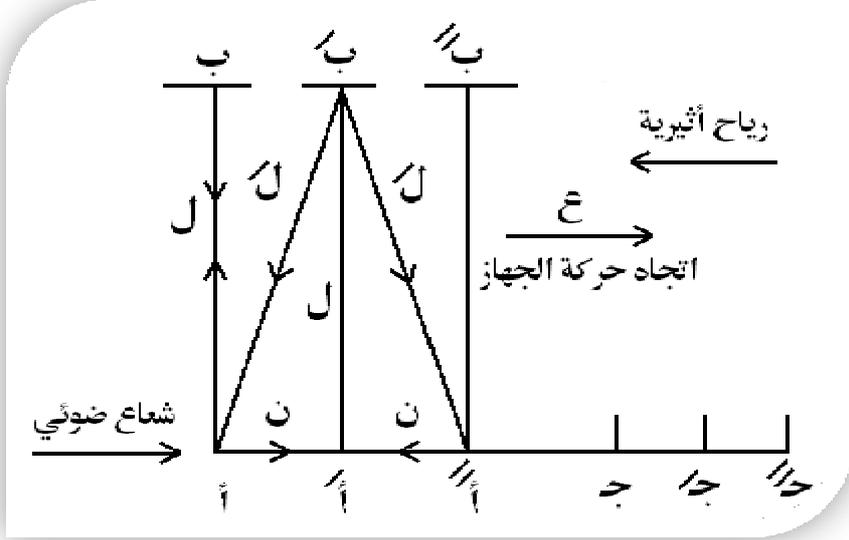
١٧ - كان من رأى ميكلسون ومورلي أنه إذا كانت الأرض تتحرك خلال الأثير، فإن شعاعاً من الضوء مرسلًا باتجاه حركة الأرض - أي ضد اتجاه الرياح الأثيرية التي يُفترض أن تنتج عن هذه الحركة - ثم مُرتدًا إلى نقطة البداية، لا بد وأن يصل متأخرًا عن شعاع آخر أرسل في نفس الوقت ولنفس المسافة ولكن بزوايا قائمة على اتجاه الحركة الأرضية خلال الأثير؛ ذلك أن الأرض تدور حول الشمس بسرعة تبلغ ٣٠ كم / ث، ولا بد وأن تتأثر سرعة الضوء - سلبيًا أو إيجابًا - في حدود هذا المقدار، بحيث تتناقص إذا ما انطلق الشعاع الضوئي باتجاه حركة الأرض، وتزداد إذا ما انطلق بعكس اتجاه الحركة^(٥٧).

(٥٥) إيبين نيكلسون: الزمان المتحول، ص ١٧٨.

(٥٦) الموضع ذاته.

(٥٧) هايزنبرج: الفيزياء والفلسفة (ترجمة أحمد مستجير، المكتبة الأكاديمية، القاهرة، ط ١، ١٩٩٣) ص

هذه هي الفكرة الأساسية لتجربة ميكلسون - مورلي. أما بنيتها الرياضية، وهي على جانب كبير من الأهمية إذا ما أردنا فهم النسبية، فقد تزداد وضوحًا بالنظر إلى الشكل التالي^(٥٨):



أمامنا في هذا الشكل تبسيطاً لجهاز التجربة المكون من ثلاث مرايا: (أ)، (ب)، (ج). الأولى منها - أي (أ) - مرآة شبه عاكسة، تعكس ٥٠% من الضوء الساقط عليها تجاه المرآة (ب)، وتسمح بمرور الـ ٥٠% الباقية تجاه المرآة (ج). ولذا فلو كان الجهاز ساكناً في الأثير، فسوف ينقسم الشعاع الضوئي الساقط على المرآة (أ) إلى جزئين متساويين يمران في مسارين متعامدين: (أ ب)، (أ ج). ثم ينعكس الشعاعان مرة أخرى من المرآتين (ب)، (ج) الموضوعتين على مسافتين متساويتين من المرآة (أ) ويرتدان إليها بالتطابق ليعودا شعاعاً واحداً. أما لو تحرك الجهاز إلى اليمين بسرعة قدرها (ع) بالنسبة للأثير، بحيث يكون الذراع (أ ب) عمودي على اتجاه الحركة، فسوف يقوم نصف الشعاع الأول بالرحلة (أ ب أ) بدلاً من الرحلة (أ ب أ) ويقطع المسافة (ل ٢) بدلاً من المسافة (ل ٢). ولأن (ل) أكبر من (ل) فلا بد وأن تستغرق الرحلة (أ ب أ) زمناً أطول من زمن الرحلة (أ ب أ). وكذلك الحال بالنسبة لنصف الشعاع الثاني، الذي يكون مُعرضاً في رحلة الذهاب لرياح الأثير، فتستغرق رحلته ذهاباً وإياباً زمناً أطول من زمن الرحلة (أ ب أ). ولنفصل ذلك رياضياً بالنسبة لحالتي السكون والحركة^(٥٩).

(58) This figure is quoted from Van Fraassen, *An Introduction to the Philosophy of Time and Space*, Op. Cit, p. 143.

(59) Ibid, pp. 142 - 146.

الحالة الأولى: الجهاز في سكون بالنسبة للأثير، ولذا فإن نصفي الشعاع يستغرق كل منهما في رحلة الذهاب والعودة زمناً قدره:

$$(1) \Delta z = \frac{L}{s} \quad \text{لأن الزمن} = \frac{\text{المسافة}}{\text{السرعة}}$$

[حيث (z) = الزمن، (L) = المسافة، (s) = سرعة الضوء بالنسبة للأثير].

الحالة الثانية: الجهاز يتحرك خلال الأثير بسرعة قدرها (ع) في اتجاه (أج).

أولاً: نصف الشعاع الأول يقوم بالرحلة (أ ب أ) التي مسافتها (L)، ولذا يُصبح زمن رحلة الذهاب والعودة:

$$(2) \Delta z = \frac{L}{s}$$

ولكي نرى كيف يختلف هذا الفاصل الزمني عن (Δ z)، يجب أن نقدر قيمة (L) بالنسبة إلى (L):

لنفرض أن (A) = (A) = ن
∴ ووفقاً لنظرية فيثاغورث:

$$(3) L^2 + z^2 = (L)^2$$

ولكن (z) هي المسافة التي يتحركها الجهاز خلال الفاصل الزمني Δ عندما يتحرك بسرعة (ع).

$$\therefore (4) n = \frac{c \Delta z}{2}$$

ومن (2) و(4) نستنتج أن: $n = c \left(\frac{L}{s}\right)$

ولذا فإن (3) تؤدي إلى:

$$(5) L^2 + z^2 = (L)^2$$

$$(6) \frac{L}{\sqrt{c^2 - v^2}} = L$$

ومن (٢)، (٦) نصل إلى:

$$\frac{1}{\sqrt{s^2/c^2 - 1}} \Delta z = \frac{L^2}{\sqrt{s^2/c^2 - 1}} = L^2 = \Delta_1 \quad (٧)$$

الذي يكون بكيفية ما أكبر من Δz

ثانياً: نصف الشعاع الثاني يجب أن يتحرك نفس المسافة كالذي قبله، ولكن سرعته النسبية تتأثر بحركة الأرض (التي تحمل الجهاز) خلال الأثير. ولذا تقل سرعته في رحلة الذهاب إلى (س - ع). أما في رحلة العودة فتزداد إلى (س + ع). وهكذا يُصبح زمن رحلة الذهاب والعودة:

$$\frac{L^2 s}{c^2 - s^2} = \frac{L}{c + s} + \frac{L}{c - s} = \Delta_2 \quad (٨)$$

ولكي نقدر قيمة Δ_2 بالنسبة إلى Δz لا بد وأن نعزل المعامل $\frac{L^2}{s}$ وذلك بالنظر إلى (١).

$$\frac{L^2}{\sqrt{(c^2/s^2 - 1)}} = \frac{L^2 s}{c^2 - s^2} = \Delta_2 \quad (٩) \therefore$$

$$\therefore \Delta_2 = \Delta_1 \left(\frac{1}{\sqrt{(c^2/s^2 - 1)}} \right) \quad (١٠)$$

ونلاحظ أن هذا المقدار أكبر من Δz ، ومن Δ_1 أيضاً، لأننا يمكن أن نستنتج من (٧)، (١٠):

$$\frac{1}{\sqrt{s^2/c^2 - 1}} \Delta_1 = \Delta_2 \quad (١١)$$

وهكذا Δz أقل من Δ_1 ، و Δ_1 أقل من Δ_2 ، من خلال الضرب في المعامل:

$$\frac{1}{\sqrt{s^2/c^2 - 1}}$$

١٨ - وما توصلنا إليه رياضياً يمثل النتيجة المتوقعة كلاسيكياً لتجربة ميكلسون - مورلي؛ فنصفي الشعاع الضوئي لا يمكن أن يعودا بالتطابق إلى نقطة المصدر. ولكن التوقع شيء، وما أسفرت عنه التجربة شيء آخر، فقد عاد الشعاعان بالتطابق، ولم تتأثر سرعتيهما، لا بحركة الجهاز، ولا برياح أثيرية. فلا وجود إذن لهذا الوسط الغريب المدعو بالأثير، وسرعة الضوء ثابتة لا تتغير، ولا تختلف بين إقبال وإدبار عبر الفضاء^(٦٠).

وكانت هناك بالطبع محاولات متتالية لتفسير النتيجة السلبية للتجربة، ولإنقاذ الأثير من مصيره المحتوم^(٦١)؛ لعل أشهرها محاولة الفيزيائيين: الأيرلندي جورج فيتزجيرالد G. Fitzgerald (١٨٥١-١٩٠١)، والهولندي هندريك لورنتز H. Lorentz (١٨٥٣-١٩٢٨)؛ ففي عام ١٨٩٣ تقدم الأول بافتراض يقضي بأن الذراع (أ ج) الممتد على طول اتجاه الحركة من الممكن أن ينقلص بتأثير هذه الحركة وفقاً للمعامل: $\sqrt{1 - v^2/c^2}$ ولذا فإن طوله ليس (ل) ولكن:

$$L \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

ومن ثم فإن قيمة Δ ليست كما هي في (٩) ولكن:

$$\Delta_1 = \left(\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \right) \frac{L_2}{c} = \frac{L_2 \sqrt{1 - v^2/c^2}}{c - v} = \Delta_2 \quad (١٢)$$

وبنفس الشكل الذي تنقلص به المسافة من (أ) إلى (ج)، ذهب لورنتز إلى أن ساعة القياس من الممكن أيضاً أن تتباطأ في سيرها، وذلك باستخدام المعامل السابق:

$$\sqrt{1 - v^2/c^2}$$

ومعنى هذا أن آلات القياس تلعب دوراً مستتراً في إخفاق أية محاولة للكشف عن الحركة خلال الأثير.

ومع أن هذا الافتراض المريح، يُفسر بمعنى ما إخفاق تجربة ميكلسون - مورلي في إثبات وجود الأثير، إلا أنه يُبرهن أيضاً على أن الأثير، لو كان موجوداً، فسوف يظل دائماً دون اكتشاف. وإذا كان هناك شيء - حتى لو وُجد - لا سبيل إلى الكشف عنه بتاتاً - سواء من

(60) Ibid, p. 146.

(61) See Bohm, D., *The Special Theory of Relativity*, W. A. Benjamin, N.Y., 1965, Ch. V.

حيث المبدأ أو التطبيق - فلا قيمة له بالنسبة للعلم. وهكذا تحول الأثير إلى مفهوم لا جدوى منه على الإطلاق^(٦٢).

١٩- هذه النتيجة على أهميتها، ترتبط بموضوع آخر شغل العلماء منذ أن وضع ماكسويل معادلاته لوصف سلوك الموجات الكهرومغناطيسية؛ فبرغم الطابع المطلق الذي تتسم به الميكانيكا النيوتونية، إلا أنها تحقق مبدأً للنسبية يمكن وصفه كما يلي:

«إذا أوفت الحركة الميكانيكية لمجموعة إسناد معينة بقوانين نيوتن للحركة، فسوف يكون هذا صحيحاً بالنسبة لأيّة مجموعة إسناد أخرى طالما كانت في حركة منتظمة غير دوارة بالنسبة للمجموعة الأولى»^(٦٣).

ومعنى هذا أنه إذا كانت الكتلة (ك) تتحرك بانتظام، وفي خط مستقيم بالنسبة إلى مجموعة الإسناد (م)، فإنها تكون أيضاً متحركة بحركة منتظمة وفي خط مستقيم بالنسبة إلى مجموعة إسناد أخرى (م)، مادامت الأخيرة تتحرك بانتظام بالنسبة إلى المجموعة (م)^(٦٤).

وتبعاً لهذا المبدأ، نستطيع تعيين قيم الإحداثيات (أ، ب، ح، ز) الخاصة بموضع (ك) وزمانها بالنسبة إلى (م)، إذا علمنا قيم هذه الإحداثيات (أ، ب، ح، ز) بالنسبة إلى (م). فإذا كانت المجموعة (م) تتحرك بسرعة قدرها (ع) باتجاه المحور (أ) الخاص بالمجموعة (م) فإن:

(١٣):

$$أ - أ = ع ز$$

$$ب = ب$$

$$ح = ح$$

$$ز = ز$$

وتُعرف هذه المجموعة من المعادلات بتحويلات جاليليو^(٦٥) Galileo-Transformation. وهي تستند كما نرى إلى مطلعية الزمان وانسيابه بصورة متساوقة بمعزل عن حوادث العالم، كما أنها تترك الأطوال المتحركة دون تغيير يُذكر^(٦٦).

(٦٢) إيبين نيكلسون: الزمان المتحول، ص ص ١٧٩ - ١٨٠.

(٦٣) هايزنبرج: الفيزياء والفلسفة، ص ص ٧٨ - ٧٩.

(٦٤) آينشتين: النسبية (النظرية الخاصة والعامة)، ترجمة رمسيس شحاتة، مراجعة محمد مرسي أحمد، دار نهضة مصر للطباعة والنشر، القاهرة، بدون تاريخ، ص ١٦.

(65) See Cassirer, E., *Substance and Function & Einstein's Theory of Relativity* (Two Books in One), Dover Publications, INC, N.Y., 1953, p. 370. =

لكن النسبية النيوتونية - وفقاً للرؤى الكلاسيكية - لا تصلح للتطبيق في ميدان البصريات أو الكهرمغناطيسية، ذلك أنه إذا كانت مجموعة الإسناد الأولى ساكنة في الأثير، فليس من الضروري أن تكون المجموعات الأخرى كذلك، ومن ثم فلا بد وأن تُدرك حركتها بالنسبة للأثير عن طريق آثار من النمط الذي توقعه ميكلسون، وما أن أعلن الأخير عن النتيجة السلبية لتجربته، مؤكداً ثبات سرعة الضوء بغض النظر عن حركة المصدر، حتى افترض الفيزيائيون أن مبدأ النسبية قد يكون صحيحاً في الكهرمغناطيسية كما في ميكانيكا نيوتن^(٦٧).

وهنا تقدم لورنتز (١٩٠٤) بمجموعة أخرى من المعادلات تُوفق بين معادلات ماكسويل لانتشار الموجات وبين مبدأ النسبية، مستنداً في ذلك إلى فرضية انكماش الطول وتمدد الزمان. هذه المعادلات الجديدة تُعرف بتحويلات لورنتز Lorentz transformation، وبنفس الرموز السابقة نجد أن^(٦٨) :

$$(١٤) \quad \frac{z - \frac{v}{c}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = z'$$

$$\bar{b} = b \quad \bar{c} = c$$

$$z' = \frac{z - \frac{v}{c}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (\text{حيث } c = \text{سرعة الضوء})$$

وبهذه التطورات الناجمة عما تمخضت عنه تجربة ميكلسون -مورلي، يكون الطريق قد تمهد تماماً لظهور النسبية الخاصة التي أعلنها أينشتين عام ١٩٠٥.

= وأيضاً:

- أينشتين: المرجع السابق، ص ٣٣.

- موريس دوكين: *المادة وضد المادة* (ترجمة رمسيس شحاته، دار المعارف بمصر، القاهرة، ١٩٦٨) ص ٢٣.

(٦٦) دوكين: المرجع السابق، ص ٢٣.

(٦٧) هايزنبرج: *الفيزياء والفلسفة*، ص ٧٩.

(68) Cassirer, Op. Cit, p. 372.

وأيضاً:

- أينشتين: المرجع السابق، ص ٣٣.

- دوكين: المرجع السابق، ص ٢٦.

ب- النسبية الخاصة The Special Relativity :

٢٠ - تلقف آينشتين هذه التطورات وألف بينها في شكلٍ أنيقٍ ليُخرج لنا نظريته الخاصة في النسبية، وفيها ينطلق من مبدئين أساسيين وجدا في تجربة ميكلسون - مورلي دعماً قوياً. أما أولهما فهو مبدأ النسبية القائل بأن قوانين الظواهر الفيزيائية، وبصفة خاصة قوانين الكهرمغناطيسية، تحتفظ بصيغة ثابتة في كافة مجموعات الإسناد الموجودة في حركة انتقال منتظمة بالنسبة لبعضها البعض^(٦٩).

ومعنى هذا المبدأ هو أن تحويلات لورنتز، وليست تحويلات جاليليو، هي صاحبة المغزى في الفيزياء^(٧٠). أو بعبارة أخرى، يمكننا الزعم أن الأثير لا وجود له، فلنا بحاجة في الواقع لمثل هذا الغرض، والأسهل أن نقول أن موجات الضوء تنتشر في الفراغ، وأن المجالات الكهرمغناطيسية واقعٌ مستقل يمكن أن يوجد بدون الأثير^(٧١).

ومادما قد تخيلنا عن مفهوم الأثير، فقد تخيلنا بالمثل عن مفهوم المكان المطلق الذي ذهب إليه نيوتن. فليس هناك معيار واحد ثابت نستطيع بفضل تحديد مكان شيء ما، أو سرعته، بشكلٍ مطلق. وعلى كل راصد أن يُحقق قياساته في ضوء معطياته الخاصة: منزله أو كوكبه أو مجرته، أو بالأحرى مكانه النسبي من الأشياء المتحركة في الكون بسرعات نسبية^(٧٢). أما المبدأ الثاني فينص على أن سرعة الضوء ثابتة في كل الاتجاهات بغض النظر عن حالة الراصد أو مصدر الضوء من الحركة^(٧٣).

ومادام هذا المبدأ قد تحقق بالدليل التجريبي، فعلياً إذن أن نتقبل بصدقٍ رحب ما يترتب عليه من نتائج. وقد ندفع ثمناً باهظاً مقابل ذلك، ولكننا نصل في النهاية إلى فهم أفضل للطبيعة وعملياتها. ولننظر الآن بإيجاز إلى هذه النتائج.

[٢٠ - ١] - تحوير قانون تركيب السرعات:

كان القانون الكلاسيكي لتركيب السرعات ضحيةً لقبول مبدأ ثبات سرعة الضوء؛ فلو افترضنا مثلاً أن سفينة فضاء (أ) تنطلق بسرعة تعادل نصف سرعة الضوء (أي ١٥٠,٠٠٠ كم / ث)، وأن سفينة أخرى (ب) تنطلق في الاتجاه المضاد بسرعة قدرها ٢٠٠,٠٠٠ كم / ث، فكم تكون سرعة (أ) بالنسبة إلى سرعة (ب)، أو سرعة (ب) بالنسبة إلى سرعة (أ)؟

(٦٩) آينشتين: المرجع السابق، ص ١٧.

(٧٠) دوكنين: المرجع السابق، ص ٢٦.

(٧١) هايزنبرج: المرجع السابق، ص ٨٠.

(٧٢) ميتشيل ويلسون: الطاقة، ص ١٤٠ - ٤١.

(٧٣) آينشتين: أفكار وآراء، ص ١٥.

من المفترض تبعًا لقوانين الميكانيكا الكلاسيكية أن تكون السرعة المقيسة لكل منهما بالنسبة للأخرى مساوية لحاصل جمع سرعتين (أي ٣٥٠.٠٠٠ كم / ث)، وهي كما نرى تفوق سرعة الضوء. لكن النسبية الخاصة لها رأي آخر، ذلك أن السرعة النسبية لكل منهما لن تزيد على ٢٦٢.٥٠٠ كم / ث. وما علينا - كي نتحقق من ذلك - سوى أن نطبق المعادلة التالية^(٧٤):

$$\frac{c + c}{1 + \frac{c^2}{s^2}} = c \quad (١٥)$$

[حيث (ع) هي السرعة النسبية بين السفينتين، (ع^١) سرعة السفينة (أ)، (ع^٢) سرعة السفينة (ب)، (س) سرعة الضوء].

هذه المعادلة مشتقة من تحويلات لورنتز. وقد تمثل نتيجتها تحديًا لما نسميه بالحس المشترك، غير أنها تستند إلى دليل تجريبي قدّمه الفيزيائي الفرنسي هيبولايت فيزو H. Fizeau (١٨١٩-١٨٩٦) عام ١٨٥١، وذلك حين قاس سرعة الضوء في سائل متحرك، وكان يتوقع أن تكون السرعة الكلية للضوء مساوية لحاصل جمع سرعة السائل بالإضافة إلى سرعة الضوء، ولكنه وجد أن السرعة الكلية كانت أقل بعض الشيء^(٧٥).

[٢٠ - ٢] - **تقلص الطول:**

هذه النتيجة تعميم لانكماش فيتزجيرالد Fitzgerald contraction، وتتص على أن الأشياء المتحركة تقلص على طول اتجاه حركتها وفقًا للمعادلة:

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (١٦)$$

[حيث (L) هو طول الشيء وهو يتحرك، (L₀) طوله الأصلي قبل الحركة ويُعرف بطول السكون Rest length، (ع) سرعته النسبية، (س) سرعة الضوء]. وعلى هذا فكلما ازدادت سرعة الشيء ازداد تقلصه، حتى إذا ما بلغت سرعته ٨٧٪ من سرعة الضوء تقلص طوله إلى النصف، أما لو تمكن من بلوغ سرعة الضوء ذاتها، فلن يكون له طول على الإطلاق^(٧٦).

(٧٤) آينشتين: النسبية الخاصة والعامة، ص ٣٩.

(٧٥) الموضع ذاته.

(٧٦) إيبين نيكلسون: الزمان المتحول، ص ص ١٨٦ - ٨٧.

ورغم أهمية هذه النتيجة وغرابتها، إلا أنها لم تُختبر تجريبياً حتى الآن، وذلك لصعوبة إجراء التجارب تحت ظروف السرعات العالية^(٧٧).

[٢٠ - ٣] - تزايد الكتلة:

كان نيوتن يرى أن لكل جسم كتلة معينة، وأنها مقدار ثابت لا يتغير سواء أكان الجسم ساكناً أو متحركاً. وأن كمية الحركة (\vec{K}) تساوي كتلة الجسم مضروبة في سرعته:

$$(\vec{K} = m\vec{v})$$

وجاء آينشتين متفقاً مع نيوتن في ثبات كتلة الجسم وهو ساكن، ولكنه اكتشف أن مقدار الكتلة يتغير حين يتحرك الجسم، وتزداد كتلته بازدياد سرعة الحركة^(٧٨)، وذلك وفقاً للمعادلة^(٧٩):

$$(٧) \quad \frac{K}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = K_0$$

[حيث (K_0) هي كتلة الجسم وهو يتحرك، (K) كتلة السكون Rest mass، (v) سرعته النسبية، (c) سرعة الضوء].

وكما إقتربت سرعة الجسم من سرعة الضوء صارت كتلته أكبر، حتى إذا ما أمكن للجسم أن ينتقل بسرعة الضوء صارت كتلته لا نهائية. وقد تأكدت هذه النتيجة بالدليل التجريبي، ذلك أن مُعجل الجسيمات Particle accelerator* في المعامل النووية قادر على رفع سرعة الجسيمات دون الذرية إلى نسب ضخمة جداً تقترب من سرعة الضوء. والواضح تماماً من نتائج هذه التجارب أن كتل الجسيمات تزداد بالقدر الذي تتنبأ به النسبية الخاصة^(٨٠).

[٢٠ - ٤] - تكافؤ الكتلة والطاقة:

تمثل هذه العلاقة واحدة من أهم النتائج العامة لنظرية النسبية الخاصة؛ فقد كانت الكتلة عند نيوتن مقداراً ثابتاً لا يتغير تحت كل الظروف، وبالمثل كانت الطاقة، ولا علاقة بينهما. ثم جاء آينشتين ليوحد بينهما ويدمجهما في قانون واحد مركب. فإذا كانت (K) هي كتلة السكون لجسم ما، (E) طاقته، (c) سرعة الضوء فان^(٨١):

(٧٧) محمد علي العمر: *مسيرة الفيزياء*، ص ١٠٢.

(٧٨) محمود فهمي زيدان: *من نظريات العلم المعاصر*، ص ٤٠.

(٧٩) إيبين نيلكسون: *المرجع السابق*، ص ١٨٩.

* معجل الجسيمات هو جهاز يستخدم لزيادة سرعة الجسيمات المشحونة (*معجم الفيزيكا الحديثة*، مادة «معجل»، ج١، ص ٦).

(٨٠) الموضوع ذاته.

(٨١) آينشتين: *أفكار وآراء*، ص ١١٣.

$$(١٨) \quad \tau = \gamma t$$

بمعنى أن طاقة السكون Rest energy لجسم ما تساوي كتلته مضروبة في مربع سرعة الضوء. وقد تبدو هذه العلاقة منفصلة عن فهمنا لبنية الزمان والمكان. ولكنها في الحقيقة تقدم لنا تفسيراً شافياً لعمليات الاندماج النووي التي تجري بشكل متصل داخل الشمس والنجوم الأخرى، وبها تعلمنا كيف أن مقداراً هائلاً من الطاقة يقبع مستترًا داخل كل وحدة من وحدات المادة. الأمر الذي أصبح يمثل مشكلة من أخطر المشكلات التي تواجه حضارتنا وأشدّها إلحاحاً^(٨٢).

[٢٠ - ٥] - تمدد الزمان:

ومتلماً تخلينا عن مفهوم المكان المطلق حين نبذنا فرض الأثير، ثم أدركنا نسبية الحركات والأطوال تبعاً لموقع الراصد. كذلك يجب أن نتخلى عن مفهوم الزمان المطلق. فكل راصد زمانه النسبي، هو ذلك الزمان الذي تقيسه ساعته الخاصة. ولو أتيج له أن يراقب ساعة موضوعة على سطح سفينة فضاء سريعة الحركة، فسيرى أن عقارب هذه الساعة قد دارت بسرعة أبطأ من عقارب ساعته الخاصة. وتبعاً للنسبية الخاصة، لا ريب في هذه المسألة، فالزمان ينساب على الأشياء السريعة الحركة بسرعة أبطأ مما لو كان على الأشياء الثابتة. وذلك تبعاً للمعادلة^(٨٣):

$$(١٩) \quad \tau = z \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

[حيث (z) هو زمن السفينة بالنسبة للراصد، (z) هو الزمن الخاص بساعة السفينة، (c) سرعة السفينة النسبية، (v) سرعة الضوء].

فإذا ما تساءلنا أي الزمانين صحيح، لجاءنا رد النسبية بأن كليهما صحيح - بالنسبة لإطاره. ومعنى ذلك أننا لا نستطيع الزعم بأن حادثتين قد وقعتا في نفس اللحظة. أو أن إحداهما تسبق الأخرى أو تتلوهما، اللهم إلا إذا نسبنا هذا الزعم لإطار بعينه، له حركته النسبية، وله مكانه وزمانه النسبيان.

٢١ - ظاهرة التمدد الزمني إذن هي إحدى النتائج الهامة الناجمة عن الحركة النسبية، إذ بها يفقد مفهوم التزامن Simultaneity معناه المطلق المرتبط بتجارينا المحلية. وحتى لا ننزلق إلى تفسيرات خاطئة فيما يتعلق بهذه الظاهرة، ينبغي أن ننتبه جيداً إلى النقطتين التاليتين:

(٨٢) المرجع ذاته، ص ١١٤.

(٨٣) إيبين نيكلسون: المرجع السابق، ص ١٩٢.

(١) أن تمدد الزمان لا يعني إمكانية أن ينتقل جسم مادي بسرعة الضوء؛ أي أن يتوقف الزمان تمامًا بالنسبة له، لأن كتلته في هذه الحالة ستصبح لا متناهية. وعلى هذا فلن يمكنه بالأحرى أن ينتقل بسرعة تفوق سرعة الضوء، فيرتد به الزمان إلى الوراء. وقد يبدو ذلك متعارضاً مع ما سبق أن ذكرناه من أن قوانين النسبية تتيح ارتداد الزمان، ولذا نبادر بالقول بأن معادلة تزايد الكتلة لا تستبعد، بمعنى ما، إمكانية الانتقال بأسرع من الضوء؛ أي تفهقر الزمان إلى الوراء، ولكنها تمنع فحسب السفر بسرعة الضوء. وليس هذا وذاك شيئاً واحداً، لأننا يمكن أن نفترض ميلاد جسيم ما ينطلق أصلاً بسرعة أكبر من سرعة الضوء، وهو فرض مقبول نظرياً*، ولكن الجسيم عليه في هذه الحالة أن يبطئ من سرعته كي يعود إلى الحاضر، فإذا ما وصل إلى سرعة الضوء، أصبحت كتلته لا متناهية، وهذا يعني أنه لن يتمكن من العودة مطلقاً، ولا بد له من أن يظل دائماً مسافراً في الماضي^(٨٤).

(٢) أن اختلاف الترتيب الزمني أو المكاني للحوادث من راصد إلى آخر لا يعني في الحقيقة اختلال الترتيب السببي للحوادث. بمعنى أن يكون السبب سابقاً على النتيجة بالنسبة لراصد ما، بينما تكون النتيجة سابقة على السبب بالنسبة لراصد آخر. قد يكون ذلك صحيحاً لو نظرنا إلى الفاصل الزمني بين حادثتين بينهما رباط سببي بمعزل عن الفاصل المكاني - أو العكس - لكن انتقال التأثيرات السببية ليس في الحقيقة انتقالاً زمانياً (أو مكانياً) فحسب، ولكنه انتقال زمني - مكاني في متصل رباعي الأبعاد، يمثل العالم الذي نعيش فيه. ولو أردنا وصفاً موضوعياً دقيقاً لانتقال التأثير السببي بين حادثتين، فعلينا أن نضع في اعتبارنا هذا التركيب العضوي غير القابل للانقسام بين الزمان والمكان، والذي تمثله المعادلة التالية^(٨٥):-

* لننظر مرة أخرى إلى معادلة تزايد الكتلة:
$$K = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$
 ، فإذا افترضنا أن (ع) أكبر من (س)، فسوف يكون لدينا في المقام جذراً تربيعياً لعدد سالب، وهو كما نعرف عدد تخيلي. ولو افترضنا أن (ك) وهي كتلة السكون، أصبحت أيضاً تخيلية، أمكننا أن نكتب المعادلة على هذا النحو:

$$K = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} [\text{حيث } (ت) \text{ هي العدد التخيلي}]$$
. وبإلغاء (ت) الموجودة في البسط مع (ت) التي في المقام، تصبح للجسيم الافتراضي كتلة حقيقية متناهية. ومن ثم تتم العملية العكسية؛ أي أن كتلته تنخفض مع زيادة سرعته، فإذا أبطأ من سرعته، تزايدت كتلته حتى تصبح لا متناهية حين تتعادل سرعته مع سرعة الضوء.

أنظر: إيبين نيلكسون: المرجع السابق، ص ص ٢٠٤ - ٢٠٥.

(٨٤) المرجع ذاته، ص ص ٢٠٤ - ٢٠٥.

** نستبعد هنا بالطبع إمكانية أن ينتقل التأثير السببي بين حادثتين بسرعة تفوق سرعة الضوء، وهذه هي الحالة الوحيدة التي يمكن فيها للنتيجة أن تسبق السبب، ولكنها حالة ترفضها النسبية بشدة كما سبق أن رأينا.

(85) Van Fraassen, Op. Cit, p. 150.

$$(20) \quad \sqrt{(\Delta z)^2 - (\Delta m)^2} = v$$

[حيث تعبر (ص) عن الفاصل الزمكاني Spatio-temporal interval بين الحادثتين، (Δz) عن الفاصل الزمني، بشرط أن نضع في اعتبارنا سرعة الضوء، و (Δm) عن الفاصل المكاني الذي تعينه ثلاثة إحداثيات مكانية: طول (ل)، عرض (ض)، وارتفاع (ف).]

ولما كان الإحداثي الزمني ممثلاً للبعد الرابع في المتصل، فلا بد إذن من تحويله إلى إحداثي مكاني حتى تتوافق الإحداثيات. ويتم ذلك بضرب مقدار الفاصل الزمني في مقدار سرعة الضوء، أي أن $(\Delta z) = (س ز)$. وبتربيع الفاصل الزمكاني بين الحادثتين، يمكن للمعادلة أن تأخذ الشكل التالي^(٨٦):

$$(21) \quad v^2 = s^2 z^2 - (l^2 + z^2 + f^2)$$

فإذا وصفنا الفاصل الزمكاني بين أي حادثتين بهذه المعادلة، فإن جميع راصدي الحركة المطردة النسبية سيصلون إلى نفس قيمة (ص) من مقاييسهم لكل من (ز)، (ل)، (ض)، (ف)، حتى ولو كانت القيم الفردية للشطرين الزمني والمكاني قد قامت الحركة النسبية بتعديلها^(٨٧). وهكذا يحتفظ المتصل رباعي الأبعاد بالطابع المطلق الذي قرره نيوتن لكل من الزمان والمكان وهما منفصلان^(٨٨).

٢٢- وفكرة الزمكان، أو متصل الزمان - مكان Space-Time continuum من وضع الرياضي الألماني هيرمان منكوفسكي H. Minkowski (١٨٦٤-١٩٠٩)؛ قدمها العام ١٩٠٨ كتفسير واضح للملابسات الناجمة عن تباين المسافات والأزمنة في النظرية الخاصة للنسبية. ووفقاً لهذه الفكرة، يندمج الزمان في المكان اندماجاً تاماً ليؤلفاً معاً متصلًا واحدًا هو متصل الزمان - مكان. هذا المتصل كما ذكرنا، لا شأن له بموقع الراصد أو سرعة حركته. وإنما هو شيء موضوعي، له طبيعته المستقلة، فإذا أدركناه، فقد خطونا أولى خطواتنا نحو المطلق الذي افتقدناه بتحويلات لورنتز^(٨٩).

ويمثل منكوفسكي لكل جسيم مادي في المتصل بنقطة زمكانية لها أربعة إحداثيات، يطلق عليها اسم (النقطة - العالم) World-point. أما تاريخ الجسيم ككل فيمثل له بخط أحادي

(٨٦) إيبين نيكلسون: المرجع السابق، ص ٢١٠.

(٨٧) الموضوع ذاته.

(٨٨) آينشتين: النسبية الخاصة والعامة، ص ص ٨٨ - ٨٩، ص ٣٦.

(89) See Lucas, *A Treatise on Time and Space*, Op. Cit, pp. 236 - 41.

البعد من النقاط الزمكانية المتصلة، يسمى (الخط - العالم) World-line. وهكذا فكل خط من خطوط العالم يعبر عن الوجود الثابت المتصل لجسم ما. ومن مجموع هذه النقاط وتلك الخطوط يتألف العالم الذي يحتوينا^(٩٠).

ولاشك أن لهذه الفكرة من النتائج الفلسفية ما يعد علامة على وجهة نظر جديدة تمامًا؛ فمن ناحية، لم تعد المادة كما كانت من قبل جوهرًا، أو موضوعًا تحمل عليه الصفات الثانوية، وإنما أصبحت مجرد سلسلة من الحوادث الزمكانية المتصلة والمتجاورة، تتأطر رياضياً متسلسلة الأعداد الحقيقية التي توقف عندها كانتور كأعلى رتبة من رتب الاتصال الرياضي. وبعبارة أخرى، أصبحت المادة مجرد امتداد نقطي زمكاني، فالحوادث هي النسيج الذي يتألف منه المتصل رباعي الأبعاد، مثلما الأنغام هي النسيج الذي يتألف منه اللحن الموسيقي. وبين كل حادثتين لا تبعد إحداهما عن الأخرى بعدًا شديدًا، توجد علاقة قابلة للقياس، هي تلك المسماة بالفواصل. ويبدو أن هذا الفاصل هو الحقيقة الفيزيائية التي تُعد البرهة من الزمان والمسافة من المكان ممثلين غامضين لها^(٩١).

ومن ناحية ثانية، فقدت فكرة انسياب الزمان معناها المطلق الذي تصوره نيوتن، فالزمكان موجود، هذا كل ما في الأمر، وهو لا ينساب ولا يتغير. وكل الحوادث الممكنة توجد في الزمكان. ونحن كأفراد يتصادف أن نلتقي بهذه الحوادث. أما انسياب الزمان الذي نعيه على هذا النحو الحاد، فما هو إلا مجرد سمة من سمات شعورنا^(٩٢). وهكذا أصبحنا على مقربة من أن نقرر للزمان بداية ونهاية، وكل ما هو مطلوب، هو أن نقرر بوضوح ما إذا كان الكون - أو المتصل رباعي الأبعاد - قد بدأ وسوف ينتهي، أم أن اللاتناهي له دور ينبغي أن يذكر في رسم البنية التوبولوجية لهذا المتصل.

ومن ناحية ثالثة، اتخذت مشكلة العلاقة بين الذات والموضوع بعدًا جديدًا لاتزال له آثاره الفلسفية حتى الآن؛ فلقد كان الزعم السائد في الفيزياء التقليدية يدور حول إمكانية التمييز تمييزًا قاطعًا بين سلوك الأشياء، والذات المدركة لهذا السلوك، وأنه لا مجال للوقوع في الذاتية ما دمنا نرصد ما نراه بأدوات دقيقة، ونتمتع بقدرة طيبة على ربط الظواهر^(٩٣). وبعد مجيء النسبية، كان الظن السائد هو أن الذات الإنسانية تلعب دورًا لا يمكن إغفاله في صياغة القوانين الفيزيائية؛

(٩٠) آينشتين: النسبية الخاصة والعامة، ص ص ٨٨ - ٨٩، ص ١١٨.

See also: Smart, j. C., *Between Science and Philosophy*, Random House, N. Y., 1968, pp. 218 FF.

(٩١) رسل: ألف باء النسبية، سبق ذكره، ص ١٣٤.

(٩٢) إيبين نيكلسون: الزمان المتحول، ص ٢١١.

(٩٣) محمد محمد قاسم: كارل بوبر، ص ١٢٤.

فالمكان والزمان والحركة، كلها أمور نسبية تختلف من شخص إلى آخر، وعلى هذا فقد تتحت الموضوعية جانباً لتفسح الطريق للذاتية. لكن هذا الظن ينطوي على فهم خاطئ لما أعلنه آينشتين، ذلك أن نسبية الأطوال والمسافات والأزمنة ليست في جوهرها نسبية ذاتية أو سيكولوجية، وإنما هي نسبية فيزيائية، فمن الممكن أن نستبدل الآلات والأجهزة بالإنسان الراصد، وسوف نحصل على نفس النتيجة^(٩٤). الأمر الذي يحفظ للعالم موضوعيته المستقلة عن الذات العارفة. وتأكيداً لهذا المعنى، تلقف آينشتين فكرة الزمكان لينقذ موضوعية العالم من أسر التفسيرات الخاطئة، وليخطو بنا سريعاً نحو نظريته العامة في النسبية.

ج- النسبية العامة General Relativity :

٢٣- لعلنا قد لاحظنا فيما سبق أن النسبية الخاصة، وإن كانت أكثر إرضاءً من الميكانيكا النيوتونية، إلا أنها مشروطة في قابليتها للتطبيق بحركة الانتقال المنتظمة لمجموعات الإسناد. ولكي ينتقل جسم ما بسرعة منتظمة فلا بد له من أن يتحرر من كافة تأثيرات القوى الخارجية؛ فالقوة تولد التسارع (أو العجلة Acceleration) ونحن في عالم لا يخلو فيه مكان من تأثيرات القوى الجاذبة. قد نتحرك بعيداً عن الأرض فننتحرر من جاذبيتها، ولكننا مع ذلك نظل خاضعين لتأثير الشمس الجاذبي. فإذا ما تحررنا من هذا الأخير، وجدنا أنفسنا أسرى التأثير الجاذبي العام للمجرة. وهكذا دواليك^(٩٥).

النسبية الخاصة إذن لاتعدو أن تكون نظرية تقريبية طالما كانت الجاذبية حاضرة. وهي كذلك تشير بإصبعها إلى ما وراءها، أي إلى ضرورة تعميم مبدأ النسبية بحيث يشمل كافة مجموعات الإسناد مهما كانت حالتها من الحركة^(٩٦). ولم يتحقق ذلك إلا عام ١٩١٥، حين نشر آينشتين نظريته العامة في النسبية، ليكشف بذلك عن نظرية في الجاذبية أشمل من نظرية نيوتن. هذه الأخيرة ملائمة تماماً لـ ٩٩,٩٩٪ من التطبيقات. ولكن هناك مواقف يكون فيها قانون الجاذبية القديم قاصراً، وهنا فحسب تدخل النسبية العامة معلنة جدارتها وأحقيتها^(٩٧).

٢٤- والخطوة الأولى على طريق النسبية العامة هي ما يعرف بمبدأ التكافؤ الميكانيكي بين كتلة الجاذبية وكتلة القصور الذاتي لأي جسم مادي؛ فمن المعروف وفقاً للقانون الثاني لنيوتن أن العجلة تساوي القوة المؤثرة على الجسم مقسومة على كتلته. والكتلة في هذه الحالة هي مقياس لمقاومة الجسم للعجلة، أي أنها مقياس لقصوره الذاتي، ولذا تُعرف بكتلة القصور الذاتي

(٩٤) محمود فهمي زيدان: من نظريات العلم المعاصر، ص ٣٨، ص ص ١١٣ - ١٤.

(٩٥) إيبين نيكلسون: المرجع السابق، ص ٢١٦.

(٩٦) آينشتين: النسبية الخاصة والعامة، ص ٥٩.

(٩٧) نيكلسون: المرجع السابق، ص ص ٢١٧ - ١٨.

Inertial mass. ومن خلال قانونه العام في الجاذبية، يُخبرنا نيوتن بأن قوة الجذب المتبادل بين جسمين تتناسب عكسيًا مع مربع المسافة بينهما، وطرديةً مع حاصل ضرب كتلتيهما، حيث تكون الكتلة هنا بمثابة مقياس للقوة اللازمة لجذب الجسم، ومن هذين القانونين نستنتج وجود علاقة بين كتلتي الجاذبية والقصور الذاتي لأي جسم مادي، فكلما ازدادت كتلة الجسم، ازدادت القوة اللازمة لجذبه، وازدادت في الوقت ذاته القوة اللازمة لتعجيله، والعكس صحيح. وقد ثبت بالدليل التجريبي أن هذه العلاقة هي علاقة تكافؤ Equivalence؛ فالريشة والحصاة، كما أخبرنا جاليليو ومن بعده نيوتن، تتسارعان إلى الأرض بنفس الكيفية، وتصلان إليها في توقيت واحد إذا ما أمكننا التحكم في تأثير مقاومة الهواء^(٩٨).

ولم يستطع نيوتن تقديم تفسير واضح لهذه العلاقة حتى تنبه لها أينشتين عام ١٩٠٧، فوضع لها تفسيرًا كان بمثابة الحجة والدليل لنظريته العامة في النسبية. لم ينظر أينشتين إلى الجاذبية بوصفها قوة مباشرة تؤثر عن بعد، وإنما نظر إليها بوصفها مجالاً مغناطيسيًا تنتشره الأجسام الجاذبية من حولها، فيؤثر بدوره على الأجسام المحيطة بها مما يدفعها إلى الحركة بعجلة واحدة مهما كانت حالتها المادية أو الفيزيائية^(٩٩).

ومعنى ذلك أن الكتل المادية لا تتبادل الجذب بطريقة نيوتن، وإنما بطريقة فاراداي وماكسويل، ولذا فإن قانون التربيع العكسي - على فائدته - ليس بذي معنى ملائم للتفسير الجديد^(١٠٠).

ولكن كيف يسهم هذا التفسير في صياغة المبدأ العام للنسبية؟
لنضرب لذلك مثالاً توضيحيًا:

دعنا نتخيل راصدًا داخل سفينة فضاء تنتقل بانتظام (دون تشغيل المحركات) في حيز فارغ بين النجوم، أي بعيدًا عن أي تأثير جاذبي. لا شك أن الراصد في هذه الحالة سيعاني شعورًا بانعدام الوزن. وكذلك كل ما تحويه السفينة من أشياء، بحيث تبدو هذه الأشياء وكأنها تُحلق مع الراصد في منتصف السفينة. ولنفرض الآن أن محركات السفينة قد دارت فجأة (دون أن يشعر الراصد)، حينئذ ستبدأ السفينة في الانتقال بعجلة مطردة. هذه العجلة لا بد وأن تنتقل بدورها إلى كافة محتويات السفينة، بما فيها الراصد، فتبدأ جميعها في السقوط بسرعة واحدة لتستقر في وقت واحد فوق أرضية السفينة، تمامًا كما لو كانت قد استقرت فوق أي مكان من سطح الأرض. وتبعًا لمبدأ التكافؤ، لن يستطيع الراصد أن ينبئ وقتئذ إن كان شعوره بالوزن

(٩٨) المرجع ذاته، ص ص ٢١٨ - ١٩.

(٩٩) أينشتين: المرجع السابق، ص ٦٢.

(١٠٠) فيدل أسينا: **التحدي الأكبر**، مقال بمجلة الثقافة العالمية، ترجمة صلاح يحيوي، المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب، الكويت، العدد (٣٠)، سبتمبر ١٩٨٦، ص ٢١.

ناجماً عن تسارع السفينة، أو عن ثباته في مكان ما تحت تأثير الجاذبية؛ فالقوة التي يعاينها يشعر بها شعور واحدًا في كلتا الحالتين، وليس هنالك من قياس يستطيع أن يقوم به داخل السفينة بحيث يتيح له أن يعرف الفرق بينهما.

كذلك الحال فيما لو دخلت السفينة مجال الجاذبية الأرضية بعد توقف محركاتها؛ في هذه الحالة ستسقط السفينة سقوطاً حراً بعجلة مطردة تحت تأثير الجاذبية. وسوف يعود الراصد إلى حالة انعدام الوزن التي عاناها من قبل حين كان يتحرك بسرعة منتظمة خارج مجال الجاذبية، ولن يستطيع بالمثل أن يقوم بالتمييز بين الحالتين.

يمكننا إذن في الحالة الأولى معاملة السفينة المنقلة بعجلة خارج مجال الجاذبية، كما لو كانت تنتقل بانتظام في مجال جاذبي. والعكس صحيح في الحالة الثانية، إذ يمكننا معاملة السفينة المتسارعة داخل مجال الجاذبية، كما لو كانت ذات سرعة منتظمة خارج هذا المجال. واسترشاداً بهذا المثال وغيره^(١٠١)، يبدو من الملائم أن نمتد بمبدأ النسبية ليشمل كافة مجموعات الإسناد، مهما كانت حالتها من الحركة. وفوق ذلك، نخرج بتفسير جديد للجاذبية، لعله ينمي معرفتنا بالمتصل الكوني .

٢٥- نستطيع الآن أن نواصل بناء النسبية العامة بما يدعم مفهوم المجال الجاذبي. ولعل أول ما يجب علينا فعله، هو أن نشق نظرياً ما لهذا المجال من آثار على العمليات الطبيعية التي نعرف قوانينها، ولتكن مثلاً حركة الأشعة الضوئية، فهي الرسول دائم الحضور بين الكواكب والنجوم، وهي بالإضافة إلى ذلك كيان يمكننا ملاحظته بوسائلنا الأرضية .

إننا نعرف أن للضوء طاقة، وقد علمتنا النسبية الخاصة أن الطاقة تكافئ الكتلة؛ أليس من المعقول إذن أن نفترض انحناء الشعاع الضوئي وتباطؤ سرعته إذا ما اخترق مجالاً جاذبياً؟

لا شك أنه افتراض مقبول، فالطاقة، شأنها في ذلك شأن الكتل المادية، لا بد وأن تتأثر بالمجال الجاذبي. هكذا تنبأ أينشتاين، وهكذا كان الواقع الفعلي؛ ففي عام ١٩١٩، ثبت تجريبياً أن الضوء الآتي من النجوم ينحني انحناءً خفيفاً نحو شمسنا، وأن سرعته تتناقص في جوارها. تم ذلك بقياسات غاية في الصعوبة، إلا أنها قطعت دابر كل شك^{(١٠٢)*}.

(١٠١) لأمثلة أخرى مشابهة أنظر: أينشتاين: المرجع السابق، ص ٦٤ - ٦٧ & نيلكسون: الزمان المتحول، ص ص ٢١٨ - ٢٠ & لاندوا وآخرون: الفيزياء العامة، ص ص ٧٦ - ٧٧.

(١٠٢) فيدل ألسينا: المرجع السابق، ص ١٧.

* كان ذلك في يوم ١٩١٩/٥/٢٩، حين خرج الفلكي الإنجليزي الشهير سير آرثر ادنجتون Eddington (١٨٨٢-١٩٤٤) على رأس بعثة تابعة للجمعية الملكية الفلكية للتحقق من هذا الفرض. ومغزى اختيار ذلك =

ومن ناحية أخرى، ذهب آينشتين إلى ضرورة الربط بين انحناء الشعاع الضوئي بفعل الجاذبية الأرضية، وبين هندسة الزمان - مكان^(١٠٣)؛ فإذا كنا قد ذكرنا من قبل أن خط العالم لأي جسيم مادي هو خط مستقيم أحادي البعد، إلا أننا نرى الآن آثاراً للجاذبية لا يمكن تلاشيها. وعلى هذا فلا بد وأن تتخلى خطوط العالم عن استقامتها، لتبدو خطوطاً منحنية في المتصل. وهنا كانت الخطوة الحاسمة لآينشتين، إذ افترض أن الجاذبية التي اعتبرها نيوتن قوة يغلفها الغموض، هي في الحقيقة خاصية من خصائص الزمكان نفسه. وبعبارة أخرى، نستطيع الزعم بأن الزمكان ينحني في حضور الأجسام ذات الكتل الضخمة، بنفس الطريقة التي تنحني بها الوسادة إذا ما وضعت فوقها كرة ثقيلة من الرصاص^(١٠٤).

المجال الجاذبي إذن هو انحناء أو تشويه Distortion في متصل الزمان - مكان بفعل كثافة المادة. أما حين يكون المتصل خالياً من المادة، فسوف يبدو كما لو كان مستويًا تمامًا، وحينئذ يحق لهندسة إقليدس أن تعلن جدارتها بالتطبيق؛ حيث الخط المستقيم هو أقصر مسافة بين نقطتين. ولكننا في أي موقف آخر لا نجد بديلاً عن استخدام هندسة ريمان للأماكن والسطوح المنحنية حيث الخط المنحني، المعروف بالجيوديسي Geodesic هو المسافة الأقصر بين أي نقطتين^(١٠٥).

وهكذا أصبحت الجاذبية مفهومًا هندسيًا محضًا، بعد أن كانت عند نيوتن مفهومًا ديناميكيًا. أما مشكلة التأثير عن بعد، فقد ألغيت كلياً، لأن الطبيعة قد تفادتها بمناورة بسيطة، بأن جعلت الجاذبية تؤثر في الفضاء وليس من خلاله^(١٠٦). فإذا أردنا بعد ذلك دليلاً على صدق التصور الجديد، فلننظر إلى حركة عطارد، وهو أقرب الكواكب إلى الشمس؛ هذا الكوكب كغيره، يدور حول الشمس في مدار إهليلجي واضح، لكن الحضيض الشمسي له - أي النقطة التي يكون فيها على مسافة دُنيا من الشمس - لا يبقى ثابتاً في الفضاء كما تقرر ديناميكا نيوتن، وإنما ينتقل ببطء بمقدار ٤٣ ثانية كل قرن، وقد كان هذا الفرق هو صيحة التحذير الأولى من تعميم نظرية

= اليوم أنه كان يوم كسوف كلي للشمس، حيث يمكن تصوير النجوم دون إعاقة من أشعة الشمس. وقد ثبت انحراف الضوء بالقدر الذي حدده آينشتين تماماً.

See Morris, R., *Dismantling the Universe* Op. Cit, pp. 67 - 68.

وأيضاً رسل: الف باء النسبية، ص ٧٩.

(103) Lucas, *A Treatise on Time and Space*, p. 239.

(١٠٤) جيمس جينز: الفيزياء والفلسفة، ص ١٦١. وأيضا محمود فهمي زيدان: من نظريات العلم المعاصر، ص ٦٧.

(105) Op. Cit, p. 240.

وأيضاً: نيلكسون: الزمان المتحول، ص ٢٢٥.

(١٠٦) جينز: المرجع السابق، ص ١٦٢.

نيوتن في الجاذبية بشكل مطلق، وكان أيضًا هو الدعامة والسند لنظرية آينشتاين التي قامت بتفسيره على نحو دقيق^(١٠٧).

٢٦ - تبقى مشكلة أخرى أساسية، تفوق في أهميتها مشكلة الجاذبية، وإن كانت لازمة عنها بالضرورة، ألا وهي كيف يمكن النظر إلى الكون ككل في ضوء مقولتي الاتصال واللاتناهي. لقد افترض نيوتن تبعًا لقانونه العام في الجاذبية، أن الكون سطحٌ مستو، له ما يشبه المركز. وحول هذا المركز ترتفع كثافة المادة لتبلغ أقصى مقدار لها، ثم تأخذ في التناقص تدريجيًا كلما ابتعدنا، إلى أن تتلاشى تمامًا بعد أبعاد شاسعة ليتها فراغ لا نهائي. ومعنى هذا أن الكون المادي ما هو إلا جزيرة منتهية في محيط لا نهائي من الفضاء، وأن الضوء الصادر عن النجوم، وكذلك بعض المجرات، لا بد وأن تخرج باستمرار إلى الفضاء اللانهائي دون رجعة، الأمر الذي يحمل تأكيدًا بالفناء التدريجي والمنظم للمادة الكونية^(١٠٨).

ومثل هذا التصور لا يتفق في الحقيقة ونتائج الملاحظات والبحوث الفلكية الحديثة، تلك التي تؤكد أن الكون مُوحّد الخواص في كل الاتجاهات؛ بمعنى أن المادة موزعة توزيعًا متسقًا في كافة أرجاء الكون، فلا أفضلية لجهة دون أخرى من حيث كثافة المادة. حقًا أن كل المجرات - فيما عدا المجرات التي تجاورنا مباشرة، والتي تؤلف ما يُسمى الجماعة المحلية من المجرات - تكشف عن زحزحات حمراء* في أطرافها، مما قد يُفسر بأن هناك ثمة مركز كوني تتراجع عنه المجرات، إلا أن هذا التفسير أبعد ما يكون عن الترجيح، إذ أن التمدد الملحوظ للكون يتبدى على أنه متماثل تمامًا، بحيث أنك لو قمت بالملاحظة من أية مجرة، فسوف تشاهد الصورة العامة نفسها، أي ستبدو كل المجرات وكأنها تتراجع عنك بالذات^(١٠٩).

(١٠٧) فيدل ألسينا: *التحدي الأكبر*، ص ١٧، ص ٢١.

(١٠٨) آينشتاين: *النسبية الخاصة والعامة*، ص ٩٩ - ١٠٠.

* الزحزحة الحمراء Red shift، أو تأثير دوبلر Doppler effect، ظاهرة من اكتشاف الفلكي النمساوي كريستيان دوبلر (١٨٠٣-١٨٥٣)، وتتمثل في التغير الظاهري لتردد الصوت أو الإشعاع نتيجة للحركة النسبية بين المصدر وبين الراصد؛ فذروة (أو تردد) الصوت المنبعث من جسم متحرك (صفارة قطار متحرك على سبيل المثال). تبدو للراصد الثابت وكأنها تتزايد مع اقتراب الجسم منه، بينما تتناقص كلما تراجع وابتعد عنه، كذلك الضوء المنبعث من جسم متحرك، إذ يبدو أكثر أحمراراً (حيث الضوء الأحمر تردده أقل من تردد الألوان الأخرى) كلما تراجع وابتعد عن الراصد. وهكذا فإن الضوء المنبعث من النجوم الموجودة في المجرات البعيدة تطراً عليه ظاهرة دوبلر إذا ما رصدنا هذه النجوم ونحن على الأرض. وتعني هذه الظاهرة هنا أن هذه المجرات النائية تتراجع مبتعدة عن مجرتنا، وهذه هي البيئة المبدئية لإثبات الافتراض الشائع عن تمدد الكون. أنظر: إيبين نيكلسون: *الزمن المتحول*، ص ٢٢٨ (حاشية بقلم المترجم) & أيضاً رسل: *ألف باء النسبية*، ص ص ٨٠ - ٨١، ص ١٠١ & أيضاً كارل ساغان: *الكون*، ترجمة نافع أيوب لبس، مراجعة محمد كامل عارف، سلسلة عالم المعرفة، العدد ١٧٨، الكويت، أكتوبر ١٩٩٣، ص ٢٢٨ وما بعدها.

(١٠٩) إيبين نيكلسون: المرجع السابق، ص ٢٤٢.

ليس هناك إذن مركز وحيد للكون، أو حافة قابلة للتمييز. ولو كان هناك مركز وحافة، فلا بد وأن نتوقع رؤية تركيز للمادة في اتجاه واحد (صوب المركز)، وترقيقاً للمادة في الاتجاه الآخر (أي صوب الحافة)^(١١٠). فهل يعني ذلك أن الكون أو متصل الزمان - مكان لامتناه في الامتداد؟.

يجيب آينشتين عن هذا التساؤل بعبارة موجزة فيقول: «الكون متناه ولكنه غير محدود Finite but unbounded»^(١١١). وأبسط تفسير لهذه العبارة أن نتصور الكون، لا كسطح مستو كما رأى نيوتن، ولكن كسطح كروي مقل. فلو أنك واصلت السير في فضاء آينشتين باتجاه واحد فلن تخرج إلى اللانهاية، بل ستعود إلى نقطة ابتداءك، وستكون حينئذ قد درت حول الكون دون أن تصل إلى حافة؛ فليس للكون حواف أو حدود، ولكنه مع ذلك متناه كسطح الكرة^(١١٢). ولو أننا مثلنا للمجرات بنقاط ملونة على سطح بالون من المطاط، فإن كل مجرة سوف ترى الصورة العامة نفسها للكون. ليس الكون ما بداخل البالون أو خارجه، وإنما هو سطحه. ولو أننا وسعنا البالون، فإن الانفصال بين المجرات سيزداد بطريقة متماثلة، إذ تتحرك كل مجرة مبتعدة عن الأخرى، لكن أيًا منها لا تستطيع الزعم بأنها مركز هذا التوسع لأن ما يتسع أو يتمدد هو متصل الزمان - مكان نفسه، أو بعبارة أدق، هي الطبقة التحتية Sub-stratum الحاملة للمادة الكونية^(١١٣).

وبهذا التفسير تخلص آينشتين من مقولة اللاتناهي بكل ما تحمله من صعوبات علمية وفلسفية. وبات من اليسير أن ندرك بداية محددة لمتصل الزمان - مكان؛ فإذا كان الكون الكروي المقل، أخذًا على ما يبدو في التوسع، فمن المعقول إذن أن نفترض أن كل المجرات كانت في وقت ما من الماضي متلاصقة ببعضها البعض. وإذا تتبعنا الأمر إلى أبعد من ذلك، فلا بد وأن مادة الكون بأكملها كانت متركزة في كرة نارية شديدة الحرارة من المادة والإشعاع، وفي لحظة ما، واجهت هذه الكرة انفجارًا هائلًا* Big Bang كان هو البداية لمتصل الزمان - مكان. ولا

(١١٠) المرجع ذاته، ص ٢٤٣.

(١١١) آينشتين: المرجع السابق، ص ١٠١.

(١١٢) إينجتون: الكون يزداد إتساعًا، ترجمة طلبه السيد عوض & عبد الحميد حمدي مرسي، مراجعة علي مصطفى مشرفة، مكتبة النهضة المصرية، القاهرة (١٩٥٦) ص ٢٦، ص ٤٢.

(١١٣) المرجع ذاته، ص ٨٢ - ٨٣. وأيضًا: إيبين نيكلسون: المرجع السابق، ص ٢٤٣ - ٤٤.

* يحظى هذا الفرض المفسر لنشأة الكون، والمعروف بنظرية الانفجار العظيم، بقبول واسع النطاق بين معظم الفيزيائيين والفلكيين في عصرنا الحاضر. وكان الفيزيائي الروسي - الأمريكي جورج جاموف G. Gamow (١٩٠٤ - ١٩٦٨) هو أول من صاغ هذا الفرض صياغة واضحة عام ١٩٤٨، لكنه ظل مفتقرًا إلى الدليل التجريبي حتى عام ١٩٦٥، حين التقط الفيزيائيان الأمريكيان أرنو بنزياس A. Penzias (من مواليد ١٩٢٣)، وروبرت ويلسون R. Wilson (من مواليد ١٩٣٦)، بمحض الصدفة، وباستخدام جهاز ضخ لانتقاط =

جدوى من التساؤل عما حدث قبل الانفجار الهائل، لأنه يبدو أن الزمان والمكان بالمعنى الذي نستخدم به هذين المصطلحين لم يكونا موجودين ببساطة قبل هذه اللحظة^(١١٤). أما عن المستقبل، فتننازعه عدة افتراضات، نذكر منها أولاً الافتراض القائل بتذبذب الكون Oscillating Universe؛ فلو أن في الكون مادة كافية، فربما تؤدي القوة الجاذبة المجتمعة للمادة إلى إيقاف التوسع، ثم ارتداده في نهاية المطاف، بحيث ينتج عن ذلك انهيار لكل المادة الموجودة بالكون، فيما قد يصح أن نطلق عليه اسم الانكماش العظيم Big contraction. ويوحى هذا الفرض بأن انفجاراً عظيماً آخر سوف يعقب عملية الانهيار، وأن الكون ربما ظل يتذبذب على هذا النحو بين انفجار وانكماش إلى الأبد^(١١٥)، مما يذكرنا بنظرية نيتشه في التكرار الأبدي والزمان المغلق.

على أنه إذا كانت المادة الكونية غير كافية - وهذا افتراض آخر - فسوف يستمر التوسع إذن دون توقف. وهنا قد يبلغ الكون نهايته في الانسحاق العظيم Big crush كما بدأ في الانفجار العظيم. ووفقاً للشواهد الفلكية الحاضرة يبدو أن الخيار الثاني هو الأقوى^{(١١٦)*}. هناك افتراض ثالث، نذكره فقط لقيمته التاريخية، حيث أدى اكتشاف بنزياس وويلسون لبقايا الإشعاع الكوني الناجم عن الانفجار العظيم، إلى استبعاده بشكل قاطع من قائمة الفروض القابلة للتحقق. ويقضي هذا الافتراض المعروف بنظرية الحالة المستقرة للكون Steady-state theory، بأنه لما كانت تطورات الفيزياء النووية تتبؤنا بأن كل العناصر الثقيلة في الكون قد تكونت أصلاً نتيجة لتحول الهيدروجين داخل النجوم، فلا بد إذن من أن الكون كله تقريباً كان مركباً في البداية من الهيدروجين، وأن هذا العنصر قد تولد، وسوف يظل يتولد تلقائياً دون توقف، ليبقى الكون مستقراً إلى ما لا نهاية^(١١٧).

= الموجات القصيرة شعاعاً ضعيفاً منبعثاً من الفضاء. وحيث أن هذا الإشعاع لم يكن أشد كثافة في اتجاه الشمس، أو في اتجاه مجرة درب التبانة Milky way، فقد استنتج أنه يمثل بقية من الإشعاع الأصلي الناتج عن الانفجار العظيم. وبهذا الدليل القائم على المعاينة، ثبت فرض جاموف بشأن نشأة الكون. أنظر: روبرت أغروس & جورج ستانسيو: العلم في منظورة الجديد، ص ٦١.

(١١٤) إيبين نيكلسون: الزمان المتحول، ص ٢٤٤. وأيضاً كارل ساغان: الكون، ص ص ٢١٩ - ٢١.

(١١٥) روبرت أغروس & جورج ستانسيو: المرجع السابق، ص ٦٢.

(١١٦) إيبين نيكلسون: المرجع السابق، ص ٢٤٩.

* تأكيداً لهذا الافتراض، أعلن علماء الفلك الأمريكيون في مطلع العام ١٩٩٦، أن صور النجوم المنفجرة التي التقطها التليسكوب الفضائي هابل، تشير إلى أن الكون قد بدأ يتعرض لبطء في معدل نموه عن طريق التمدد، وذلك فيما يمكن أن يكون مؤشراً إلى بداية انهياره في عملية الانسحاق العظيم. ويؤكد العلماء في الوقت ذاته أن هذه المرحلة لن تأتي قبل عشرات المليارات من السنين (عن جريدة الأهرام القاهرية، العدد ٣٩٨٥٤، الخميس ١٨ يناير ١٩٩٦، ص ٥).

(١١٧) أغروس & ستانسيو: المرجع السابق، ص ٦٢.

ومهما يكن من أمر، يبدو من الأفضل، بل ومن الأبسط، أن نُقر أولاً وأخيراً بسلطان الإرادة الإلهية، وبقدرة الله اللامحدودة على الخلق والإفناء وقتما شاء، وكيفما أراد. وإلى هذه النتيجة ينتهي الفيزيائي الإنجليزي إدوارد ميلن E. Milne (١٨٩٦ - ١٩٥٠)، بعد طول تمعن في الكون المتمدّد، حيث يقول: «أما العلة الأولى للكون في سباق التمدد فأمر إضافتها متروك للقارئ، ولكن الصورة التي لدينا لا تكتمل بغير الله»^(١١٨).

٢٧ - مما سبق، يتضح أن النسبية بشقيها الخاص والعام، كانت هي القمة التي تربع فوقها مفهوم الاتصال دون منازع. ولا يعني ذلك أن الصعود إلى القمة قد تمّ بقفزة مفاجئة قام بها أينشتين، بل لقد كانت هناك درجات مرحلية مختلفة من الكشف العلمي، نجح أينشتين في أن ينسق بينها بطريقة جمالية مبسطة؛ فهناك مثلاً قوانين نيوتن في الحركة، ومعادلات ماكسويل، وتحويلات لورنتز، وفضاء منكوفسكي رباعي الأبعاد، وهندسة ريمان الكروية. هناك بالإضافة إلى ذلك تعريف واضح للاتصال وضعه كانتور ونجح بمقتضاه في تحرير الاتصال من قبضة المتناقضات الخاصة باللاتناهي. كل هذه العوامل يسرت الطريق أمام أينشتين، وأتاحت له رسم الصورة العامة المتصلة للظواهر الكونية. أفلا يمكننا إذن المصادرة على تحقق الاتصال في الطبيعة؟ .

الحق أننا نستطيع - على المستوى المحلي - أن نحصر معرفتنا بالعالم الخارجي بين حدين أساسيين: قطر الأرض (٦٣٧٠ كم = $6,37 \times 10^3$ سم)، وأبعاد البكتيريا ($\mu 1 = 10^{-4}$ سم). ومن داخل هذين الحدين تتفق الهندسة الإقليدية والميكانيكا الكلاسيكية مع التجربة^(١١٩)، ويوفران لنا من الأدوات ما يكفي للحكم بتحقيق الاتصال. ولكن الإنسان دفع بالتجربة إلى ما وراء هذين الحدين، وذلك في مجال النجوم، وفي مجال الذرة، ولدينا مقداران يميزان هذين الحدين الجديدين: المسافة التي تفصلنا عن أقرب النجوم إلينا (3×10^{18} سم)، وقطر نواة الذرة (10^{-13} سم)^(١٢٠). وقد رأينا في المجال الأول كيف كان الاتصال سيّداً للموقف، فهل نستطيع إذن تعميم هذه السيادة بحيث تشمل كافة الظواهر الفيزيائية بما فيها ظواهر المجال دون الذري؟

هذا ما كان يصبو إليه أينشتين ورفاقه، لكن لعلماء الكم رأي آخر لا نستطيع إغفاله.

(118) Milne, E., quoted by Robert Jastrow, *God and the Astronomers*, Norton, N. Y., 1978, p.112.

نقلا عن المرجع السابق، ص ٦٤.

(١١٩) موريس دوكين: *المادة ضد المادة*، ص ص ٣١ - ٣٢.

(١٢٠) الموضوع ذاته .

ثالثاً: الكمّ والانفصال في المجال دون الذري:

٢٨ - وضعتا نسبية آينشتين أمام تقرير صارم بشأن علاقتنا كذوات إنسانية بالعالم الخارجي، تلك المشكلة الفلسفية القديمة التي ما برحت تؤرقنا. وفحوى هذا التقرير بعبارة آينشتين «أن الحقيقة الفيزيائية تتسم بطبيعتها المستقلة عن يكابدونها»^(١٢١). فإذا قلنا مثلاً أن الاتصال قائم في الطبيعة، فمعنى ذلك أنه موجود كخاصية من خواص الظواهر الفيزيائية، سواء أدرنا ذلك أم لم ندركه. وما علينا سوى أن نجهد أنفسنا لاستشفاف هذه الحقيقة بواسطة التأمل العقلي والإستنتاجات الرياضية.

ولو أننا أمعنا النظر في هذا التقرير لوجدنا أنه لا يختلف كثيراً عما سبق وأقره نيوتن، فكلاهما يُسجل للعالم الخارجي موضوعيته المطلقة، ويُرسي للحقيقة قواعد استقلالها عن الذات العارفة، حتى ولو اختلفت طرائق الوصول إلى هذا الرأي بين كل من نيوتن وآينشتين.

ونلقى الآن وجهاً آخر من أوجه الحقيقة الفيزيائية، تُسجله لنا ميكانيكا الكمّ من داخل بُعدٍ جديد من أبعاد العالم الخارجي، ألا وهو البُعد الذري؛ فلئن كانت الميكانيكا الكلاسيكية قد أحكمت قبضتنا على عالم المقاييس الإنسانية، بينما فتحت نسبية آينشتين أمامنا طريقاً لاستكشاف الفضاء النجمي حتى أبعد نقاطه، فقد حملتنا ميكانيكا الكمّ إلى داخل الذرة، تلك الوحدة المادية اللامرئية التي اعتبرها نيوتن - بإيحاء من ديموقريطس - بناءً مصمماً لا منقسماً، فإذا بها تستجيب لمحاولات اختراقها فتتقسم، لتكشف عن عالم جديد، تلتصق فيه الذات بالموضوع، ويبدو الانفصال من خلاله وكأنما أبقى إلا أن يشارك الاتصال تبوأه لعرش الفيزياء.

٢٩ - ويرجع شرف الريادة في عملية تحليل جسد الذرة الدقيق إلى الفيزيائي الإنجليزي جوزيف طومسون J. Thomson (١٨٥٦ - ١٩٤٠) الذي بدأ عام ١٨٨٦ سلسلة من التجارب في مجال التفريغ الغازي Gas Discharge - أي مرور التيار الكهربائي خلال الغازات - توجّهها عام ١٨٩٦ بعثوره على الإلكترون منطلقاً من الذرة. فكان هذا الكشف بمثابة البداية لاقتحام عالم الذرة ورسم نموذج عقلي له^(١٢٢).

لقد تخيل طومسون الذرة ككرة متجانسة من الكهارب ذات الشحنة الموجبة، تتوغل بداخلها الحبيبات الإلكترونية الخفيفة سالبة الشحنة، إلى أن يتحقق نوع من التوازن بين المجموع الكلي لكلا النوعين من الشحنات: الموجبة والسالبة. وهكذا تبدو الذرة في النهاية كلاً محايداً من الوجهه الكهربائية^(١٢٣).

(١٢١) آينشتين: النسبية الخاصة والعامّة، ص ١٢٩ & أفكار وآراء، ص ١٣٤.

(122) *Textbook of Elementary Physics*, Vol. (2), p. 205.

(١٢٣) موريس دوكين: المرجع السابق، ص ١٦.

وانطلاقاً من هذا النموذج شرع العلماء في تفسير بعض خواص المادة التي كانت معروفة حتى ذلك الحين، منها على سبيل المثال: انبعاث الضوء المرئي من الأجسام المُسخنة إلى درجات حرارة عالية، وانبعاث أشعة إكس إذا ما اصطدم سيل من الإلكترونات السريعة بهدف مادي يعترضه، وأخيراً ظاهرة النشاط الإشعاعي الطبيعي التي اكتشفها الفيزيائي الفرنسي بيير كوري P. Curie (1859-1906)، وزوجته البولندية الأصل ماري كوري M. Curie (1867-1934)، والمتمثلة في انبعاث الإشعاعات: ألفا، وبيتا، وجاما، من الذرات الثقيلة كذرات اليورانيوم والراديوم^{(١٢٤)*}.

لكن القفزة الكبرى في بناء النموذج الذري تمت عام 1911، حين نشر الفيزيائي النيوزلندي إرنست رذرفورد E. Rutherford (1871-1937) تقريراً حول تجاربه الخاصة باختراق جسيمات ألفا لذرات ورقة رقيقة من الذهب، إذ لاحظ أن معظم هذه الجسيمات قد مرت مروراً مباشراً خلال الورقة، الأمر الذي يؤكد أن الذرة ذات بنية مخلخلة جداً، وليست ممثلة تماماً بالكهارب الموجبة كما اقترح طومسون. ثم لاحظ رذرفورد أمراً أثار دهشته، ذلك أن بعضاً من جسيمات ألفا قد ارتدت من الورقة عائداً إلى منبعه، فاستنتج من ذلك وجود نواة صلبة موجبة الشحنة في مركز الذرة، لأنه ما كان لجسم مادي أن يصد جسيماً موجب الشحنة إلا إذا كان هو نفسه ذا شحنة موجبة. ولما كانت النواة موجبة، فليس من المعقول إذن أن تكون الإلكترونات بداخلها، بل لابد وأن تكون من البعد عنها بحيث لا تستطيع شحنتها السالبة أن تلغي شحنة النواة الموجبة^(١٢٥).

وهكذا أوشكت صورة الذرة أن تتضح: في المركز شحنة موجبة يتركز فيها مجموع الكتلة تقريباً، إنها النواة^{**}. أما هذا الفضاء الضخم الذي يغلف النواة، فيحتوي على الشحنات السالبة،
(١٢٤) الموضوع ذاته.

* نظراً لعدم إدراك طومسون لوجود النواة داخل الذرة، فقد اقتصر تفسير العلماء وقتئذٍ لظاهرة النشاط الإشعاعي بإرجاعها إلى الحركة الاهتزازية السريعة للإلكترونات. ومن المعروف الآن أن هذه الظاهرة ناتجة عن عملية التحول التلقائي للأنوية غير الثابتة أو النشطة أو المشعة لذرات عنصر ما إلى أنوية ذرات عنصر آخر عن طريق انبعاث أشعة ألفا Alpha أو بيتا Beta أو جاما Gamma. والأولى عبارة عن دقائق مادية موجبة الشحنة، تماثل تماماً نوي ذرات الهيليوم، وهو غاز خامل خفيف جداً، وتبلغ شحنتها ضعف شحنة الإلكترون، حيث تساوي الأخيرة (- 6,1 × 10⁻¹⁹ كولوم). أما أشعة بيتا فهي حزم من الإلكترونات السريعة، لها قدرة اختراق أكبر من أشعة ألفا. وأما أشعة جاما فتشبه في خواصها أشعة أكس، وإن كانت تفوقها نفاذاً.
See Textbook, Vol. 3, pp. 402 - 409.

(١٢٥) ويلسون: الطاقة، ص ص ١٦٩ - ٧٠.

** من المعروف الآن أن النواة بدورها تحتوي على نوعين من الجسيمات الأولية؛ الأول يُعرف بالبروتون، وله شحنة كهربائية موجبة مساوية لشحنة الإلكترون. أما الثاني فيُعرف بالنيوترون، وهو خالٍ من الشحنة. وهكذا تكون الدقائق الأساسية المكونة للذرة هي الإلكترون والنيوترون والبروتون.

وتلك هي الإلكترونات السريعة ذات الحركة الكوكبية. والتي يكون عددها بحيث يجعل الذرة متعادلة كهربائياً^(١٢٦).

ورغم فاعلية هذا النموذج في تفسير الخواص المختلفة للمادة على نحو أدق مما أتاحه نموذج طومسون، إلا أنه عجز عن استيعاب أهم ملامح المميزة للذرة، ألا وهو ثباتها الهائل. فقد نستطيع تمثيل الحركة الإلكترونية حول النواة بحركة الكواكب حول الشمس، ولكن علينا أن نتذكر أن للإلكترون طاقة، وأن هذه الطاقة - وفقاً لمعادلات ماكسويل - لا بد وأن تتبدد بالحركة الدورانية، مما يعني حتمية اقتراب الإلكترون من النواة، وسقوطه بداخلها خلال جزء ضئيل من الثانية. فكيف نفسر إذن هذا الثبات الهائل الذي تتسم به الذرة؟ لم يستطع رذرفورد تقديم تفسير شافٍ لهذه السمة، لكن التفسير الواضح والشافٍ جاءنا عن طريق عالم شاب من الدنمارك، يدعى نيلز بوهر N. Bohr (١٨٨٥-١٩٦٢) كان مشبعاً بفرض جديد يُعرف بفرض الكم^(١٢٧).

أ- نظرية الكم Quantum Theory:

٣٠ - يرتبط ميلاد فكرة الكم بظاهرة فيزيائية مألوفة للحس المشترك، تعرف بظاهرة الإشعاع الحراري Thermal radiation. فإذا سُخنت قطعة من المادة - ولتكن ساقاً من الحديد مثلاً - إلى درجة حرارة عالية، فإنها تبدأ في التوهج، وتبعث إشعاعاً أحمر. ومع استمرار التسخين يتحول لون القطعة إلى البرتقالي فالأصفر، وأخيراً إلى اللون الأبيض الجامع لكافة ألوان الطيف المعروفة^{(١٢٨)*}.

هذه الظاهرة على بساطتها، كانت موضعاً لاهتمام العلماء خلال الربع الأخير من القرن التاسع عشر، لاسيما بعد أن لاحظوا تباين الأطوال الموجية للإشعاعات الناجمة عن المادة المسخنة، وارتباط ذلك التباين بدرجات الحرارة المختلفة لتلك المادة. ومن جملة القياسات والتجارب التي أجريت في ذلك الحين، توصل العلماء إلى قانونين رياضيين يحكمان الظاهرة،

(١٢٦) موريس دوكين: *المادة وضد المادة*، ص ١٧.

Also *Textbook*, Vol. 3, pp. 377 - 378.

(127) Morris, *Dismantling the Universe*, Op. Cit, pp. 74 - 75.

(١٢٨) هايزنبرج: *الفيزياء والفلسفة*، ص ٢١.

* من المعروف أن لون الإشعاع الناجم عن التسخين لا يعتمد كثيراً على سطح المادة، وإنما على درجة حرارتها. وقد اكتشف الفيزيائي الألماني جوستاف كرشوف G. Kirchoff (١٨٢٤-١٨٨٧)، عام ١٨٥٩، أن الجسم الجيد الامتصاص يكون أيضاً جيد الإشعاع. وبذلك يكون الجسم الأسود Black Body الذي يمتص كل الأشعة التي تسقط عليه هو أفضل الأجسام المشعة، وأكثرها ملائمة لإجراء التجارب.

See *Textbook*, Vol. 3, pp. 325 - 26.

وينفقان مع الروح العامة للميكانيكا الكلاسيكية، حيث الاعتقاد الجازم باتصال الظواهر الفيزيائية، ومنها الإشعاع. هذين القانونين هما^(١٢٩):

١ - **قانون استيفان - بولتزمان**: {نسبة إلى عالمي الفيزياء النمساويين جوزيف استيفان J. Stefan (١٨٣٥-١٨٩٣) & لودفيج بولتزمان L. Boltzmann (١٨٤٤-١٩٠٦)}؛ وينص على أن معدل الطاقة الإشعاعية المنبعثة من الجسم الأسود كل ثانية يتناسب مع درجة الحرارة المطلقة* للجسم مرفوعة للأس الرابع.

٢ - **قانون فين الانزياحي**: {نسبة إلى الفيزيائي الألماني ولیم فين W. Wien (١٨٦٤ - ١٩٢٨)}؛ ويقول بأن المنحنى الطيفي الممثل للطاقة الإشعاعية المنبعثة من الجسم الأسود يبلغ ذروته عند طول موجة معين، وأن طول هذه الموجة يتناسب عكسيًا مع درجة حرارة السطح، بمعنى أن هناك مدى موجي معين تبلغ عنده شدة الإشعاع نهايتها العظمى، وينزاح هذا المدى نحو الطول الموجي الأقصر مع ارتفاع درجة الحرارة .

وعندما دخل ماكس بلانك هذا المجال البحثي عام ١٨٩٥، كانت كل المحاولات التي بُذلت لدمج القانونين في قانون واحد مُركب -يتوافق والمعطيات التجريبية - قد باءت بالفشل؛ فلقد كان التقليد السائد يوحي بأن الإشعاع لا بد وأن ينبعث على نحو متصل، ومن ثم فإن ذرات الجسم الساخن تستطيع الاهتزاز بأي مقدار من الطاقة مهما كان صغيرًا. ولكن باستخدام هذا التصور، فشل العلماء في تفسير كيف تتوزع طاقة الإشعاع بين الأطوال الموجية المختلفة، الأمر الذي أصبح يُمثل فجوة ساطعة في المعرفة العلمية لا سبيل إلى ملئها^(١٣٠).

وهكذا وجد بلانك نفسه أمام ورطة نظرية، لا مخرج له منها إلا بنبذ الفرض القديم واللجوء إلى الفرض المضاد القائل بأن الإشعاع ينبعث، لا على شكل تيار متصل، وإنما على شكل دقات منفصلة، يمثل كل منها جزءًا لا يتجزأ من الطاقة^(١٣١). بعبارة أخرى، لا ينبغي لذرات الجسم الساخن أن تهتز مع كل القيم الممكنة للطاقة، وإنما تهتز فقط عندما تكون طاقتها مساوية

(١٢٩) د. محمد علي العمر : مسيرة الفيزياء ، ص ٦١ .

* تُحسب درجة الحرارة المطلقة بداية من الصفر المطلق، وهذا الأخير يساوي وفقًا للقياسات الحديثة حوالي ٢٧٣,١٥ درجة تحت الصفر، وهي الدرجة التي تتوقف عندها الحركة الحرارية تمامًا. ويُسمى تدرج درجات الحرارة المطلقة المحسوب ابتداءً من هذا الصفر المطلق بتدرج - أو مقياس - كلفن kelvin temperature scale، نسبة إلى الفيزيائي الإنجليزي لورد كلفن. ويُرمز لدرجات هذا التدرج بالرمز ko.

أنظر: لاندوا وآخرون: **الفيزياء العامة**، البند (٥٠)، ص ١٧٩ & أيضًا **معجم الفيزياء الحديثة**، مادة «مقياس كلفن لدرجة الحرارة»، ج١، ص ١٥١.

(130) Morris, Op. Cit, p. 66.

(131) Ibid, p. 66.

لمقدار يتناسب مع التردد * Frequency، وبالذات عندما تكون الطاقة (ط) مساوية للمقدار (هـ د)، أو (هـ ٢ د)، أو (٣ هـ د)، أو . . . ، (ن هـ د).

[حيث (د) هو تردد الجسم، (هـ) مقدار ثابت يعرف بثابت بلانك Plank constant، ويساوي $6,625 \times 10^{-34}$ جول/ث].

أما الكمية (هـ د) فقد أطلق عليها بلانك إسم «وحدة الكم» أو «الكوانتم»^(١٣٢).

٣١- والحق أن بلانك لم يكن ثورياً بطبعه، وإنما كان كلاسيكياً محافظاً، أميناً على أفكار القرن التاسع عشر، لكن النتيجة التي انتهى إليها عام ١٩٠٠ كحل لمشكلة الإشعاع الحراري، وضعته رغم أنه في مصاف الثوريين^(١٣٣).

ولا غرو، فقد كانت فكرته عن الكم من الجدة بحيث لم يكن من المستطاع تكيفها داخل الهيكل التقليدي للفيزياء.

ورغم محاولاته المتتالية لمصالحة هذه الفكرة مع القوانين الأقدم للإشعاع، إلا أنها كانت تطل برأسها في كل مرة مُعلنة جدارتها بالتبني. وهكذا عاشت فكرة الكم بلا استقرار لمدة خمس سنوات، تنتظر الدعم والتأييد، وهو ما تحقق عام ١٩٠٥ حين نشر أينشتين تفسيره لظاهرة التأثير الكهروضوئي Photoelectric effect، مُعلناً ذرية الإشعاع^{(١٣٤)**}.

والتأثير الكهروضوئي ظاهرة فيزيائية من اكتشاف الفيزيائي الألماني هاينريخ هيرتز، وتتمثل في انبعاث الإلكترونات من سطوح المعادن تحت تأثير الأشعة الضوئية أو فوق البنفسجية^(١٣٥). ولما كانت النظرية الموجية للضوء وقتئذ في أوج انتصاراتها بفضل أبحاث فريينيل وفوكوه، فقد جرى تفسير الظاهرة بإرجاعها إلى الطاقة التي يمتصها الإلكترون من الإشعاع بشكل متصل. ويتبع ذلك أن تكون طاقة الإلكترون المنتزع من سطح المعدن متناسبة

* التردد هو عدد الذبذبات الكاملة في الثانية، التي يؤديها نظام اهتزازي، ويُقاس بوحدة الهرتز Hertz، المنسوبة إلى الفيزيائي الألماني هرتر تقديرًا لأعماله (معجم الفيزياء الحديثة، مادة «تردد»، ج١، ص ١٠٨).

(132) Eddington, A.S., *The Nature of the Physical World*, J. M. Dent & Sons Limited, London, 1928, p.153.

(133) Op. Cit, p. 65.

(١٣٤) هايزنبرج: *الفيزياء والفلسفة*، ص ٢٢.

** لا يعني ذلك تحمس أينشتين للقول بالانفصال في المجال دون الذري على حساب الاتصال، ذلك أن إسهاماته في ميدان الكم كانت مرتبطة دائماً بتأكيد ثابت على أنها نظرية غير مكتملة، يؤكد ذلك محاولاته التي استمرت حتى وفاته عام ١٩٥٥ لاستكمال نظرية المجال الموحد Unified Field Theory التي تجمع بين قوانين الجاذبية والكهرمغناطيسية تحت لواء مقولة الاتصال.

(١٣٥) دوكنين: *المادة وضد المادة*، ص ٣٦.

مع شدة الموجة الساقطة، بغض النظر عن تردد الإشعاع، ومن ثم فلا بد وأن تتوقف الظاهرة تماماً إذا ما كان المصدر الضوئي بعيداً عن المادة (نتيجة لضعف شدة الموجة)، بينما يزداد عدد الإلكترونات المنتزعة، وتزداد طاقتها، إذا ما كان المصدر قريباً^(١٣٦).

على أنه لوحظ خلال التجارب، التي أجراها الفيزيائي الألماني فيليب لينارد Ph. Lenard (١٨٦٢-١٩٤٧)، حول هذه الظاهرة شيء مختلف تماماً؛ ذلك أن أضعف تيار من الإشعاع ينتج عنه تسرب عدد محدود من الإلكترونات، بحيث يتحرك كل إلكترون بنفس القوة التي يتحرك بها تحت تأثير تيار أشد. أما إذا أنقصنا تردد التيار، أي غيرنا اللون باتجاه الأحمر، فإن الظاهرة تتوقف فجأة. ومعنى ذلك أنه وإن كان عدد الإلكترونات المنطلقة من سطح المعدن يتناسب مع شدة الإشعاع، إلا أن طاقتها تعتمد فقط على التردد وليس على الشدة^(١٣٧).

وبينما عجزت النظرية الموجية عن تفسير الظاهرة، وجد أينشتين في فرض بلانك الكماتي تفسيرها المناسب، فأعلن أن امتصاص الإشعاع من قبل المادة إنما يتم بطريقة متجزئة، وأن لهذا الإشعاع نفسه بناءً حبيبيًا، قوامه كمات صغيرة من الضوء تُعرف بالفوتونات Photons، لكل منها طاقة مساوية للمقدار (هـ د) - حيث (هـ هـ) ثابت بلانك، (د) تردد الإشعاع الساقط - فإذا انخفض التردد عن حدٍ معين يُعرف بتردد المبدئى Threshold frequency*، تكون طاقة الفوتون أقل من الطاقة اللازمة لنزع الإلكترون من سطح المعدن، أما إذا كان تردد الإشعاع مساوياً لتردد المبدئى، فإن طاقة الفوتون حينئذ تكون كافية فقط لتحرير الإلكترون، دون أن تمنحه أي قدر من طاقة الحركة.

ومن ثم فإن اكتساب الإلكترون لطاقة الحركة يستلزم أن يكون تردد الإشعاع أكبر من تردد المبدئى، وذلك وفقاً للمعادلة^(١٣٨): (ش) = (هـ د) - (هـ د م)

[حيث (ش) طاقة حركة الإلكترون، (هـ د) طاقة الفوتون، (هـ د م) هي الطاقة اللازمة لانترع الإلكترون من سطح المعدن، أي أن (د م) هو تردد المبدئى].

ومن الطبيعي أن يكون لكل عنصر فلزي نهاية صغرى لتردد الإشعاع الضوئي القادر على تحرير الإلكترونات (تردد المبدئى)، أي أن لكل عنصر بداية كهروضوئية^(١٣٩). ولا شك أننا بهذا التفسير نعود بشكل ما إلى القول ببناء جسيم للضوء، إلا أننا على أية حال نواجه أيضاً بعنصر موجي لا غنى عنه، ألا وهو التردد.

(١٣٦) المرجع ذاته، ص ٣٧.

(١٣٧) الموضوع ذاته، وأيضاً: جيمس جينز: الفيزياء والفلسفة، ص ١٧٧.

* تردد المبدئى هو تردد أصغر كمّ ضوئي يكفي لإطلاق فوتو إلكترون من جسم جامد أو سائل (معجم الفيزيقا الحديثة، «مادة تردد المبدئى»، ج ٢، ص ٣٢١).

(138) Textbook, Vol. 3, p. 334.

(١٣٩) جينز: المرجع السابق، ص ١٧٧.

هذا فضلاً عن أن الفوتون الذي يتبدى لنا كجسيم من خلال ظاهرة التأثير الكهروضوئي يعلن أيضاً، وبقوة، عن خواصه الموجية من خلال ظواهر أخرى كالتداخل والحيود، مثله في ذلك مثل الإنسان الواحد، يُظهر مشاعر الود والحب تجاه ذويه، ولكنه يُظهر أيضاً مشاعر العداة تجاه خصومه. إنه في النهاية الشخص ذاته. أليس من الطبيعي إذن أن نوحّد بين مفهومي الموجة والجسيم إذا ما أردنا فهم طبيعة الضوء^(١٤٠).

٣٢ - الخطوة الهامة التالية في مجال الكمّ، قام بها بوهر عام ١٩١٣ على صعيد الذرة. ففي الوقت الذي وصلت فيه جهود رذرفورد الرامية إلى استكمال بناء نموذج الكوكبي للذرة إلى طريق مسدود، تقدّم بوهر بافتراض جريّ يحمل حلاً لصعوبات ذلك النموذج، لاسيما التناقض الواضح بين القول بحركة مدارية تستنزف طاقة الإلكترون وبين الثبات الهائل للذرة. ويقضي افتراض بوهر بأن انبعاث طاقة الإلكترون من داخل الذرة، لا يمكن أن يتم بطريقة متصلة، وإنما بطريقة منفصلة، قوامها المقدار (هـ د) المساوي لطاقة الفوتون. بعبارة أخرى، قرر بوهر تكميت طاقة الذرة اقتداءً ببلانك الذي كمّت طاقة الإشعاع^(١٤١).

ولتحقيق ذلك اختار بوهر معالجة ذرة الهيدروجين، بوصفها أبسط أنواع الذرات، فهي تحوي إلكترونًا واحدًا يدور بمفرده حول النواة، ثم أضاف إلى تصورات رذرفورد عددًا من المسلمات يمكن تعميمها على كافة أنواع الذرات، وهي^(١٤٢):

- ١ - تتحرك الإلكترونات حول النواة في مدارات محددة Definite orbits تُعرف باسم مستويات الطاقة Energy levels، ولا يجوز لأي الكترون أن يتحرك في غير المدار المخصص له.
- ٢ - لا يُصدر الإلكترون أي إشعاع طالما كان يتحرك في مستوى الطاقة الخاص به.
- ٣ - عندما يقفز الإلكترون من مستوى طاقة أعلى إلى مستوى طاقة أقل، فإنه يُصدر كمًّا من الطاقة (هـ د) مساو لمقدار الفرق في الطاقة بينهما، أي أن:

$$هـ د = ط_٢ - ط_١$$

[حيث (ط_٢) طاقة الإلكترون في المستوى الأعلى، (ط_١) طاقته في المستوى الأدنى].

والعكس صحيح، إذ يمكن للإلكترون أن يمتص كمًّا من الطاقة قادمًا من الخارج، فينتقل بذلك من مستوى إلى مستوى أعلى منه.

(١٤٠) محمد علي العمر: مسيرة الفيزياء، ص ٦٧.

(١٤١) دوكن: المادة وضد المادة، ص ٤٢.

(١٤٢) المرجع ذاته، ص ٤٣.

وبهذا التصور تجاوز بوهر قوانين ماكسويل الحاكمة لحركة الشحنات الكهربائية، وبدت الذرة لا كتركيب دائم التغيير، يتسرب منه الإشعاع كما يتسرب الغاز من البالون المثقوب، بل كتركيب يُطلق ويمتص الإشعاع في صورة وحدات كماتية محددة^(١٤٣)، تحفظ للذرة ثباتها المعهود، وتفتح الطريق أمام مقولة الانفصال، لتحل مكانها المتميز في قلب الفيزياء الذرية المعاصرة.

ب - الميكانيكا الموجية Wave Mechanics:

٣٣- ورغم التوافق الفريد الذي حققه نموذج بوهر مع النتائج التجريبية، إلا أنه كان يحتاج لبعض التحسينات، وتلك هي المهمة التي قام بها الفيزيائي الألماني أرنولد سمرفيلد A. Sommerfeld (١٨٦٨ - ١٩٥١) عام ١٩١٦، حين ضم إلى مدارات بوهر الدائرية مدارات أخرى للإلكترون على شكل قطع ناقص Ellipse، وهي أكثر عمومية من المدارات الدائرية، كما استخدم الميكانيكا النسبية لمعالجة حركة الإلكترون في مداراته^(١٤٤).

ومن ناحية أخرى، قام الفيزيائي النمساوي فولفجانج باولي W. Pauli (١٩٠٠ - ١٩٥٨) عام ١٩٢٤ بتنظيم مواقع الإلكترونات على المدارات المختلفة داخل الذرة، وذلك بصياغته لمبدأ الاستبعاد Exclusion principle؛ الذي ينص على أنه: «لا يمكن لإلكترونين متجاورين في مجموعة كمية واحدة أن تكون لهما نفس الحالة الكمية تمامًا»؛ بمعنى أن لكل إلكترون داخل الذرة منسوبًا كميًا يُحدد موقعه على المدار المخصص له، ولا يمكن لأي إلكترون آخر أن يشغل هذا الموقع إلا بمغادرة الأول له.

وقد ساعد هذا المبدأ على فهم النماذج المعقدة لمواقع الإلكترونات داخل ذرات العناصر المختلفة، ومن ثم تحديد الخواص الكيميائية لتلك العناصر^(١٤٥).

ومع كل هذه الجهود بقيت صورة الذرة باهتة يشوبها بعض الغموض؛ فالميكانيكا النسبية التي استخدمها سمرفيلد وغيره في مجال الكم، هي في جوهرها ميكانيكا للمتصل، تستقيم للنظرية الموجية. ولكننا نعالج الآن وحدات كماتية محددة، تُرسخ مقولة الانفصال.

ألَسنا إذن في حاجة إلى توليفة جديدة من المعادلات تخبرنا بحق عما يدور داخل الذرة؟ . كان هذا هو السؤال الأكثر إلحاحًا بين جموع الفيزيائيين في ذلك الوقت، أما إجابته، فلم تتضح حتى أعلن الفيزيائي الفرنسي لويس دي بروي L. de Broglie (١٨٩٢-١٩٨٧) مشروعه لتأسيس الميكانيكا الموجية عام ١٩٢٥.

(١٤٣) جينز: الفيزياء والفلسفة، ص ١٩٩.

(١٤٤) محمد علي العمر: المرجع السابق، ص ٧٧.

(145) Crease, R. P. & Mann, C. C., *The Second Creation: Makers of the Revolution in Twentieth Century Physics*, Macmillan Publishing Compony, N. Y., 1986, p. 95.

أعاد دي بروي طرح السؤال ليحمل إجابته في داخله، ثم وضعه في صورة فرض أساسي على النحو التالي: «لقد جزأ التكميت - استنادًا إلى العلاقة الأساسية (ط = هـ د) - الإشعاع الذي كان من قبل لا يتميز إلا بالتردد وحده. ألا يُضفي هذا التكميت إذن - إذ يتسلل إلى الذرة لكي يُحدد فيها حالات ثابتة للإلكترون - طابعًا موجيًا على الحبات النهائية للمادة؟»^(١٤٦).

وانطلاقًا من هذا الفرض، امتد دي بروي بثنائية الموجة - الجسم التي تميز بها فوتون أينشتين، إلى الجسيمات الأولية للمادة لاسيما الإلكترونات، وبات من الضروري أن يكون لكل إلكترون موجة مصاحبة، طولها (l) مساو لحاصل قسمة ثابت بلانك (هـ) على كتلة الإلكترون x سرعته. هذه الموجة تحمل الإلكترون أينما توجه، وتُحدد له الاتجاه الذي ينبغي أن يتبعه^(١٤٧).

وسرعان ما توالى التأييدات التجريبية لهذا الفرض، ففي عام ١٩٢٦، أعلن الفيزيائيان الأمريكيان: كلنت جوزيف دافيسون C. J. Davisson (١٨٨١-١٩٥٨) وهلبرت جيرمر H. Germer (١٨٩٦-١٩٧١) من جانب، والفيزيائي الإنجليزي جورج باجت طومسون G. P. Thomson (١٨٩٢-١٩٧٥) من جانب آخر، أنه عندما تعبر حزمة من الإلكترونات إحدى الرقائق المعدنية الرفيعة جدًا، تتولد ظواهر حيود مشابهة لتلك التي نحصل عليها بانعكاس أشعة إكس. وهكذا فالإلكترونات التي تعبر المعدن تتحرف، لا كما تتحرف الجسيمات، ولكن كما تتحرف موجات ترددها أكبر بحوالي مليون مرة من تردد الضوء المرئي^(١٤٨).

وبهذا الدعم التجريبي أصبح لموجات المادة وجودًا واقعيًا لا مرأى فيه، واكتسبت النظرية الموجية صفة الشريك الأساسي في عملية الحركة الإلكترونية داخل الذرة.

٣٤- وكان من الطبيعي إزاء هذا الظهور المفاجئ لموجات دي بروي أن يشتعل الصراع من جديد بين النظريتين: الموجية والجسيمية، أو بتعبير أدق، بين مقولتي الاتصال والانفصال. فمن جانبه جاهد دي بروي في سبيل الحصول على تفسير لحركة الإلكترون داخل الذرة، يُوجد بين المقولتين، ويشبع في الوقت ذاته تصور الفيزياء الكلاسيكية لفكرة السببية^(١٤٩)، فاقترح ضرورة تفسير الشرط الكماتي في نموذج بوهر على أنه تعبير عن موجات المادة، بحيث يكون طول محيط المدار الإلكتروني حول النواة مساويًا لعدد صحيح تام من مضاعفات طول الموجة^(١٥٠).

(١٤٦) دوكين: المرجع السابق، ص ٥٤.

(١٤٧) هوفمان: قصة الكم المثيرة، ص ٦٥.

(١٤٨) دوكين: المرجع السابق، ص ٥٥.

(١٤٩) المرجع ذاته، ص ٥٦.

(١٥٠) هايزنبرج: الفيزياء والفلسفة، ص ٢٦.

لكن اقتراح دي بروي كان يفتقر إلى المعادلات الرياضية اللازمة لإعطاء التوصيف الكامل له وهو ما تحقق من خلال تطويرين مختلفين. أما التطوير الأول فقد قام به الفيزيائي الألماني فيرنر هايزنبرج W. Heisenberg (١٩٠١-١٩٧٦)، الذي نجح قبل نهاية عام ١٩٢٥ في ابتكار وسيلة رياضية بارعة لإعطاء هذا التوصيف، عُرفت باسم ميكانيكا المصفوفات Matrix Mechanics، أو - بشكل أكثر عمومية - «ميكانيكا الكم»^(١٥١).

والمصفوفات في لغة الكم ما هي إلا تمثيل رياضي صوري على هيئة جداول مربعة لمجموعتين من الكميات، تُحددان حركة الإلكترون داخل الذرة، ونرمز لهما بالحرفين م، ك (حيث تشير (م) إلى مكان الإلكترون، بينما تشير (ك) إلى كمية حركته المساوية لحاصل ضرب كتلته \times سرعته) وقد رأينا من قبل أن طول موجة دي بروي مساوٍ لحاصل قسمة ثابت بلانك على كمية حركة الإلكترون، أي أن:

$$\lambda = h / k$$

أما عناصر هذه المصفوفات فتمثل الترددات المختلفة المرتبطة بالقيم المتغيرة لكل من م، ك. وباستبدال المعادلات المعبرة عن هذه المصفوفات بمعادلات الحركة لنيوتن استطاع هايزنبرج أن يستخلص القيم الصحيحة لمستويات الطاقة بطريقة صورية بحتة^(١٥٢).

أما التطوير الثاني فقد أنجزه الفيزيائي النمساوي إروين شرودنجر E. Schrodinger (١٨٨٧-١٩٦١)، في أوائل عام ١٩٢٦.

بدأ شرودنجر من حيث انتهى دي بروي، ثم استطاع من خلال توليفة جديدة من المعادلات، تجمع بين قوانين نيوتن لحركة الجسيمات المادية، وقوانين ماكسويل للمجال، أن يصل إلى المعادلة الموجية Wave equation، أو إلى القانون الذي تتبعه وفقاً له الموجات من مادة ما، تقع تحت تأثير مجال كهرومغناطيسي^(١٥٣).

وبهذه المعادلة التي عُرفت فيما بعد بمعادلة شرودنجر Schrodinger's equation، ازدادت ثقة العلماء في صحة التعبيرات الرياضية المصورة لحركة الإلكترونات داخل الذرة، لاسيما بعد أن أثبت شرودنجر تطابق الميكانيكا الموجية التي استكمل بناءها مع ميكانيكا الكم. وبالتالي فإن ثمة تعبيرين رياضيين مختلفين لموضوع واحد^(١٥٤). ولكن بأي معنى فيزيائي يمكن ترجمة البناء الرياضي للذرة؟

(١٥١) المرجع ذاته، ص ٢٧.

(١٥٢) الموضوع ذاته.

(١٥٣) هايزنبرج: الجزء و الكل: محاورات في مضمار الفيزيكا الذرية، ترجمة وتحقيق محمد أسعد عبد الرؤوف، تقديم علي حلمي موسى، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، ١٩٨٦، ص ٩٤.

(١٥٤) الموضوع ذاته.

إن مفارقات الثنائية بين الصورة الموجية والصورة الجسيمية لم تنته بعد، لقد كانت مختبئة بطريقة ما في النسق الرياضي.

ج- تفسير كوبنهاجن Copenhagen interpretation:

٣٥- أثارت معادلة شرودنجر فور ظهورها جدلاً واسعاً في الأوساط العلمية حول المعنى الفيزيائي لبنيتها الرياضية؛ فإذا كان الإلكترون موجة كما تخبرنا المعادلة، فما هي طبيعة تلك الموجة؟ هل هي كموجات ماكسويل الكلاسيكية؟ وإذا كانت هكذا بالفعل، فهل يعني ذلك أن سلوك الإلكترون داخل الذرة يتم على نحو متصل؟ بل وإذا كان ذلك صحيحاً، فأين إذن قفزات الكم التي قال بها بوهر وتحمس لها هاينزبرج؟

لقد ترددت هذه الأسئلة وغيرها كثيراً على أسنة الفيزيائيين خلال تلك الفترة، ولم يكن من السهل تقديم إجابة شافية بلغة الفيزياء الكلاسيكية، تلك التي تنطق بمفاهيم الزمان، والمكان، والسببية، كأطر حاملة للحقيقة الفيزيائية.

التفسير الأشهر في هذا الشأن هو ذلك الذي تقدم به بوهر، وزميله الألماني ماكس بورن (M. Born 1882-1972)، باستخدام مفهوم موجة الاحتمال Probability wave. ووفقاً لهذا التفسير ليست الموجات الإلكترونية التي تصفها المعادلة موجات حقيقية ذات أبعاد ثلاثة. ولكنها فقط موجات احتمال، تُحدد شدتها في كل نقطة، احتمال أن تبعث الذرة - أو تمتص - في هذه النقطة كمّاً ضوئياً، وذلك وفقاً لقياسات إحصائية متوسطة^(١٥٥).

بعبارة أخرى، ليست الموجات سوى تركيبات عقلية تمكننا، لا من رؤية ما سوف يحدث، ولكن ما يجوز أن يحدث؛ فنحن لا نعرف مثلاً أين يوجد الإلكترون داخل الذرة، ولكننا نعرف بالطبع أنه يجب أن يوجد في حيز محدود من المكان، هو ذلك الذي تخطه الموجات في كل لحظة. وقد نعرف أنه من الأرجح أن يكون في المنطقة (أ) بدلاً من غيرها (ب). فإن صحَّ هذا فالموجات تمثل هذه المعرفة على أنها أشد في المنطقة (أ) من المنطقة (ب)، وهكذا^(١٥٦).

الموجات إذن بالمفهوم الكمي هي نزعة إلى شيء ما؛ شيء يقف فيما بين فكرة الحدث والحدث الواقعي، أو هي نوع من الواقع الفيزيقي يقع وسطاً ما بين الإمكان والواقع^(١٥٧).

٣٦- كان هذا التفسير مرضياً لعدد كبير من علماء الكم، أولئك اللذين أزعجهم أن يكون الاتصال سمة حقيقية من سمات الظواهر الذرية، لكنه على أية حال لم يكن ليشبع أفكار عدد آخر، لعل أبرزهم في هذه المرحلة شرودنجر نفسه، الذي حاول من خلال بحث له بعنوان «أثمة

(١٥٥) هاينزبرج: الفيزياء والفلسفة، ص ٢٨.

(١٥٦) جينز: الفيزياء والفلسفة، ص ١٨٦.

(١٥٧) هاينزبرج: المرجع السابق، ص ٢٨.

قفزات كم؟» أن يهجر تمامًا فكرة القفزات الكمّاتية، وأن يُحل موجات المادة ثلاثية الأبعاد محل الإلكترونات داخل الذرة^(١٥٨).

لقد اعتقد شرودنجر أنه بالانتقال من فكرة الجسيمات البحتة إلى فكرة الموجات المادية يمكننا التغلب على كل المتناقضات التي حالت دون فهم صحيح لنظرية الكمّ؛ فموجات المادة يجب أن تكون عمليات ظاهرية في الزمان والمكان، بنفس المنطق الذي تعودنا به أن ندرك الموجات الكهرمغناطيسية أو الموجات الصوتية في الفيزياء الكلاسيكية، ومن ثم فإن عنصر الانفصال الذي يُعلن عن نفسه بوضوح من خلال قفزات الكمّ، يجب أن يخفي تمامًا من النظرية^(١٥٩).

يقول شرودنجر:

«يزعم البعض أن الإلكترون الموجود في ذرة ما يدور في مسارٍ معين بطريقة دورية دون أن يُشع. بيد أن هؤلاء لا يُقدمون أسبابًا واضحة لعدم إشعاع الإلكترون، فنحن نعرف وفقًا لنظرية ماكسويل، أن الإلكترون المتحرك لا بد وأن يُشع طاقة. ثم بعد ذلك يقول البعض أن الإلكترون يقفز من هذا المسار إلى آخر، مما يؤدي إلى وقوع عملية الإشعاع. وإذن فالسؤال المنطقي هو: هل يتم هذا الانتقال بالتدريج أو فجأة؟ إذا كان يتم بالتدريج فإن على الإلكترون أن يغير تردد دورانه وطاقته بالتدريج... أما إذا حدثت عملية الانتقال فجأة... فعلينا أن نسأل أنفسنا عن كيفية ترك الإلكترون لمساره أثناء عملية القفز. لماذا لا يُشع الإلكترون أثناء ذلك طيفًا متصلًا كما تتطلب نظرية الظواهر الكهرمغناطيسية؟. وتحت أي قانون تتم حركته خلال القفز؟. ومن هنا فإن كل التصورات حول القفز الكمّي ما هي إلا أوهاام كاذبة»^(١٦٠).

كانت تلك إحدى مقولات شرودنجر أثناء حوار دار بينه وبين بوهر في خريف عام ١٩٢٦، ولم ينته الحوار إلى نتيجة حاسمة، بل ظهر أن كلا التفسيرين ينقصه الثبات المنطقي. وعلى حين ظل شرودنجر متمسكًا بموقفه دون تعديل، توصل بوهر وهايزنبرج، كل على حدة، إلى تفسير جديد يُعرف الآن بتفسير كوبنهاجن. ومنذ الأشهر الأولى لعام ١٩٢٧، وحتى يومنا هذا، اكتسب هذا التفسير لقب التفسير الرسمي للنظرية.

٣٧ - صاغ هايزنبرج تفسيره الجديد انطلاقًا من حوار بينه وبين آينشتين تم في نفس الوقت الذي تحاور فيه بوهر وشرودنجر، حيث قال آينشتين: «لعله من الخطأ تأسيس نظرية ما على

(١٥٨) المرجع ذاته، ص ٢٩، ص ١٠٠.

(١٥٩) هايزنبرج: الجزء والكل، ص ٩٥.

(١٦٠) هايزنبرج: الجزء والكل (من محاوره بين بوهر و شرودنجر تمت بمنزل بوهر في خريف عام

١٩٢٦) ص ص ٩٧ - ٩٨.

الكميات القابلة للملاحظة فقط، ذلك أن الواقع هو العكس تماماً، فالنظرية هي التي تحدد ما يمكن مشاهدته، كما أن المشاهدة في حد ذاتها تعد عملية معقدة للغاية»^(١٦١).

هذه المقولة لأينشتاين كانت في نظر هايزنبرج هي المفتاح السحري لبوابة الكم المغلقة؛ فلقد أظهرت التجارب أننا لا نستطيع تحديد موضع الإلكترون وسرعته داخل الذرة بالدقة الكافية - نتيجة لقصور أجهزة القياس، فضلاً عن تأثيراتها - ولكن هل يعني ذلك أننا لا نستطيع تمثيل هذين المقدارين رياضياً بطريقة تقريبية، أو بشيء من عدم الدقة؟ وللإجابة عن هذا التساؤل حشد هايزنبرج كل إمكانياته الرياضية، حتى أثبت في النهاية أننا نستطيع ذلك، وأن ثمة معادلة رياضية تصف العلاقة بين عدم الدقة لكلا المقدارين، هي تلك المعروفة الآن بمبدأ اللايقين^(١٦٢) Uncertainty Principle، وينص هذا المبدأ ببساطة على أن «حاصل ضرب مقداري اللايقين لكل من موضع الإلكترون وكمية حركته (حيث تساوي كمية الحركة كتلة الإلكترون مضروبة في سرعته) لا يمكن أن يقل عن مقدار ثابت معين، هو ثابت بلانك»^(١٦٣). فإذا رمزنا لمقدار اللايقين بالرمز (Δ) فإن:

$$\Delta m \times \Delta v = h$$

[حيث (م) موضع الإلكترون، و (ك) كمية حركته]

ومعنى ذلك أننا لا نستطيع مطلقاً تحديد موضع الإلكترون وسرعته بدرجة كافية من الدقة في وقت واحد، ذلك أن زيادة الدقة في تعيين الموضع لابد وأن تكون على حساب انخفاض الدقة في تعيين السرعة، والعكس صحيح^(١٦٤).

فإذا ما تساءلنا عن طبيعة الإلكترون وفقاً لهذا المبدأ، لجاءنا رد هايزنبرج بأن طبيعته لا تعيننا، فقد يكون الإلكترون موجة أو جسيماً تبعاً لمصطلحاتنا الكلاسيكية، ولكنه في عالم الكم يفقد شيئته المادية ليغدو مجرد تشفير تجريدي لمجموعة من الإمكانيات أو النتائج المحتملة للقياسات.

بعبارة أخرى، لم يعد للإلكترون وجود موضوعي بالمعنى المادي للكلمة، بل أصبح مجرد رمز رياضي يحمل صفة الإمكان الواقعي^(١٦٥).

(١٦١) المرجع ذاته، ص ٨٦.

(١٦٢) المرجع ذاته، ص ١٠٢.

(١٦٣) فليب فرانك: *فلسفة العلم*، ص ٢٦٢.

(١٦٤) المرجع ذاته، ص ص ٢٦٦ - ٦٧.

(١٦٥) بول دافيز: مقدمة الترجمة الإنجليزية لكتاب هايزنبرج: *الفيزياء والفلسفة*، ص ١٤ من الترجمة العربية.

ولقد أكد بوهر من جانب آخر هذا الغموض المتأصل في النظم الكماتية حين صاغ مبدأ التتام Complementarity principle المشهور، ليُعمم بذلك مبدأ اللايقين لهايزنبرج. والنتيجة اللازمة عن هذا المبدأ هي أن الصورتين الموجية والجسيمية للإلكترون، ما هما إلا وجهان متتامان لنفس الواقع، بحيث يُلغى ظهور أيًا منهما الآخر. فإذا كانت إحدى التجارب تُفصح عن الطبيعة الموجية للإلكترون، بينما تُفصح الأخرى عن طبيعته الجسيمية، فلا غضاضة في ذلك، ولكن الوجهان لا يمكن أن يجتمعا في آن واحد معًا. بل يرجع الأمر إلى المُجرب ليقدر الوجه الذي يكشفه عندما يختار تجربته. كذلك الحال لموقع الإلكترون وكمية حركته، فهما أيضًا صفتان متتامتان، وعلى المُجرب أن يُقرر أي خصيصة سيرصد^(١٦٦).

تعقيب:

٣٨- وكأنا في النهاية نعود إلى السؤال الأساسي الذي طرحناه في بداية هذا البحث دون إجابة قاطعة؛ كنا نتساءل عن مدى تحقق الاتصال في الطبيعة، وفي محاولة للوقوف على حقيقة الأمر، لجأنا إلى الفيزياء، فصاحبتنا عبر دروب ثلاثة طويلة، لكل منها تلاله ووديانه. يُعبر الدرب الأول منها عن عالم المقاييس الإنسانية المباشرة، المحدود بأبعاد الأرض والبكتريا. وقد سجلنا خلال هذا الدرب بعضًا من مواقف العلماء الثابتة إبان القرن التاسع عشر بشأن تحقق الاتصال. وذلك في مجالات الحرارة والضوء والكهرباء؛ ففي الترموديناميكيا، أدى اكتشاف كلاوزيوس وكارنو للقانون الثاني - القائل باستحالة انتقال الحرارة من مكان بارد إلى مكان حار - إلى ترسيخ المبدأ المعروف بلا إرتدادية العمليات الحرارية، ومن ثم البحث في البنية التوبولوجية لمتصل الزمان، بما يدعم القول باتجاه خطي وحيد لهذا المتصل - نحو المستقبل. حيث يؤدي تصاعد الإنتروبيا الكونية نحو أقصى مقدار لها، إلى ما يُسمى حالة الاتزان أو الموت الحراري، فكان ذلك أول تمهيد فيزيائي للقول بمفهوم نسبي للزمان، يتجاوز الفرض النيوتوني القائل بانسياب الزمان على نحو مُطلق ومستقل دون بداية أو نهاية.

أما في مجال الضوء، فقد جاءت أبحاث يونج وفرينيل وفوكوه، تأكيدًا لفرض اتصال الظواهر الضوئية في الزمان وعبر المكان، وإن كان هذا التأكيد يحمل في طياته تصورًا كافيًا لطبيعة المتصل الضوئي، يخالف التصور الجسيمي لنيوتن، ويدعم التصور الموجي لهايجنز، ومن ورائه فرض الأثير الغامض.

من جهة ثالثة، كان اقتراح فاراداي لخطوط القوة الرابطة بين الأجسام المادية المتجاذبة، نصرًا جديدًا لفرض الاتصال، لاسيما بعد أن ترجم ماكسويل هذا الاقتراح إلى عدد من المعدلات

(١٦٦) المرجع ذاته، ص ١٥ .

التفاضلية الجزئية، تصف سلوك القوى الكهربائية والمغناطيسية الناجمة عن الشحنات والتيارات الموجودة في النظم الفيزيائية المختلفة، مما كان إيذاناً بنشأة مفهوم المجال، الذي أصبح جزءاً أساسياً من أجزاء الواقع الموضوعي للفيزياء، ينازع الجسيمات في أولية الوجود، ويُغني تماماً فكرة التأثير عن بُعد.

ثم انتقلنا في مرحلة تالية إلى درب الكون الأكبر (الماكروكوزم)، حيث النجوم والكواكب وحركاتها التجاذبية المختلفة، فإذا بأينشتين ينثر الحروف والأرقام ويُعيد ترتيبها، ليُخرج لنا نظريته - الخاصة والعامة- في النسبية، بما تحويه من تصورات ومفاهيم جديدة، تخرج عن مألوف الميكانيكا التقليدية والكلاسيكية، بداية من إلغاء فكرة الأثير، والقول بثبات سرعة الضوء، ونسبية الحركات والكتل والأطوال، ومروراً بتجاوز مفهوم التزامن، ثم وصف البنية التوبولوجية - المتناهية واللامحدودة- للمتصل الكوني. ورغم ما شاهدنا من غرائب في هذا الدرب، إلا أننا لم نضل الطريق، فما زال للسببية مكان، وما زال الزمان والمكان متصلين، وإن كانا قد اندمجا في متصل واحد عرفناه بالزمكان .

لم تخرج النسبية إذن عن التوجه العام للفيزياء، قديمها وحديثها، بشأن فكرة الاتصال، بل لقد جاءت تدعيماً لهذه الفكرة، وترسيخاً لما يرتبط بها من مبادئ وفروض علمية وفلسفية، لعل أهمها مبدأ السببية والطابع الموضوعي المطلق للمتصل الكوني، القائم بذاته خلف نسبية الحركات في الزمان والمكان.

ثم خطونا أخيراً إلى درب الكم المثير، وتتبعنا مراحل البحث الفيزيائي في ميدان كل من الإشعاع والذرة، منذ أن قام بلانك بتكميت طاقة الإشعاع، وحتى رفع بوهر وهايزنبرج راية الانفصال، كراية رسمية لعالم الكون الأصغر (الميكروكوزم): فلا متسلسلات متصلة للزمان أو المكان، ولا دقة في القياس، لا موضوعية للحقائق، ومن ثم فلا حتمية! حقاً لقد دافع مبدأ الاتصال عن نفسه من خلال الميكانيكا الموجية لـ دي بروي، والمعادلة الموجية لشروندنجر، لكن الأمر انتهى على أرض كوبنهاجن، بما يُشبه الهدنة أو المصالحة بين مقولتي الانفصال والاتصال، وذلك بصياغة بوهر وهايزنبرج لمبدأي التتام واللايقين.

وهكذا خرجنا في النهاية من حيث بدأنا، لنعيد التساؤل: أين الحقيقة؟ أليست الذرة بعالمها الصغير هي إحدى مكونات عالمنا الكبير الذي خبرناه متصلاً؟ بل أفلا يؤدي الاتصال دوراً لا يمكن إنكاره داخل هذا الكون الصغير المدعو بالذرة؟.

الحق أننا لا نستطيع المصادرة على تفسير كوبنهاجن كتفسير نهائي، فمازلنا نحبو على طريق العلم، حتى وإن اخترقنا حدود الأرض والذرة. ولا ينبغي أن تدفعنا كثرة الأتباع إلى مسايرة الركب؛ فللتفسير الإحصائي من المعارضين من لا تنقصهم الحجّة. ويكفي أن نشير إلى مقولة أينشتين التي ردها المرة تلو المرة في مواجهة بوهر:

«إن الإله لا يلعب بالنرد»^(١٦٧)

God does not play dice

وقد لا يكفينا أن نستمع إلى رد بوهر الذي قال:

«ولكن من البديهي أنه ليس من واجبنا أن نأمر الإله كيف يجب عليه أن

يحكم العالم»^(١٦٨).

لقد تحول العلماء إلى فلاسفة، أو هكذا تُعلن أقوالهم، وبات من الضروري تدخل الفلسفة، بماضيها وحاضرها، بوضعيتها وميتافيزيقاها، أليست المشكلة في جوهرها مشكلة فلسفية؟

وعلى الله قصد السبيل والله أعلم

صلاح عثمان

(167) Morris, Op. Cit, p. 73.

(١٦٨) هايزنبرج: الجزء والكل، ص ١٠٥ (وقد وردت العبارة على لسان بوهر أثناء حوار بينه وبين آينشتين عام ١٩٢٧ على هامش مؤتمر سولفاي Solvay بيروكسل).

References

المراجع

أولاً: المراجع باللغة العربية:

١. إندجتون: الكون يزداد إتساعاً، ترجمة طالبة السيد عوض & عبد الحميد حمدي مرسي، مراجعة علي مصطفى مشرفة، مكتبة النهضة المصرية، القاهرة ١٩٥٦.
٢. ألبرت آينشتين: أفكار وآراء (مجموعة مقالات مجمعة)، ترجمة رمسيس شحاتة، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، ١٩٨٦.
٣. آينشتين: النسبية (النظرية الخاصة والعامة)، ترجمة رمسيس شحاتة، مراجعة محمد مرسي أحمد، دار نهضة مصر للطباعة والنشر، القاهرة، بدون تاريخ.
٤. إيبين نيكلسون: الزمان المتحول، في كتاب: كولن ولسون & جون جرانت: فكرة الزمان عبر التاريخ، ترجمة فؤاد كامل، مراجعة شوقي جلال، سلسلة عالم المعرفة، الكويت، العدد ١٥٩ مارس ١٩٩٢.
٥. بانيش هوفمان: قصة الكم المثيرة، ترجمة أحمد مستجير، المؤسسة المصرية العامة للتأليف والنشر، القاهرة، بدون تاريخ.
٦. برتراند رسل: الف باء النسبية، ترجمة فؤاد كامل، مراجعة محمد مرسي أحمد، شركة مركز كتب الشرق الأوسط ومكتبتها، القاهرة، ١٩٧٧، ص ١١٣.
٧. برتراند رسل: أصول الرياضيات، ترجمة محمد مرسي أحمد & أحمد فؤاد الأهواني، دار المعارف بمصر، القاهرة، أربعة أجزاء (١٩٥٨-١٩٥٩-١٩٦١-١٩٦٤).
٨. بول دافيز: مقدمة الترجمة الإنجليزية لكتاب هايزنبرج: الفيزياء والفلسفة، ترجمة أحمد مستجير، المكتبة الأكاديمية، ط ١، القاهرة، ١٩٩٣.
٩. جريدة الأهرام القاهرية، العدد ٣٩٨٥٤، الخميس ١٨ يناير ١٩٩٦.
١٠. جيمس جينز: الفيزياء والفلسفة، ترجمة جعفر رجب، دار المعارف، القاهرة، ١٩٨١.
١١. روبرت م. أغروس & جورج ن. ستانسيو: العلم في منظوره الجديد، ترجمة كمال خليلي، سلسلة عالم المعرفة، الكويت، العدد (١٣٤)، فبراير ١٩٨٩.
١٢. فيدل ألسينا: التحدي الأكبر، مقال بمجلة الثقافة العالمية، ترجمة صلاح يحيياوي، المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب، الكويت، العدد (٣٠)، سبتمبر ١٩٨٦.
١٣. فيرنر هاينريش: المشاكل الفلسفية للعلوم النووية، ترجمة أحمد مستجير، مراجعة محمد عبدالمقصود النادي، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، ١٩٧٢.
١٤. فيليب فرانك: فلسفة العلم (الصلة بين الفلسفة والعلم)، ترجمة علي علي ناصف، المؤسسة العربية للدراسات والنشر، بيروت، ١٩٨٣.

١٥. كارل ساغان: الكون، ترجمة نافع أيوب لبس، مراجعة محمد كامل عارف، سلسلة عالم المعرفة، العدد ١٧٨، الكويت، أكتوبر ١٩٩٣.
١٦. كولنجود: فكرة الطبيعة، ترجمة أحمد حمدي محمود، مراجعة توفيق الطويل، الهيئة العامة للكتب والأجهزة العلمية، القاهرة، ١٩٦٨.
١٧. لانداو وآخرون: الفيزياء العامة، الميكانيكا والفيزياء الجزيئية، ترجمة أحمد صادق القرمانى، دار مير للطباعة والنشر، موسكو، ١٩٧٥.
١٨. مجمع اللغة العربية: معجم الفيزياء الحديثة، تصدير إبراهيم بيومي مذكور، الهيئة العامة لشئون المطابع الأميرية، القاهرة، ج ١، ١٩٨٣، ج ٢، ١٩٨٦.
١٩. محمد عبد اللطيف مطلب: الفلسفة والفيزياء، دائرة الشئون الثقافية والنشر، بغداد، ١٩٨٥.
٢٠. محمد علي العمر: مسيرة الفيزياء الفيزياء علي الحبل المشدود بين النظرية والتجربة، مجلة عالم الفكر، المجلد العشرون، العدد الأول، الكويت، ١٩٨٩.
٢١. محمود أمين العالم: فلسفة المصادفة، دار المعارف بمصر، القاهرة، ١٩٧٠.
٢٢. محمود فهمي زيدان: من نظريات العلم المعاصر إلى المواقف الفلسفية، دار النهضة العربية، بيروت، ١٩٨٢.
٢٣. موريس دوكين: المادة ضد المادة، ترجمة رمسيس شحاته، دار المعارف بمصر، القاهرة، ١٩٦٨.
٢٤. ميتشيل ويلسون: الطاقة، ترجمة مكرم عطية، مراجعة نزيه الحكيم، دار الترجمة والنشر لشئون البترول، بيروت، ١٩٧١.
٢٥. نوربيرت فينر: السيبرنتيكا، ترجمة رمسيس شحاته & إسحق إبراهيم حنا، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، ١٩٧٢.
٢٦. هايزنبرج: الجزء و الكل: محاورات في مضممار الفيزياء الذرية، ترجمة وتحقيق محمد أسعد عبد الرؤوف، تقديم علي حلمي موسى، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، ١٩٨٦.
٢٧. هايزنبرج: الفيزياء والفلسفة، ترجمة أحمد مستجير، المكتبة الأكاديمية، ط ١، القاهرة، ١٩٩٣.

ثانياً: المراجع باللغة الإنجليزية:

1. Academician G. S. Landsberg (ed.), *Textbook of Elementary Physics*, Trans. from Russian by A. Troitsky, Mirr Pub., Moscow, 1972, Vol. 1, p. 161.
2. Bohm, D., *The Special Theory of Relativity* W. A. Benjamin, N.Y., 1965.
3. Boltzmann, I, *Lectures on Gas Theory*, trans. by S. G. Bruch, University of California Press, Berkeley, 1964
4. Cassirer, E., *Substance and Function & Einstein's Theory of Relativity* (Two Books in One), Dover Publications, INC, N.Y., 1953.
5. Crease, R. P. & Mann, C. C., *The Second Creation: Makers of the Revolution in Twentieth Century Physics*, Macmillan Publishing Company, N. Y., 1986

6. Davies, P., *Super Force, The Search for a Ground Unified Theory of Nature*, Simon & Schuster, Inc. N. Y, 1985.
7. Danto, A., *Nietzsche as Philosopher*, Macmillan, N.Y., 1965.
8. Eddington, A.S., *The Nature of the Physical World*, J. M. Dent & Sons Limited, London, 1928.
9. Infeld, L. *Albert Einstein: His Work and its Influence on Our World* Scribner's, N. Y., 1950.
10. Jacob, F., *The Possible and the Actual*, University of Washington Press, Seattle and London, 1982.
11. Lucas, J. R., *A Treatise on Time and Space*, Methuen & Co. LTD, London, 1973.
12. Lucas, J. R., *Space, Time, and Causality*, The Clarendon Press, Oxford, 1984
13. Morris, *Dismantling the Universe The Nature of Scientific Discovery*, Simon & Schuster Inc. N. Y, 1983.
14. Purcell, E. M, *Electricity and Magnetism*, Berkeley, Physics Course 2, N.Y., 1965.
15. Robert, B. Leighton & Matthew Sands (eds.), *Feynman Lectures*, Addison-Wesley, Mass., 1963.
16. Robert Jastrow, *God and the Astronomers*, Norton, N. Y., 1978 .
17. Smart, j. C., *Between Science and Philosophy*, Random House, N. Y., 1968.
18. Van Fraassen: *An Introduction to the Philosophy of Time and Space*, Columbia University Press, N. Y, 1985.
