

الفيزياء الكلاسيكية وأزمة النموذج الميكانيكي

داود خليفة¹

لقد أثبت العلم في العصر الحديث نجاحاته في الكشف عن الكثير من ظواهر الكون، وتمكن الفيزيائيون الكلاسيكيون من صياغة قوانين وُصفت بأنها دقيقة و يقينية، وأُخضعت كل الظواهر - من أكبر الأجسام إلى أصغرها - إلى نفس الأطر التفسيرية مع القدرة على التنبؤ بها، عن طريق إخضاع كل الظواهر إلى الترابطات العلية وإلى مبدأ الحتمية. كما تمكن العلم من أن يبرهن على صحته من خلال تطبيق نتائجه ميدانيا، محققا بذلك فكرة الطبيعة تحققا عمليا. وكل هذا جعل الإيمان مطلقا في نتائج الفيزياء الكلاسيكية، واعتبار هذه الفيزياء أنها وصلت إلى غايتها القصوى. وظنّ الكثير من الفيزيائيين أن العالم كله أصبح مفهوماً، وأن الفيزياء اكتملت في ضوء النجاحات التي تحققت في فهم الكيمياء والكهرومغناطيسية والديناميكا الحرارية...، وبدأ أن قوانين الميكانيكا الكلاسيكية - التي تشكل من قوانين نيوتن في الحركة والجاذبية، ونظرية ماكسويل في الكهرومغناطيسية وما يتعلق بها من علوم البصريات، وعلوم الديناميكا الحرارية والميكانيك الإحصائي وما يتعلق بها من قوانين الإشعاع - غير قابلة للمنافسة من حيث قدرتها على التنبؤ بنتائج التجارب العملية. وظهر الكون التقليدي كما لو كان حتميا تماما، وأنه يعمل طبقا لعدد محدود من المبادئ البسيطة كالساعة في دقتها⁽²⁾.

لكن، وبنهاية القرن التاسع عشر، تبين أن هذه الفيزياء، التي كانت نموذجا لكل العلوم في الدقة واليقين، لا تتعدى حدود الميكانيكا، وأن قوانين الفيزياء الكلاسيكية هي أعجز ما تكون عن استيعاب وتفسير الظواهر الجديدة المكتشفة « وأن القوانين الهامة للفيزياء الكلاسيكية لا تنطبق إلا على الظواهر التي تحدث في بيئتنا العادية»⁽³⁾، فالكثير من تلك الظواهر يفلت من قبضتها. فلقد تبين مع بداية القرن العشرين « أن العديد من التجارب أفضت إلى نتائج لا تخضع لتفسيرات القوانين الكلاسيكية التي أُختبرت من قبل، وقد شملت النتائج اكتشاف الذرة النووية والأسلوب الذي يتفاعل به الضوء مع الإلكترون، واكتشاف أن سرعة الضوء لا تتغير مع الراصد»⁽⁴⁾، وهذا ما زرع الاعتقاد في قدرة هذه الفيزياء في تفسير جميع الظواهر، وتحطم ذلك اليقين الذي كان يُظنّ أنه سمة ملازمة لها.

¹ أكاديمي و باحث من جامعة وهران،الجزائر.

⁽²⁾ - فريديريك. ج. بوش، دافيد.أ. جيرد، أساسيات الفيزياء ترجمة: سعيد الجزيري ومحمد أمين سليمان، الطبعة الأولى، الدار الدولية للاستثمارات الثقافية، القاهرة، بدون تاريخ، ص 983.

⁽³⁾ - حسين علي، فلسفة العلم المعاصر ومفهوم الاحتمال، بدون طبعة، الدار المصرية السعودية للطباعة والنشر، القاهرة، 2005، ص 68.

⁽⁴⁾ - المرجع السابق.

إن ذلك العجز هو ما مهد الطريق أمام انهيار التصور الميكانيكي، ذلك النسق المعرفي الذي شيده نيوتن (1642 – 1727 I-Newton) والذي ظل شامخاً قرنين من الزمن، وهو ما ادخل الفيزياء الكلاسيكية فيما اصطلح عليه بأزمة الفيزياء الكلاسيكية. تلك الأزمة إذن، ليست إلا عجز مناهج الفيزياء الكلاسيكية وقوانينها عن استيعاب الظواهر والعلاقات الفيزيائية على العالم الموضوعي، أي عالم التجربة الخارجية، ومن تلك الظواهر - إضافة إلى ما سبق ذكره - كيفية توزيع الطاقة على الترددات أو الأطوال الموجية في الأجسام الساخنة أو ما يسمى إشعاع الجسم الأسود، حيث لوحظ وجود تناقض مع ما تقرره النظرية الكهرومغناطيسية، وظاهرة التأثير الكهروضوئي، حيث إن الطاقة الحركية للإلكترونات المنبعثة لا تتناسب مع شدة الضوء بل مع تردده، وكذا مشكلة فهم كيفية ظهور الأطياف اللونية عند تسخين الغازات. كما كانت هنالك مشكلة الأثير وسرعة الضوء.

لقد تداخلت مشاكل كثيرة لدى بعض الفيزيائيين حتى غدت غير قابلة للحل. وعندما تظهر في الوجود وقائع جديدة تعجز النظرية عن تفسيرها، فمعنى ذلك أن القدرة التفسيرية لهذه النظرية قد استنفذت، وهذا ما يسمى في أدبيات العلم بأزمة العلم. الأمر الذي يجعل العلم بالضرورة ينحى منحى تجديدي يغير - من خلاله - تصورات السابقة بتصورات جديدة تستجيب للمعطيات المستجدة. ولأن تطور العلم وليد أزماته، فقد أخذ العلم مسارا ثورياً جديداً، أحدث ثورة علمية جديدة، وكانت أبرز معالم هذه الثورة ظهور تصورات جديدة كبديل للتصورات القديمة، والتي شكلت العمود الفقري للعلم المعاصر، وللفيزياء المعاصرة على وجه التحديد.

لقد اقتحمت الفيزياء في القرن التاسع عشر مجالات جديدة كالعلاقات الحرارية والضوء والظواهر الكهرومغناطيسية، التي فشلت قوانين الميكانيكا الكلاسيكية - التي أخضعت لها في البداية - في تفسيرها، فظهرت نظريات ومبادئ جديدة كالنظرية النسبية وميكانيكا الكم ومبدأ اللاتحديد أو الارتياح، إضافة إلى تمكن العلماء من تحطيم وغزو عالم الذرة نفسه، فتشكل أولاً مفهوم جديد للمادة؛ فإذا كان التصور الكلاسيكي يعتقد أن الذرة هي أصغر جزء في المادة، وهو تصور موروث من الفلسفة الذرية الإغريقية، فإنه تبين أن الذرة ليست مصممة وتتكون هي بدورها من عدة جزيئات التي هي الإلكترونات وهي شحنات موجبة وشحنات سالبة. وثانياً انهار مبدأ أساسي من مبادئ الفيزياء الكلاسيكية والعلم ككل، وهو مبدأ الحتمية، وكل هذا « أدى إلى التشكك في عدد من النتائج كان ينظر إليها من قبل على أنها صحيحة صحة مطلقة. هذه التحولات العميقة في الفيزياء كان لها ردود مزدوجة في الفلسفة. فحيث إن علماء الفيزياء أنفسهم لم يعودوا يتفقون على صحة الاتجاه الميكانيكي والمذهب الحتمي ولا على مدى صوابهما»⁽⁵⁾. كما أدى إلى حدوث تأثير مزدوج: على الفلسفة وعلى العلم؛ فقد تزعزعت الكثير من المفاهيم الأساسية التي رسخت في الأذهان كالحتمية على المستوى الفلسفي، أو بالنسبة للمادة والحركة والجاذبية على المستوى العلمي.

(5) - بوشنسكي، إ. م، الفلسفة المعاصرة في أوروبا، ترجمة: عزت قرني، عالم المعرفة، العدد 165، المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب، الكويت، 1992، ص 36.

وهذا ما أدى بالعلماء إلى محاولة البحث عن تصورات جديد للطبيعة، تصورات لا تخضع للتفسير الميكانيكي ولا تقوم على قوانين الميكانيكا النيوتونية، فظهرت بذلك عدة تصورات لصياغة هذا النموذج⁽⁶⁾. وقبل الحديث عن تلك التصورات، يجدر بنا أولاً استعراض المشكلات الفلسفية - العلمية التي مهدت لظهورها، ونخص بذكر معالم أزمة العلم الحديث أو الفيزياء الكلاسيكية.

1- مشكلة طبيعة الضوء والأثير:

1- أ - مشكلة الضوء: تعتبر الفيزياء الكلاسيكية الضوء ذا طبيعة جسيمية^(*)؛ من حيث هو عبارة عن جسيمات أو رقائق مادية متناهية في الصغر. وحينما يندفع الضوء من مصدره يسلك مسارات مستقيمة، ولما « رأى نيوتن أن الإشعاع يسير في خط مستقيم في الوسط المتجانس، ولما كان الجسم المتحرك ينطلق أيضاً في خط مستقيم، أعتبر الضوء سيلاً من الجسيمات يقذف بها مصدر الضوء»⁽⁷⁾، فهذه النظرية تتصور إذن أن مصدر الضوء كما لو أنه يقذف جسيمات مضيئة في اتجاهات شتى وفي مسارات مستقيمة.

إن المشكلة الأولى التي صادفت النظرية الجسيمية للضوء هي أنها لا تفسر لنا ظاهرة الانعكاس الضوئي الذي يغير من مسار الضوء. فإسقاط إشعاع ضوئي على سطح جسم ما يؤدي إلى انكسار جزء من الشعاع وينعكس الجزء الآخر، حيث إن الجزء المنعكس هو الذي يسبب انعكاس الأجسام كانعكاس ضوء القمر على سطح الماء⁽⁸⁾، فالضوء لو كان فعلاً يتكون من رقائق مادية أو جسيمات لكان تأثير قوى الماء عليه واحداً، فإذا انكسر جسيم واحد يفترض انكسار كل الجسيمات، لكن ما هو مُلاحظ أن جسيمات معينة تنفذ من سطح الماء وأخرى يمتنع نفاذها، فيحدث الانعكاس الضوئي.

أما المشكلة الثانية، فهي أن الطبيعة الجسيمية للضوء لا تفسر لنا ظاهرة التداخل الضوئي، أي التداخل بين الأشعة، بسبب اتحاد موجتين لهما نفس الطول الموجي، وهذا التداخل قد يكون بنائياً فيكوّن مناطق مضيئة أو هدامياً ويكوّن مناطق مظلمة. إن الأجسام الكبيرة تحجب الضوء وتلقي ظلاً، ولكن الأجسام الصغيرة (سلك رفيع مثلاً) لا تلقي مثل هذا الظل، لأنه لا يستطيع أن يحجب الضوء، فالضوء ينحني حوله فلا نرى ظلاً، بل مناطق متعاقبة ومتوازية نسيباً تعرف بمناطق التداخل⁽⁹⁾، فانحناء الضوء يهدم التصور النيوتوني القائم على المسار

⁽⁶⁾ - قد نخصص دراسة مستقلة ومستفيضة لتلك التصورات اللاميكانيكية في بحث مستقل.

^(*) - من النظريات الأولى التي حاولت تفسير طبيعة الضوء نظرية الإصدار التي قال بها الشاعر الفيلسوف اللاتيني لوكريس *Lucrece* في القرن الأول قبل الميلاد، حيث رأى أن الضوء عبارة عن أجزاء صغيرة جدا تنطلق بسرعة كبيرة جدا لا يمكن تقديرها من على سطح الأشياء، فتؤثر في أعيننا وتجعلنا نرى هذه الأشياء. كما اهتم العرب أيضاً بطبيعة الضوء، لاسيما الحسن بن الهيثم الذي عاش في القرن الـ1 م، واكتشف القوانين الأساسية لانعكاس الضوء وانكساره. وقد استمر الإيمان بهذه النظرية (أي نظرية الإصدار) حتى عصر نيوتن، فقد آمن بها ديكارت وغاليليو ونيوتن، رغم أنها عجزت عن تفسير ظاهرة حيود الضوء.

⁽⁷⁾ - معنى طريف الخولي، فلسفة العلم من الحتمية إلى الاحتمية، بدون طبعة، دار قباء للطباعة والنشر والتوزيع، القاهرة، 2001، ص 336.

⁽⁸⁾ - المرجع نفسه.

⁽⁹⁾ - المرجع نفسه، ص 336 - 337.

المستقيم لحركة الضوء. كما أن ظاهرة التداخل الضوئي لا يمكن تفسيرها بالنظرية الجسيمية للضوء، بل بافتراض أن الضوء موجات. ولذلك تمّ استبدال سيل الجسيمات بسيل الموجات، واعتبار الضوء أشبه ما يكون بموجات تنتشر على سطح الماء، حيث يكون مصدر الضوء هو مركز الاهتزاز الذي تتولد عنه الأمواج، فينتشر بعد ذلك من حوله في كل الاتجاهات. وعُرفت هذه النظرية بالنظرية الموجية للضوء، فلقد افترض هويجنز (1629-1695 C.Huygens) أن الضوء عبارة عن نوع من أنواع الأمواج وكان ذلك في عام 1678م واستطاع باستخدام هذه النظرية أن يفسر ويحقق قوانين الانعكاس والانكسار. ولكن هذه النظرية لم تلقَ قبول علمي في بداياتها لعدة أسباب: أهمها أن نظرية نيوتن الموجية شبيهة إلى حد كبير بنظريته في الميكانيكا، وكلنا يعلم مدى تأثير الميكانيكا على العقول في ذلك العصر، كما أن جميع الأمواج المعروفة في ذلك الوقت تنتقل خلال وسط مادي، بينما الضوء يستطيع أن ينتقل إلينا من الشمس خلال الفراغ. ومن ناحية أخرى، إذا كان الضوء عبارة عن أمواج فإن الموجة يمكنها أن تعطف حول العقبات. ومعلوم الآن أن الضوء له القدرة على الانعطاف حول الحواف وتعرف هذه الظاهرة بالحيود، مع انه ليس من السهولة ملاحظة ذلك لأن الضوء له طول موجي قصير.

وأول تفسير يبين الطبيعة الموجية للضوء تمّ في عام 1801 م على يد العالم يونج (1773 - 1829 Young) الذي بيّن عملياً بأنه تحت شروط معينة فإن الضوء يتبع ظاهرة التداخل والذي هو عبارة عن اتحاد موجتين لهما نفس الطول الموجي ونابعين من نفس المصدر ليكونا مناطق مضيئة عند حدوث التداخل البناء ومناطق مظلمة عند حدوث التداخل الهدام. غير أن أهم تطور يتعلق بالنظرية الموجية للضوء - إضافة إلى تطورات أخرى والتي تتمثل في تلك التجارب الحديثة التي تصب كلها في اتجاه الطبيعة الموجية للضوء كالتجارب حول إشعاع الجسم الأسود، وتجارب الانبعاث الكهروضوئي وأيضاً تجارب طيف الأشعة السينية - كان العمل الذي قام به ماكسويل (1831 - 1879 J.K.Maxwell) سنة 1873م. والذي كشف بأن الضوء هو أمواج كهرومغناطيسية ذات ترددات عالية، وهذه الأمواج لا بد أن يكون لها سرعة تساوي 300000 كلم/ثا والتي هي عبارة عن سرعة الضوء^(**) واستطاع هرتز (1857 - 1894 H.Hertz) أن يثبت ذلك عملياً سنة 1887 م وذلك بإنتاج والتقاط الأمواج الكهرومغناطيسية. كما بين بأن تلك الأمواج الكهرومغناطيسية تسلك نفس سلوك الضوء من انعكاس وانكسار وكل خواص الأمواج.

(**) - ساد الاعتقاد لفترة طويلة أن الضوء ينتشر أنياً، وكان ديكرات من بين الذين يؤمنون بهذا الرأي، والذي عارضه غاليليو الذي رأى أن سرعة الضوء لا بد أن تكون محدودة، فحاول قياس هذه السرعة، غير انه فشل في محاولته بسبب بساطة الوسائل التي استعملها في القياس. وكانت أولى المحاولات الجادة في قياس سرعة الأرض تلك التي قام بها الفلكي الدانماركي رومر Roemer الذي استطاع سنة 1676 أن يعزو للضوء سرعة معينة أثناء تتبعه لحسوف أعمار المشتري عندما تكون الأرض بين المشتري والشمس، وعندما تكون الشمس بين الأرض والمشتري. فحسب الزمن الذي يستغرقه الضوء ليحتاز قطر المدار الذي ترسمه الأرض حول الشمس فوجد أن سرعة الضوء تبلغ بالتقريب 310.000 كم/ثا. غير أن الفيزيائي فيزو Fizeau هو الذي تمكن سنة 1849 من قياس سرعة الضوء قياساً دقيقاً على سطح الأرض، فوجدها تساوي 300.000 كم/ثا تقريباً.

واستطاعت النظرية الكهرومغناطيسية تفسير الكثير من خواص الضوء إلا أن هناك بعض الظواهر لم تستطع أن تعطى التفسير المقبول إذا اعتبرنا أن الضوء ذو طبيعة موجية متصلة، من أهمها الظاهرة الكهروضوئية - والتي تظهر لما تمتص مواد معينة الضوء؛ فطاقة الضوء تحرر الإلكترونات من الذرات التي على سطوح المواد. وتحرر هذه الإلكترونات الحرة في بعض الأجهزة خلال دائرة في صورة تيار كهربائي - فالتفسير كان يقول إن هناك تناسباً طردياً بين شدة الضوء المسلط على الصفيحة المعدنية وعدد الإلكترونات المنتزعة منها، وينخفض عدد الإلكترونات المنتزعة بزيادة طول الموجة الضوئية، ومادامت الزيادة في طول الموجة تعني نقصان التواتر وضعف الإشعاع، فذلك يعني أن الأشعة الضعيفة تؤدي إلى أن ينتزع عن الصفيحة عدد كبير من الإلكترونات⁽¹⁰⁾، أي أن الظاهرة الكهروضوئية عبارة عن تحرر إلكترونات من المعدن عند تعرض سطحه لإشعاع ضوئي. وقد تبين أن الطاقة الحركية للإلكترون المتحرر لا تعتمد على شدة الضوء المسلط، وهذا يحد ذاته تناقض للنظرية الموجية التي تقول بأنه كلما زادت شدة الإشعاع المسلط كلما زادت الطاقة المضافة للإلكترون المتحرر، ولم تحل المشكلة إلا بظهور النظرية النسبية.

1- ب - مشكلة الأثير: أياً كانت طبيعة الضوء جسيم أو موجة؛ كيف ينتقل هذا الضوء من الفضاء، من الشمس والنجوم الأخرى، إلى الأرض؟ لقد افترض الفيزيائيون أن موجات الضوء بحاجة إلى مادة أو وسط ينتقل من خلاله الضوء، مثلما هو الحال بالنسبة لموجات المياه التي تنتقل من خلال الماء نفسه. ولم تكن هذه المادة المفترضة أو الوسط سوى الأثير.

إن الأثير عبارة عن وسط لانهائي المرونة، خفيفٌ، كثافته أقل من كثافة الهواء لأن مربع سرعة الموجة يتناسب عكسياً مع كثافة الوسط، ويملاً كل الفضاء أو المكان الفراغ، وهو غير مرئي، وهو الحامل للإشعاع الضوئي. وسواء كان هذا الوسط متحركاً بذاته أو ساكناً، فلا بد أن يكون للأرض سرعة نسبية معه. وقد كان للأثير دوراً مركزياً في الفيزياء الكلاسيكية لما فسروا به الكثير من الأفكار والظواهر الضرورية للتصور الميكانيكي، مثل فكرة التأثير عن بعد وظاهرة انتشار الضوء. حيث اكتملت الحتمية بافتراض هذا الوسط، فإذا كان للأثير هذا الدور المركزي في التصور الميكانيكي فكيف يمكن إثباته تجريبياً؟

في واقع الأمر، لم تصمد فرضية الأثير أمام التحقق التجريبي، فقد حاول العلماء الاستدلال على وجوده تجريبياً، وكانت أشهر تلك التجارب تلك التي قام بها كل من ألبرت مايكلسن (A. Mickleleson 1852-1931) وروبرت مورلي (R. Morley) سنة 1886م لإثبات أن موجات الضوء لا تنتشر في الخلاء وإنما يشترط وجود وسط أو مجال تنتشر فيه، الذي هو الأثير. فحاولوا قياس سرعة الأرض بالنسبة للأثير بافتراض أن سرعة الضوء هي (300000 كلم/ثا)، وكان الهدف من التجربة هو التحقق إذا ما كانت سرعة الضوء باتجاه الأثير تتأثر إيجاباً بـ300000 كلم/ثانية، وسرعته ضده تتأثر سلباً بهذا المقدار⁽¹¹⁾، أي تحديد هذه السرعة عن طريق تعيين سرعة

⁽¹⁰⁾ - سالم يفوت، فلسفة العلم المعاصرة ومفهومها للواقع، الطبعة الأولى، دار الطليعة للطباعة والنشر، بيروت، 1986، ص 67.

⁽¹¹⁾ - المرجع السابق، ص 344.

الأرض في مدارها حول الشمس بالنسبة للأثير، الذي هو موجود في كل مكان مثل الهواء الذي يحيط بنا.. وكانت نظرية ماكسويل الكهرومغناطيسية قد أثبتت أن الضوء ينتشر في الفضاء في صورة أمواج وكانت الأمواج تحتاج إلى وسط أفترض أنه الأثير الحامل للضوء. وبدون الدخول في التفاصيل المعقدة للتجربة، نقول إن التجربة قامت على مبدأ تداخل الأمواج، أي بافتراض أنه إذا وجد الأثير فإن حركة الأرض فيه تولد تياراً أثرياً معاكساً لسرعة الأرض، وحين تقاس سرعة الضوء على الأرض فإن تأثيرها بتيار هوائي يجري معاكساً لحركتها، وتأثيرها بتيار الأثير يتوقف على حركة الضوء هل هي موازية لحركة الأرض أو معاكسة معاً أم هي متعامدة مع التيار. لكن ما توصل إليه هذان العالمان هو أنه « لم يستدلاً على أي ربح للأثير، وتمت إعادة التجربة في أوقات مختلفة وشروط مختلفة، في أوقات مختلفة من النهار، وفي أيام مختلفة من العام. وظلت النتيجة كما هي؛ لا دليل على وجود أي ربح للأثير. وكانت مشكلة كبيرة، فإذا كان الأثير موجوداً فلماذا لا يمكننا الاستدلال عليه؟»⁽¹²⁾، ويعني ذلك بلغة الفيزياء أن سرعة الضوء ثابتة سواء كانت حركة الجسم في اتجاه سرعة الضوء أو عكس هذا الاتجاه أي 300000 كلم/ثا. وتلك ضربة أخرى للتصور الميكانيكي القائم على أن كل شيء في الكون قابل للتفسير الآلي بما في ذلك الموجات الضوئية ذاتها. فانهيار الأثير ليس مجرد انهيار فرضية، وإنما هو انهيار لدعامة من دعائم البناء الميكانيكي للكون، وضربة قاضية للفيزياء الحتمية وتقويضاً لها لأن القول بأن الأثير غير موجود، معناه لا وجود للمكان المطلق، بل فقط مكان نسبي وسرعة نسبية.. ولقد أثبتت الفيزياء النسبية لاحقاً، واعتماداً على التجربة السابقة، ضرورة التخلي عن فرضية الأثير كحامل للضوء وطرده فكرة الوسيط تماماً من الفيزياء.

2- مشكلة الإشعاع الأسود: من أهم النتائج التجريبية التي أحدثت ثورة في مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية، تلك المتعلقة بالإشعاع الصادر من الأجسام عند تسخينها. فمعلوم أنه عند تسخين جسم ما يتغير لونه مع زيادة درجة الحرارة فيبدأ بالأحمر ثم الأبيض ثم الأزرق، وإذا تكلمنا بلغة الفيزياء نقول إن الإشعاع المنبعث من هذا الجسم يبدأ بترددات ضعيفة، وتزداد الترددات كما ارتفعت درجة الحرارة فاللون الأحمر ذو تردد قليل في منطقة طيف الإشعاع مقارنة باللون الأزرق. وعليه فإن التردد للإشعاع المنبعث من جسم ما يعتمد على طبيعة الجسم ذاته. ويوجد في الفيزياء ما يسمى بالجسم المثالي، وهو الذي يمتص أو يبعث كل الترددات ويُصطلح عليه باسم **الجسم الأسود**، وهو حالة مثالية لأي مادة تصدر إشعاعاً، وهذا الإشعاع المنبعث من الجسم الأسود يسمى إشعاع الجسم الأسود.

حسب الفيزياء التقليدية كان الاعتقاد أن الجسم الأسود يكتسب الطاقة بشكل متصل ثم يقوم بإشعاعها بشكل متصل أيضاً على شكل موجات، وذلك نتيجة توتر الإلكترونات في مدارات ذرة الجسم الساخن. وقد بينت الفيزياء الحديثة على يد **ماكس بلانك (1858-1948 M. Planck)** خطأ هذا التصور، وكشفت أن إشعاع الجسم الأسود بعد تسخينه يُعيد إطلاق الطاقة التي اكتسبها من التسخين على شكل وحدات أو

(12) - المرجع نفسه.

حبات من الطاقة بشكل انفصالي أي متقطع ذلك لأن « الطاقة مثلها مثل الكهرباء والمادة لا يمكن تصورها إلا من منظور انفصالي، فهي لا تظهر إلا بكيفية متقطعة على شكل وحدات. وأن الأجسام إذا امتصت أو أصدرت شعاعاً، فإن ذلك يقع بشكل منفصل متقطع، كأن الطاقة وحدات أو حبات»⁽¹³⁾، إذن ما أثبتته بلانك أن الطاقة تنطلق من الجسم الأسود على شكل وحدات (كمّات) متقطعة، لأنه عند تعريض حزمة من الضوء على لوح معدني تنفلت الإلكترونات عن اللوح وتتبعثر في الهواء، وهذا لا يمكن أن يحدث إلا إذا كان الضوء عبارة عن وحدات.

3- مشكلة بقاء (حفظ) الطاقة في الديناميكا الحرارية: من المشكلات العلمية التي عرفتھا الفيزياء الكلاسيكية كذلك، والتي أدت إلى تصدع مبدأ الحتمية، مشكلة الظواهر الحرارية، تلك الظواهر التي كانت محكومة بقوانين البقاء أو الحفظ، وقد أقرت الفيزياء التقليدية ثلاثة قوانين للبقاء هي: بقاء المادة، بقاء الكتلة وبقاء الطاقة. وما نعنيه ببقاء المادة هو ثبات المقدار الكلي لما يحتويه جسم ما من المادة، باعتبار أن المادة في الكون ثابتة، لا تفنى ولا تستحدث. وبقاء الكتلة (وهو ما يرتبط بالتصور النيوتوني لأن الكتلة يقاس بها القصور الذاتي وكمية الجذب، وهي كمية ثابتة)، نعي به - كما أكد على ذلك الكيميائي لافوازييه (1743 - 1794 A.L.Lavoisier) - أن الوزن الكلي للمادة يبقى ثابتاً ولا يتغير في جميع التحولات الكيميائية⁽¹⁴⁾، فلا يمكن زيادة كتلة جسم ما بدون أن نأخذ من كتلة جسم آخر. أما بقاء الطاقة فيعني أن الطاقة لا تنعدم ولا تفقد، بل تتحول من صورة إلى أخرى، فالجسم إذا فقد طاقة في شغل ما، فإنها تعود في شكل حرارة⁽¹⁵⁾...

وقد كان التصور الكلاسيكي قائماً على مبدأ أو قانون عدم قابلية الظواهر الحرارية للارتداد، حيث تنتقل الحرارة في اتجاه واحد من الجسم الساخن إلى الجسم البارد ولا ترتد في الاتجاه المعاكس⁽¹⁶⁾، فنحن نعلم أن الحرارة تنتقل من الجسم الأسخن إلى الجسم الأبرد وليس العكس، لكن الحرارة لا تنساب دائماً في هذا الاتجاه، فالثلاجة الكهربائية هي مثال للحالة العكسية. فالآلة تخرج الحرارة من داخل الثلاجة إلى خارجها، فتجعل بذلك الداخل ابرد والجو المحيط بها أسخن، وهي لا تستطيع أن تفعل ذلك إلا لأنها تستخدم كمية معينة من الطاقة الميكانيكية التي يأتي بها المحرك الكهربائي، وهذه الطاقة تتحول إلى حرارة بمعدل متوسط حرارة الغرفة.. ولقد أثبتت الفيزياء الحديثة أن كمية الطاقة الميكانيكية التي تحولت إلى حرارة أعظم من كمية الطاقة الحرارية التي تسحب من داخل

(13) - علي حسين كركي، الاستيمولوجيا في ميدان المعرفة، الطبعة الأولى، شبكة المعارف، بيروت، 2010، ص 210.

(14) - يحيى طريف الخولي، فلسفة العلم في القرن العشرين، الطبعة الأولى، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، 2009، ص 321.

(15) - ماهو ملاحظ أن الفيزياء الكلاسيكية تفصل بين الطاقة والكتلة أو المادة بدليل قوانين البقاء؛ فهناك قانون بقاء الطاقة وقانون بقاء الكتلة، « لكن النظرية النسبية تنص على عدم التفرقة بين الكتلة والطاقة، فالطاقة كتلة وللكتلة طاقة، وسيصبح لدينا قانون واحد للبقاء: بقاء الطاقة والكتلة معاً... وبذلك أوجدت حلاً لمصدر الطاقة الشمسية؛ حيث أن كمية قليلة من الكتلة يمكن أن تتحول إلى كمية كبيرة من الطاقة؛ فالشمس تفقد كمية ضئيلة من الكتلة وفي المقابل تنتج قدراً عظيماً من الطاقة.. وهكذا تتحول الكتلة إلى طاقة.» انظر إلى عادل عوض، فلسفة العلم في فيزياء إنشتاين: بحث في منطق التفكير العلمي، الطبعة الأولى، دار الوفاء لدنيا الطباعة والنشر، الإسكندرية، 2005، ص 53.

(16) - يحيى طريف الخولي، فلسفة العلم في القرن العشرين، المرجع السابق، ص 122.

الثلاجة، فإذا نظرنا إلى الحرارة ذات الدرجة الأعلى أو الطاقة الميكانيكية أو الكهربائية، على أنها طاقة من مستوى أعلى، كانت الطاقة التي تهبط أكثر من الطاقة التي تعلقو في الثلاجة⁽¹⁷⁾، ويكشف لنا هذا المثل أن قانون عدم القابلية للانعكاس وان كان يبدو معقولا إلا انه يؤدي في نهاية المطاف إلى نتائج خطيرة حيث ينزع الصرامة من القانون العلمي ويجعله مجرد قانون احتمالي، وهو بذلك يدق أولى المسامير في نعش مبدأ الحتمية. فهذا القانون الذي احتل مكانه في الصياغة الميكانيكية الحتمية للكون لا يتنبأ بصورة مطلقة بما سوف يحدث وإنما فقط بما يمكن أن يحدث، ذلك أن « كمية الحرارة في جسم ما تتحدد حسب حركة جزيئاته، فكلما ازداد متوسط سرعة الجزيء ارتفعت الحرارة. وينبغي أن ندرك أن هذه العبارة لا تشير إلا إلى متوسط سرعة الجزيء، لأن الجزيئات المنفردة قد تكون لها سرعات متباينة تماما. فإذا حدث اتصال مباشر بين جسم ساخن وجسم بارد، اصطدمت جزيئاتهما. وقد يحدث من آن لآخر أن يصطدم جزيء بطيء بجزيء سريع فيفقد كل سرعته وتزداد سرعة الجزيء السريع، لكن هذه حالة استثنائية. لكن الذي يحدث على وجه الإجمال هو تعادل السرعات عن طريق الصدمات، وهكذا يفسر عدم القابلية للانعكاس بأنه ظاهرة امتزاج تشبه تقلب أوراق اللعب⁽¹⁸⁾. والنتيجة أن قانون الثاني في الديناميكا الحرارية (الثرموديناميك) - قانون الانتروبي - هو ضربة للحتمية وبيان زيفها، فهو يقوم على تنبؤات تقريبية لا احتمالية مما جعل هذا العلم من الأوائل الذي يستخدم الاحتمال والإحصاء بدل النتائج القائمة على الحتمية التي تحكم المستقبل كما تحكم الحاضر والماضي.

هذا، وبينت كشوفات العلم الحديث زيف مبدأ بقاء المادة الذي سنفصل فيه عند حديثنا عن النشاط الإشعاعي للذرة. وبقي قانون ثالث من قوانين البقاء أو الحفظ الذي أقرتها الفيزياء الكلاسيكية ونعني به بقاء الكتلة فقد بدأت الثورة عليه ببحث نظري قام به ج. طومسون (1856 - 1940 *J.J.Thomson*)، أثبت فيه أن كتلة الجسم المشحون بالكهرباء يمكن أن تتغير بتحريكه، وكلما تحرك أكثر كلما أصبحت كتلته أكبر. وهذه النتيجة قد أكدتها لاحقا النظرية النسبية لما أثبت إنشتاين (1879 - 1955 *A.Einstein*) أن كتلة الجسم تتناسب طرديا مع السرعة، وان الكتلة الجسم تتجه إلى مالا نهاية كلما اقتربت سرعته من سرعة الضوء. وهي تعارض تماما المفهوم النيوتوني ببقاء الكتلة. وبذلك بدأت معاقل الحتمية والبناء الميكانيكي تنهار الواحد تلو الآخر.

4 - النشاط الإشعاعي: من بين الظواهر، أيضا، التي عجزت الفيزياء الكلاسيكية عن تفسيرها ظاهرة النشاط الإشعاعي، حيث كشفت الفيزياء الحديثة أن اليورانيوم يقذف إشعاعا متصلا لا ينقطع، في أي وسط وفي أي زمن. يقذفه بذاته وليس كنتيجة لأي إثارة خارجية. وكان هذا اكتشاف العالم الفرنسي هنري بيكرل (*H.Bacquerel*) سنة 1896 م.

لقد تبين أن هذا النشاط الإشعاعي يُحدث انفجار ذرات المكونة له، وهذا الانفجار يحدث بصورة تلقائية ولا تحدده أي شروط. والأمر لا يقتصر فقط على اليورانيوم وإنما هو ظاهرة شاملة لكل المواد المشعة ف« الراديوم مثلا

(17) - ريشباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ترجمة فؤاد زكريا، دار الكتاب العربي، القاهرة، 1968، ص 145.

(18) - المرجع نفسه .

وهو من أقوى العناصر من ناحية النشاط الإشعاعي، يقذف دوماً بثلاث أنواع من الأشعة: ألفا، بيتا وغاما. تتفكك ذراته بمجرد مرور الزمن عليها، وتختلف من ورائها ذرات من الرصاص والهليوم. لذا تنخفض حجم كتلة الراديوم باستمرار، ويحل محلها رصاص وهليوم⁽¹⁹⁾، وهنا نعود إلى الفيزياء الكلاسيكية، فمن المعلوم أن قوانينها تقوم على مبدأ السببية العام - الذي هو الوجه المقابل للحتمية - الذي ينص على أنه لكل حادث سبب هو علة حدوثه. وهنا يبقى هذا المبدأ عاجزاً عن إعطاء تفسير لهذا النشاط الإشعاعي مادام لكل حادث علة؛ بحيث لا يوجد علة لانطلاق الطاقة من اليورانيوم والراديوم وكافة العناصر التي تشع طاقة تستمر بلا انقطاع لملايين السنين. كما أن انخفاض حجم كتلة الراديوم دليل آخر يضرب قانون من قوانين التصور الميكانيكي، وهو قانون بقاء الكتلة.

وكنا قد أشرنا أن الراديوم مثلاً يتناقص في حجم كتلته بمرور الزمن، وإن ما يحكم معدل هذا التناقص هو قانون من طبيعة لاحتمية وليس من طبيعة حتمية رياضية صارمة حيث إنه « في كل ميلغرام من الراديوم يتحلل تلقائياً حوالي 500 مليون ذرة كل ثانية. وفي كل 1600 عام⁽²⁰⁾ يتحلل نصف غرام من مادة مقدارها غرام ويبقى النصف الآخر وهكذا. ومن الممكن التنبؤ على درجة التقريب بعدد الذرات التي ستحلل في زمن معين، لكن مالا السبيل إليه إطلاقاً هو التنبؤ الحتمي بالعدد الذي سيبقى من 2000 من ذرات الراديوم مثلاً بعد عام، يمكن ترجيح درجة احتمال بقاء 2000 ذرة، ودرجة احتمال بقاء 1999 ذرة، ودرجة بقاء 1998 ذرة... فأعلى درجة من الاحتمال هي احتمال تحلل ذرة من 2000 من الذرات⁽²¹⁾. حيث إنه « يستحيل تحديد الذرة المفردة التي ستحلل، ولا يتوقف مصير الذرة على عمرها، ولا هي تتحلل لأنها استنفذت قدرتها على البقاء، ولا هي تتحلل لأنها تعرضت لعوامل خارجية، بل فقط لأن المصادفة اللاهتومة قد حلت بها⁽²²⁾، ويتضح مما سبق، أنه لا يوجد أي وسيلة لمعرفة لماذا هذه الذرة تفككت بدلاً عن ذرة أخرى، ولا أي منها سوف يتفكك، ولا يوجد أي قانون فيزيائي يسمح بوصف سبب هذا الاختيار، وبالتالي تفشل كل التبريرات العلية الحتمية، حيث إنه لا وجود لعلل أو شروط محددة تفسر تحلل ذرة ما عما سواها من الذرات، ولا وجود لقانون حتمي ينطبق على بصورة صارمة على ذرة معينة في مسارها، ومن ثم فإن كل محاولة لتفسيرها تفسيراً علياً وحتمياً ستبوء بالفشل مهما كان رأي المؤمنين بالحتمية والمدافعين عنها.

(19) - المرجع نفسه، ص 331.

(20) - لقد عرّف الفيزيائيون أن نصف هذا الراديوم فقط هو ما سيبقى بعد 1600 عاماً، وهو ما يُعرف بنصف عمره. وبعد 1600 عاماً أخرى سيبقى ربعه فقط، وهكذا... إلا أن لحظة ذرة مفردة من الانحلال هي مصادفة بحتة، إذ يمكن أن تنحل خلال يوم، أو تبقى 10.000 عام.. وحياتة نصف العمر لا تقتصر على الراديوم فقط بل تشمل كل المواد المشعة: فنصف حياة اليورانيوم 4500 مليون سنة، والكربون المشع 5700 سنة، والفسفور المشع حوالي 14 يوماً، واليود المشع 8 أيام، وهناك مواد ما هو قصير العمر؛ بعضها حياته تدوم ساعات، وبعضها دقائق، وبعضها ثوان فقط..

(21) - المرجع نفسه.

(22) - المرجع نفسه.

5 - ميكانيكا الكم ومبدأ اللاتحديد وانهيار الحتمية: إذا كانت المشكلات السابقة أدت إلى تصدع مبدأ الحتمية وأحدثت شروخ في أساسات البناء الميكانيكي حتى أصبح آيلا للسقوط، فإن مبدأ اللاتحديد قد أدى إلى انهيار الحتمية - الني هي عماد البناء الميكانيكي - بالكامل.

إن مبدأ اللاتحديد لم يكن إلا نتيجة من نتائج تطور الفيزياء وظهور نظريات جديدة، كان أهمها على الإطلاق نظرية ميكانيكا الكم⁽²³⁾ مع ماكس بلانك والنسبية على يد ألبرت إنشتاين (1879 - 1955 A.Einstein). وبظهور هاتين النظريتين واقتحام العالم دون الذري أصبح الدفاع عن الحتمية مستحيلا. وسنستعرض اختصارا نظرية ميكانيكا الكم وتطورها لفهم الخلفيات التي أدت إلى ظهور مبدأ اللاتحديد.

من المعروف، أن الميكانيكا هو ذلك الفرع من الفيزياء الذي يدرس تأثير القوى في حركة الأجسام. وضمن التصور الكلاسيكي كان الكون يبدو مكونا من عناصر متميزة، يشغل كل منها موقعا محددًا وله سرعة محددة. وتتفاعل هذه العناصر مع بعضها بواسطة قوى التجاذب. مبدئياً كان يمكن معرفة هذه العناصر والقوى المؤثرة عليها وحساب تأثيراتها بدقة. وعلى ذلك يمكن القول أن الميكانيك الكلاسيكي هو نظام رياضي قائم على أساس قوانين الحركة، التي هي قوانين نيوتن، والغاية من هذا النظام الرياضي هو حساب حركات الأجسام بدلالة الشروط المبدئية المعروفة. وبرغم من نجاحات تطبيق الميكانيك الكلاسيكي على مجال واسع من الظواهر الفيزيائية، إلا أن بدايات القرن العشرين أوضحت انه ليس جميع الظواهر كانت معروفة أو يمكن تفسيرها بهذا الميكانيك، فكثير من الظواهر المشاهدة تجريبيا كانت غير قابلة للتفسير، الأمر الذي أدى إلى تطوير نظام جديد لعلم الحركة هو علم *(Quantum)*.

تعد نظرية ميكانيكا الكم ثاني أهم نظرية فيزيائية في القرن العشرين بعد النظرية النسبية، وكانت بمثابة ثورة جديدة في الفيزياء بإحداثها لانقلاب في المفاهيم التي يقوم عليها هذا العلم، وتتكون نظرية ميكانيكا الكم أو الكوانتم من أصناف المادة وكل أشكال الضوء أو الإشعاع من جسيمات متناهية الصغر، هي الالكترونات والبروتونات والنيوترونات الفوتونات وبضعة جسيمات أخرى. فميكانيكا الكم هي التعبير عن الفيزياء الملائمة لهذه الجسيمات، فهي نظرية عامة يمكن أن نشق منها البقية الباقية من الفيزياء، وفعليا تعد ميكانيكا الكم الفيزياء بأسرها⁽²⁴⁾، وإن كان لماكس بلانك الفضل الأكبر في قيام هذه النظرية، إلا أن هناك الكثير من الفيزيائيين الذين ساهموا في تطويرها، منهم نيلز بور، فيرنر هيزنبرغ، لويس دي برولي وإروين شرودنجر.. وقد بدأت هذه

(23) - ظهر مصطلح الكم لأول مرة كمبدأ سنة 1900م مع ماكس بلانك، ولم تكتمل معالمة كنظرية إلا مع أربعينيات القرن الماضي حين تمت صياغة ميكانيكا المصفوفات مع نيلز بور والديناميكا الموجية مع شرودنجر. ولقد شاع لفظ الكم في اللغة العربية كمصطلح للكوانتم، مع أن مجمع اللغة العربية وضع الكمومة كمصطلح له، وهو أكثر صوابا من الأول.

(24) - رولان أومنيس، فلسفة الكوانتم، ترجمة: أحمد فؤاد باشا وبني طريف الخولي، عالم المعرفة، العدد 350، المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب، الكويت، أبريل 2008، ص 173.

النظرية يبحث نشره بلانك سنة 1900م، وأتبعه ببحوث أخرى⁽²⁵⁾. ولكن ما هي الخلفية العلمية التي أدت إلى ظهور هذه النظرية؟

كان منطلق نظرية ميكانيكا الكم هو مشكلة إشعاع الجسم الأسود، حيث إن للأجسام السوداء خاصية امتصاص أشعة الشمس، وبواسطة هذه الأشعة يسخن الجسم إلى أعلى درجة حرارة قياساً بالأجسام الأخرى، فيصبح عندئذ الجسم الأسود مصدراً للضوء عند تسخينه في درجة حرارة مرتفعة جداً. لذلك استخدم العلماء الجسم الأسود كجسم مقياسي لوضع قوانين الإشعاع الحراري بصيغة كمية رياضية. ونتيجة البحث في الجسم الأسود ظهر في الفيزياء الحديثة قانونان، وهما⁽²⁶⁾:

– **قانون ستيفان وبولستمان**: هذا القانون وضعه أولاً العالم النمساوي جوزيف ستيفان (*J.Stiphan*) في سنة 1879م، وينص على أن طاقة الإشعاع الكلية المنبعثة من أي جسم، تتناسب طردياً مع درجته المطلقة مرفوعة القوة إلى أربعة. ثم جاء فريدريك بولستمان (*F.Boltzmann*) وأثبت قانون ستيفان، فأصبح القانون يعرف باسمهما.

– **قانون فين: وليام فين (*W.Wine*)** هو أيضاً نمساوي، ينص قانونه على أنه كلما ارتفعت درجة حرارة الجسم الأسود، فإن طول الموجة المناظرة لأقصى سطوح للضوء المنبعث منه يجب أن تكون أقصر. إن القانون الأول يبحث صفة أخرى من صفات الأجسام الساخنة إذ يقدم لنا العلاقة بين الطاقة الكلية المنبعثة من الجسم الساخن على مختلف الأطوال الموجية ودرجة حرارة الجسم. وهذا يعني أننا عندما ننظر إلى جسم ساخن ونراه بلون معين فإن هذا لا يعني أن الجسم يبعث الطول الموجي الخاص بذلك اللون، بل هو في الحقيقة يبعث كل الألوان لكن أكثرها شدة هو اللون الذي نراه. هذه الخاصية وهذا القانون له تطبيق مباشر في معرفة درجة حرارة الأجسام، إذ يمكن عن طريق معرفة طول الموجة عن طريق التحليل الطيفي حساب درجة حرارة الجسم⁽²⁷⁾.

أما القانون الثاني، فيثبت العلاقة بين طول الموجة وشدة الإشعاع، فلو أننا سخنا أية مادة بها فلزات فوق لهب قوي ومباشر فإننا سنرى أن المادة تصبح حمراء، ثم إذا ما زادت حرارتها أكثر أصبحت برتقالية، وإذا زدنا الحرارة أصبحت صفراء، ثم إذا زادت حرارتها أكثر أصبحت زرقاء داكنة ثم بيضاء، هذه الحالات يعبر عنها قانون فين الذي يقرر «تناسب الطول الموجي عند الطاقة العظمى المنبعثة عن جسم ساخن عكسياً مع درجة حرارة الجسم»⁽²⁸⁾.

(25) – محمود فهمي زيدان، من نظريات العلم المعاصر إلى المواقف الفلسفية، الطبعة الأولى، دار الوفاء لدنيا الطباعة والنشر، الإسكندرية، 2004، ص

(26) – معنى طريف الخولي، فلسفة العلم في القرن العشرين، المرجع السابق، ص 199.

27 Claude Aslanqul , Mécanique quantique , bibliothèque nationale, Paris,2010 p14.

28. Ibid , p 14

ولقد كانت الوقائع تثبت صحة القانونين كل منهما على حده. لكن العالمان الإنجليزيان رايلي وجينز (Rayleigh & Jeans) بيّنا أن الجسم الأسود مكون من عدد الذبذبات المشحونة التي تتحرك حركة توافقية بسيطة، وتطلق أشعة كهرومغناطيسية أثناء حركتها، حيث تتوزع كثافة الطاقة المنبعثة من الجسم الأسود بالتساوي مع كثافة الطاقة للمتذبذبات عند الاتزان الحراري⁽²⁹⁾، وبالتالي يمكن القول أن قانون رايلي وجينز هو صياغة شاملة للقانونين السابقين، حيث إن قوة الإشعاع المنبعث من جسم ساخن تتناسب طردياً مع درجة حرارته المطلقة وعكسياً مع مربع طول الموجة الضوئية المنبعثة منه⁽³⁰⁾، لكن التجارب التي أجريت لم تثبت ذلك مطلقاً، فقد فشلت كل المحاولات المستندة إلى الميكانيك الإحصائي الكلاسيكي في وصف وتفسير إشعاع الجسم الأسود خصوصاً في الترددات العالية، حيث تبدي القوانين المتوقعة انحرافاً كبيراً عن الواقع وهذا ما عرف باسم الكارثة فوق البنفسجية، التي أدخلت نظريات الضوء في مأزق حقيقي لم تخرج منه إلا بظهور ميكانيكا الكم.

قلنا إذن، إنه عند تسخين جسم ما عند درجة حرارة عالية فإنه يتوهج ويبعث إشعاعاً أحمر، وبزيادة الحرارة يتحول اللون إلى برتقالي، ثم أصفر، وعندما تصبح درجة الحرارة عالية جداً يتحول اللون إلى لون أبيض. هذا ما كان قابلاً للملاحظة، لكنه لم يكن قابلاً للتفسير، وحتى التجارب التي أجريت بهذا الشأن لم تُضفِ إلى نتيجة تذكر.

وعمل بلانك على حل هذه المشكلة محاولاً إيجاد علاقة بين قانون ستيفان/بولتسمان وقانون فين بطريقة مخالفة لما قام به رايلي وجينز، لكنها تؤدي إلى نتائج مقبولة. وتمكن من ذلك بافتراض « أن الإشعاع ينبعث في وحدات منفصلة لا متصلة، ويسمى كل وحدة من هذه الوحدات كما، وهذا الكم مقدار ثابت مهما اختلفت كتلة المادة أو كثافتها، وأن الإشعاع ينبعث من المادة الإشعاعية في هيئة جزيئات لا موجات، أو أن الإشعاع من طبيعة ذرية جزيئية»⁽³¹⁾، وبناءً على هذا الافتراض قدم بلانك تفسيراً صحيحاً لإشعاع الجسم الأسود سنة 1900م. مبيناً أن الإشعاع المنبعث من الجسم الأسود سببه اهتزاز الإلكترونات المكونة لمادة هذا الجسم، وهذه الاهتزازات ذات ترددات عالية، وطاقة الإلكترونات المهتزة والمسببة لانبعث الشعاع الأسود من المادة مسموح لها أن تأخذ أي قيمة من الطاقة. والجديد هنا هو أن الكميات الفيزيائية المتغيرة في التصور الفيزيائي الكلاسيكي تملك قيماً متصلة لكن بلانك أحدث تغييراً جوهرياً في هذا المفهوم الفيزيائي، فكانت فرضية أن طاقة الإلكترونات المهتزة مكممة وقيمها منفصلة وتتناسب برقم كمي صحيح (أي عدد صحيح) مع التردد، وفق المعادلة الرياضية التالية⁽³²⁾: $E = nhv$ حيث إن:

$$- E = \text{طاقة المتذبذب}$$

²⁹ Ibid , p 14-15.

⁽³⁰⁾ - المرجع السابق، المكان نفسه.

⁽³¹⁾ - محمود فهمي زيدان، من نظريات العلم المعاصر إلى المواقف الفلسفية، الطبعة الأولى، دار الوفاء لدنيا الطباعة والنشر، الإسكندرية، 2004، ص

³² -Claude Aslanqul ,Op ,Cit , p15-16.

- $n =$ عدد صحيح

- $h =$ ثابت التناسب المعروف بثابت بلانك

v هو تردد المتذبذب أو تردد الضوء ويُقاس بـ إرج/ثانية

والارج erg وحدة الطاقة والثانية وحدة الزمن، وهذا الثابت هو كم الطاقة الصادرة عن الذرة في الثانية الواحدة، وهو ثابت بمعنى أن كمية الطاقة المشعة، في كل حالة من حالات انبعاث الإشعاع مقسوما على التردد (الذي هو عدد الذبذبات في الثانية) يعطينا دائما مقدارا أو كما ثابتا⁽³³⁾. وهذا الكم الثابت ضعيل جدا تبلغ قيمته حوالي $10 \times 6.55 \times 10^{-28}$ ارج في الثانية أي الرقم 6.55 مقسوما على واحد أمامه سبعة وعشرون صفرا. ومادام h ثابت فإن الطاقة E تتغير دائما بتغير التردد v ⁽³⁴⁾.

ومن خلال هذا الضبط الرياضي الدقيق كشف بلانك أن الضوء يتكون من جزيئات ذرية تسمى الفوتون (الذي هو جسيم عديم الكتلة ويتنقل دائما بسرعة الضوء، أي 300000 كلم / ثا). حيث يكون انبعاث الإشعاع في شكل وحدات أو كمات منفصلة، وأن « الكوانتم هو ذرة الطاقة، وحجم هذه الذرة - أي كمية وحدة الطاقة - تتوقف على طول موجة الإشعاع الذي ينتقل به الكوانتم، فكلما كان طول الموجة أقصر كان الكوانتم أكبر»⁽³⁵⁾. كما بيّن أن الطابع الانفصال في انبعاث الطاقة خاصة جوهرية للذرة حين تتفاعل الاهتزازات مع الإشعاع، وأن الحركة المنفصلة هي خاصية العالم الأصغر، فالإلكترون مثلا يغير من مداره فجأة؛ حيث يكون في نقطة معينة في لحظة معينة ويكون في اللحظة الزمنية التالية في نقطة أخرى من دون مشاهدته يتحرك حركة متصلة، وإنما يقفز. وهذا ما كشفت عنه تطورات نظرية الكم، عندما بدأت بدراسة الذرة والطبيعة الذرية للضوء، فظهرت عدة نماذج، نوجزها كما يلي:

أ - نموذج رذرفورد: استوحى رذرفورد (1871 - 1937 *E.Rutherford*) هذا النموذج من النموذج الشمسي؛ حيث شبه فيه الذرة بمجموعة شمسية، تحتل فيها النواة المركز، والالكترونات تسبح حولها، لذلك سمي هذا النموذج بالنموذج الكوكبي. قام إذن رذرفورد بـ « وضع الأنموذج الكوكبي للذرة، وبمقتضاه تكون الذرة مؤلفة من نواة يدور حولها عدد معين من الإلكترونات، وكأنها كواكب تسير في مداراتها»⁽³⁶⁾، وحتى يتحقق من قطر الذرة⁽³⁷⁾، الذي هو حجم النواة الموجبة، قام سنة 1911م بتجربة تسليط سيل من الجسيمات موجبة الشحنة والمعروفة بجسيمات ألفا على صفيحة ذهب رقيقة جدا. وكانت النتيجة أن عددا كبيرا من جسيمات ألفا انبعث

(33) - المرجع نفسه، ص 22.

(34) - يعني طريف الخولي، فلسفة العلم من الحتمية إلى الاحتمية، مرجع سابق، 347.

(35) - ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، مرجع لسابق، ص 154.

(36) - المرجع نفسه، ص 154 - 155.

(37) - أي يتحقق من نموذج طومسون، الذي هو أول نموذج للذرة، يجعل الشحنة الموجبة كلاً مجتمعاً في حيز قطره 10^{-8} سم، وهو الجزء الموجب الذي تجتمع فيه الالكترونات، عددها يساوي مجموع الشحنة الموجبة التي في النواة.

في اتجاهات مختلفة، مما أوحى أن حجم الجزء الموجب من الذرة صغيرا جدا، وتبين لاحقا إن الجزء الموجب في الذرة قطره لا يتجاوز 10^{-12} سم، أي $10000/1$ من قطر الذرة الكلي، بمعنى هو جزء من مليون مليون جزء من حجم الذرة⁽³⁸⁾. وحسب تقدير الكيميائيين للحيز الذي تتفاعل فيه الإلكترونات لتكوّن مركبات كيميائية جديدة فإن الذرة مكونة من نواة صغيرة موجبة الشحنة تدور حولها إلكترونات سالبة الشحنة. لكن حسب قانون التوزيع المتساوي للطاقة، فإن الإلكترون الذي يدور حول النواة يجب أن يصدر أموجا كهرومغناطيسية وفقا لمعادلات ماكسويل التي تزداد شدتها إلى ما لا نهاية ، وبهذا يقترب أكثر فأكثر من النواة حتى تنهار جميع الإلكترونات ضمن النواة ، لكن هذا لا يحصل في الواقع⁽³⁹⁾. أي إذا افترضنا أن الإلكترونات تتحرك في مدارات دائرية حول النواة فإنها تكون في حالة تسارع، والشحنات المتسارعة تشع طاقة بموجب النظرية الكهرومغناطيسية، وبالتالي فإن الإلكترونات الذرة في نموذج رذرفورد سوف تسقط نحو النواة في زمن قصير وتنهار البنية الذرية، وهذا مناقض للواقع. فالمشكلة التي صادفت هذا النموذج الكوكبي هي أن دوران الإلكترونات في هذه الأفلاك يُكسبها تسارعا بسبب جذب النواة، وهذا التسارع يؤدي إلى فقدان الإلكترونات لطاقتها الكامنة التي تمتلكها بسبب موقعها من المادة الموجبة وبسبب أن يصدر الإلكترون إشعاعا بسرعة تستنزف طاقته. ولذلك لم يحظ هذا النموذج بالقبول عند الفيزيائيين.

ب - نموذج بور: في محاولة من نيلز بور (1885 – 1962) *(N.H.Bohr)* للتغلب على الصعوبات التي واجهت نموذج رذرفورد للذرة، قدم نمودجا بافتراض أن الإلكترونات لا يمكنها الحركة سوى في مدارات دائرية يكون فيها الإلكترون مستقر أي لا يشع، وإلا فإنه سوف يفقد كل طاقته ويسقط على النواة بعد مرور فترة من الزمن. فالإلكترون لا يمكنه الإشعاع بالفعل إلا حين الانتقال إلى مدار أصغر. وحين يشع، فإنه يقذف كمّا من الطاقة المضيفة. والإلكترونات تدور حول النواة في مدارات دائرية، حيث تكون قيمة الزخم الزاوي فيها متساوية لعدد صحيح من ثابت بلانك⁽⁴⁰⁾ أي $mvr = nh$

حيث تساوي n عددا صحيحا مثل 1، 2، 3... وهذه الأعداد تسمى مستويات الطاقة في الذرة. وفي حالة استثارة الذرة فإن الإلكترون سوف ينتقل إلى مستوى طاقة أعلى ثم يعود إلى حالته الأولى مع انبعاث فوتون ذو طاقة مساوية تماما للفرق بين طاقتي المستويين. وتحدث الاستثارة عندما ينتقل زخم الفوتون إلى إلكترون فيدفعه إلى الحركة ومن التصادم بين الفوتون والإلكترون يكتسب الإلكترون المتحرك طاقة حركية تساوي الفرق بين طاقة الفوتونين، وقد وجد بور أن للإلكترون مدارات محددة تتباعد عن بعضها بمسافات معلومة حسب المعادلة التالية⁽⁴¹⁾:

$$r_n = a_0 n^2$$

³⁸ - Claude Aslanqul , op.cit, p22.

³⁹ - Ibid , p 22-23.

⁴⁰ - Ibid , p 24.

⁴¹ - Ibid , pp 24-25

حيث إن a هو اقل قطر ممكن لمدار الإلكترون يقدر بـ 0.5 أنكستروم، والأنكستروم هو جزء واحد من عشرة آلاف مليون جزء من المتر، أي جزء واحد من عشرة آلاف جزء من المايكرون. وأن الذرة تتكون من مركز شحنة موجبة يسمى نواة وتتحرك حولها إلكترونات.. أي انه يمكن « أن نتخيل ذرة العنصر الكيميائي في شكل نظام شمسي مصغر، يتركز الجزء الأكبر من كتلتها في نواتها موجبة الشحنة والتي يبلغ قطرها نحو $10/5$ من قطر الذرة، وخلف هذه النواة تدور إلكترونات أخف وزنا يكفي عددها لمعادلة شحنة النواة، أما القطر الخارجي في معظم الذرات فيبلغ نحو $10/7$ من المليمتر»⁽⁴²⁾.

ج - نموذج دو برولي: لقد واجه العلماء كثيراً من الصعوبات في وصف طبيعة الضوء، فبعض التجارب تبين الطبيعة الموجية للضوء مثل الضوء الأبيض لمركبات طيفه عند مروره داخل منشور. والبعض الآخر من التجارب يثبت الطبيعة الجسيمية للضوء مثل التأثير الكهروضوئي.

وكانت بداية التفسير الثنائي ونقطة التحول في نظريات الضوء والمادة من الفكرة التي تقدم بها الفيزيائي الفرنسي **لويس دو برولي (1882 - 1987 L.De Broglie)**، من أن الضوء مؤلف من جزيئات ومن موجات معاً، ونقل هذه الفكرة إلى ذرات المادة التي لم يسبق لأحد أن فسرها على أساس موجي. فوضع نظرية رياضية يكون فيها كل جزيء صغير من المادة مقترنا بموجة، ومن ثم فهذا الكشف يمثل بداية عهد التفسير المزدوج بوصفه نتيجة محتومة للطبيعة التركيبية للمادة⁽⁴³⁾، حيث تبين أن هناك موجات تسلك سلوك الجسيمات، كما أن هناك جسيمات تسلك سلوك الأمواج:

- السلوك الموجي للجسيمات: عند توجيه حزمة من الإلكترونات على بلورة، تتصرف السطوح الداخلية للبلورة كأنها شقوق دقيقة تمر الإلكترونات من خلالها، فتتحرف على الشاشة أهداف تداخل، وتسمى هذه الظاهرة حيود الإلكترون وهي ظاهرة شبيهة بحيود الضوء حينما يعطف حول الحواف عند اصطدامه بأجسام دقيقة (يمكن الرجوع إلى ذلك في مشكلة الضوء)، وهذه الظاهرة لا يمكن تفسيرها إلا بالقول أن للجسيمات سلوكاً موجياً.

- السلوك الجسيمي للأمواج: كشفت أبحاث أن الضوء ليس حركة موجية لان الضوء طاقة مغناطيسية ينتقل مثل الجسيمات ويتصرف مثلها، مما يعطي الضوء طبيعة جسيمية. غير أن الضوء يتألف أيضاً من مجال كهرومغناطيسي مما يجعله يتذبذب بشكل موجي، ويعطيه طبيعة موجية. ومن هنا جاءت الطبيعة الثنائية للضوء، لكن هذا « يبدو هذا مستعصياً على الفهم إذا ما فكرنا بمفاهيم الفيزياء الكلاسيكية وبخنا عن الحتمية، ويبدو واضحاً بسيطاً إذا أدخلنا الاحتمالات في صلب الظواهر الأولية، حيث إن المادة التي افترضها دو برولي هي توزيع

(42) - فيرنر هيزنبرغ، المشاكل الفلسفية للعلوم النووية، ترجمة: أحمد المستحير، بدون طبعة، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، 1972، ص 104.

(43) - ريشنباخ، المرجع السابق، ص 156.

لاحتمال وجود الفوتونات على المكان، وفكرة الاحتمال هنا أساسية»⁽⁴⁴⁾، وبذلك يدخل مفهوم الاحتمال كمفهوم أساسي في الفيزياء.

وجاء **شرودينجر** (1887-1961 *I.Shrödinger*) ليضع معادلة رياضية تفاضلية بناء على ما توصل إليه دو بروي من نتائج. غير أن دو بروي كان يقول بالطبيعة الثنائية للضوء، أما شرودينجر فافتراض انه يمكن الاستغناء عن الجسيمات والإبقاء على الموجات، التي تتجمع في حيز ويتكون عنها ما يشبه الجسيم. وقال أن هناك موجات تسلك سلوك الجسيمات. وفي التصور الموجي أن حركة الجسيم لا تتحدد إلا بشكل احتمالي. والصورة الاحتمالية - بحسب معادلة شرودينجر - تتضمن أن الجسيم يمكن أن يوجد في أكثر من موضع في آن واحد نتيجة تركيب الحالات المتعددة المحتملة للجسيم. ولأن الرأيين - رأي دو بروي وشرودينجر - مختلفان ولا يمكن قبولهما معا؛ جاء **ماكس بورن** (*Max Born*) وأعلن أن الموجات لا تمثل أكثر من احتمال⁽⁴⁵⁾، بمعنى انه لا يمكن أن تتحكم في سلوكها قوانين السببية الحتمية، وإنما قوانين احتمالية من حيث إنها مقادير رياضية. لقد أصبحت فكرة الاحتمال تتعمق أكثر فأكثر في أبحاث الفيزياء الحديثة، «وعندما نقول الاحتمال إنما ذلك لا يعني أكثر من إحلال الاحتمية محل الحتمية، بحيث أصبحنا نعرف القوانين الطبيعية التي تحكم حركة الإلكترونات حول النواة، نعرفها لدرجة تمكننا من صياغتها في شكل رياضي بالغ الدقة، ولكن لا نستطيع ترجمة هذه القوانين في صورة يمكن تخيلها إلا في شكل تقريبي فقط»⁽⁴⁶⁾.

هذه التطورات التي عرفتها الفيزياء هي التي أدت بهيزنبرغ (1901 - 1976 *W.Heisenberg*) إلى وضع مبدئه المشهور والمعروف باسم مبدأ اللاتحديد/اللاتعيين. فقد عمل هيزنبرغ تحت إشراف نيلز بور في دراسة أطراف المواد المتوهجة، وتمكن من استيعاب التصرف الموجي للجسيمات بشكل دقيق، ومن خلال دراسة الصفات الموجية للجسيمات تمكن من وضع مبدأ يسمى مبدأ عدم التحديد.

فلقد كان الاعتقاد السائد لدى العلماء، أن ميكانيكا نيوتن تستطيع تحديد حركة كل جزيء، وكل ذرة من المادة بشكل مطلق وتام، على مدى الزمان في الماضي والحاضر والمستقبل، وذلك بمعرفة القوى المؤثرة فيها والشروط المبدئية المحيطة بها عند لحظة محددة. أي إنه حسب صياغة لابلاس (1749-1827 *P.S.Laplace*) انه لو استطعنا تحديد موضع كل ذرة من ذرات المادة في الكون وسرعتها في لحظة ما، وعرفنا كل القوانين التي تحكم القوى الفاعلة بين تلك الذرات، لاستطعنا بذلك حساب تاريخ الكون بالكامل من الماضي إلى المستقبل البعيد.

غير أن مبدأ اللاتحديد - الذي هو في نفس الوقت تأكيد لفرضية دو بروي - يضرب هذه الصياغة الحتمية عرض الحائط ويُحدث قطيعة كبرى مع تصورات العلم الكلاسيكي؛ فحينما نتعامل مع أجسام العالم المجهرى أو مادون الذري فإنها لا تخضع بشكل عام لقوانين نيوتن أو الميكانيك الكلاسيكي، ففي علم الفلك مثلا يكون

(44) - بنى طريف الخولي، فلسفة العلم في القرن العشرين، مرجع سابق، ص 209.

(45) - بنى طريف الخولي، فلسفة العلم من الحتمية إلى الاحتمية، مرجع سابق، ص 356.

(46) - هيزنبرغ، المشاكل الفلسفية للعلوم النووية، مرجع سابق، ص 105.

التنبؤ بمسار كوكب بقياس سرعته وموقعه في مرحلة واحدة. وهي مسألة بسيطة هنا، فعن طريق قوة الجاذبية وقوانين نيوتن في الحركة، يمكن ربط السرعة والموقع بمعادلات وحساب المسار الدقيق لذلك الكوكب لسنين طويلة. لكن عندما يتعلق الأمر بالإلكترون، فالأمر يختلف من أساسها؛ إذ يمكن للعالم أن يقرر على وجه الدقة موقعه أو سرعته، لكنه لا يستطيع أن يحدد الاثنين في الوقت ذاته دون أن تتسلل إلى حساباته درجة من اللاتعيين. ذلك أن تسارع الإلكترون في منشأ الإشعاع لا يفصح عن نفسه، وموضوع التسارع ليس تحديدا كميًا أو رياضياً، كما اعتدنا على ذلك في الفيزياء الكلاسيكية، بل يعتمد على الحالتين الأولية والنهائية للذرة في صميم اللحظة التي تحدث فيها قفزة الإلكترون، مما يعني أن مستوى اللاتعيين لا يمكن اختزاله أبداً، ومهما كانت القياسات المستخدمة دقيقة، لا نستطيع أن نحدد مكان وسرعة إلكترون حول نواة الذرة في نفس اللحظة لكل من هما وبنفس الدقة دون الشك بقيمة أحدهما. إذن للدقة هنا حدودها، حيث «لا يمكن قياس مقدارين فيزيائيين مترادفين قانونياً كموضع الجزيء وسرعته في آن واحد بدقة»⁽⁴⁷⁾، بمعنى يتعذر تعيين الموقع والسرعة الابتدائين، وهو ما ينتج عنه تعذر التنبؤ بموقع الجسيم وسرعته في الزمن اللاحق، ببساطة إذا أردنا أن نحدد موقع الإلكترون بدقة يجب أن تصبح سرعته مساوية للصفر وهذا أمر غير ممكن لأن الإلكترون متحرك، وإذا أردنا أن نحدد السرعة بدقة نكون قد أضعنا موضع الإلكترون، أي لا يمكن وبنفس الدقة أن نحدد موضع وسرعة الإلكترون في آن واحد، فمن الضروري إذن تصور الإلكترون كشيء يوجد بكيفية متآنية في مواقع مختلفة، وهذا ما يهدم تماماً تصورات الفيزياء الكلاسيكية بتحديد كل مواقع الأجسام وسرعته في لحظة من لحظات الزمان. ومعنى ذلك أن الجزيئات الميكروسكوبية لا يمكن أن يُحدد لها مسار صارم، فذلك يستلزم معرفة الموضع والزخم بدقة في آن واحد، وهذا غير ممكن. أي أن العلاقة بين الموقع والسرعة علاقة احتمالية لا حتمية صارمة، ويحصل هذا أيضاً في الفيزياء النووية حيث لا نستطيع أن نتنبأ بدقة متى سيحصل انبعاث الجسيمات (الطاقة) من النواة المشعة. كما يحصل في كل المقادير التي تشتمل على أزواج مترافقة قانونياً كالطاقة والزمن، الزخم الزاوي والموقع الزاوي... فهناك حد أعلى لجداء دقة قياس المقدارين المقترنين بحيث يعني كل قياس متناه في الدقة لأحدهما عدم التحديد الكلي للمقدار الآخر، فيصبح ترتيب قياس أزواج المقادير المقترنة أمر ذو أهمية بالغة في ميكانيكا الكم، خلافاً لما هو عليه الحال في الميكانيك التقليدي، حيث إنه لم يعد بالإمكان التعبير عن هذه المقادير بدوال عددية، وإنما بمؤثرات تأخذ في بعض الحالات - خلافاً للدوال العددية - قيماً منفصلة وتنتقل بين هذه القيم بقفزات صغيرة هي كمات. وهذا يعني ضرورة التحلي عن تصور الإلكترون كما لو كان جوهرًا مادياً صغيراً يخضع لنفس قوانين التي يخضع لها النظام المعتاد⁽⁴⁸⁾، وينتج عن ذلك أن الجسيمات دون الذرية لا يمكن التنبؤ بمسارها فعلاً، ولا يمكن تطبيق السببية عليها، ولا ينطبق عليها التحديد الزماني والمكاني مجتمعين معاً، إذ ليس للقوانين السببية لميكانيكا نيوتن أي معنى في الجسيمات دون الذرية، وكل ما يمكن فعله هو دراسة سلوكها الاحتمالي كمجموعة تُدرس

(47) - محمد عبد اللطيف مطلب، الفلسفة والفيزياء ج2، بدون طبعة، دار الشؤون الثقافية والنشر، بغداد، 1985، ص 98.

(48) - سالم يفوت، فلسفة العلم المعاصرة ومفهومها للواقع، مرجع سابق، ص 72.

إحصائياً أو احتمالياً. فعند دراسة الإلكترون في منطقة الرصد على لوح حساس نجد أن مسار ارتحاله من منطقة التجهيز إلى منطقة القياس هو مسار غير يقيني وإنما احتمالي، فنحن لا نستطيع القول أنه موجود في نقطة محددة في زمن معين، وإنما نقول أن احتمال وجوده هو كذا وكذا، فهذا الارتحال هو انتشار احتمالات تعبر عنها الدالة الموجية لشروذنجر. ومن جهة أخرى، لا نعرف مكان سقوطه على اللوح الحساس ولكن نعرف احتمال ذلك فقط، وبالتالي فهذا « المبدأ بصورته العامة، يأخذ في اعتباره أدوات القياس، فينص على لا تعيين تكميلي، أي استحالة التعيين الدقيق لموضع الإلكترون وسرعته. لأننا إذا أردنا أن نحدد سرعته فلا بد من إثارة اضطراب في موضعه، ومن ثمّ فإن دقة احد الجانبين ستكون على حساب الجانب الآخر»⁽⁴⁹⁾، وعليه يتبين أن العالم الأصغر يتأثر بالملاحظة وأدوات القياس، إلى درجة يستحيل معها قياس موضع الجسيم وسرعته معاً، في نفس الوقت ونفس الدقة، ومن ثمّ لا يمكن تجاهل اثر أدوات الرصد والقياس على العالم الذري وهو الموقف الذي تبناه مدرسة كوبنهاغن أو الوضعية المنطقية، من ذلك مثلاً أنه « كي نعتز على كهرب ينبغي أن نزيه بضويته، وإن التقاء الضويته والكهرب بيدّل محلّ الكهرباء. وهذا الالتقاء بيدّل من جهة أخرى تواتر الضويته. وعلى هذا لا توجد في الميكروفيزياء أيّ طريقة ملاحظة لا تؤثر فيها أساليب الطريقة على الشيء الملاحظ»⁽⁵⁰⁾، وهذا ما نعني به بمبدأ الارتباب أي تأثر الجسم الملاحظ بشروط الملاحظة. وهذا ينتهي إلى ضرورة التخلي عن المفهوم التقليدي للموضوعية، من حيث إن أية دراسة للظواهر الذرية تؤدي إلى تداخل وتفاعل بينها وبين أدوات القياس⁽⁵¹⁾، مما يعني أن صلاحية التفسير الكلاسيكي يصبح باطلاً ومحدوداً بمحدود الظواهر الجهرية أو الماكروسكوبية.

تلکم هي أهم المشكلات - إضافة إلى ظواهر (مشكلات) أخرى تعجز الفيزياء الكلاسيكية عن تفسيرها، مثل سبب انصهار النحاس عند 1083 درجة مئوية، أو سبب انبعاث اللون الأصفر من بخار الصوديوم، أو سبب قابلية الفضة لنقل الكهرباء، أو سبب امتلاك الكبريت لخاصية العزل... إضافة إلى تعرض مقولة " المطلق " بالنسبة للزمان والمكان لضربة من النظرية النسبية التي وضعها إنشتاين ونفى فيها وجود الزمان المطلق والمكان المطلق، ووضع بدلا منهما زمانا ومكاناً نسبیین مختلفان حسب وضع الملاحظ - التي صادفت التفسير الحتمي الميكانيكي، والتي يمكن أن نستنتج منها أن المجال ما تحت الذري ليس مجالاً للسببية والحتمية كما هو الشأن في المجال الفيزيائي المألوف، بل أن مفهوم الاحتمال واللاحتمية حلا محلّهما، حيث لم يعد التنبؤ في الفيزياء الكوانتية إلا على هيئة حساب الاحتمالات، وتغيرت العبارة: كلما كان كذا، فإنه كذا، بعبارة أخرى: كلما كان كذا، فإنه من الممكن أن يكون كذا بنسبة كذا. فأصبحت بذلك المقاربة الإحصائية الاحتمالية منهجية أساسية في العلم الفيزيائي الحديث. وهنا يسدل العلم ستاره على مبدأ الحتمية معلنا انهيار التفسير الميكانيكي الحتمي الآلي، فاسحا

(49) - بنی طریف الخولي، فلسفة العلم من الحتمية إلى اللاحتمية، مرجع سابق، ص 357 - 358.

(50) - غاستون باشلار، الفكر العلمي الجديد، الطبعة الثانية، ترجمة عادل العوا، مراجعة عبدالله عبد الدائم، المؤسسة الجامعية للدراسات والنشر والتوزيع

- بيروت، 1983، ص 123.

(51) - سالم فيوت، فلسفة العلم المعاصرة ومفهومها للواقع، مرجع سابق، ص 30.

المجال أمام الحتمية والاحتمالية والحرية. والنتيجة أن الفيزياء النيوتونية لم يعد من الممكن تطبيقها على الجسيمات والدقائق الأولية أي على العالم ما دون الذري، والذي لا يمكن، بأي حال رصده ومراقبته مباشرة، حيث لا يوجد أي حس فيزيائي قادر على إدراكه.

وهكذا يتضح أن فيزياء نيوتن التي أسست دعائم النظرية العلمية الكلاسيكية، وأسست نتيجة لذلك النموذج الميكانيكي للطبيعة، والتي تميزت قوانينها بالعمومية والمطلقية، وأحكمت التفسير على كل الظواهر والأجسام مهما اختلفت طبيعتها، تفشل فشلا ذريعا عندما تعلق الأمر بالعالم الذري، مما أظهر أنها صحيحة فقط داخل حدود معينة فقط وهي حدود الماكروفيزياء. وهي بذلك عكس ما كان يُعتقد؛ ليست عامة ولا مطلقة ولا يقينية، ومن ثمّ فهي ليست حتمية. لقد كشفت الفيزياء الذرية عن وهم الحتمية وزيفها، ورفضت كل تفسير ميكانيكي مبني عليها، معلنة خروج العلم من العالم الحتمي إلى العالم الاحتمالي، ليحل الترابط الإحصائي بين الحوادث محل الترابط العلي السببي والاحتمال بدل الضرورة، فلم يعد الحديث عن حدوث الحدث كضرورة حتمية وإنما كنسبة احتمالية. لقد أستبعدت الحتمية تماما من الفيزياء الحديثة، وباستبعادها تغيرت الصورة السابقة المكوّنة عن العالم إلى صورة جديدة، صورة لاميكانيكية كبديل للنموذج الميكانيكي.

