مجلة أطلنتس: مجلة دولية محكمة - المملكة المغربية - العدد الرابع 2022
رقم الإيداع القانوني: 2021P0050
رقم الصحافة: 01 -2021ص

العلوم الفيزيائية المعاصرة بين التفسير السببي والتأويل

الباحث عبد السلام خواخي

جامعة ابن طفيل – القنيطرة – المغرب.

ملخص: تعد الفيزياء علما طبيعيا يبحث في القوانين المتحكمة في ظواهر الكون وكشف للآثار المترتبة عنها، إذ يتم التعبير عن العلاقات الضرورية بين متغيرات الظواهر الفيزيائية بلغة رياضية منطقية صورية: تفسر أسباب حدوثها، وتتنبأ بالنتائج الحتمية المتوقعة منها. وبذلك نجحت الفيزياء في دراسة الظواهر الاعتيادية، لكن لما حاولت اقتحام الظواهر الميكروفيزيائية والماكروفيزيائية اصطدمت بتعقيدات الجسيمات المادية وتشابكها، واصطدمت بالخصوص بمعضلة الثنائية جسيم/موجة للكائنات الميكروسكوبية (إلكترونات، فوتونات...). هذا الأمر أدى بالباحثين، من جهة، إلى مراجعة المفاهيم الفيزيائية الكلاسيكية من قبيل: الكتلة الطاقة، المكان، الزمان، السرعة وغيرها؛ ومن جهة أخرى، الخوض في نقاش ابستيمولوجي - خصوصا بين اينشتاين (رائد النظرية النسبية) وبور وهيزنبرج (رائدا مدرسة كوبنهاجن) - حول مبدأي التفسير السببي والتنبؤ الحتمي في ميكانيكا الكم.

كلمات مفتاح: ميكانيكا الكم، السببية، الحتمية، النظرية النسبية، التأويل ...

Abstract: Physics is a natural science that studies the laws governing the phenomena of the universe and reveals the implications of them. The necessary relationships between the variables of physical phenomena are expressed in a logical, formal mathematical language: explaining the reasons for their occurrence, and predicting the inevitable results expected from them. Thus, physics succeeded in studying ordinary phenomena, but when it tried to break into microphysical and macrophysical phenomena, it collided with the complexities and entanglement of physical particles, and especially with the dilemma of the particle-wave duality of microscopic objects (electrons, photons...). This has led researchers, on the one hand, to review classical physical concepts such as: mass, energy, space, time, velocity, and others; On the other hand, engaging in an epistemological debate - especially between Einstein (the pioneer of the theory of relativity) and Bohr and Heisenberg (the pioneers of the Copenhagen School) - about the principles of causal explanation and deterministic prediction in quantum mechanics.

Keywords: quantum mechanics, causation, determinism, relativity theory, interpretation...

مقدمة.

لقد تأسس العلم الحديث على مبدأ الموضوعية، والموضوعية تعني ابتعاد الذات عن الموضوع واتخاذ المسافة اللازمة عنه، وذلك بغية معرفة القوانين التي تحكمه، لأن الهاجس الأساسي الذي يحرك علماء الفيزياء يكمن في الكشف عن العلاقات الضرورية القائمة بين متغيرات الظواهر، والتعبير عنها بلغة صارمة (غالبا ما تستعمل فيها رموز رياضية ومنطقية متواطئة)، لذلك فإن النتائج والقوانين المتوصل إليها قابلة للتعميم على باقي الظواهر المشابهة، أي عندما يتمكن الباحثون من الوصول إلى العلاقات الضرورية التي تحكم متغيرات ظاهرة ما اعتمادا على منهج علمي دقيق يجمع بين الملاحظة والتجربة وبين التفكير النظري القائم على الاستدلال والاستنتاج المنطقي؛ فإن ذلك يعني أنهم قد توصلوا لتفسير الحالة التي توجد عليها الظواهر المتشابهة كما هي في الواقع، وليس كما تتصورها الذوات، أو كما تأمل أن تكون عليها استجابة لرغباتها، أو اعتقاداتها، أو قيمها المنبثقة من الثقافة والشبكة الرمزية التي توجهها وتحدد أفق فهمها للعالم.

لقد حدثت ثورات كبرى في نظرية المعرفة، ولعل أهمها تلك التي أحدثها كانط عندما فصل فصلا واضحا بين عالم الظواهر (الفينومين) وعالم الأشياء في ذاتها (النومين): فإذا كان العلم قادر على دراسة الظواهر دراسة موضوعية، لأن هذه الظواهر تعطي للفهم من خلال شرطين ضروريين تركيبيين قبليان هما الزمان والمكان؛ فإن عالم الأشياء في ذاتها تبقى مجالا للتأمل والتعقل انطلاقا من مقولات الفهم[1] وحدها، وذلك بسبب غياب الحدوس الحسية التجريبية التي تتدخل هذه

---

[1]- ملكة الفهم هي القدرة العقلية التي يتميز بها الإنسان عن باقي الموجودات الطبيعية، وهي التي تسمح للذات العارفة أن تنظم معطيات التجربة الحسية وتفرض عليها منطقا خاصا، حيث تصبح الأحكام الصادرة عنها مقبولة عقلا وصادقة موضوعيا. والفهم ليس عبثيا، بل هو ممارسة فكرية (معرفية) محكمة تُخْضِع الإحساسات المتعددة والمشتتة الآتية من عالم الظواهر لتصبح أفكارا معقولة وذات معنى. حيث يتم إضفاء الوحدة والترابط المكاني والزماني والسببي على الإحساسات البعدية العمياء. ويعتبر كانط أن ملكة الفهم تتضمن مقولات قبلية ضرورية وسابقة على كل تجربة ويحصيها في اثنتا عشرة مقولة، مقسمة إلى أربع مجموعات، ولكل منها حكم منطقي خاص بها، ويحددها كما يلي:

1- أحكام الكم: مفردة، جزئية، كلية؛

2- أحكام الكيف: مؤكدة (قضوية)، منفية، لانهائية (الدرجة الأولى)؛

3- أحكام الإضافة: حملية، شرطية متصلة، شرطية منفصلة؛

4- أحكام الجهة: احتمالية، إخبارية، يقينية. ينظر:

Kant Immanuel. *Critique of Pure Reason*. Translated and edited by Paul Guyer & Allen W. Wood. Cambridge: Cambridge University Press, (The Cambridge edition of the works of Immanuel Kant), Pt. II. Div. I. Bk I. Ch. I, § 9, A70/B95, p. 206

هذه المقولات - حسب كانط - هي التي تجعل الذات العارفة قادرة على تنظيم المعطيات الحسية الآتية من العالم الخارجي، وتسمح لها بإصدار الأحكام وتركيب المعارف المعقدة انطلاقا من الحدوس الحسية التي تقدمها الحواس عن 'ظواهر' الأشياء. وهكذا يتم

المقولات لتفرض عليها النظام والترتيب. لكن يا للأسف! وقعت انقلابات كبرى في مجال الفيزياء والرياضيات، دفعت الإبستيمولوجين إلى إعادة النظر في الشرطين الضروريين الذين يسمحان بترتيب الحدوس الحسية لتصبح ذات معنى ومعقولة: ففي الرياضيات أصبحت الهندسة الأقليدية مجرد حالة خاصة من الهندسات، بل وتبين أن الهندسة الأقليدية مجرد هندسة تتلاءم مع الحس المشترك ومع بساطة العقول البشرية، أي أن الانتظام والاعتيادية في الأشكال الهندسية (المربع، المثلث، المستطيل، المستقيم...) هي تعبير عن حالات خاصة لما يمكن أن تكون عليه الأشياء في الطبيعة. أما في الفيزياء فقد تبين بشكل واضح مع النظرية النسبية العامة أن قوانين الطبيعة المعهودة مع نيوتن لم تعد صالحة لتفسير الظواهر الميكروفيزيائية (الفوتونات، الإلكترونات...) والظواهر الماكروفيزيائية (الثقوب السوداء، المجرات، المدارات الكوكبية...). وبذلك تمت إعادة تأويل دلالات ومعاني المفاهيم الفيزيائية (الطاقة، السرعة، المكان، الزمان...). وازدادت حيرة العقل أمام ظواهر الطبيعة لما اقتحم العلم عالم الجسيمات المادية التي تؤثث المكان، لكنها غير معطاة للإدراك الحسي بشكل مباشر، بل حتى أجهزة الرصد لن تستطيع الإحاطة بهذه الجسيمات وتحدد مواقعها وكمية حركتها في الوقت ذاته، وبذلك تلاشت البداهات الكلاسيكية وأصبح العلم مفتوح على تأويلات عدة.

سنحاول في هذه الدراسة التحليلية عقد مقارنة بين اتجاهين علميين اختلف اختلافا بينا حول طبيعة سلوك الجسيمات المادية الأولية التي تشكل الواقع الفيزيائي برمته، وهما النظرية النسبية لأينشتاين التي تدافع على مبدأي الحتمية والسببية، ومدرسة كوبنهاجن بزعامة نيلز بور التي تدافع عن ثنائية جسيم/موجة للعالم الميكروسكوبي المفتوح على الصدفة وعلى احتمال الحضور والغياب في المكان والزمان التجريبيين. سأحاول أن أأطر هذا البحث بأسئلة من قبيل: ماذا يقصد بالتأويل في العلم عامة وفي فيزياء الكم خاصة؟ هل التأويل يعني فهم دلالات الظواهر الميكروفيزيائية والماكروفيزيائية أم هو محاولات للاقتراب من التفسير السببي؟ كيف يمكن لعلماء الفيزياء أن ينتقلوا من التفسير السببي الحتمي إلى تأويلات عدة يمثل التفسير السببي أحد التأويلات فقط؟ ما أبرز التأويلات التي عرفتها قوانين ميكانيكا الكم؟ وعلى ماذا ينصب التأويل هل على الواقع غير المتاح أم على المعادلات الرياضية والحسابات التقنية؟ وعلى ماذا تدل الرموز الرياضية المستعملة في فيزياء الكم؟ كيف نفهم جدلية موجة/ جسيم مادي، وملاحظ/موضوع الملاحظة، في فيزياء الكم؟

التفاعل المعرفي بين الذات (ملكة الفهم) القبلية والضرورية وعالم الظواهر التجريبي البعدي. وعليه يمكن بناء معرفة موضوعية تركيبية حول عالم الظواهر.

I. الفيزياء المعاصرة والثورة على المفاهيم الكلاسيكية.

سيطر على عالم الفيزياء - إلى حدود سنة 1870 تقريبا - تخصصان: (1) الميكانيكا الكلاسيكية التي أسسها غاليليو ووضع أساسها الرياضي نيوتن، ونسق قوانينها لابلاس، حيث تم التركيز على دراسة جميع الظواهر المتعلقة بالمادة، والتي لم يُعرف منها سوى الجانب الجسيمي؛ (2) الكهرومغناطيسية التي نسق قوانينها ماكسويل وفارادي وآخرون، حيث انشغلوا بدراسة جميع الظواهر المتعلقة بالإشعاعات، والتي تنتشر من خلال موجات في مجالات (حقول). وهذا يعني أن الظواهر الفيزيائية إما أنها تسلك سلوكا ماديا جسيما تخضع لتغيرات بسبب أسباب تدفعها إلى ذلك وفق علاقات ضرورية، أو أن الظواهر تسلك سلوكا موجيا تنتشر في حقول حيث تؤثر في بعضها البعض وفق قوانين صارمة. وفي كلتا الحالتين يمكن تفسير أسباب حدوث الظواهر كما يمكن التنبؤ بنتائجها وذلك اعتمادا على مبدأي السببية والحتمية[2].

لكن مع قرب نهاية القرن التاسع عشر، اصطدم الباحثون في مجال الفيزياء بظواهر لا يمكن تفسيرها انطلاقا من النسقين الكلاسيكيين، منها على سبيل التحديد: إشعاع الجسم الأسود، التأثير الكهروضوئي، طيف الذرات...إلخ. ومن هنا نشأت نظريتان جديدتان قلبت البديهيات والمسلمات التي قامت عليهما النظرية الكلاسيكية، وهما:

(1) النظرية النسبية بشقيها الخاص والعام والتي ترسخت ابتداء من 1905 حيث انتزع آينشتاين الاعتراف بصحة افتراضات نظريته من المتحد العلمي، إذ أطلق على هذه النظرية اسم

---

[2]- تدل السببية في الفيزياء على ذلك المبدأ الذي يتحكم في الظواهر الفيزيائية، حيث لا يمكن أن تحدث واقعة فيزيائية دون أن تكون هناك أسباب وراء حدوثها. مثلا، سقوط التفاحة لا يمكن أن يحدث لو لم يكن هناك مفعول جاذبية تمارسه الأرض على التفاحة. أما الحتمية فتعني أنه عندما تتوفر أسباب محددة؛ فإننا نتوقع حدوث واقعة فيزيائية مستقبلا. ومثال ذلك، إذا ما كان هناك احتراق للفحم في بيت مغلق توجد به قطة، فإننا نتوقع جازمين أن القطة ستموت عندما يحترق الأوكسجين الموجود في البيت. إن السببية والحتمية هما في الحقيقة وجهان لعملة واحدة. فالأسباب تقودنا حتما إلى توقع نتائج، ووقوع النتائج يفسر بوجود أسباب.

عموما تعد السببية من المبادئ الأساسية التي تقوم عليها المعرفة العلمية، لكن هذا لا يعني أنه ينبغي القبول بالتعريف الكلاسيكي للسببية "س علة (سبب) ص دائما"، بل أصبحت السببية قانونا إحصائيا يبين "كيف يمكننا الاستدلال على شيء من حادثة أو عدة حوادث". هذا التعريف الجديد لمبدأ العلية كان تحت تأثير النقاش الإبستيمولوجي الذي عرفته الفيزياء النسبية وقوانين الميكروفيزياء بالتحديد. فلم يعد هناك ترابط ميكانيكي بين السبب والنتيجة، في حين يمكن عن طريق القوانين الإحصائية والاحتمالية توقع نسبة تحقق النتيجة من أسباب مختلفة. فالقانون العلي لا يعين ما سوف يقع في أية حالة جزئية، لكن يقرر وقوع أشياء عديدة، كل منها سوف يحدث بنسبة معينة من الحالات. ويمكن القول "بشكل أكثر عمومية، إن التحديد والوصف المنهجي للعلاقات السببية الموجودة في العالم الطبيعي يعتبر الهدف الأسمى للعلم". ينظر:

Audi Robert. "Causation". *The Cambridge Dictionary of Philosophy*. Cambridge: Cambridge university press, 2nd edition, 1999. P. 125

النسبية الخاصة، واستمر في تمديد هذه النظرية لتشمل كل الوقائع الفيزيائية، حيث توج هذا العمل المضني بالحصول على جائزة نوبل للفيزياء سنة 1921، وفي السنوات الأخيرة من حياته حاول التنظير لنظرية تفسر كل شيء، وإن كان البعض يفضل مصطلح النظرية العامة للنسبية. تتميز النظرية النسبية بخاصية معاداة الحس المشترك والبداهات التي سادت في الأوساط العلمية لسنين مديدة، إذ قامت بثورة على قوانين الفيزياء الكلاسيكية وفندت مجموعة من الافتراضات منها: الإثير[3]، مفعول الجاذبية عن بعد[4]، الطابع الموجي للضوء ...إلخ. وبذلك غيرت دلالات المفاهيم الفيزيائية من كتلة، طاقة، مكان، زمان... إلخ. وذلك انطلاقا من مبدأين أساسيان هما:

---

[3]- الأثير (éther) باللاتينية aether، واليونانية aithêr، يحمل هذا اللفظ دلالات تطورت بتطور المعرفة العلمية خصوصا في مجال الفيزياء، منها:

أ- سائل خفي لا يمكن السيطرة عليه، يملأ الفراغات الموجودة خارج الغلاف الجوي للأرض؛

ب- الهواء النقي والجو والسماء، فضاءات سماوية لانهائية؛

ج- في السحر والتنجيم، الأثير مادة أولية وعالمية، وهي العامل المائع العام القادر على تمييز نفسه؛

د- وسيط مادي افتراضي، يملأ كل الفراغ، ولكن غير محسوس، والذي من المفترض أن تنتشر فيه موجات الضوء. لقد لعبت فكرة الأثير دورا مهما في تطوير نظرية الظواهر الكهرومغناطيسية. أما النظرية النسبية الخاصة فقد رفضت هذه الفرضية، واعتبرتها غير ضرورية في بناء نظرية انتشار الضوء. ينظر:

Les éditeurs du dictionnaire Larousse. (2022). "Éther". Consulté le février 7, 2022, sur Larousse. URL : <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/%C3%A9ther/31377#:~:text=1.,pur%20%3B%20espaces%20c%C3%A9lestes%20%3B%20infini>.

[4]- بنى نيوتن نسقه الفيزيائي على قوانين ثلاث، هي:

(1) "الجسم الساكن يبقى ساكنا، والجسم المتحرك يبقى متحركا، مالم تؤثر عليه قوى ما":

(2) "إن التغيرات التي تحصل في الحركة هي بنسبة مضطردة للقوة المحركة وتسير في خط مستقيمي"، وبذلك فإن حاصل ضرب كتلة الجسم في تغيرات السرعة يكافئ حاصل ضرب القوة المؤثرة فيه في تغيرات الزمن، وهذا ما عبر عنه نيوتن بالمعادلة: $F=\Delta(m\times a)$، وهذا القانون عرف في أدبيات علم الفيزياء بالعلاقة الأساسية للديناميك، وأصبح يعبر عنها رمزيا بالصيغة الرمزية التالية: $F=m\times a$، حيث 'F' هي القوى المطبقة على الجسم المادي و 'm' كتلته و 'a' تسارعه؛

(3) قانون الفعل ورد الفعل، والذي مضمونه: "لكل قوة فعل قوة رد فعل، مساو له في المقدار ومعاكس له في الاتجاه"، هذا القانون ينص على أن جميع القوى المتبادلة بين جسمين تكون متساوية في المقدار ومتضادة في الاتجاه.

انطلاقا من هذه القوانين تمكن نيوتن من استنتاج قوة الجذب الذي تمارسه الأجسام بعضها على بعض، وهو ما عرف بقانون التجاذب الكوني، والذي ينص على أن "قوة التجاذب بين أي جسمين في الكون، تتناسب طرديا مع حاصل ضرب كتلتهما، وعكسيا مع مربع المسافة بين مركز قصورهما". ويعبر عنه رياضيا بالمعادلة التالية: $F_{a/b} = F_{b/a} = G\times m_a m_b/d^2$ (حيث 'F' هي قوة تأثير الجسم 'a' على 'b' وهي نفسها التي يمارسها 'b' على 'a' لكن متجهة هاتين القوتين متعاكستين، 'G' ثابتة مقدارها $6{,}67\times10^{-11} m^3/kg.s^{-2}$، m_a' كتلة الجسم 'a' m_b' كتلة الجسم 'b'، و'd' هي المسافة الفاصلة بين مركز قصور الجسمين).

لقد شكلت هذه القوانين نسقا متكاملا يقوم على نظرة تجريبية للعالم تقوم على فلسفة تعتبر أن الرياضيات هي اللغة التي تتكلمها قوانين الطبيعة، إذ من خلالها يمكن تفسير النظام الكوني في رمته، بدء من الأجسام الصغيرة الحجم (تفاحة، حجر، نواس...) إلى أضخمها (نجوم كواكب...). إن الشعار الذي رفعه غاليليو - كون 'الطبيعة كتاب مكتوب بلغة رياضية' - قد جسده من خلال أول قانون فيزيائي حول سقوط الأجسام بدون سرعة بدئية هو: $z=1/2\ gt^2$' (حيث 'Z' هو ارتفاع الجسم عن سطح الأرض، و't' الزمن الذي يستغرقه في السقوط" و'g' هو ثابت الثقالة على سطح الأرض ومقداره هو $9{,}81\ m.s^{-2}$'). ومع تراكم البحث في حركة الأجسام سواء الاعتيادية أو الكوكبية استطاع نيوتن أن يجسد بالفعل دور الرياضيات في الكشف عن القوانين الضرورية التي

الأول: سرعة الضوء هي أقصى سرعة ممكنة في الكون، وهي سرعة تفوق بكثير السرعات الاعتيادية لأجسام المادية التي اهتمت فيزياء نيوتن وغاليليو بدراستها ($v << c$). وهذا الأمر قاد أينشتاين إلى قلب مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية، لقد كتب سنة 1905 أربع مقالات أحدثت ثورة في الفيزياء واحدة تلو الأخرى: قدم في المقالة الأولى (مارس 1905) فرضية مذهلة تتمثل في جسيمية الضوء، أي أن الضوء - فضلا عن سلوكه الموجي - هو جسيم مادي. وهذه الفرضية مكنته من تفسير ظاهرة التأثير الكهروضوئي، إذ تبين من تجارب أنه عندما تتلقى المادة الضوء، فإنها تفقد إلكترونا، وهو أحد جسيمات المادة التي تتكون منها الذرات. هذا الأمر تطلب عشرين عاما من المجتمع العلمي لفهم هذه الفكرة بشكل أساسي. قبل وقته، لم يكن عمل أينشتاين موضع تقدير كامل، أما اليوم، فإن ثنائية الضوء - 'موجة /جسيم' - هي أساس فيزياء الكم. بعد شهرين، في مايو 1905، أكد أينشتاين وجود الذرات، قاطعا الشك باليقين من خلال اقتراحه لتجربة تثبت ذلك؛ حيث تناول أحد أكثر الأسئلة إلحاحا في الفيزياء في ذلك الوقت: هل الذرات موجودة بالفعل؟ في الواقع، في ذلك الوقت، اعترف معظم الباحثين أن المادة تتكون من مجموعة من العناصر غير القابلة للتجزئة: 'الذرات' (باللغة الفرنسية 'atome' تعود إلى الأصل اليوناني 'atom'، وتعني ما لا ينقسم وما لا يجزأ). في المقال الثالث (يونيو 1905) عالج أينشتاين التناقض الصريح بين قانونين فيزيائيين: الأول يعود إلى قانون جاليليو في الحركة النسبية، والذي يرفض وجود الحركة المطلقة. حيث بين جاليليو أن حركة الجسم تعتمد على موضع المراقب. على سبيل المثال، عندما يمر قطار دون توقف على طول رصيف، يراه المنتظرون مسرعا بسرعة 100km/s، بينما لا يشعر المسافر داخل العربة بأي حركة (يدرك حركة القطار فقط إذا نظر إلى المناظر الطبيعية الخارجية)، أما إذا كان مسافر آخر يتحرك داخل القطار في نفس اتجاه حركته بسرعة 6km/s؛ فإن المراقبين على الرصيف يقدرون سرعة هذا المسافر ب 106km/s (100+6=106 km/s)، وهذا ما يسمى بقاعدة إضافة السرعات)، بينما يحدد المسافر داخل القطار سرعة الشخص الذي يجري في داخل القطار ب 6km/s. وهذا يعني أنه لا يمكن تحديد الحركة إلا بالنسبة للإطار المرجعي، وهذا ما اثبتته

تحكم ظواهر الطبيعة، وربما لهذا السبب عنون كتابه الذي ضمنه هذه القوانين ب'المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية (Philosophiae Naturalis Principia Mathematica) . ينظر:

باليبار فرنسواز (1993)، أنشتين يقرأ غاليليو ونيوتن، المكان والنسبية، ترجمة سامي أدهم، بيروت: المؤسسة الجامعية للدراسات والنشر والتوزيع، الطبعة الأولى. ص 61، والصفحات من 92 إلى102.

وينظر كذلك:

Smith George. (Winter 2008 Edition). "Newton's Philosophiae Naturalis Principia Mathematica", Retrieved January 27, 2022, from The Stanford Encyclopedia of Philosophy, Edward N. Zalta (ed.), URL: <https://plato.stanford.edu/archives/win2008/entries/newton-principia>.

التجارب الواقعية. أما القانون الثاني - وهو قانون مؤسس للنظرية الكهرومغناطيسية التي تصف حركة الشحنات الكهربائية والمغناطيسية – فينص على أن الشحنات تتحرك دائما بنفس السرعة بغض النظر عن موضع المراقب. إذن أي القانونين صحيح؟ لقد أزعج هذا النوع من الانقسام الفيزيائيين إلى أعلى درجة، لأنهم يعتبرون أن تخصصهم واحد ولا ينفصل. غير أن أينشتاين أزال هذا التناقض، معتبرا أن سرعة الضوء ثابتة، بغض النظر عن الإطار المرجعي! معتمدا على تجارب ذهنية (يمكننا تخيلها وليس تحقيقها بشكل ملموس). فإذا افترضنا أن قطارا يتحرك بسرعة الضوء، فإن الراكب الذي يجري في القطار - في نظر المراقبين على الرصيف - سوف يتحرك دائما بسرعة الضوء وليس بسرعة الضوء التي تزيد عن 6km/s! وهذا يعني أن قانون إضافة السرعات سيلغى عندما يتعلق الأمر بحركة الضوء. وهذا ما دفع أينشتاين إلى ختم ثورته على القوانين النيوتونية الكلاسيكية بمقال (نشر في شتنبر 1905) حول علاقة الكتلة بالطاقة، مستدلا بأدوات رياضية وبتجارب ذهنية على العلاقة الضرورية التي تجمع بينهما، فكل جسيم مادي له كتلة يمثل كمية هائلة من الطاقة، يمكن تحديدها بالمعادلة الرياضية ' $E = mc^2$' (حيث 'E' تدل على الطاقة، و'm' كتلة الجسيم، و 'c' سرعة الضوء في الفراغ وتحدد ب 300000 km/s)[5].

<u>الثاني:</u> المكان والزمان متغيران نسبيان، حيث يمكن التعبير عن المكان بدلالة الزمان والعكس صحيح، لذلك لم تعد الأجسام المادية تدرس في معلم بثلاثة أبعاد للمكان (محور الأفاصيل، محور الأراتيب، محور الارتفاعات) ومتغير للزمان (عداد الزمن)، وهما مستقلان عن بعضهما البعض، بل أصبح الزمكان (space-time) (محور الأفاصيل، محور الأراتيب، محور الارتفاعات، عداد الزمان) هو المعلم الملائم لتتبع المسارات التي تتبعها الأجسام في الفضاء وهي تتحرك في انحناءاته. ومن حسنات هذه الثورة أنها حلت مشكلة مسارات حركة الكواكب على مدارتها (خصوصا مدار كوكب عطارد الذي لم تفلح فيزياء نيوتن في تفسير التغير الذي يطرأ على مساره)، كما تنبأت بالانحناءات التي تحدثها المدارات الكوكبية على فوتونات الضوء المارة بالقرب منها، وكذا ظاهرة تمدد الكون، والثقوب السوداء، وغيرها كثير[6].

---

[5]- هذه المعطيات استقيتها بتصرف من الموسوعة البريطانية على الإنترنيت، ينظر:

Michio Kaku. (Last Updated: April 1, 2022). "Albert Einstein German-American physicist". Retrieved April 6, 2022, from Encyclopedia Britannica. URL: <https://www.britannica.com/biography/Albert-Einstein/From-graduation-to-the-miracle-year-of-scientific-theories>.

[6]- Ibid.

(2) فيزياء الجسيمات المادية، والتي اصطلح عليها ميكانيكا الكم لكونها اهتمت بدراسة الوحدات الصغرى التي تنتج الطاقة الأولية (الكوانتا)[7] في الكون (الفوتونات، الإلكترونات، البروتونات، النترونات)، وما دونهما (الكواركات، الميونات...)، حيث راكمت نتائج مهمة ما بين 1900 و1927. اعتبرت هذه النظرية من أغرب النظريات ليس لأنها اهتمت بالعالم المنفلت من رقابة الحواس، بل لأنها ضربت مبدأي السببية والحتمية في مقتل. وبذلك فتحت المجال لتأويلات عدة حول طبيعة الجسيمات وحول سلوكياتها المتداخلة والمعقدة.

II. الفيزياء والرياضيات تشابك أم انفصال؟

لا شك أن الفيزياء بناء يقوم على القياسات الناتجة عن الأدوات التقنية التي صممها الذكاء البشري لمساعدة الحواس على إدراك مقادير الأشياء وعلاقات متغيرات ظواهر العالم الذي يشكل الإنسان أحد أعظم موجوداته بفضل امتلاكه لخاصية الوعي التي تسمح له بإدراك عالمه وموقعة نفسه في هذا العالم. لذلك اعتبرت الفيزياء علما بالعالم المادي كما تدركه الحواس البشرية. لكن العلاقات الضرورية والقوانين التي تخضع لها الظواهر ليست معطيات حسية مباشرة، بقدر ما هي نتاج الاستدلال والاستنتاج المنطقي الرياضي، وهذا لا يعنى أن العقل الإنساني خلق هذه القوانين، بل هو قام باستكشافها والتعبير عنها برموز وأعداد، وربطها بمعادلات ودوال، لأن الظواهر كانت قبل وجود الإنسان وستبقى إذا ما افترضنا انقراض آخر عالم فيزياء.

إذا كان العالم الطبيعي مرتب ومحكم التنظيم لأنه يخضع لقوانين ضرورية وعلاقات ثابتة؛ فإن الذوات العارفة لا يمكنها الوصول إلى هذه القوانين إلا باستخدام الحواس المجردة أو بالاستعانة بأدوات تقنية تشكل امتداد للحواس (مجهر إلكتروني، حاسوب، مجس، راسم التذبذب، مصورة رقمية...)، واللجوء إلى القدرات المنطقية والعقلية لفرض المعنى على هذه

---

[7]- كوانتا (quanta) مفردها كوانتم (quantum) كلمة من أصل يوناني، غالبا ما يقابل في اللغة العربية بلفظ 'كم'، إذ يصطلح على الفيزياء الكوانتية (La physique quantique) فيزياء الكم أو الفيزياء الكمومية. ويقصد بالكم في الفيزياء تلك الوحدة الطبيعية المنفصلة - أو الحزمة، أو الشحنة - للطاقة. فالضوء، على سبيل المثال، الذي يظهر في بعض النواحي كموجة كهرومغناطيسية مستمرة، على المستوى دون المجهري ينبعث ويمتص بكميات منفصلة، أو كوانتا؛ وبالنسبة للضوء ذي الطول الموجي المحدد، فإن حجم كل الكميات المنبعثة أو الممتصة هو نفسه في كل من الطاقة والزخم. تسمى حزم الضوء التي تشبه الجسيمات بالفوتونات، وهو مصطلح ينطبق أيضا على كميات الأشكال الأخرى للطاقة الكهرومغناطيسية مثل: الأشعة السينية، وأشعة جاما، وغيرها.
يعد ماكس بلانك (1858-1947) أبرز علماء الفيزياء الذين اعتبروا الطاقة مثلها مثل المادة والكهرباء لا تظهر إلا بصورة منفصلة متقطعة، أي على شكل وحدات محددة أطلق عليها مسمى 'كوانتا'. في عام 1900 افترض أن الطاقة الإشعاعية تنبعث، ليس بشكل مستمر، بل في حزم منفصلة ترتبط بالتردد **V** ويمكن حسابها من خلال المعادلة **E = hV** (حيث 'E' هي الطاقة المنبعثة من الفوتون، و'**V**' تردده، و'h' هو ثابت بلانك، ويقارب '6.62607×10^{-34} j/s')، بين بلانك أن طيف الطاقة المحسوب يتفق بعد ذلك مع المراقبة على نطاق الطول الموجي بأكمله. ينظر.

Squires, Gordon Leslie. (June 1, 2021) "Quantum Mechanics". Retrieved March 7, 2022, from Encyclopedia Britannica. URL: <https://www.britannica.com/science/quantum-mechanics-physics>.

المعطيات العددية وربطها برموز دالة. وبذلك تلعب الرياضيات والمنطق دورا فعالا في بناء الأنساق العلمية الفيزيائية المفسرة للحالات التي توجد عليها الظواهر الطبيعية. وهذا ما تعبر عنه المقولة المشهورة لرائد الفيزياء الكلاسيكية غاليليو غاليلي: "الفلسفة مكتوبة في هذا الكتاب الكبير - أعني الكون - المفتوح دائما على أنظارنا. لكن لا يمكن فهمها إلا إذا تعلمنا أولا اللغة المكتوبة بها. إنها مكتوبة بلغة الرياضيات"[8]. والمقصود بالفلسفة في هذا السياق العلم الطبيعي (الفيزياء) الذي يدرس العلاقات والقوانين الضرورية المتحكمة في ظواهر الطبيعة، لذلك اعتبرت الفيزياء معرفة علمية موضوعية تقول أشياء ذات معنى عن الواقع، وتصفه كما هو بدون زيادة ولا نقصان، بلغة كمية صارمة تترجم العلاقات السببية والمقادير الفيزيائية إلى أرقام ومعادلات متواطئ عليها. وتبعا لذلك فإن جميع العلوم سوف تحذو حذو الفيزياء في دراسة موضوعاتها، وستعبر عن الوقائع المدروسة بقضايا صادقة صدقا موضوعيا.

لقد حذر نيوتن الفيزيائيين ذات يوم من السقوط في حبال الميتافيزياء (الميتافيزيقا)، لكن لأسف وقع المحظور وأصبحت الفيزياء تتغدى على الميتافيزيقا، وتلجأ لها لتأويل ما تتوصل إليه قوانينها المعبر عنها بلغة رمزية غارقة في الصورية والتجريد، فلم تعد الفيزياء علما بالظواهر الملموسة، بل أصبحت نظريات تنصب على تأويل العالم الجسيمي المنفلت من رقابة الحواس وحتى من قبضة أجهزة المراقبة والتي تتأثر بدورها من سلوك هذه الجسيمات، فتصبح قياساتها مجالا لتأويلات قد تصل إلى درجة التناقض. بل أكثر من ذلك إن مبادئ المنطق الكلاسيكي (الهوية، عدم التناقض، الثالث المرفوع) لم تعد صالحة للقبض على الحالات التي يمكن أن تكون عليها هذه الجسيمات. وهناك من يدفع بالغموض إلى أقصى درجاته حيث يقترح الأخذ بعين الاعتبار وعي الملاحظين والمجربين في هذا المجال، أي لا بد من إقحامهم بدورهم كعنصر من عناصر الظواهر الملاحظة، بمعنى أن ذات الملاحظ لا تنفصل عن موضوع الملاحظة، أي أن التشابك والتداخل هو السمة المميزة لعالم الكم. فالوعي في حركيته وانفتاحه على إمكانيات لا حصر لها ما هو إلا تتويج للغموض الذي تعرفه ميكانيكا الكم.

انطلاقا من هذا التصور عد التأويل ضرورة منهجية لمنح معنى للمعادلات الإحصائية والاحتمالية في فيزياء الكم. "[ل]أن التأويل أساسي في ميكانيكا الكوانتم لثلاثة أسباب على الأقل: أولا وقبل كل شيء لأن الصياغة الصورية النظرية بلغت الذروة في الغموض والإبهام، وثانيا لأن صميم تصور المراقب لم يعد واضحا بالمرة، وأولئك الذين استخدموه انتهوا إلى تضمين وعي المراقب، وهو ما يناقض الطبيعة الموضوعية للعلم، وأخيرا لأن الجوانب الاحتمالية للنظرية يجب

[8] - MacLachlan James. (1997). Galileo Galilei: first physicist, New York/ Oxford: Oxford University Press, p. 74.

أن تتوافق في النهاية مع الوجود اليقيني للوقائع والحقائق. وبهذا يتوقف التأويل عن أن يكون محض ترجمة ويصبح نظرية بحكم طبيعته الخاصة"[9].

إذا كانت الفيزياء الكلاسيكية خاصة قد حاولت تخليص قضايا وعبارات العلم من الغموض، وتبنت اللغة الشيئية الدالة على الأشياء والظواهر، واشتقت منها لغة نظرية تعبر عن العلاقات بين الظواهر، حيث تمكن الباحثون من استنتاج القوانين المتحكمة في الظواهر المدروسة؛ فإن فيزياء الكم أعادت النظر في لغة الفيزياء، وتبنت مبدأ اللايقين (أو اللاتحديد)، لأن الواقع الذي تصفه لغتها ليس معطى حسيا مباشرا، خصوصا وأن الواقع الجسيمي يستعصي حتى على وسائل وتقنيات الرصد التي تشكل امتدادا للحواس. ومن هنا أصبحت العلاقة بين الذهن البشري والواقع علاقة تأثير وتأثر، بقدر ما تحاول الأذهان القبض على الواقع، يعمل الواقع على تغيير الأذهان. يقول نيلز بور نقلا عن رولان أومنيس: "يجب ألا ننسى أبدا أن 'الواقع' هو كلمة من كلمات الإنسان، تماما مثل 'موجة' و'وعي'. هدفنا هو تعلم استخدام هذه الكلمات على نحو سليم - أي باتساق ووضوح كاملين"[10]. والإجابة عن سؤال ما الواقع؟ يستدعي منا الأمر التخلي عن إرث الفيزياء الكلاسيكية، وعن مبدأي التفسير السببي والتنبؤ، لأن التفسير لن ينجح ما دامت الأسباب غير محددة بدقة. كما لا يمكننا أن نتنبأ بمصير الجسيمات المادية ما دمنا لا نتحكم في الأسباب التي تدفعها إلى السلوك على نحو دون آخر. والمنقذ الوحيد من غموض هذا العالم الميكروسكوبي هو تأويل المعادلات الرياضية، ومحاولة منح المعنى للرموز والعلاقات، لأن "الحقائق الوحيدة ذات المعنى في عالم الرموز هي العلاقات بينها"[11]. وتأكيدا لهذا التصور اهتم باشلار بالمعضلات الأنطولوجية لنظرية الكم في عدة مناسبات، إذ حاول الإجابة عن سؤال ما طبيعة الواقع الذي تعكسه الجسيمات الفيزيائية؟

دافع باشلار عن فكرة أن الواقع الذي تعكسه نظرية الكم يختلف اختلافا واضحا عن الواقع المدرك في الفيزياء الكلاسيكية، وحجته المركزية أن نظرية الكم تتطلب اختراع فضاء جديد، وهو ليس شاملا، لأنه من المستحيل إدراكه بالكامل. وهذا الفضاء الجديد، ليس فضاء بديهيا، بل هو فضاء ينفلت من التحليل الهندسي البحت. ومبرره هو أن الجسيمات ليست محسوسة كما كانت الأشياء الكلاسيكية. نظرا لأنه لم يعد من الممكن توطينها، ومن الضروري استخدام لغة رياضية

---

[9]- أومنيس رولان. (أبريل 2008). فلسفة الكوانتم، فهم العلم المعاصر وتأويله. ترجمة: أحمد فؤاد باشا ويمنى طريف الخولي، الكويت: المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب، عالم المعرفة، عدد 350، ص 200. (سنكتفي في الهوامش اللاحقة ب'فلسفة الكوانتم')

[10]- أومنيس. فلسفة الكوانتم، ص 286.

[11]- أومنيس. فلسفة الكوانتم، ص 123.

جديدة، يمكن أن يكون تجريدها مصدر إزعاج لبعض علماء الفيزياء. وعليه فإن الفضاء الجديد الذي تم تحديده من خلال المعادلات الرياضية فقط هو نتيجة مباشرة للعلاقات اللاحتمية. ولهذا السبب وافق باشلار تماما على 'مبدأ عدم اليقين لهيزنبرج' والذي ينص على أنه لا يمكن الجمع بين دقة تحديد موقع الجسيم المادي وكمية حركته[12]، "[ل]أن الثمن المدفوع لمزيد من الدقة في تحديد موضع الجسم هو الدقة الأقل في تحديد كمية تحركه، والعكس بالعكس"[13]. لذلك يقول باشلار: "إن فيزياء هيزنبرج اللاحتمية تمتص بالأحرى الفيزياء الحتمية من خلال التحديد الدقيق للشروط والحدود التي يمكن للمرء أن يتخذ فيها ظاهرة ما ليتم تحديدها عمليا"[14].

لقد قدمت ميكانيكا الكم نفسها باعتبارها مجموعة متماسكة من المبادئ والقوانين النظرية حول خصائص جسيمات يمكن ملاحظتها وقياسها لكن بطريقة غير مباشرة، "[ف]ليس هناك ما هو أكثر من مبادئ ميكانيكا الكوانتم صرامة وبرودا. إن مفاهيمها وقوانينها مقبولة في صورة رياضية جامدة لا مفر منها، من دون أثر لأي شيء حدسي، وفي ظل غياب كلي للوضوح الذي نراه في الأشياء المحيطة بنا، وعلاوة على ذلك، فإن هذه النظرية تخترق الواقع إلى عمق لا يمكن أن تأخذنا إليه حواسنا"[15]، وذلك بفضل معادلات احتمالية إحصائية. غير أن نظرية ميكانيكا الكوانتا تختلف عن النظريات الإحصائية التي تفتقد للدقة في التكميم (القياس العددي) لظواهرها كالاقتصاد والإيكولوجيا والأرصاد الجوية وغيرها من العلوم، كما أن المعادلات الاحتمالية في فيزياء الكم غير الاحتمالات في الفيزياء الكلاسيكية، لأن الاحتمالات في فيزياء الكم غير محددة بأسباب معقولة لحدوث الوقائع، بينما في الفيزياء الكلاسيكية محكومة بمبدأ الحتمية. يمكن - على سبيل المثال - حساب احتمال سقوط التفاحة في زمن ما بأسباب معقولة (ضعف ساقها، هبوب رياح، الارتطام بطائر، اهتزاز الغصن الحامل لها...)، لكن لا سبب يجعل ذرة مثارة ما تتحلل في زمن ما، أي أننا لا

---

[12]- يقول هيزنبرج معبرا عن مبدأ عدم اليقين: "يمكن للمرء أن يتحدث عن موقع وسرعة الإلكترون كما هو الحال في ميكانيكا نيوتن، ويمكن للمرء أن يلاحظ ويقيس هذه الكميات. لكن لا يمكن تحديد كلتا الكميتين في وقت واحد وبدقة عالية بشكل تعسفي. في الواقع، تبين أن ناتج هذين الخطأين لا يقل عن ثابت بلانك مقسوما على كتلة الجسيم. يمكن صياغة علاقات مماثلة لحالات تجريبية أخرى. وعادة ما يطلق عليها علاقات عدم اليقين أو مبدأ اللاحتمية. لقد تعلم المرء أن المفاهيم القديمة لا تناسب الطبيعة إلا بشكل غير دقيق". ينظر:

Werner Heisenberg. (1958). Physics and Philosophy, The Revolution in Modern Science, Planned and Edited by Ruth Nanda Anshen, New York: Harper & Brothers Publishers, (World Perspectives. Volume Nineteen). p. 42-43. (Henceforth Physics and Philosophy).

[13]- أومنيس. فلسفة الكوانتم، ص 203

[14]- Gaston Bachelard. (1991) Le Nouvel esprit scientifique, (1934). Paris : PUF, 4ème édition, p. 125.

[15]- أومنيس. فلسفة الكوانتم، ص 217.

يمكن أن نتوقع ما سيحدث فعلا[16]. لأن عامل الصدفة متأصل في طبيعة النظام الكمي، نتيجة قصور إدراكنا لكل المتغيرات التي تؤثر في تعقيدات النظام. ولهذا السبب "تعتبر خاصية الاحتمالية أو الرجحانية من أكثر سمات الكوانتم إثارة. ذلك أن كل شيء في عالم الكوانتم يحدث بصورة عشوائية ولا يوجد سبب مباشر للأحداث الكوانتية"[17]. يقول هيزنبرج مؤكدا هذا الأمر: "لقد كان مفهوم الموجة الاحتمالية قد ولج عالم الفيزياء منذ نيوتن. ويعني الاحتمال في الرياضيات أو في الميكانيكا الإحصائية بيان درجة معرفتنا بالوضع الفعلي. ففي رمي النرد لا نعرف التفاصيل الدقيقة لحركة أيدينا التي تحدد كيفية سقوط النرد، وبالتالي نقول إن احتمال رمي رقم خاص هو

---

[16]-تخيل شرودنجر (Irwin Schrodinger) غرفة تحتوي على قطة بآلة وزجاجة من السيانيد ومادة مشعة، تحتوي الآلة على آلية تحريك عند تنشيطها عن طريق تفكك ذرة من المادة المشعة ستطلق مطرقة وتحطم زجاجة السيانيد (مادة سامة قاتلة). كمية المادة المشعة في الحجرة هي من النوع الذي يوجد فيه احتمال متساوٍ بأن الذرة سوف تتحلل في غضون ساعة، أو لن تتحلل خلال ذلك الوقت. تساءل شرودنجر عن مصير القطة بعد ساعة، أهي على قيد الحياة أم ميتة؟ لمحاولة التغلب على الصعوبات التي طرحتها ميكانيكا الكم اقترح شرودنجر معادلة لصورنة الاحتمالات التي يمكن أن تكون عليها الموجات الكمية، وهذه المعادلة ملغزة لأنها تعتبر أن الحالة البدئية (الزمن الصفري) تكون فيها القطة 50% ميتة و50% حية، وهذا الأمر أصطلح عليه التراكب الكمي. وعند نهاية نصف عمر الذرة المشعة أي ساعة من الزمن، يمكن التعامل مع وظيفة الموجة للنظام على أنها مجموعة خطية من أجزاء متساوية من الوظائف المقابلة للقطة الحية، والقطة الميتة. يقول هيزنبرج عن العمل الجبار الذي قدمه شرودنجر لمحاولة التغلب على صعوبات فهم العالم الكوانتي: "عندما أظهر شرودنجر في ذلك الصيف أن صورنة الموجة الكمية تكافئ رياضيا ميكانيكا الكم، حاول لفترة من الوقت التخلي تماما عن فكرة 'الكم' و'القفزات الكمية'، وقام باستبدال الإلكترونات في الذرات بالأبعاد الثلاثية للموجات المادية ببساطة. وقد استلهم هذه المحاولة من نتائج نظريته، وهي أن مستويات طاقة ذرة الهيدروجين تبدو وكأنها ترددات طبيعية لموجات المادة الثابتة. لذلك كان يعتقد أنه من الخطأ تسميتها بالطاقات؛ بل كانت مجرد ترددات"[16]. ينظر: Heisenberg, Physics and Philosophy, p. 41.

لقد تبنى بوهر (Nils Bohr) - وهو أبرز رواد مدرسة كوبنهاغن - فكرة شرودنجر، واعتبر أن الدالة الموجية توفر وصفا كاملا لنظام الأحداث الكوانتية في فرديتها، ومن ثم تُعرَّف معادلة شرودنجر الموجية على أنها المعادلة الأساسية لميكانيكا الكم، لأنها تحدد نوع الوظائف المطلوبة لمختلف حالات الحركة وتفاعل الجسيمات الدقيقة. أما أينشتاين فقد رفض الوصف الفردي للأحداث الكمية، بل دافع على فكرة التشابك والتعقيد فيها، أي يجب ربط الحدث الفردي بمجموعة الأحداث الأخرى، حيث تعني المجموعة تجميع الجسيمات الكبيرة (عدد كبير من قطط شرودنجر). وهذا يعني أن قوانين فيزياء الكم ذات طابع إحصائي. أي لا ينبغي الاقتصار على وصف نظام كمي واحد عن طريق قياس فردي واحد، بل يجب وصف أنظمة متطابقة، والتحقق منها من خلال سلسلة من القياسات المتكررة. لذلك يقول: "يصل المرء إلى مفاهيم نظرية غير قابلة للتصديق للغاية، إذا حاول المرء الحفاظ على الأطروحة القائلة بأن نظرية الكم الإحصائية قادرة من حيث المبدأ على إنتاج وصف كامل للنظام الفيزيائي الفردي. ومن ناحية أخرى، تختفي صعوبات التفسير النظري، إذا رأى أحدهم الوصف الميكانيكي الكمومي كوصف لمجموعة النظم". ينظر:

Albert Einstein. (1949). "Reply To Criticisms". In Albert Einstein: Philosopher-Scientist, (Volume VII in the Library of Living Philosophers), edited by Paul Arthur Schilpp. (pp. 663-688), New York: MJF Books, p.671.

[17]- أومنيس رولان. (أبريل 2008). فلسفة الكوانتم، فهم العلم المعاصر وتأويله. ترجمة: أحمد فؤاد باشا ويمنى طريف الخولي، الكويت: المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب، عالم المعرفة، عدد 350، ص201. (سنكتفي في الهوامش اللاحقة ب'فلسفة الكوانتم')

واحد من ستة. أما الموجة الاحتمالية [...] فهي تقدم شيئا وسطا يقف بين فكرة الحدث والحدث الفعلي، أي أنها نوع غريب من الواقع المادي في المنتصف بين الإمكانية والواقع"[18].

تختلف الفيزياء عن الرياضيات، لأنها تجمع في بنائها بين النظرية والتجريب: أما النظرية فهي تعبير عن العلاقات بين المتغيرات بلغة صورية صارمة، وأما التجارب فهي معايير يحتكم إليها الباحث لمنح قوة وامتداد للنظرية في الواقع. وفي هذا السياق يعتبر الوضعيون أن صدق قضايا العلوم (خصوصا الفيزياء) رهين، من جهة، بالرموز الرياضية والمنطقية المُعَرِّفَة ذاتها بذاتها (تحصيل حاصل)؛ ومن جهة أخرى، بالبيانات التركيبية التي تتضمن حدود اللغة الشيئية - أو المشتقة منها - والمُتَحَقَّق منها تجريبيا. ومبررهم في ذلك هو أن المتكلمون بمقدورهم تكوين تصورات وتمثلات عن الواقع كما هو، كما يمكنهم ترجمة هذه التصورات في حدود وقضايا تصدق إذا طابقت الواقعة وتكذب إذا خالفتها. أي أن الصدق من هذا المنظور الاختزالي قيمة معرفية موضوعية كونية تتجاوز كل الذوات، تفرض وضوحها وبداهتها على كل العقول. وينتج عن ذلك أن الأحكام الصادقة هي أحكام الواقع التي يكشف العلم عن موضوعيتها وتماسكها المنطقي، أما ما عدا ذلك فهي مجرد قضايا زائفة أو أشباه قضايا، لأنها تعبر عن أحكام قيمة رهينة بالذوات ووجهات النظر والخطابات التي تصدر عنها. ومن هنا يصر الوضعيون على أن العلم هو المعرفة الصادقة صدقا موضوعيا، سواء كانت قضاياه تحصيل حاصل، أي نتاج قوانين المنطق، أو كانت قضاياه تركيبية تجريبية ناتجة عن ملاحظات واستدلالات نظرية محكومة بقوانين ضرورية تربط بين متغيرات الظواهر. وهكذا يميز كارناب (أبرز فلاسفة الاتجاه الوضعي المنطقي) بين لغة العلم الحاملة للمعنى ولغة الخطابات الميتافيزيقية الزائفة، مبينا أن اللغة الفيزيائية/الشيئية هي اللغة المشتركة بين جميع الذوات لأنها لغة بينذاتية[19]، فهي تصف العالم المشترك الفيزيائي القابل للملاحظة من طرف جميع الذوات، لأن عبارات البروتوكول في العلم هي وحدها القادرة على التعبير عن وقائع الملاحظة للأشياء الفيزيائية في الزمان والمكان، وهي المشترك بين جميع الملاحظين. وهي

[18]- Heisenberg. Physics and Philosophy. p. 40-41.

[19]- وتجدر الإشارة إلى أن كارناب تبنى فكرة البيننذاتية بهدف تأسيس وبناء العلم على أساس موضوعي، إذ يعتبر أن بناء اللغة العلمية لا يتم إلا من خلال المجال المشترك الذي تتقاسمه الذوات اعتمادا على تجاربهم، فكل ذات لها رصيد مهم خاص بها من التجارب حول ظواهر العالم، لكن المفاهيم العلمية لا تبنى إلا انطلاقا من التجارب المشتركة حول ظواهر العالم الموجود بالنسبة لكل واحد منا. يقول في مستهل الفقرة 149من كتابه 'البناء المنطقي للعالم': "يشكل العالم المابين-ذاتي المجال الحقيقي لموضوعات العلم. بيد أن العلم لا يشمل فقط العبارات المابين-ذواتية، بل العبارات غير المابين-ذواتية أيضا التي تقابل العبارات المابين-ذواتية أو التي يمكن تحويلها إلى عبارات ما بين-ذواتية. إن هذا التحويل هو أحد مهام العلم، بهدف العلم، بشكل خاص، إلى إنتاج جهاز من العبارات المابين-ذواتية". ينظر: كارناب رودولف (2011). *البناء المنطقي للعالم والمسائل الزائفة في الفلسفة*، ترجمة وتقديم يوسف تيبس. بيروت: المنظمة العربية للترجمة، الطبعة الأول، ص 433.

لغة عامة وكلية لأنها قابلة للترجمة إلى عبارات وقضايا يمكن التحقق منها تجريبيا، وهذا ما يدفع إلى استبعاد كل القضايا التي لا معنى لها. وعليه، فإن المعرفة - بصفة عامة - ترتبط أشد الارتباط بالتجارب حول الموضوعات الفيزيائية المختلفة التي تتآلف (تَتَرَكَّبُ) فيما بينها لتشكل كائنات الوعي[20]، أي أن المفاهيم العلمية قابلة للضبط المنطقي والاختبار التجريبي. لأن الغاية من بناء المعرفة العلمية هو تأسيس المفاهيم العلمية على أساس موضوعي، حيث تشتق المفاهيم من حدود الملاحظة وتصبح قابلة للتبليغ ما بين الذوات العارفة.

بناء على ما تقدم يتبين أن كارناب يسعى إلى تأسيس لغة العلم على أساسين اثنين: أحدهما تجريبي قائم على الملاحظة والاختبار الحسي (اللغة الشيئية)، والآخر نظري قائم على الاشتقاق والاستنتاج المنطقي (اللغة الفوقية)، لأن اللغة العلمية - حسب كارناب - يجب أن ترفض كل الخطابات الميتافيزيقية أو اللاهوتية أو الأخلاقية التي لا تصمد أمام التحقق التجريبي والصورنة المنطقية. وعليه، فإن اللغة المقبولة في مجال العلم لا تشتمل إلا على عبارات وحدود يمكن أن تكون على أربعة ضروب:

- عبارات الملاحظة (البروتوكول) الحقة: وهي حدود اللغة الشيئية التي تسمي الأشياء والوقائع[21]؛
- عبارات نظرية محضة: وهي التي تشتمل على الحدود النظرية من دون حدود الملاحظة، وهذه الحدود لا تعود إلى الملاحظة المباشرة، وإن كانت مشتقة منها، كقوانين الكهرومغناطيسية والميكانيكا الكوانتية وغيرها من المجالات العلمية التي توظف فيها مفاهيم وحدود نظرية لا تُلاحَظ بشكل مباشر، بل تُسْتَنْتَج منها فقط[22]؛
- حدود منطقية خالصة: وهي علامات تشتمل على الروابط والعوامل المنطقية كالوصل والفصل والأسوار وغيرها، وفي هذا الصدد يتبنى كارناب النموذج الصوري المنطقي الذي اعتمده راسل واويتهد[23]؛
- قواعد التقابل التي تشمل حدود النظرية والملاحظة: أي تلك العبارات التي تجمع بين حدود اللغة الشيئية القابلة للقياس والملاحظة المباشرة والحدود النظرية التي تشتق من خلال قوانين الاستنتاج والتركيب من حدود الملاحظة[24].

---

[20]- كارناب. البناء المنطقي للعالم، ص 514.

[21]- Carnap Rudolf (1968). "The Methodological Character of theoretical Concepts." In *The Foundations of Science and the Concepts of Psychology and Psychoanalysis* (1956), vol. 1, edited by Herbert Feigl & Michael Scriven (pp. 38-76). Minneapolis: University of Minnesota Press, p. 40 - 42.

[22]- Ibid. p. 43 - 46:

[23]- كارناب. البناء المنطقي للعالم، ص 351.

تستند الوضعية المنطقية في نقدها للأنساق النظرية التي تزعم أن العقل الرياضي هو الذي يحتل الصدارة في بناء النظريات الفيزيائية إلى مرجعية تجريبية منطقية: تجريبية لأنها ترى أن التجربة هي المصدر الوحيد لكل ما يمكن أن نحصل عليه من معارف عن الواقع، فهي لا تؤمن بوجود أفكار قبلية بديهية، وبالتالي فإن القضايا التي تتحدث عن أشياء لا يمكن التحقق منها بالتجربة هي قضايا فارغة من المعنى (القضايا الميتافيزيقية) عموما؛ وهي منطقية، لأنها تعتبر أن الحصول على معارف يقينية في مجال العلم، ينتج عن بناء منطقي صارم. ولذلك يميز المناطقة الوضعيون بين القضايا ذات المعنى، وهي القضايا التركيبية (قضايا العلوم الطبيعية) والقضايا التحليلية (قضايا الرياضيات والمنطق)؛ وشبه القضايا أو القضايا الفارغة من المعنى، وهي القضايا الميتافيزيقية الغامضة والملتبسة والمتناقضة ذاتيا مثل: الخطابات الأخلاقية، والجمالية، والدينية، وغيرها.

تتحدد رؤية الاتجاه الوضعي للعلم المعاصر من خلال الاهتمام بالواقع الحسي فقط، والابتعاد عن المجرد، واعتبار التجربة معيار صدق النظرية. لذا تم اعتبار الواقع المدروس هو واقع موضوعي، حسي ملموس داخل فضاء مختبري خاضع للمراقبة والقياس والمشاهدة، إذ يقوم الباحث باستنطاق الظاهرة قصد إثبات أو إبطال الفرضيات. والفرضية التي تصمد أمام التجربة تصبح نظرية واقعية. وهذا يعني أن التجربة هي الأساس لكل معرفة علمية، أما النظريات التي لا واقع يسندها تبقى ضربا من التصوف والهلوسة الميتافيزيقية الغامضة والمتناقضة ذاتيا.

رفض آينشتاين التصور الوضعي المبالغ في منح الصدارة للتجربة على حساب الاستدلال الرياضي، معتبرا أن العقل الرياضي هو الذي يبدع المفاهيم والمبادئ التي يتكون منها النسق النظري للعلم (الفيزياء). لأن الواقع الذي تدرسه الفيزياء المعاصرة ليس معطى مباشرا للتجارب الحسية، كما أن المفاهيم والعلاقات الضرورية بين متغيرات الظواهر هي إبداعات حرة للعقل الرياضي، إذ تشكل الجزء الأساسي من النظرية العلمية. وهذا ما جعل العقلية العلمية المعاصرة تكسر الأطر العقلانية الكلاسيكية القائمة بالأساس على مفاهيم: 'البساطة' و'البداهة' و'الوضوح'، وهذا ما يخالف الممارسة العلمية المعقدة في الفيزياء المعاصرة، حيث تم تجاوز القواعد العقلية للمذهب الآلي في نظر علماء القرن19 والتي كان يعتقد أنها قواعد ثابتة لا تتزعزع.

إذا كانت النزعة الوضعية تحدد معيار صلاحية النظرية في مبدأ التحقق التجريبي، فإن نزعة آينشتاين الرياضية العقلانية رفضت فكرة أن 'التجربة هي المعيار الذي يحدد صدق النظرية العلمية'؛ إذ لا يمكن في نظره اعتبار التجربة هي نقطة انطلاقنا في إنتاج معرفة حول الواقع، بل

[24]- Carnap. "The Methodological Character of Theoretical Concepts." p.47 - 49.

إن العقل الرياضي هو مفتاح فهم الظواهر الطبيعية. هكذا فالنتائج الخاصة بالنسق العلمي في الفيزياء النظرية يتم استنباطها منطقيا من المفاهيم والقوانين المكونة لها، وهذه النتائج المستنبطة عقليا هي التي يجب أن تتطابق معها تجاربنا وليس العكس. وهذا ما عبر عنه أينشتاين بقوله: "العقل يمنح النسق بنيته، أما المعطيات التجريبية وعلاقاتها المتبادلة فيجب أن تطابق القضايا الناتجة عن النظرية"[25]. بمعنى أن الفيزياء المعاصرة هي بناء أكسيوماتيكي رياضي، أما التجربة الواقعية فهي مطالبة بالتطابق مع ما تتوصل إليه النظرية عن طريق الاستنباط المنطقي. وفضلا عن ذلك أصبحت التجربة نفسها ذهنية وافتراضية أكثر مما هي حسية مخبرية. وهذا ما دفع آينشتاين إلى الدفاع عن كون العقلانية المعاصرة تستند إلى نشاط حر للعقل الرياضي الذي يبدع المفاهيم والمبادئ المكونة لأنساق النظرية للعلم. فجوهر الاختلاف بين الاتجاهين العقلاني والتجريبي يكمن في معيار المطابقة هل هو خارجي، أي المطابقة مع التجربة، أم داخلي، أي انسجام النظرية وعدم تناقضها. فالعقلانية المعاصرة في نظرتها الجديدة لم تحصر وظيفة النظرية في الوصف، لأن الواقع المدروس لم يعد قابلا للملاحظة العيانية والمباشرة، لذا لم تعد تنحصر مهمة الباحث في المشاهدة، بل رد الظاهرة المدروسة إلى بناءات وافتراضات عقلية. وهكذا تم تحويل الواقع الحسي إلى واقع رمزي معبر عنه بأرقام ومعادلات وبيانات. وهو ما يفيد سيادة النزعة الرمزية الرياضية بدل النزعة التجريبية الحسية.

على النقيض من التصورين التجريبي الوضعي والعقلاني الرياضي دافع بتنام عن تشابك بين الرياضيات/المنطق والفيزياء، مقدما أمثلة كثيرة من النظريات العلمية، محاولا الدفاع عن حضور البعد التجريبي في الرياضيات (الهندسة بالخصوص) والمنطق في مقاله المشهور "هل المنطق تجريبي؟' والذي أعاد نشره في كتابه 'الرياضيات، المادة والمنهج' تحت عنوان 'منطق ميكانيكا الكم'، قائلا: "إن المنطق تجريبيٌ مثل الهندسة. إذ من المعقول الحديث عن 'المنطق الفيزيائي' كما نتحدث عن 'الهندسة الفيزيائية'. إننا نعيش في عالم بمنطق غير تقليدي"[26]. فالهندسة والفيزياء يكملان بعضهما البعض، ويتداخلان بشكل لا يمكن الفصل بينهما انفصالا انشطاريا، وحجته في ذلك أن النظرية النسبية العامة لآينشتاين تقوم على مبادئ تعادي البداهة والحس السليم، فالشخص الذي يجهل الهندسات اللاأقليدية لا يستطيع أن يتفهم أن مستقيمين متوازيين يمكن أن يتقاربا في مكان ما، حيث تتقلص المسافة التي تفصلهما نتيجة انحناءات في الفضاء الذي تتحرك فيه

[25]- Albert Einstein (1934). Comment je vois le monde ? traduit par : Colonel Cros, Paris : Ernest Flammarion, p. 166.

[26]- Putnam Hilary (1979). *Mathematics, Matter and Method, Philosophical Papers, vol. 1*, (1975). Cambridge: Cambridge University Press, Second edition, p. 184.

الجسيمات المادية، وبذلك تصبح مسلمة التوازي الأقليدية مجرد حالة خاصة، كما أن تقارب المسافة بين الفوتونات الضوئية التي انطلقت بشكل متواز أمر ممكن في البناء النظري للنسبية العامة، بمعنى أن تلك البداهات القبلية لم تعد كذلك في النظريات العلمية المعاصرة، فما كان غير ممكن بالأمس (تقارب المسافة بين متوازيين وتغير نسب التقارب لدرجة يمكن أن تنعدم بالمرة) أصبح ممكنا في إطار تصوري آخر (الهندسات اللاأقليدية، نظرية النسبية العامة)[27]. وما ينطبق على علاقة الهندسات اللاأقليدية بنظرية النسبية العامة ينطبق كذلك على علاقة المنطق بنظرية ميكانيكا الكم (النظرية الكوانتية)، فإذ كانت أوليات الرياضيات لا تحوز على الصدق بشكل قبلي، فالمنطق كذلك لا يجب أن يتعالى عن الواقع العلمي الذي يصورنه، وينقل ما يقوله عنه المتكلمين بلغة طبيعية إلى لغة رمزية منطقية. وللدفاع عن هذه الأطروحة استشهد بتنام بالمأزق الإبستيمولوجي الذي عرفته ميكانيكا الكم، مبرزا الفرق الواضح بين معاني الروابط المنطقية في النسق الكلاسيكي لوصف القضايا الفيزيائية المعتادة مقارنة بالنسق الكمي: فإذا كانت خاصية التبادلية والتجميعية خصائص أساسية في المنطق الكلاسيكي، فإن المنطق الكمي لا يقبل هذه الخاصية بسبب الافتراضات النظرية لميكانيكا الكم. فإذا كان الوصل المنطقي بين العبارتين 'القطة ميتة' و'القطة حية' كاذب في المنطق الرمزي الكلاسيكي: لأن 'ب ∧ ¬ب' دائما كاذبة مهما كانت قيمتي 'ب'؛ فإن المنطق الكمي لا يمكن أن يحسم في قيمتي صدق (صادقة أو كاذبة) هذه العبارة إلا بعديا، وهذا الأمر سينعكس على أبرز مبدأ قام عليه المنطق الكلاسيكي وهو مبدأ الثالث المرفوع. إذ لا يوجد وسط بين الصدق والكذب، أما في منطق الكم فهو غير معني باحترام هذا المبدأ، كما بين ذلك بتنام، لأن صدق الكل قد يصبح كذبا عند توزيع الوصل على الفصل، أو العكس (توزيع الفصل على الوصل)، وهذا اختصار ذلك:

" [ب ∧ (ج ∨ د)⟺(ب ∧ ج) ∨ (ب ∧ د)] و[ب ∨ (ج ∧ د) ⟺ (ب ∨ ج) ∧ (ب ∨ د)]

وهنا يكمن الاختلاف بين المنطق الكلاسيكي والمنطق الكمي: فإذ كانت هذه القضايا تشكل شبكة توزيع في المنطق الكلاسيكي، فإن المنطق الكمي لا يقبل هذه الشبكة التوزيعية"[28]. أي أن النسق الكمي 'يغير من معاني' الروابط المنطقية. بمعنى أكثر دقة يمكن القول إن معاني الروابط المنطقية تتحدد من الوظيفة العملية التي تؤديها داخل النسق، إذ تُعَرَّف 'تَعْريفات عملية' تنسجم مع طبيعة الواقع الفيزيائي الذي يحاول المنطق صورنته. والسبب في ذلك أن الواقع الذي تصفه ميكانيكا الكم يختلف عن الواقع المعتاد الذي تصفه قوانين الفيزياء الكلاسيكية. إذ بينت الوقائع

[27]- Ibid. p. 175.

[28]- Putnam. Mathematics, Matter and Method, p. 194.

التجريبية أن سلوك الجسيمات المادية لا يمكن معرفته إلا بعديا، أي أن النتيجة المتوقعة تبقى احتمالية فقط وليست مؤكدة. ولتفادي الإحراجات التي تخيرنا بين ثلاث: "(1) إما أن قوانين ميكانيكا الكم خاطئة، (2) وإما أن هناك 'متغيرات خفية'؛ (3) وإما 'إن القطيعة بين الملاحِظ والنسق الملاحَظ' قائمة فعلا. يبقى خيار واحد ممكن، وها هو ذا: نفي وجود عمليات مخصوصة ودالة حول القضايا ذات الخصائص الكلاسيكية المسندة إلى 'و' [Λ] و'أو' [V]"[29]. بمعنى أن الحل الأمثل للخروج من المأزق الذي سقطت فيه ميكانيكا الكم هو عدم منح الروابط المنطقية دلالات قبلية تحليلية، لذلك يجب ربط معاني الروابط بالواقع الفيزيائي الذي تعبر عنه سواء في حالة حركة الأجسام الاعتيادية التي تتناسب مع معاني الكلاسيكية للروابط المنطقية أو في حالة حركة الإلكترونات، بمعنى أننا مطالبين بإعادة تأويل معاني الروابط المنطقية لترميز سلوك الجسيمات المادية لتناسب الواقع الفيزيائي الملحوظ. وهذا الأمر دفع ببتنام إلى اعتبار أن معاني المفاهيم النظرية في العلم لها هوية تتغير بتغير الخطاطات التصورية وليست ماهية ثابتة محددة سلفا وبشكل قبلي كما يصر على ذلك الواقعيون والدلاليون الصوريون.

إن تعقيدات الواقع العلمي هو الذي دفع العقل الرياضي إلى خلق المفاهيم واكتشاف القوانين المفسرة للواقع الفيزيائي. وغالبا ما تتطابق نتائج العقل الرياضي مع ما تؤكده التجربة، إلا أنه قد تفشل هذه الأخيرة في التحقق من صحة ما هو نظري، وهذا لا ينقص من قيمة كشوفات العقل، بل قد يرجع إلى محدودية وسائلنا وأدواتنا في فهم الواقع. لذلك يقول آينشتاين: "إن المبدأ الخلاق في العلم لا يكمن في التجربة، بل في العقل الرياضي"[30]. لكن كيف يمكن التغلب على الثغرات التي يكشف عنها البناء النظري لميكانيكا الكم (المعادلات الاحتمالية)، والوقائع التجريبية (المخبرية)؟

III. ميكانيكا الكم بين التفسير والتأويل.

حاول آينشتاين وزميلَيْه بودولسكي (Boris Podolsky) وروزن (Nathan Rosen) - الدفاع عن مبدأ السببية، معتبرين أن الحتمية شرط ضروري لأي قياس في الفيزياء، أي أن الحتمية تحضر حتى عندما نجرب على الجسيمات الكوانتية. لذلك اعتبروا أن فيزياء الكم لا زال بناؤها النظري لم يكتمل بما فيه الكفاية، حيث إن هناك متغيرات خفية لم تتمكن العدد التجريبية من ضبطها. لذلك يصعب التنبؤ بسلوك الجسيمات، إذ يمكن توقع ظهور الإلكترونات في موقع ما، كما يمكن توقع غيابها. ولقد تبين من تجارب حاسمة أن حزم الفوتونات التي تعرض في اتجاهين متعاكسين،

[29]- Putnam. Mathematics, Matter and Method, p. 189

[30]- Einstein. Comment je vois le monde ? p.169.

تخترق حاجزين نصف شفافين لتصطدم بشاشتين للرصد متقابلتين، تبين أن الفوتونين اللذين ينطلقان في نفس اللحظة في الاتجاهين المتعاكسين يظهران أو يغيبان معا على شاشتي الرصد، وكأنهما يتواصلان فيما بينهما لاتخاذ نفس السلوك، وهذا الأمر لكي يتحقق لا بدا من تجاوز سرعة الضوء ليتمكن أحد الفوتونين التواصل مع الآخر لإخباره بموقعه وسلوكه الحركي، وهذا غير ممكن بحسب قوانين النظرية النسبية لآينشتاين، لأن أقصى سرعة ممكنة هي سرعة الضوء.

وعكس ما ذهب إليه آينشتاين وزميلاه رفض رواد مدرسة كوبنهاجن - أمثال: بور، هيزنبرج وآخرون - أطروحة وجود متغيرات خفية لم تحط بها نظرية الكم بعد، بقدر ما دافعوا على أطروحة أن العالم الميكروفيزيائي عالم معقد، تتداخل في فهمه نظريتين: إحداهما تفسر السلوك الجسيمي المادي للجسيمات؛ وأخرى موجية تأول المعادلات الاحتمالية. بمعنى أن الباحث مطالب بالتعامل مع موضوعه من خلال الفصل بين ما يلاحظه بخصوص سلوك الجسيم بأدوات الملاحظة والقياس، والاستدلال نظريا على موجة انتشاره بلغة رياضية رمزية. إذ "يتطلب التفسير النظري للتجربة ثلاث خطوات متميزة: (1) ترجمة الوضعية التجريبية الأولية إلى دالة احتمالية؛ (2) تتبع هذه الدالة مع مرور الزمن؛ (3) بيان القياس الجديد الذي يجب إجراؤه للنظام، ويمكن بعد ذلك حساب النتيجة المتحصل عليها من دالة الاحتمال. بالنسبة للخطوة الأولى، فإن تحقيق علاقات عدم اليقين هو شرط ضروري. أما الخطوة الثانية فلا يمكن وصفها انطلاقا من المفاهيم الكلاسيكية؛ إذ لا يوجد وصف لما يحدث للنظام بين الملاحظة الأولية والقياس التالي. فقط في الخطوة الثالثة نغير مرة أخرى من 'الممكن' إلى 'الفعلي'"[31].

ينبه بور الباحثين في العالم الميكروفيزيائي إلى أهمية التمييز بين عالم الجسيمات الذي يظهر عند القياسات 'والعالم الجسيمي الذري في ذاته'. ويلزم عن هذا أننا أمام موقف لا يمكن فيه أن نجمع بين النظرية الجسيمية والنظرية الموجية في الآن نفسه. أي إما أن نلاحظ وجود الجسيم بأدوات الملاحظة والقياس، وإما أن نستدل نظريا على موجة انتشاره بلغة رياضية رمزية، وكلا التأويلين متتامان أي لا تناقض بينهما وإن كان متناقضين أصلا. بمعنى أن منطق الحديث عن فيزياء الكم ليس هو منطق الحديث عن الفيزياء الكلاسيكية، لأن مبدأ الهوية والثالث المرفوع وعدم التناقض غير صالحة لوصف ما يحدث في فيزياء الكم. بمعنى آخر يمكن رصد الإلكترون - مثلا - في موقع 'أ' و'ب' في الوقت نفسه وليس فيهما معا في الوقت نفسه. فهو في كلا الموضعين دون أن يكون فيهما معا. لذلك يؤكد هيزنبرج بقوله "في الواقع لا نحتاج إلى الحديث عن الجسيمات على الإطلاق. بالنسبة للعديد من التجارب، يكون الحديث عن موجات المادة أكثر ملاءمة، على سبيل

[31]- Heisenberg. Physics and Philosophy, p. 46-47.

المثال، موجات مادة ثابتة حول نواة الذرة "[32]. ويرجع سبب ذلك إلى أن "دالة الاحتمال هي مزيج بين شيئين: جزء منها يتعلق بالواقعة، والجزء الآخر يتعلق بمعرفتنا حول هذه الواقعة. إنها تمثل الواقعة بقدر ما تعين في الوقت الأولي وحدة الاحتمال (أي اليقين الكامل) للحالة الأولية: يتحرك الإلكترون بالسرعة المرصودة في الموضع المرصود؛ و'الرصد' هنا يعني الملاحظة في ظل التجربة الدقيقة. إنها تمثل معرفتنا بقدر ما يمكن لمراقب آخر أن يعرف موقع الإلكترون بشكل أكثر دقة. لا يمثل الخطأ في التجربة إلى حد ما على الأقل خاصية للإلكترون، ولكن يمثل نقصا في معرفتنا بالإلكترون. كما يتم التعبير عن هذا النقص في المعرفة في دالة الاحتمال"[33]. وهذا الانفلات من عملية الملاحظة ينعكس على ما يمكن أن يتنبأ به الراصد، فهو لا يستطيع الجزم في المكان الذي يمكن أن يكون فيه الإلكترون. حيث يمكن أن يوجد في الموقعين معا. وهذا الأمر جعل أومنيس يشبه معضلة وجود الإلكترون في مكانين بالواقعة المستحيلة التي يمكن تلخيصها كما يلي: "نتحدث مع شخص هو عينه في الهاتف، لكن عندما نراه بشكل مباشر فإنه لا يتكلم البتة ويبدو وكأنه قطة"[34].

وجد بور في القسمة الثنائية الكانطية 'العالم الظاهر' و'العالم في ذاته' ضالته لفهم الطابع المزدوج للعالم الميكروسكوبي: لدرجة أن بور يميز بين عالم الجسيمات الذي يظهر عند القياسات 'والعالم الجسيمي الذري في ذاته'. وكأن بور يعترف بقدرة الذهن على وصف الجسيمات في ماديتها، لكنه لا يعرف عما يتحدث عندما يحاول استعمال نفس اللغة المادية لوصف حالتها الموجية (كما هي في ذاتها). يقول هيزنبرج واصفا الإطار النظري لميكانيكا الكم التي دافع عنه بور بقوله: "دعا بور إلى استخدام كلتا الصورتين، ووصفهما بأنهما 'مكملتان' لبعضهما البعض. الصورتان متنافيتان بالطبع، لأن شيئا معينا لا يمكن أن يكون في نفس الوقت جسيما (أي مادة محصورة في حجم صغير جدا) وموجة (أي حقل منتشر على مساحة كبيرة)، ولكن الاثنان يكمل كل منهما الآخر. من خلال اللعب بكلتا الصورتين، بالانتقال من صورة إلى أخرى والعودة مرة أخرى، نحصل أخيرا على الانطباع الصحيح عن النوع الغريب من الواقع وراء تجاربنا الذرية. يستخدم بور مفهوم 'التكامل' في عدة أماكن في تفسير نظرية الكم. إن معرفة موقع الجسيم مكمل لمعرفة سرعته أو كمية

[32]- Heisenberg. Physics and Philosophy, p. 48

[33]- Heisenberg. Physics and Philosophy, p. 45.

[34]- أومنيس. فلسفة الكوانتم، ص:204.

حركته. إذا عرفنا أحدهما بدقة عالية لا يمكننا معرفة الآخر بدقة عالية؛ لا يزال يتعين علينا معرفة كليهما لتحديد سلوك النظام"[35].

لقد أحدث بور بخاصية التكامل في فيزياء الكم انشطارا بين نسقين من الفيزياء: فيزياء كلاسيكية قائمة على مبدأ الحتمية واليقين، وفيزياء كوانتية تصاغ معظم قوانينها بلغة احتمالية رياضية خالصة وبقيت تحت رحمة المصادفة واللايقين، وهنا يبدأ التأويل، حيث يجد الباحث نفسه أمام مفارقة: فمن جهة، يصف بمصطلحات الفيزياء الكلاسيكية تجاربه، سواء كانت تشير إلى ظواهر الحياة اليومية أو الأحداث الذرية، إذ تشكل مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية اللغة التي نصف بها ترتيب تجاربنا ونوضح النتائج، حيث لا يمكننا ولا يجب أن نستبدل هذه المفاهيم بأي مفاهيم أخرى؛ ومن جهة أخرى يصطدم بمبدأ عدم اليقين، حيث لا يستطيع أن يتنبأ بنتائج ما يلاحظه كما لا يستطيع أن يحسم في الأسباب التي كانت وراء تلك الأحداث الذرية. لذلك "يجب أن نضع في اعتبارنا هذا النطاق المحدود من قابلية تطبيق المفاهيم الكلاسيكية أثناء استخدامها [في وصف الظواهر الكوانتية]، حيث لا يمكننا ولا يجب أن نحاول تحسينها"[36]. وبالتالي فإن التأويل الذي دافعت عنه مدرسة كوبنهاجن قد هدد وحدة العلم التي طالما تغنى بها الوضعيون المناطقة، وأكثر من ذلك هدد النظرية النسبية العامة لآينشتاين المدافعة عن حتمية قوانين الفيزياء وتفسيرها السببي. صحيح أن "بور اعتبر أن الصورتين، الصورة الجسيمية والصورة الموجية، هما وصفين متكاملين للواقع نفسه. يمكن أن يكون أي من هذه الأوصاف صحيحا جزئيا فقط، ويجب أن تكون هناك قيود على استخدام مفهوم الجسيم وكذلك مفهوم الموجة، وإلا فلن يتمكن المرء من تجنب التناقضات. إذا أخذ المرء في الاعتبار تلك القيود التي يمكن التعبير عنها من خلال علاقات عدم اليقين، فإن التناقضات تختفي"[37]. وبهذا انتصر بور للطبيعة المزدوجة للعالم الذري، حيث يمكن للذوات المحدودة الفكر أن تتحدث وتستعمل لغة الفيزياء الوصفية والشيئية والتعبير عن الملاحظات المجهزة تقنيا دون أن تنفذ إلى حقيقة العالم الذري في ذاته، لأن عقولنا المسكينة لا تقدر على ذلك، ولا تقوى على فهم غموض هذا العالم. لذلك يقول أومنيس: "أخبرني بنتيجة القياس الأول وسوف أعطيك الدالة الموجية التي تحسب بها احتمالات نتاجات القياس الثاني"[38].

لقد كانت مواجهة آينشتاين لغريمه بور قائمة على تجارب ذهنية بالأساس، لكن تم تصميمها فيما بعد، لكن هذه التجارب عوض أن تحسم النقاش في طبيعة سلوك الجسيمات المادية زادت

[35]- Heisenberg. Physics and Philosophy, p. 49-50

[36]- Heisenberg. Physics and Philosophy, p. 44.

[37]- Heisenberg. Physics and Philosophy, p. 43.

[38]- أومنيس. فلسفة الكوانتم، ص208

الأمر تعقيدا. وتبين أن الطابع المزدوج (موجة/جسيم) لا مفر منه لوصف العالم الميكروفيزيائي. ولذلك سيفتح المجال لتأويل الرموز الرياضية للمعادلات الاحتمالية للموجات التي ينتشر فيها الجسيم عوض التفسير السببي الذي يبحث عن الأسباب المادية المتحكمة في حركته وموقعه في الزمكان. أي بدل تحديد موضع الإلكترون والحسم في طبيعة سلوكه والتنبؤ بحضوره أو غيابه اعتمادا على الملاحظة يستدل الباحث باستدلالات رياضية على احتمالات انتشار الموجات والسحابات الجسيمية، أي عوض النظر إلى سلوك الجسيم بمنظار ابستيمولوجي قائم على مبدأي الحتمية والسببية ستنظر إليه من منظور ابستيمولوجي قائم على اللايقين والاحتمال. وهذا يعني أن العالم الميكروفيزيائي عالم لاحتمي، أي لا يتحدد بمسار الجسيمات وسلوكها المادي، بل هو عالم مزدوج يظهر للعين الراصدة كجسيم لكن ينتشر وفق موجات تعبر عنها معادلات احتمالية. سيؤدي هذا الأمر إلى فتح المجال للتأويل ومنح دلالات ومعاني مغايرة للمفاهيم الفيزيائية الكلاسيكية. فعندما يسأل الفيزيائي سؤالا من قبيل: ما الذي يحدث 'حقا' في حدث ذري؟ يجد نفسه في وضع لا يستطيع أن يقول فيه يقينا ماذا حدث، وأكثر من ذلك لا يستطيع أن يتنبأ بماذا سيحدث. أما أولئك الذين طمحوا إلى الوصول إلى تفسير كلي للظواهر انطلاقا من مبدأي الحتمية والسببية فقد خاب ظنهم. لأن تحديد نتائج الملاحظة باستعمال المفاهيم الكلاسيكية لا يجدي نفعا. و"ما يستنتجه المرء من الملاحظة هو دالة احتمالية، تعبير رياضي يجمع بين العبارات حول الاحتمالات أو الاتجاهات مع عبارات حول معرفتنا بالحقائق. لذلك لا يمكننا أن نجعل نتيجة الملاحظة موضوعية تماما، ولا يمكننا وصف ما 'يحدث' بين هذه الملاحظة والملاحظة التالية. يبدو هذا كما لو أننا أدخلنا عنصرا من الذاتية في النظرية، كما لو أردنا أن نقول: ما يحدث يعتمد على كيفية ملاحظتنا له أو على حقيقة أننا نلاحظه"[39]. وبذلك تكون الذات التي حاولت الاتجاهات الوضعية طردها من نافذة بيت العلوم الفيزيائية الكلاسيكية قد ولجت قصر فيزياء المعاصرة (النظرية الكوانتية) من أوسع أبوابه، وبات بذلك العلم مفتوح على تأويل وفهم دلالات الرموز الرياضية والمنطقية قصد التأسيس للواقع الذي لم يعد واقعا خاما ينبغي القبض عليه، بل الواقع أصبح مبنيا ويدخل في جدل مع العقل، لأن وعي الذات نفسه لا يفهم إلا انطلاقا من غموض العالم المايكروسكوبي وتعقيدات تشابكاته وتفاعلات جسيماته المتناهية في الصغر.

خاتمة.

[39]- Heisenberg. Physics and Philosophy, p. 50-51

يجمع الباحثون على أن النظريتين الأساسيتين المؤسستين لفهمنا نحن البشر في عصرنا هذا لطبيعة الكون هما نظرية النسبية العامة ونظرية ميكانيكا الكم، غير أن هاتين النظريتين تصفان عالمين متعارضين ومتناقضين، أحداهما أو ربما كلاهما تقومان على مبادئ يمكن إعادة النظر فيهما بشكل أساسي. وهذا ما حاولت بعض النظريات[40] القيام به، لكن دون أن تنجح في ردم الهوة الفاصلة بينهما قصد الحصول على نظرية أكثر عمومية تفسير سلوك الأجسام سواء المايكروسكوبية أو الاعتيادية، والسبب يكمن في أن المشكلة رياضية بالأساس، إذ أن النسبية العامة ليست قابلة لإعادة التنظيم حيث تقبل بإدماج القوى الطبيعية الأخرى من كهرومغناطيسية ونووية ضعيفة أو قوية إلى جانب قوة الجاذبية. كما أن ميكانيكا الكم لا يمكن أن تتخلى عن دوال الاحتمالية التي تعكس الطابع الموجي للجسيمات. وهذا التناقض والتعارض ينعكس بشكل أساسي على إدراكنا للمفاهيم المفاتيح التي تقود عملية تفسير الظواهر الفيزيائية وهي: المكان، الزمان، الطاقة، الكتلة، السرعة وغيرها.

وعموما يمكن تلخيص جوهر المشكل في المبادئ الإبستيمولوجية التي تقوم عليهما هاتين النظريتين وهذه أبرزها:

- الأول يتمثل في مبدأ السببية الذي دافعت عنه النظرية النسبية، وهو مبدأ ابستيمولوجي محوري في العلوم الفيزيائية على الأقل، وإن كان فلاسفة الوضعية المنطقية يسعون إلى تعميمه على باقي العلوم بما فيها العلوم الإنسانية، بهدف تحقيق الوحدة في العلم ووضع حد للميتافيزيقا. لذلك تصبح المعرفة العلمية هي حل الأنجع للتناقضات والالتباسات التي تحملها اللغة العادية المشحونة بالقيم والتصورات الميتافيزيقيا والأخلاقية التي لا تحمل معاني ولا تعبر عما يوجد بالفعل في الواقع. ولهذا السبب لجأ العلماء في الفيزياء خصوصا إلى التعبير عن العلاقات الضرورية بين متغيرات الظواهر الفيزيائية (الأسباب والنتائج) بلغة رياضية صارمة لا تدل إلا على تصورات دقيقة لا مجال للاختلاف فيها. إن السببية مبدأ أساسي في المعرفة العلمية لأنه يسمح بربط النتائج بالأسباب ربطا ضروريا لا تخلف فيه، وأن وراء كل أثر أو تأثير سبب وكل الأسباب المتشابهة تنتج عنها آثار ونتائج متماثلة. غير أن ميكانيكا الكم، خرجت عن هذا المسار واعتمدت لغة الرياضيات بدورها لكن لتفتح المجال

[40]- تولد عن النقاش الإبستيمولوجي بين نظريتي النسبية العامة ونظرية ميكانيكا الكم نظريات جديدة تحاول دمج النظرية أو الانتصار لإحداهما على حساب الأخرى وهي كثيرة منه: نظرية الأوتار، نظرية الحقول المجالات، نظرية الحلقات الكمومية، نظرية المتغيرات الخفية وغيرها.

للصدفة والاحتمال واللايقين أكثر من تحديد الأسباب واليقين في تفسير سلوك الجسيمات المادية وتحديد الآثار الناتجة عنها.

- والسبب الثاني هو أن النسبية العامة لا تأخذ في الاعتبار ثابت بلانك (h)، وميكانيكا الكم لا تأخذ في الاعتبار تأثير الجاذبية.
- والسبب الثالث هو نسيج الزمكان الذي تستخدمه النسبية العامة في تفسير الوقائع الفيزيائية، وهو عبارة عن فضاء محكوم بشبكة من التأثيرات العلائقية لسلوك المادة، وطاقة الأجسام المادية بدورها تؤثر على هندسة الزمكان. أما بالنسبة لميكانيكا الكم، فإن الزمان والمكان هو مجرد إطار، ولا يؤثر على المادة أو الطاقة التي يحتويها ولا يتأثر بها.

لائحة المراجع:

- Albert Einstein. (1949). Reply To Criticisms. In P. A. Schilpp, Albert Einstein: Philosopher-Scientist, (Volume VII in the Library of Living Philosophers) (pp. 663-688). New York: MJF Books.
- Audi Robert. (1999). The Cambridge Dictionary of Philosophy. Cambridge: Cambridge university press, 2nd edition.
- Carnap Rudolf. (1968). "The Methodological Character of theoretical Concepts". In Herbert Feigl & Michael Scriven, The Foundations of Science and the Concepts of Psychology and Psychoanalysis (1956), volume 1 (pp. 38-76). Minneapolis: University of Minnesota Press, (Collection: Minnesota Studies in the Philosophy of Science).
- Gaston Bachelard. (1991). Le Nouvel esprit scientifique, (1934). Paris: PUF, 4ème édition.
- Kant Immanuel. (1998). Critique of Pure Reason. Translated and edited by Paul Guyer & Allen W. Wood. Cambridge: Cambridge University Press, (The Cambridge edition of the works of Immanuel Kant).
- Les éditeurs du dictionnaire Larousse. (2022). “Éther”. Consulté le février 7, 2022, sur Larousse: https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/%C3%A9ther/31377#:~:text=1.,pur%20%3B%20espaces%20c%C3%A9lestes%20%3B%20infini
- MacLachlan James. (1997). Galileo Galilei: first physicist. New York/ Oxford: Oxford University Press.
- Putnam Hilary. (1979). Mathematics, Matter and Method, Philosophical Papers, Volume I, (1975). Cambridge: Cambridge University Press, Second edition.
- Smith George. (Winter 2008 Edition). "Newton's Philosophiae Naturalis Principia Mathematica". Retrieved January 27, 2022, from Stanford Encyclopedia of Philosophy, Edward N. Zalta (ed.): <https://plato.stanford.edu/archives/win2008/entries/newton-principia/>
- Squires Gordon Leslie. (2021, June 1). "Quantum Mechanics". Retrieved March 7, 2022, from Encyclopedia Britannica: www.britannica.com/science/quantum-mechanics-physics
- Werner Heisenberg. (1958). Physics and Philosophy, The Revolution in Modern Science, Planned and Edited by Ruth Nanda Anshen. New York: Harper & Brothers Publishers, (World Perspectives. Volume Nineteen).
- أومنيس رولان. (أبريل 2008). فلسفة الكوانتم، فهم العلم المعاصر وتأويله. ترجمة: أحمد فؤاد باشا ويمنى طريف الخولي. الكويت: المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب، عالم المعرفة، عدد 350.
- باليبار فرنسواز. (1993). أنشتين يقرأ غاليليو ونيوتن، المكان والنسبية، ترجمة سامي أدهم. بيروت: المؤسسة الجامعية للدراسات والنشر والتوزيع، الطبعة الأولى.
- كارناب رودولف. (2011). البناء المنطقي للعالم والمسائل الزائفة في الفلسفة، ترجمة وتقديم يوسف تيبس. بيروت: المنظمة العربية للترجمة، الطبعة الأولى.