جـامـعـة الـجـزائـر

كـلـيـة الـعـلـوم الإنـسـانـيـة والاجـتـمـاعـيـة

قـسـم الـفـلـسـفـة

الأبـعـاد الـمـيـتـافـيـزيـائـيـة فـي الـفـيـزيـاء الـمـعـاصـرة مـن الـنـظـريـة الـنـسـبـيـة إلـى الـنـظـريـة الـوتـريـة

مـذكـرة مـقـدمـة لـنـيـل شـهـادة الـمـاجـسـتـيـر فـي الـفـلـسـفـة

إعـداد الـطـالـب
عيسو رابح

إشـراف الأسـتـاذ
د.سعيدي حمودة

السـنـة الـجـامـعـيـة
2009-2008

جـامـعـة الـجـزائـر

كـلـيـة الـعـلـوم الإنـسـانـيـة و الاجـتـمـاعـيـة

قـسـم الـفـلـسـفـة

الأبـعـاد الـمـيـتـافـيـزيـائـيـة فـي الـفـيـزيـاء الـمـعـاصـرة
مـن الـنـظـريـة الـنـسـبـيـة إلـى الـنـظـريـة الـوتـريـة

مـذكـرة مـقـدمـة لـنـيـل شـهـادة الـمـاجـسـتـيـر فـي الـفـلـسـفـة

أعضاء اللجنة المناقشة

1- الدكتور:.....رئيسا.
2- الدكتور:.....مقررا.
3- الدكتور:.....عضوا.
4- الدكتور:.....عضوا.

إعـداد الـطـالـب
عيسو رابح

إشـراف الأسـتـاذ
د.سعيدي حمودة

السـنـة الـجـامـعـيـة
2009-2008

مقـــــدمـــــة

مـقـدمـــة

إن الجدال حول المسائل التي أفرزتها التطورات المذهلة في الفيزياء المعاصـــرة ــ خاصة نظريتي النسبية والكوانتم ــ لم تقتصر على التطبيقات العلمية فحسب، بل امتد إلـــى مسائل المفاهيم والتصورات النظرية وأكثر من ذلك الميتافيزيائية .

وسواء كانت الميتافيزياء في الفيزياء المعاصرة بمثابة إطار نظري يحـــدد الأبعـــاد البحثية في نظرية ما، أو كانت بديلا للإخفاقات التي ما فتئت تعترض الفيزياء، فانـــه مـــن المنطقي أن نتساءل عن مشروعية هذه الميتافيزياء في الفيزياء المعاصرة، خاصة إذا علمنا أن شعار الفترة المعاصرة هو القطيعة مع كل ما هو ميتافيزيائي .

يمكننا مما سبق أن نحدد إشكالية البحث كالتالي : انطلاقا من تطور النظرية الفيزيائية وتحديد عناصرها، هل يمكن القول أن هذا التطور يؤدي بالضرورة إلى نتائج ميتافيزيائيـــة متضمنة في النظرية الفيزيائية أم عبارة عن أبعاد تنطلق منها هذه النظرية محددة لها نمـــط تطورها وطبيعة صياغتها الفيزيائية ؟ ومن جهة أخرى، هل الميتافيزياء هـــو أمـــر حتمـــي مرتبط ببنية النظرية الفيزيائية ذاتها التي لا يمكن أن تتحرر من أبعادها أم هو عامـــل هـــام يساعد في تحديد مسار النظرية الفيزيائية ؟ بمعنى آخر، هل هناك مشروعية منطقية لوجود تصورات ميتافيزيائية في الفيزياء المعاصرة ؟

أما عن أسباب اختيارنا للموضوع، فهي نابعة من اطلاعاتنا المبكـــرة حـــول هـــذه الإشكاليات وهذا ما خلق فينا دافعا قويا لكشف المجهول، وهذا المجهول هو الجانب الفلسفي في الفيزياء المعاصرة. ومن يقول " الفلسفي " يقول " المتافيزيائي "، يعني هذا من جهة، ومن جهة أخرى، نرى كيف أن مختلف الدراسات التي تطرقت إلى الفيزياء المعاصرة تناولته من الجانب العلمي المحض دون لفت النظر إلى أبعاده الميتافيزيائية .

لذا وجب دراسة هذا الموضوع لنبين الجانب السالف الذكر ونفند من جهـــة أخـــرى نظرة القائلين بالعلم النقي من كل ميتافيزياء .

أما عن الخطة، فسنتبع في بحثنا هذا خطة أكثر ملاءمة لطبيعة موضوع بحثنا، ويمكن حصرها في الخطوات التالية:

الفصل الأول الذي عنوناه بالنظرية النسبية، حيث سنقف في محطة أولى على تبيان أسباب ظهور النظرية النسبية، على نقدها للفيزياء الكلاسيكية، وخاصة فرضية الأثير، ومطلقية المكان والزمان. ففشل فرضية الأثير هي التي مهدت الطريق إلى ظهور النسبية الخاصة، وبذلك قد غيرت مفهومنا عن المكان والزمان كلية، فلا يمكن أن نفكر في المكان والزمان كمفهوم عالمي جامد ثابت يشعر به كل إنسان بنفس الشكل، لكنهما يبدوان في أبحاث آينشتاين كبنى طيعة يعتمد شكلها ومظهرها على حالة الحركة التي عليها المشاهد. وعلى الفور قام تطور النسبية الخاصة، بإعداد المسرح لظهور النتيجة القائلة بأنه لا يمكن لأي جسم أن ينتقل بسرعة أكبر من سرعة الضوء. فقدم آينشتاين مفهوما جديدا للجاذبية ضمن نظرية النسبية العامة، وقد غيرت هذه الأخيرة المفاهيم السابقة عن المكان والزمان تماما كما فعلت من قبلها النسبية الخاصة. فكل من المكان والزمان لا يتأثران فقط بحركة المشاهد بل إنهما قد ينحرفان ويلتويان تبعا لوجود المادة أو الطاقة في طريقهما. وتؤدي مثل هذه التشوهات في نسيج المكان والزمان إلى انتقال قوى الجاذبية من مكان إلى آخر كما سنرى. وبذلك، فان المكان والزمان لا يمكن اعتبارهما بعد ذلك مجرد خلفية خاملة تجرى عليها أحداث العالم،بل أنهما، ومن خلال نظريتي النسبية الخاصة والعامة، يؤديان أدوارا خاصة في نفس الأحداث. وفي مرحلة لاحقة سنقوم بمناقشة المضامين الميتافيزيائية للنظرية النسبية، إذ أنها تواجه المذهب المادي لدحضه، وتأكيدها على المذهب المثالي.

أما في الفصل الثاني المعنون بالنظرية الكوانتية، سنتطرق فيه إلى مناقشة جملة من المفاهيم الأساسية التي انطلقت منها نظرية الكوانتم، وذلك من خلال اكتشاف حول طبيعة الإشعاع الكهرومغناطيسي، كالحرارة والضوء. فمع أن هذا الإشعاع ينتشر عبر الفضاء على شكل موجات، فانه، رغم ذلك، يمكنه أن يسلك كما لو كان يتألف من جسيمات وإرسال الضوء وامتصاصه، بشكل خاص، يحدث على شكل حزم صغيرة جدا (أو كمات) من الطاقة، تدعى الفوتونات. هذا المزيج الشاذ للمظاهر الموجية والجسيمية، الذي يدعى أحيانا ثنائية الموجية–الجسيمية، تبين أنه ينطبق على كافة الكيانات الفيزيائية في التطابق الذري ودون الذري. وهكذا، إن الكيانات التي تعتبر بصورة طبيعية، كجسيمات وحتى كامل الذرات، تبدي مظاهر تشبه الموجات في ظل بعض الظروف.

في نظرية الكوانتم مبدأ مركزي هو مبدأ اللامحققية (الارتياب) قال بـــه هـــايزنبرج، وفقا لهذا المبدأ، فالأشياء الكوانتية لا تتمتع بقيم محددة على نحو واضح لكل صفاتها. ثم بعد ذلك مناقشة الجوانب الميتافيزيائية لنظرية الكوانتم الرامية إلى وجود لدى علمـــاء الفيزيـــاء نزعة مثالية، وذلك باستحالة الوصول إلى معرفة موضوعية تماما عن العالم المادي، والذي هو مصاغ في صيغ رياضية مجردة، لا ندركه كما هو، وإنما كما يبـــدو لعقولنـــا، وعـــودة مفهوم الإرادة الحرة من خلال اللاحتمية المتأصلة في الطبيعة.

وهكذا، سنعرج في مرحلة ختامية على النظرية الوترية، والتي سنبين فيها أساسيات العالم دون الذري، المتشكل من الجسيمات الأولية والقوى الفاعلة بينها، المؤدية إلى تنـــاقض أكثر حدة، والذي ظهر من عدم التوافق بين ميكانيكا الكوانتم والنسبية العامة. فان الانحنـــاء الهندسي الرقيق لشكل الفضاء والناتج من النسبية العامة، يتناقض مع السلوك المتذبذب القلق على المستوى الميكروسكوبي للعالم تبعا لميكانيكا الكوانتم. ظـــل الأمـــر حتـــى منتصـــف الثمانينيات من القرن العشرين عندما قدمت نظرية الأوتار حلا لهذا التنـــاقض الـــذي هـــو المشكلة المحورية في الفيزياء الحديثة، مرورا بالنظريات التي سبقتها، والتـــي حاولـــت أن توحد القوى الطبيعية في نظرية واحدة. وفي ما بعد إلقاء نظـــرة علـــى أساســـيات نظريـــة الأوتار، فنظرية الأوتار جددت مفاهيمنا عن المكان والزمان بشكل جذري، فعلى سبيل المثال يتعامل معظمنا مع الكون على أنه ذو ثلاثة أبعاد فضائية. غير أن الأمر ليس كـــذلك وفقـــا لنظرية الأوتار، التي تنص على أن للعالم أبعاد أكثرا مما تشـــاهده العـــين. وهـــي الأبعـــاد المضفرة بقوة في النسيج الكون المنطوي. وتشغل هذه الأفكار المتميزة موقفا مركزيـــا فـــي طبيعة المكان والزمان، فإن نظرية الأوتار هي قصة المكان والزمان منذ عهد آينشتاين. ثـــم تلت مرحلة أخرى ما بعد الأوتار وهي البحث عن نظرية كلية شاملة نهائية، والتي تـــدعى نظرية كل شيء.

ختاما، الجوانب الميتافيزيائية لنظرية الأوتار بأنها نظرية افتراضية، وإن صح التعبير نظرية ميتافيزيائية خالصة، مما توحي لنا بأنها تبقى بعيدة كل البعد عن التجربة. فهي نظرية جمعت بين العلم والميتافيزياء.

ولمعالجة الإشكاليات السالفة الذكر ارتأينا اعتماد المنهج التاريخي التحليلـــي عنـــدما نكون بصدد تحديدي مفاهيم النظريات وجذورها التاريخية، أما المنهج التحليلي النقدي فيتمثل في تفكيك النظريات العلمية وتبيان ما تنطوي عليه مـــن أفكـــار وتصـــورات ومضـــامين ميتافيزيائية. وهدفنا من خلال ذلك كشف النقاب عن الجانب الفلسفي الميتافيزيائي المتخفـــي خلف ستار العلمية المحضة.

تنبيه : ارتأينا أن لا نذكر تعريف للأعلام في المتن، فسوف نورده في فهرس الأعلام.

الفـصـل الأول
النظرية النسبية

المبـحـث الأول: أزمة الفيزياء الكلاسيكية وأسباب ظهور مفهوم النسبية

المبـحـث الثـانـي: المفاهيم الأساسية للنظرية النسبية الخاصة

المبـحـث الثـالـث: المفاهيم الأساسية للنظرية النسبية العامة

المبـحـث الـرابـع: تفسيرات ميتافيزيائية للنظرية النسبية

I- أزمة الفيزياء الكلاسيكية وأسباب ظهور النسبية

1.I-انهيار الفيزياء الكلاسيكية

لقد قام علم الفيزياء الكلاسيكية على بعض الفروض الأساسية أهمها: أن المكان والزمان ليسا سوى وسيلتين لتحديد الحوادث، وأنهما مستقلان تماما، وبالتالي فهما يكونان حقيقة موضوعية واحدة بالنسبة إلى الناس جميعا. فيرى **نيوتن** أن هناك مكان مطلق وزمان مطلق، فيمكن قياس الحركة المطلقة لجسم ما من مكان مطلق إلى مكان آخر. والمكان المطلق من حيث طبيعته الخاصة، ودون علاقة بأي شيء خارجي، يبقى دائما ساكنا بلا حركة. وهاتان الفكرتان التوءم عند **نيوتن** عن المكان المطلق والزمان المطلق صادفا قبولا بوصفهما مظهرين أساسين للكون الطبيعي حتى ظهور النظرية النسبية في بداية القرن العشرين.

فالنظرة النيوتونية إلى المكان والزمان قد صارت العقيدة المركزية للعلم في القرنين الثامن عشر والتاسع عشر، غير انه في أواخر القرن التاسع عشر اصطدم علم الفيزياء الكلاسيكية بعدد من الصعوبات نشأت بواسطة النظرية النسبية عن انهيار هذين العمودين التوءم للفيزياء التقليدية .

لقد كان هم الفيزياء الكلاسيكية الكشف عن سلوك المادة في المكان وتغيرها مع الزمن[1]، تعني بذلك طبيعة تركيب المادة بمختلف تجلياتها (" المادة الصلبة"، الحرارة، الكهرباء، الضوء)، فهل تقبل التجزئة إلى ما لا نهاية له، أم أنها تنحل في الأخير إلى أجزاء لا تتجزأ؟ [2].

فالصفة الرئيسية للمادة هي قيمة الاتصال، فبدخول فكرة الذرة أدى إلى أن المادة تتكون من أجزاء، وهذا بفضل "**ماكس بلانك**" ، ويقصد بالاتصال أن الفيزياء الكلاسيكية تعتبر أن المكان متصل، واقع وحيد، يمتد ويسترسل، فهو مكان إقليدي

---

[1] – السيد حسين شعبان، مشكلات فلسفة معاصرة ، 2000 ، ص 15.

[2] – محمد عابد الجابري، مدخل إلى فلسفة العلوم ، العقلانية المعاصرة وتطور الفكر العلمي، مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت 1994، الطبعة الثالثة، ص 313.

متجانس ومتكافئ الاتجاهات، ومستقل عن الزمان الذي لـــه نفـــس الصـــفات الاتصـــالية، فهو الآخر متجانس ومتكافئ الاتجاهات، ويجري جريان منتظمـــا والحركـــة التـــي تهـــتم بدراستها الميكانيكا تحدث داخل هذين الإطارين[1].

فالفيزياء الكلاسيكية تقدم أوضح تعبيـــر لمفهـــوم المـــادة فـــي كونهـــا تحـــاول أن تجعل وصف العالم الفيزيائي أكثر ما يكون استقلال عن خبراتنـــا الذاتيـــة، وبالتـــالي لهـــا مجالها المحدد الذي يجب أن لاتتعداه، ولهذا الســـبب فـــان مفـــاهيم الفيزيـــاء الكلاســـيكية ستظل دائما الأساس لأي علم مضـــبوط وموضـــوعي، ولأننـــا نطلـــب إمكانيـــة تحقيـــق نتائج العلم تجريبيا، فإننا نضطر لان نصوغ هـــذه النتـــائج بلغـــة الفيزيـــاء الكلاســـيكية، وعلى هذا فلكي نتفهم نظرية النســـبية فمـــن الضـــروري أن نؤكـــد أن صـــحة الهندســـة الاقليدية قد فرضت مسبقا، أي أن فيزياء **نيوتن** تقـــوم علـــى افتـــراض صـــحة الهندســـة الاقليدية[2].

خطا العلماء في القرن التاسع عشر خطـــوات واســـعة فـــي ســـبيل فهـــم حركـــة الجزيئات المشحونة كهربائيا أثناء حركتهـــا بتـــأثير القـــوى الكهربائيـــة والمغناطيســـية . وهذه التطورات عمـــد إلـــى التوليـــف بينهـــا الفيزيـــائي الاســـكتلندي "**جـــيمس كليـــرك ماكسويل**"، الذي افترض أن كل جـــزيء مشـــحون محـــاط بمجـــال أو بهالـــة لا مرئيـــة تؤثر على الجزيئات الأخرى التي تقـــع فـــي هـــذا المجـــال، أي أن مجـــال جـــزيء مـــا يمارس قوته على مجال جزيء آخر، ويختلف هـــذا المفهـــوم عـــن الجاذبيـــة النيوتونيـــة، التي ترى أن الجاذبية قوة تؤثر فوريا عبر المسافة بـــين كتلـــة وأخـــرى. أمـــا فـــي رأي "**ماكسويل**" فالجزيء المشحون كهربائيا متأثر بالمجال بدلا مـــن تـــأثره بقـــوة فاعلـــة فيـــه مباشرة من الشحنة الأخرى. وأدت فكرة المجـــال إلـــى افتـــراض انـــه لابـــد أن المكـــان كله ممتلئ بسائل لا مرئي يسكنه المجال .هذا السائل عـــرف فيمـــا بعـــد باســـم «الأثير» Ether . فلابد أن حركة الجزيئات المشحونة تعمل علـــى توليـــد موجـــات تنتقـــل خـــلال الأثير، مثلما تنتقل الموجات الضوئية عبر الهـــواء أو الموجـــات المائيـــة خـــلال المـــاء. وتتوقف سرعة هذه الموجات الكهرومغناطيســـية علـــى خصـــائص الفضـــاء. وثبـــت أن

---

[1] – سالم يفوت، فلسفة العلم المعاصرة ومفهومها للواقع، دار الطليعة، بيروت 1986، ص63.

[2] – السيد حسين شعبان، مرجع سبق ذكره، ص.ص 16–17.

سرعة هذه الموجات الافتراضية هي بالضبط سرعة الضوء المقيسة والدلالة الضمنية واضحة. فالضوء شكل من أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي ينتقل من خلال الأثير على هيئة موجات[1].

اكتشف "**ألبرت آينشتاين**" النظرية النسبية بعد نتائج القياس الدقيقة للانحراف عن المسار الطبيعي للضوء تحت مفعول مجال جاذبية الشمس، ويرجع سبب انهيار الفيزياء الكلاسيكية إلى أنها اوحت بتوقع نتيجة مختلفة، جد الاختلاف، عن نتيجة حساب "**آينشتاين**"، ولكن الملاحظات أبدت التوقعات المستمدة من نظرية النسبية ورفض توقعات فيزياء **نيوتن**[2].

2.I- تجربة مايكلسون – مورلي وفشل فرضية الأثير

إن تجربة التي قام بها "**ألبرت مايكلسون**" وصديقه "**إدوارد مورلي**" سنة1881، يمكن وصفها بأنها اخطر تجربة في العلم أو بالأدق في تاريخ العلم ونقطة تحوله العظمى[3]. وهي الحجر الأساسي الأول للنظرية النسبية، وتعد قيمة هذه التجربة كبيرة لشدة دقتها ودلالتها الفلسفية والفيزيائية، فتلخص تجربة "**مايكلسون**" لقياس الضوء أو لإثبات حركة الأرض في "الأثير" Ether، في تجربة بسيطة[4]

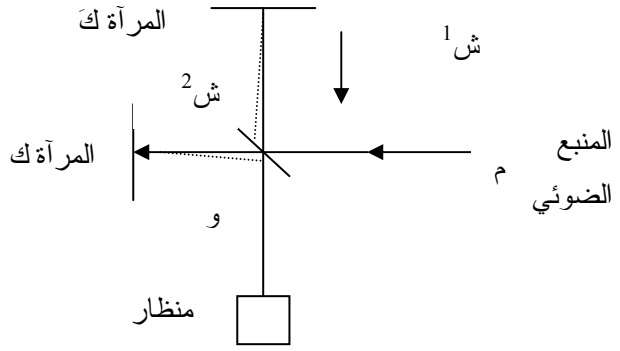
---

[1] – إيين نيكلسون، فكرة الزمان عبر التاريخ، ترجمة فؤاد كامل، عالم المعرفة عدد 159 مارس 1992،الكويت، ص.ص 176– 177 .

[2] – السيد حسين شعبان ، مرجع سبق ذكره، ص17.

[3] – يمنى الخولي طريف، فلسفة العلم من الحتمية إلى اللاحتمية، دار قباء للطباعة والتوزيع، القاهرة2001، ص.ص 341–342.

[4] – السيد حسين شعبان، المرجع السابق نفسه، ص 20.



الشكل رقم (1-1)

فتتلخص التجربة بما يلي: نفرض أن مصدرا للضوء "م" يبعث شعاعا ضوئيا في الاتجاه "م ك" كما هو موضح في الشكل رقم (1-1)، ويصادف هذا الشعاع في "و" عدسة زجاجية نصف فضفاضة(شفافة) مائلة بزاوية 45 ° على الاتجاه "م و" فيخترق جزء من الشعاع العدسة ويواصل سيره في الاتجاه "م ك"، وينعكس جزء آخر بزاوية قائمة في الاتجاه "و ك' "، وفي "ك" و"ك' " توضع مرآتان تعيدان الضوء إلى "و".

فلنتأمل الجزء "و ج"، وهو الجزء المخترق للعدسة من "ك' و"، والجزء "و ج" هو الجزء المنعكس على العدسة من "ك و". هذان الجزآن يتطابقان، أي أنهما يتدخلان، ونتلقاهما في " جهاز لقياس التداخل " Interféromètre يسمح بملاحظة حافات الضوء المتداخلة Franges d'Interférence وبتحديد موضع هذه الحافات بدقة، وقياس بعد كل منها. وينظم طول الذراعين (و ك)، (و ك') في الجهاز بدقة، بحيث أن الحافات تميل إضافة للموجتين، وتبين بذلك أن المسارات (و ك') ،(و ج)، (و ك) (و ج) تحدث في وقت واحد. عندئذ يدار الجهاز ربع دورة في المستوى الأفقي، بحيث أن الفرع (و ك') مثلا فيصبح متجها من الشرق إلى الغرب، والعكس بالنسبة إلى الفرع (و ك) فما الذي يحدث في هذه الحالة ؟ لنفرض أن الأرض، وبالتالي الجهاز، ساكنة بالنسبة إلى الأثير، أي ساكنة سكونا "مطلقا"[1].

[1] – بول موي، المنطق وفلسفة العلوم، ترجمة فؤاد حسن زكريا، دار النهضة، مصر، د.ت، ص .ص298-300.

الأثير صلب ومثالي أو تام المرونة لان الأمواج الكهرومغناطيسية أمواج مستعرضة Transverse ولا تنتج إلا عن قوى القص التي تحدث في المواد الصلبة، والأثير بالإضافة لذلك وسط ذو كثافة صغيرة وشفاف للأمواج الضوئية، ويمكن أن يهتز بصورة سريعة لان تردد الأمواج الضوئية كبير جدا. ومن الصعب تخيل وجود وسط بهذه الصفات في الفضاء وأن تتحرك النجوم والكواكب خلاله دون مقاومة أو دون أن يتأثر كما تدل الدراسات الفلكية[1].

فالهدف من تجربة "**مايكلسون**" و"**مورلي**" هو دراسة تأثير حركة الأرض على سرعة الضوء (أشعة الشمس)، وتأكيد أو إبطال وجود الأثير كوسط تنتشر فيه الأمواج الضوئية تنتقل إلى الأرض عبر الأثير، وبما أن الحركة هي دوما حركة شيء بالنسبة إلى شيء آخر[2]- الأطر المرجعية أو الإسناد - كحركة السيارة بالنسبة إلى سطح الأرض الذي تسير عليه، وحركة كوكب ما ،بالنسبة إلى مجموع النجوم الثوابت المرئية ... ويطلق في الفيزياء، على الأجسام التي تحيل إليها الظواهر، مكانيا، اسم منظومات الإحداثيات أو مجموعات الإحداثيات[3].

فإن أشعة الشمس، قياسا على ذلك، تتحرك بالنسبة إلى الأثير الثابت الساكن، أو الفضاء المطلق كما قال نيوتن. هذا من جهة ومن جهة أخرى، فيما أن الأرض تتحرك سرعة 30 كلم/ثا بالنسبة إلى هذا الأثير أو الفضاء المطلق، تارة في اتجاه الشمس، وتارة في اتجاه آخر يبعدها عنها، وذلك حسب موقعها في مدارها حول الشمس، فمن المفروض أن تتغير أشعة الشمس المتجهة إلى الأرض بتغير موقع الأرض في مدارها حول الشمس، ستكون أشعة الشمس أسرع أو أقل سرعة حسب ما تكون الأرض تسير متجهة نحو الشمس أو مبتعدة عنها.

فكان قياس "**مايكلسون**" لسرعة حركة الأرض اعتمادا على وجود هذا الأثير، فالأرض تثير حركتها تيارا أثيريا يواكب حركة الأرض فنحصل على فارق زمني

---

[1] – فخري إسماعيل حسن، مقدمة في الفيزياء الحديثة، دار المريخ للنشر، السعودية، 1993، ص.ص 23 – 24.

[2] – محمد عابد الجابري ، مرجع سبق ذكره، ص 340.

[3] – Albert Einstein , comment je vois le monde , Paris , 1934 , P.P.208-213.

في سرعة انتشار الضوء ضد التيار الأثيري. بناءا على تجربة "**مايكلسون**" و"**مورلي**" نحصل على المعادلة التالية[1]:

$$30 - 300.000 = 30 + 300.000$$

إن المشكل الذي ترتب عن تجربة "**مايكلسون**" – "**مورلي**"، أنها كانت تجربة فاشلة لم تنته إلى النتائج المنتظرة منها في ضوء الميكانيكا النيوتونية، التي لابد حسبها من أن يكون أثر ما للأثير على سرعة انتقال أشعة الشمس على الأرض، إما بتعطيله شيئا ما إذا كانت الأرض تسير في اتجاه يبعدها عن الشمس، أو بتسريعه إذا كانت تسير في اتجاه يبعدها عنها. فقد تأكد من التجربة بكيفية قاطعة، أن سرعة الضوء واحدة وثابتة في جميع الأحوال، وبالتالي صنفت على أنها تجربة سلبية لا تتفق وما هو مألوف ومتعارف عليه، أي لا تخضع لتقنيات ومعايير وضوابط العلم النيوتوني[2].

I.3- بدايات النظرية النسبية

شهدت بداية القرن العشرين انقلابا فيزيائيا خطيرا، دشنته نظرية من أغرب النظريات العلمية المعاصرة وأكثرها معاداة للبداهات، وثورة على الأفكار والمفاهيم المعهودة المتداولة، وهذا ما جعلها في بداية الأمر، تبدو نظرية "تافهة" لا تستحق أي اهتمام، فقوبلت بالنفور والاستهجان، بالضبط لأنها ترفض المعهود والمألوف، وتنزع صفة اليقين عن نتائج الإدراك والملاحظة لتقرنها بالقياس، فليس ثمة معيار واحد ثابت ومطلق، نستطيع بفضله تحديد شيء ما من الأشياء، كالتزامن والمسافة والسرعة، لأن جميع هذه يجب أن تتحدد بالقياس إلى شيء، أي تبعا لمنظومة إسناد ما.

فبقياسات "**مايكلسون**" الدقيقة لسرعة الضوء، أدت في النهاية إلى ظهور نظرية "**آينشتاين**" النسبية في عام 1905م مما أدى إلى تغيير شامل في نظرية

---

[1] – محمد عابد الجابري ، مرجع سبق ذكره، ص 340.

[2] – عبد السلام بنعبد العالي، سالم يفوت، درس الابستمولوجيا، دار طوبقال للنشر، الدار البيضاء، المغرب 2001، الطبعة الثالثة، ص 114 .

نيوتن الحركية ... وترتبط معظم أجزاء النظرية النسبية بسرعة الضوء، لان سرعة الضوء تفسر حقائق كثيرة تتعلق بأجزاء من النظام الشمسي. كما أن لسرعة الضوء أهمية كبرى في الفيزياء، عموما، لأنها أقصى سرعة، والتي تقدر ب 300 ألف كلم /ثا، يمكن أن تنتشر بها كل الأشياء، وأن الضوء إما أن يسبق أية ظاهرة أخرى أو على الأقل يصل معها في آن واحد. وأن أي شيء تزداد سرعته حتى تصل إلى سرعة الضوء سوف يتحول هو نفسه إلى ضوء[1] . فالضوء ينتشر في الفراغ بسرعة ثابتة غير متأثر بالظروف التي يتولد منها، ولا بالظروف التي يستقبل بها.

يرى "**آينشتاين**" أن سلبية تجربة "**مايكلسون**" مردها إلى تمسك العلماء الأعمى بالمفاهيم الأساسية للميكانيكا الكلاسيكية، وأن يتساءل ما إذا كان من الممكن اتخاذ سبيل معكوس، يقودنا إلى اعتبار ما جاءت به تجربة "**مايكلسون**" شيئا جديدا، ينبغي أن يستغل ويستثمر في مراجعة الجهاز النظري النيوتوني مراجعة نقدية. وهذا يعني أن فشل تجربة "**مايكلسون**" وسلبيتها، مؤشر على حدود المبادئ النيوتونية وعلى ضيق صلاحية الميكانيكا الكلاسيكية، يحمل في أحشائه دعوى إلى تجاوزها، أو على الأقل، استئناف النظر فيها من منظور جديد. غير أن عملية استئناف النظرة هذه، أسفرت على الشعور بضرورة إقامة تفسير جديد، يأخذ بعين الاعتبار نتيجة التجربة الفاشلة، التي تؤكد أن " الأمور كما لو كانت الأرض ساكنة في الأثير ولا تسبح فيه ". وهذا التفسير الجديد الذي اقترحه "آينشتاين"، كان شاملا، بكل ما لهذه الكلمة من معنى، يدخل في الاعتبار الفروض التي اقترحها بعض العلماء لتفسير النتيجة الغريبة لتجربة "**مايكلسون**" خصوصا فرض العالمين "**فيتزجيرالد**" و"**لورنتز**"، القائل بان الأجسام المتحركة يتقلص أو ينكمش طولها، ويزداد التقلص والانكماش بازدياد سرعتها، وفرضهما المكمل له القائل بأنه كلما زادت السرعة تباطأ الزمن[2].

ففي سنة 1903 حدد "**لورنتز**" مقدار الانكماش وصاغه في عبارة جبرية التالية :

---

[1] – السيد حسين شعبان، مرجع سبق ذكره، ص 34.

[2] – عبد السلام بنعبد العالي، سالم يفوت، مرجع سبق ذكره، ص 114.

$$ل = 1 - \frac{سر^2_{ج}}{سر^2_{ض}}$$

حيث سر $_{ج}$ = سرعة الجسم، سر $_{ض}$ = سرعة الضوء، ل= طول الجسم وواضح من هذه العبارة الجبرية، وتسمى معامل الانكماش اللورنتزي أن طول الجسم ينعدم تماما عندما يتحرك بسرعة تساوي سرعة الضوء[1].

لقد ولدت النسبية من الصعوبات التي كانت تتخبط فيها فيزياء القرن التاسع عشر، ومن التناقضات التجريبية التي كانت تتضارب فيها النظريات الفلسفية القديمة[2]. فيقول "**آينشتاين**": « إن الضرورة هي التي حتمت ظهور نظرية النسبية بعد ما تكشفت تناقضات عميقة وخطيرة في النظرية القديمة »[3].

هذه التناقضات التجريبية لم تحل الخلاف الدقيق الذي وضعت لأجله فحسب بل ربطت دفعة واحدة، وشرحت في جميع نواحي الفيزياء عددا كبيرا من الظواهر لم تكن مخصصة لأجلها. ثم أنها تنبأت من جهة أخرى بظواهر جديدة كثيرة لم تكن لتخطر على بال، الأمر الذي يجعلنا نؤكد على أهمية النظرية النسبية التي غيرت مظهر فيزياء القرن العشرين.

و الواقع أن أحد الدوافع الرئيسية لظهور النظرية بأكملها هو ضمان أن سرعة الضوء واحدة بالنسبة إلى المشاهدين جميعا، أيا كانت حركتهم. وهذه الحقيقة، التي أقرتها التجربة، لم تكن تتفق مع النظريات على الدهشة، ونظرية النسبية تبعث على الدهشة بمقدار تنافرها مع الوقائع المألوفة[4].

لقد كان الاعتراض الرئيسي الذي واجه النظرية النسبية عند اقتراحها لأول وهلة هو صعوبتها الشديدة وتعقدها غير المفهوم، علاوة على أنها تخالف النظام الفيزيائي النيوتوني الكلاسيكي. فالأثير، الذي كان موضع اهتمام **نيوتن**، فقد

---

[1] – CH.Brunold , l'univers et sa représentation , librairie Belin ,Paris ,1966 , P.151.

[2] – –السيد حسين شعبان ، مرجع سبق ذكره، ص 37.

[3] – عبد الفتاح بدوي، فلسفة العلوم، دار قباء للطباعة والنشر والتوزيع، القاهرة،2001، ص.ص 246–247.

[4] – السيد حسين شعبان، المرجع السابق نفسه، ص 37.

مقومات وجوده في نظرية النسبية. ويعبر عن هذا أحيانا بالقول بأن فكرة «المكان المطلق» قد استبعدت تماما من الفيزياء المعاصرة. في الواقع أن النظرية النسبية تستند على تجارب معينة تمت في بداية القرن العشرين عندما حاول العلماء إثبات حركة الأرض في الفضاء عن طريق استقلال ظاهرة « التداخل الضوئي » أي عملية تراكم شعاعين أو أكثر في حيز معين. وعندما فشل هذا الإثبات، لاحظ الفيزيائيون أن التجارب أو المضامين الجديدة تعضد من أهمية التوسع في إمكانيات التغيير أو في نظام المصطلحات المستخدم في الفيزياء. وأنه قد أصبح من الضروري إجراء تغيرات جذرية في مصطلحات أساسية مثل« المكان » و«الزمان» مما أدى إلى بداية جديدة لم يكن يتوقعها أحد. ولكن هذا كان يمثل الاكتشاف الكبير لـ "**آينشتاين**"، الذي كان من أدرك إمكانية بل حتمية تغيير القصور الكلاسيكي عن المكان والزمان[1].

II- المفاهيم الأساسية للنظرية النسبية الخاصة

1.II- تمهيد

إن فلسفة "**كانط**" ترى أن مفهومي المكان والزمان أنهما قبليان، لأنهما ظرف التجربة لا نتيجتهما، وقد كان يظن عموما أنه لا يمكن تشويشهما في تجربة جديدة. ومن هنا ظهرت مفاجأة التغيير في التجارب الدقيقة للعلم الحديث مما أثرت في تطوير الفيزياء الحديثة. وقبل ظهور النظرية النسبية لم يتخيل أحد أن المكان والزمان متماثلان في طبيعتهما، بما يكفي لإضفاء أهمية خاصة على ناتج إدماجهما، ولكن ثبت أن مثل هذا الإدماج له أهمية مذهلة في تفهم الفيزياء. إذ ليس من الممكن أن تأخذ الزمان أو المكان كلا على انفصال بوصفه موضوعيا دقيقا. والموضوعي نوع من المزيج مؤلف من الاثنين، يسمى متصل« الزمان –المكان» Espace- Temps.

وقد برهنت النسبية أن عمليات قياس الزمان والمكان لم تكن مستقلة في الحقيقة عن بعضها، فالزمان ليس مطلقا لأن قياسه يتأثر بالحركة النسبية في المكان، بما أن قياس المسافات يتأثر

[1] – السيد حسين شعبان، مرجع سبق ذكره، ص38.

بالزمان الخاص لكل مشاهد (راصد). وتتواصل النسبية إلى انصهار تام بين الزمان والمكان نسميه« الزمكاني » وتحتل سرعة الضوء في هذا « الزمكاني » دورا أساسيا فريدا من نوعه، وتؤلف مطلقا جديدا. فالسرعة التي يميز بها الزمان تتوقف على حالات الحركة النسبية لمختلف الراصدين. هذه المظاهر المتحولة للزمان هي ما تقوم نظرية النسبية الخاصة والعامة بالكشف عنها، وهي نظرية ترى أن المكان والزمان يرتبطان ارتباطا وثيقا، بدلا من أن يكونا كيانين منفصلين[1].

فالمكان والزمان متداخلان فيما بينهما، ولا يمكننا أن نطل على المكان أمامنا دون أن نلتفت إلى الزمان خلفنا. والضوء يتحرك بسرعة كبيرة، ولكن المكان فارغ جدا والنجوم متباعدة جدا[2]. فجمع آينشتاين القوانين التي تحكم الطبيعة ونسقها في نظرية النسبية الخاصة، فالضوء المنبعث من جسم ما (سواء أكان منعكسا أو مباشرا) يسير بالسرعة ذاتها سواء أكان الجسم متحركا أو ثابتا، "فأنت لن تضيف سرعة إلى سرعة الضوء" ولا يوجد أي جسم مادي قادر على التحرك بأسرع من الضوء[3].

2.II- نسبية التزامن

إن اتصال الزمان بالمكان حقيقة واقعة، بدليل أننا إذا أردنا أن نتبع الزمان فإننا نتبعه في المكان، فالمكان والزمان حدان غير منفصلين في الحركة، وهما معا في متصل واحد «الزمكاني»، فالعالم بأسره هو متصل زمكاني، وكل حقيقة فإنما توجد في الزمان وفي المكان معا، ولا يمكن فصل أحدهما عن الآخر، لأن جميع المقاييس الزمنية هي في الحقيقة، مقاييس مكانية، وكل مقياس يتوقف على المقاييس الزمنية. وكان علم الميكانيكا الكلاسيكي يقر بأن قياسات الزمان والمكان هي قياسات مطلقة في جميع الظروف، لكن الأمر اختلف كثيرا في الميكانيكا النسبية، قياسنا لمسافة ما (أب) مثلا لا يكون مطلقا إلا بشرط أن تتزامن مشاهدة (أ) ومشاهدة (ب). وأما إذا كانت الحادثتان (أ، ب) مختلفتين من حيث الزمان، فإن

---

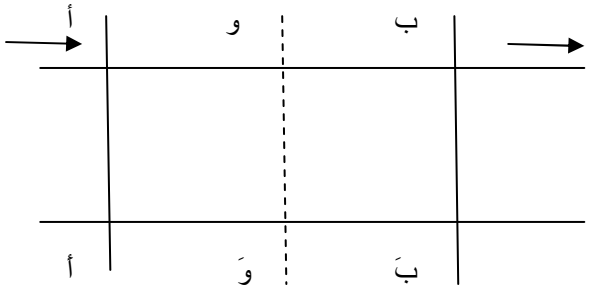
[1] – السيد حسين شعبان، مرجع سبق ذكره، ص47.

[2] – كارل ساغان، الكون، ترجمة نافع أيوب لبس، عالم المعرفة عدد 178 أكتوبر 1993، الكويت، ص 171.

[3] – المرجع السابق نفسه، ص 173.

المسافة (أب) التي تفصلها تتغير وفقا للمشاهد، وهذا يعني أن المسافة «نسبية». وهكذا حدث تغيير في مفهوم المكان والزمان، ومن الصعب جدا شرح هذه التغيرات باللغة العادية دون اللجوء إلى اللغة الرياضية[1].

افترض أننا نتخذ طريق السكة الحديدية مجموعة إسناد لنا ولا بأس أن نفرض أن قطارا طويلا جدا يتحرك على القضبان بسرعة قدرها في الاتجاه الموضح في الشكل رقم (1–2) سيفضل المسافرون هذا القطار اتخاذه مجموعة إسناد وسيسندون كل ما يحدث إليه وعلى ذلك فكل حادثة تحدث على طول الطريق



الشكل رقم (1–2)

تحدث أيضا عند نقطة خاصة من القطار كذلك. ويمكن أيضا أن تحدد الآنية (التزامن) بالنسبة إلى القطار بنفس الطريقة التي تحدد بها بالنسبة إلى طريق السكة الحديدية. ويجابهنا السؤال التالي نتيجة طبيعة لما تقدم، هل تكون الحادثتان المتزامنتان بالنسبة إلى طريق السكة الحديدية (مثل الصاعقتين أ، ب) متزامنتين أيضا بالنسبة إلى القطار؟ وسنوضح مباشرة فيما يلي أن الإجابة على هذا السؤال يجب أن تكون بالنفي.

إننا حينما نقول إن الصاعقتين أ، ب متزامنتان (آنيتان) بالنسبة إلى طريق السكة الحديدية تعني أن أشعة الضوء الصادرة من المكانين (أ، ب) حيث تحدث الصاعقتان تتقابل في النقطة (و) (وهي منتصف المسافة (أ، ب) على الطريق).

[1] – السيد حسين شعبان، مرجع سبق ذكره، ص 48.

ويناظر الحادثتان أيضا على طريق السكة الحديدية الموضعين أَ، بَ على القطار ولنفرض أن النقطة (وَ) هي نفس النقطة الوسط للمسافة (أَ، بَ) على القطار فإنه عند ما يحدث وميض البرق تتفق النقطة (و) مع النقطة (وَ) لكنها كما في الشكل رقم (1-2) تتحرك إلى اليمين بسرعة قدرها (سرج) هي سرعة القطار فإذا كان هناك راصد يجلس في (وَ) في القطار ولا يتحرك بالسرعة سرج فإنه سيظل في (و) وسيصل إليه شعاعا الضوء الصادران من (أ)، (ب) في نفس الوقت حيث يلتقيان عند مكان جلوسه ولكنه في الواقع (بالنسبة إلى طريق السكة الحديدية) يندفع في اتجاه شعاع الضوء الآتي من (ب) بينما يبتعد عن الشعاع الآتي من (أ) وعلى ذلك سيرى الراصد الشعاع الآتي من (ب) قبل أن يرى الشعاع الآتي من (أ) وعلى ذلك نصل إلى النتيجة الهامة التالية:

إن الحوادث المتزامنة بالنسبة إلى طريق السكة الحديدية ليست متزامنة بالنسبة إلى القطار والعكس بالعكس (نسبية الآنية) فلكل مجموعة إسناد (مجموعة إحداثيات) زمنها الخاص. وما لم نعين مجموعة الإسناد التي حددنا بالنسبة إليها زمن أية حادثة فليس هناك أي معنى لهذا التحديد [1].

فبأكثر توضيح نحن نقر بأن الحادثتين تكونان متزامنتين إذا كانت الأشعة المضيئة التي تنبئ عن وجودها، والتي يفترض اتحاد طولها وتصل معا إلى الملاحظ (الراصد). على أن الحادثتين المقترنتين "في نظر" ملاحظ معين ليسا كذلك "في نظر" ملاحظ آخر متحرك بالنسبة إليه، إذا أن أحدهما يذهب لمقابلة الضوء، أو يبتعد عنه، أما الآخر فينتظره. ولقد كان الرأي القديم هو أن أحدهما مخطئ والثاني مصيب، ولكن الحق أن "كليهما على صواب" فسرعة الضوء واحدة بالنسبة إلى الاثنين معا[2].

وهكذا رفض "**آينشتاين**" فكرة المكان المطلق، باعتبار أن المكان نسبي ومتغير نظرا إلى أننا لا نستطيع أن نحدد وضع أي جسم في مكان بصفة مطلقة،

---

[1] – ألبرت آينشتاين، النسبية، النظرية الخاصة والعامة، ترجمة رمسيس شحاتة، دار النهضة، مصر، 1965، الطبعة الأولى، ص.ص 27– 28.

[2] – بول موي، مرجع سبق ذكره، ص.ص 302– 303.

وفي أحسن الحالات نقدر له وضعه بالنسبة إلى متغير آخر بجواره، كأن نقول إن الجسم موضعه في مكان كذا بالنسبة إلى الجسم كذا الموجود في مكان كذا...

لقد أتت النسبية بمبدأ جديد ثوري هو مبدأ الزمان النسبي، زمان الكهرومغناطيسية الذي تتأثر بقياسات المسافات والسرعات، ففي الحادثة الواحدة تكون قياسات الأزمنة مختلفة عن راصدين أحدهما متحرك بالنسبة إلى الآخر، وهكذا التقى الزمان بالحركة، ولكن إذا كان المكان يتدخل في تقدير الزمان، فإن قياس المسافات يصبح بدوره متعلقا بقياسات الزمن والحركة، فنحن بالفعل نعد الفترة الزمنية خلالها التي يزاح فيها الجسم بمقدار وس في المجموعة أ تساوي الفترة الزمنية التي يزاح فيها الجسم وس في المجموعة أ. ويتضح في الواقع أن هذه الفرضية غير صحيحة، إذا ما تحرينا الدقة، ولكن النتائج المترتبة على اعتبار الزمن غير مطلق تبدأ في الظهور عند السرعات الكبيرة للغاية، التي تقارب سرعة الضوء. إن مسألة "التزامن" هي إحدى أهم مسائل النظرية النسبية الخاصة، وقد اعتبر بعض الفيزيائيين مسألة "التزامن" ذات أهمية مركزية في نظرية النسبية الخاصة، وأنه في مشكلة "التزامن" ينحصر مسار النظرية النسبية كلها[1]. وهكذا نستطيع أن نقول أن الزمن مقدار متغير يتوقف على المجموعة المتحركة التي يشتق منها...وأن كل زمن له مرجع هو حركة الجسم وحركة المجموعة التي يستنبط منها أساس تقويمه الزمني، فإذا حدث وتغيرت حركة الجسم، فإنه ينبغي أن يتغير زمنه. إن الزمان مقدار متغير في الكون، وحسب رأي آينشتاين لا يوجد زمن واحد للكون كله، وإنما يوجد عديد من الأزمان كلها مقادير متغيرة لا يمكن نسبتها إلى بعضها إلا بالرجوع إلى أنظمتها واكتشاف علاقة حوادثها بعضها بالبعض. وبما أن سرعة الضوء هي الثابت الكوني الوحيد، فينبغي تعديل الكميات التي نعبر بها عن الزمان والمكان في كل معادلاتنا لنتفق مع هذه الحقيقة الأساسية[2].

في الفيزياء النيوتونية أن تآني حادثتين هو تآني مطلق وغير إضافي، فهو تآني بالنسبة إلى جميع الملاحظين سواء كانوا متحركين أو ساكنين، سواء كان أحدهما ساكنا والآخر

---

[1] – السيد حسين شعبان، مرجع سبق ذكره، ص 49.

[2] – السيد حسين شعبان، المرجع السابق نفسه، ص.ص 50-51..

متحركا[1]، فهذا التآني يطرح فكرة التزامن الآني نفسه، وهذا ما دفع آينشتاين إلى طرح سؤاله النقدي الذي أكد فيه أننا في حاجة إلى تعريف التآني وتحديد معناه تحديدا يمدنا بوسيلة كفيلة بأن تمكننا في هذه النقطة بالذات التي تشغلنا، من أن نقرر عن طريق التجارب[2].

نحاول أن ندعم هذه النقطة الأساسية في النظرية النسبية الخاصة بمثال آخر أكثر وضوحا لعلى القارئ يفهم فكرة التزامن نفترض أن قادة دولتين متحاربتين اتفق في مفاوضاتها على وقف إطلاق النار، جالسين حول طرفي طاولة، والطاولة يتوسطها مصباح مطفأ، ويكون التوسط بمسافة متساوية، بحيث عندما يشع الضوء من المصباح يوقع كل قائد على وقف إطلاق النار، ولكن في حالة أخرى نفس السيناريو ولكن الطاولة موجودة داخل قطار يسير بسرعة ثابتة بحيث كل قائد يجلس في جهة دولته، ويحضر المصباح الذي يعطي إشارة البدء على التوقيع، وفي نفس اللحظة وصلت الأنباء بأن القتال الذي يعطي إشارة البدء على التوقيع، وفي نفس اللحظة وصلت الأنباء بأن القتال نشب من جديد بين الجانبين الذين كانوا يشاهدون مراسم التوقيع من على رصيف المحطة خارج القطار المتحرك، والسبب هو إدعاء الناس من الدولة التي تقع أمام القطار– في اتجاه القطار – بأنهم قد خدعوا حيث قام قائدهم بالتوقيع قبل قائد الدولة التي تقع خلف القطار– في عكس اتجاه القطار– وحيث أن كل من كان في القطار يوافق تماما على أن الاتفاق قد تم توقيعه في نفس اللحظة، فكيف يمكن للمشاهدين للمراسم التوقيع من الخارج أن يظنوا غير ذلك؟ وهذا ينظر له من الرصيف بأن أشعة الضوء في اتجاه القطار تتسارع في اتجاه القطار بينما تتراجع خلف القطار، ويتضح أكثر، أن شعاع الضوء سيقطع مسافة أقصر بالنسبة إلى قائد الدولة الواقعة أمام القطار والذي يتحرك تجاه الضوء المقترب، مما بالنسبة إلى قائد الدولة الواقعة خلف القطار والذي يتحرك مبتعدا عن الضوء.

فما الذي على صواب؟ الذين في داخل القطار أم الذين خارجه؟ فكل منهما على صواب، من وجهة نظره والأمر المؤكد هنا أن الحقيقة من وجهة نظر كل

---

[1] – عبد السلام بنعبد العالي، سالم يفوت، مرجع سبق ذكره، ص 121.

[2] – محمد قاسم، رؤى معاصرة في فلسفات العلوم، دار المعرفة الجامعية، 2006، ص 104.

منهما متناقضة. فثبات سرعة الضوء يتطلب التخلي عن مفهوم القديم الذي يقول بأن التزامن Simultanéité مفهوم كوني، يتفق عليه كل واحد دون النظر لحالة الحركة التي هو عليها، والساعة الكونية التي كنا نعتبرها تدق بلا كلل نفس الثواني هنا على الأرض، وعلى المريخ وعلى المشتري وفي مجرة أندرو ميدا، وفي كل ركن من أركان الكون. هذه الساعة ليست موجودة وعلى العكس فإن المشاهدين الموجودين في حركة نسبية لن يتفقوا على الأحداث تقع في نفس الزمن[1]. تقرر النسبية الخاصة أن راصدين في حركة نسبية لا يتفقان بالضرورة على أن هناك حادثتين متزامنتين، ومن المؤكد أنه من أبعد الاحتمالات أن يتفقا على ذلك، إلا إذا كانت الحادثتان قد وقعتا أيضا في نفس المكان[2].

3.II- تحويل لورنتز ونتائجه

تخيل اثنين من الراصدين أ وب لكل منهما مجهز بنظام تنسيقي يستطيع به قياس المواقع في المكان، وساعة لقياس الزمن، ولنفترض أن ب يمر بالقرب من أ وفي هذه اللحظة يضبطان ساعتيهما على زمن واحد، ويتفقان على أن وقت التقائهما فلنقل إنه كان "صفر ساعة" وبعد أن مضى وقت معين هو ز على ساعة أ شاهد حادثة تقع على مسافة س، مقيسة وفقا لإطاره المرجعي، وفي هذه الأثناء كان ب يتحرك في الاتجاه سَ بسرعة ثابتة سر: وهو يشاهد أيضا الحادثة ويحدد الوقت زَ والمسافة سَ لها، ووفقا للأفكار النيوتونية، يرتبط قياس ب للزمن وموقع الحادثة بالمقاييس التي يسجلها أ بواسطة التحويل الجاليلي كالآتي:

$$س_1 = س - سر ز .$$

فما دام ب كان يسير بالوقت ز بسرعة سر في الاتجاه سَ فإنه سيقطع مسافة مساوية سر ز، وسيكون قريبا من أ بهذه المسافة.

---

[1] - برايان جرين، الكون الأنيق، ترجمة فتح الله الشيخ، مركز دراسات الوحدة العربية بيروت، 2005، الطبعة الأولى، ص 52.

[2] - إيين نيكلسون، فكرة الزمان عبر التاريخ، ترجمة فؤاد كامل، عالم المعرفة عدد 159 مارس 1992 الكويت، ص 182.

ز1= ز: إذا كان الزمان مطلقا فسوف يتفق الاثنان على اللحظة التي وقعت فيها الحادثة، ولا تتفق النسبية الخاصة مع التحويل الجاليلي وبدلا من ذلك فإن المقاييس التي يجريها الراصدان ترتبط فيما بينها بمجموعة من المعادلات تعرف باسم تحويلات "**لورنتز**" Transformation de Lorentz . هذه المعادلات هي تلك التي وصفها "**لورنتز**" لتفسير استحالة الكشف عن الأثير، غير أنها سمة طبيعة للنسبية الخاصة والعلاقات هي كالآتي:

$$س_1 = \frac{س - سر_{ج} ز}{1 - \frac{سر^2_{ج}}{سر^2_{ض}}}$$

حيث سر ض: سرعة الضوء، سر ج: سرعة الجسم.

$$ز_1 = \frac{ز - سر_{ج} س}{1 - \frac{سر^2_{ج}}{سر^2_{ض}}}$$

من الواضح أن الزمنين لا يمكن أن يكونا شيئا واحدا، إلا إذا كانت

سرج= 0

وهنا ينشأ عن تحويل " **لورتنز** " عدد من الآثار التي تبدو في حدود الحياة اليومية غريبة حقا، غير أن التجربة قد أكدتها. هذه الآثار هي:

تقلص الطول، وتمدد الزمان، وازدياد الكتلة[1]، والتي سنراها لاحقا.

[1] – إيين نيكلسون، مرجع سبق ذكره، ص.ص 185– 186.

II.4- نسبية الزمكان

يتطلب فهم المكان والزمان في الفيزياء أن نميز بين خبرتنا الشخصية عن المكان والزمان وبين ما يمكننا قياسه فعلا بشأنهما ولكن "**آينشتاين**" قال إن ذلك بسيط جدا، فالفضاء المكان هو ما يمكننا قياسه بقضيب قياس، الزمن هو ما يمكن قياسه بالساعة. إن هذا الوضوح في التعريفات يكشف عن عقلية ترمي إلى صدق عظيم[1].

بعد أن سلح "**آينشتاين**" نفسه بهذه التعريفات تساءل عن الطريقة التي يتغير بها قياس المكان والزمان بين راصدين متحركين بسرعة ثابتة بالنسبة إلى الآخر.

إن مشكلة المكان والزمان هي واحدة من المشكلات القديمة في تاريخ الفلسفة وهي متشبعة بما فيه الكفاية غير أننا نكتفي بالتلميح إلى أهم جوانبها في نظرية النسبية. فالنتيجة التي تقرر بها النظرية النسبية هي تأكيد على عدم قابلية الزمن للرجوع والانعكاس، وبأن للزمن اتجاها وحيدا نحو الأمام وإذا كان الزمان يتمتع ببعد واحد يتمثل في اتجاهه نحو الأمام، فإن المكان يتصف بثلاثة أبعاد أساسية هي:

الطول والعرض والارتفاع، غير أن الأبحاث المعاصرة بدءا بالهندسات اللاإقليدية ومرورا بنظرية النسبية، قد أكدت بشكل أنها في تلازم المكان والزمان، وبات من الطبيعي الكلام عن الفراغ الزمكاني Espace -Temps [2] .

II.4.1- نسبية المسافة

إن فكرة المسافة تتصل بفكرة الزمان فإذا افترضنا أن لدينا الجسم (أ) والجسم (ب) كل منهما يتحرك بالنسبة إلى الآخر فإن المسافة بين الجسمين ستتغير باستمرار، بحيث أنه لا يمكننا أن نتحدث عن المسافة بين الجسم (أ) والجسم (ب) إلا في وقت محدد بالذات، افترض أنك مسافر بالقطار إلى البليدة، فأنت تستطيع أن

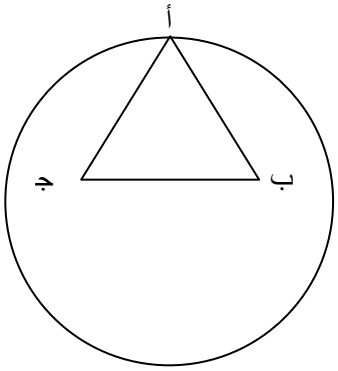
---

[1] – هينر باجلز، رموز الكون، ترجمة محمد عبد الله البيومي، الدار الدولية للنشر والتوزيع القاهرة 1989، الطبعة الثانية، ص 33.

[2] – السيد حسين شعبان، مرجع سبق ذكره، ص.ص 64– 65.

تتحدث عن المسافة بينك (الجزائر) وبين البليدة في وقت محدد. بالذات بمعنى إذا كان لدينا عددا من المشاهدين المختلفين فإن كل واحد منهم سوف يصدر حكما مختلفا فيما يتصل نفس الوقت لحادثة معينة حدثت في القطار وحادثة وقعت في البليدة، ومن ثم فإن قياس المسافة نسبي بنفس الصورة التي تكتشف لنا في الزمان. وعادة ما يعتقد في وجود نوعين منفصلين من الأبعاد بين حادثتين، أما البعد الأول فهو بعد في المكان وأما الثاني فبعد في الزمان بين رحيلك عن الجزائر ووصولك إلى البليدة 50 كلم وساعة.

الواقع أننا في حياتنا اليومية كثيرا ما نقيس الأطوال بطريقتنا المألوفة وهي استخدام المسطرة مثلا أو أي مقياس آخر متعارف عليه. ونحن في الفترة الزمنية التي تستخدم فيها المسطرة للقياس، فإن المسطرة تعد بمثابة الطول المقاس فقط، أو بمعنى آخر هي الطول كما يحدده المشاهد (الراصد) الذي يشارك في حركة الجسم ولكن ماذا عن قياس جسم في حركة مستمرة؟ هل يمكن لنا أن نحدد طول هذا الجسم تحديدا تاما؟ افترض أن الجسم المراد قياسه يتحرك بالنسبة إلينا، وأن هذا الجسم يتحرك مسافة ولتكن (ب،جـ) في ثانية واحدة. وافترض أيضا أننا رسمنا دائرة حول نقطة (جـ) كما في الشكل رقم (1-3).



الشكل رقم (1-3)

حيث يكون نصف قطر الدائرة المسافة التي يقطعها الضوء في ثانية واحدة. نرسم من (جـ) الخط (جـ أ) العمودي على (ب جـ) والذي يلتقي بمحيط الدائرة في النقطة (أ)، ومن ثم تكون المسافة (أجـ) هي المسافة التي يقطعها الضوء في

ثانية واحدة. وكذالك تكون نسبة (أجـ) إلى (جـ ب) هي نسبة سرعة الضوء إلى سرعة الجسم، ونسبة (جـ) إلى (ب) هي النسبة التي تتغير بها الأطوال الظاهرة نتيجة الحركة، ومن ثم فإنه إذا حكم المشاهد بأن نقطتين في خط الحركة على الجسم المتحرك يبعدان بمسافة يمثلها الخط (ب أ)، فإن شخصا يتحرك مع الجسم سيحكم بأن النقطتين على مسافة يمثلها الخط (جـ أ)، والحركة لا تتأثر بالمسافات الموجودة على الجسم المتحرك والتي تكون على زوايا قائمة بالنسبة إلى خط الحركة، ومن ثم فإن المشاهد الذي يتحرك مع الجسم إذا قام بقياس الأبعاد بالنسبة إلى جسم المشاهد السابق فإن هذه الأبعاد سوف تتغير بنفس النسبة، بما أنه إذا كان الواحد منهما يتحرك بالنسبة إلى الآخر، فإن الأطوال التي سيتوصل إليها كل واحد سوف تبدو أقصر بالنسبة إلى المشاهد الآخر[1] .

لو أخذنا شيئا ما وقسنا طوله حيث يكون ساكنا فإن المقدار الذي نحصل عليه يسمى طول السكون Longueur statique، ولو أننا قمنا بقياس هذا الشيء نفسه وهو يتحرك أمامنا بسرعة فائقة، فإننا سوف نقيس مقدار أصغر من الطول، وبعبارة أخرى، الأشياء المتحركة تتقلص على طول الاتجاه الذي تتحرك فيه. فهي تتقاصر (تتقلص) بمعامل $1-\frac{\text{سر}^2_{\text{ج}}}{\text{سر}^2_{\text{ض}}}$، الذي هو معامل "**لورنتز**" وسيظهر سفينة الفضاء التي تتحرك بسرعة 87% من سرعة الضوء على أنها نصف طول السكون فحسب[2] .

وعلى هذا النحو فإنه كما يذهب إلى ذلك "**بول موي**" فإن "قياس يفترض التزامن" لأن قياس مسافة ما، هو العمل على انطباق طول "محدد من قبل" على طول "معطى لنا" على هذا يفترض أنه متى انطبق الطولان في طرف فإنما ينطبقان في الطرف الآخر في نفس اللحظة. وإذن فالمسافة نسبية هي الأخرى باعتبار الملاحظين، وذلك على الأقل بالنسبة إلى المسافة "الطولية". أي في اتجاه حركتهما النسبية، فالموضوع إذن يتغير شكله بالنسبة إلى الملاحظ- المشاهد- الذي يراه من

---

[1] – ماهر عبد القادر ماهر، فلسفة العلوم، المشكلات المعرفية، دار المعرفة الجامعية 2000، الطبعة الثانية، ص.ص 168- 169.

[2] – إيين نيلكسون، مرجع سبق ذكره، ص 187.

مركز خارجي. وينكمش في نظره في اتجاه الطول. وهكذا تهتدي مرة أخرى إلى التقليص الذي قال به "**فيتزجرالد**" و"**لورنتز**" في صورة "المظهر الذي يبدو للملاحظ الخارجي"[1] .

كثيرا ما وصف هذا الموضوع بالعبارة التالية: أصبح تعبير "الطول الحقيقي" تعبيرا لا معنى له الآن، ويعتبر "الطول النسبي" هو التعبير الوحيد الذي له معنى، لأنه يفيد في صياغة القوانين الفيزيائية، ولا اعتراض على استخدام مثل هذه الصيغ ، إذا فهمناها بالمعنى الذي وضعناه الآن، كتقدم في ألفاظ التعبير يحتمه التقدم في مجال الحقائق القوانين الفيزيائية. ومع ذلك لا يمكن تفسير هذه الصياغة، على أنها تعني أنه من المستحيل على العلم أن يعين "الطول الحقيقي" بشيء مادي وأن البحث عن الطول الحقيقي قد يكون من شأن مجال "الميتافيزياء" أو "فلسفة الطبيعة"[2]. بحيث أن "المسافة الزمنية بين حادثتين ليست لها قيمة مطلقة (مثل ثانية واحدة)، لكن قيمتها تعرف في كل حالة بالنسبة إلى نظام إسناد معين"[3].

II.2.4- نسبية الزمان

تصور أنك ركبت الطائرة من الجزائر تتحرك بسرعة 300 ألف كلم/ثا (أي سرعة الضوء) في الوقت الذي كانت فيه عقارب الساعة تشير إلى الثانية عشر تماما، منطلق إلى المدينة التي تقصدها، وتقع على مسافة 300 ألف كلم، إذن فسوف تصل إليها بعد ثانية واحدة- وهو الزمن الذي يقطعه شعاع الضوء في 300 ألف كلم/ثا- فإذا انطلق شعاع من الضوء من ساعة موجودة في المطار ليقصد المدينة التي تقع على المسافة المذكورة، فإنه سيصل في نفس الوقت معك، ولكنه نظرا لأنك تسير بسرعة الضوء، فإنك كراكب في الطائرة لا تشعر بمرور الوقت، ولكن الواقف على أرضية مطار المدينة التي تقصدها قرأ ساعة المطار التي سجلت عقاربها الثانية عشر وثانية واحدة، بمعنى آخر فإن الوقت يمضي بصورة مختلفة

---

[1] - بول موي، مرجع سبق ذكره، ص 303.

[2] - فرانك فيليب، فلسفة العلم، ترجمة على علي ناصف، المؤسسة العربية للدراسات والنشر، بيروت 1983، الطبعة الأولى، ص 183.

[3] - فرانك فيليب، المرجع السابق نفسه، ص 181.

بالنسبة إليك في الطائرة وبالنسبة إلى الواقف على أرضية المطار. ومن ثم فإنه لا يوجد ما يمكن أن نسميه بالوقت العالمي[1]. فـ"**آينشتاين**" أوضح أن الساعة المتحركة تؤخر (يتباطأ الزمن) بالمقارنة بمثليتها الساكنة[2]. فالزمان ينساب على الأشياء السريعة الحركة بسرعة أبطأ مما لو كان على الأشياء "الثابتة"، وبالنظر إلى تحويل لورنتز نجد أن فترة الزمن Δ ز بين حادثتين كما يقيسها راصد (شاهد) ساكن، وزمن الفترة Δ زَ التي يقيسها راصد متحرك ترتبط بالمعادلة التالية:

$$\Delta \text{ز}` = \Delta \text{ز} \quad 1 - \frac{\text{سر}^2_{\text{ج}}}{\text{سر}^2_{\text{ض}}}$$

يتفق الراصدان على الفترة الزمنية في حالة واحدة إذا كانا ثابتين أي: سرج= صفر[3] .

إذن فالزمان الفيزيائي يقاس بواسطة "الساعات" في علاقتها بظواهر محددة بدقة (كحركات الأفلاك، واهتزازات ضوء ذي لون واحد). فكل "ساعة" تتخذ الثانية مثلا وحدة زمانية، والثانية هي الوقت الذي يعبر فيه الضوء 300 ألف كلم، ولما كانت المسافة نسبية باعتبار الملاحظين فإن "الثانية" نسبية هي الأخرى، فعندما يكون أحد الملاحظين متحركا بالنسبة إلى الأخر فإن الثانية التي يعترف بها تبدو أطول من اللازم في نظر الملاحظ الآخر[4].

II.3.4- نسبية السرعة

سرعة أي جسم تقاس بالنسبة إلى جسم آخر سواء اعتبرنا الجسم الأول هو المتحرك أو العكس، فالنتيجة تكون واردة مادامت الأطر المرجعية – الإسناد– الخاصة بكل منهما أطر مرجعية جاليلية (حركة مستقيمة ومنتظمة)، وهذا يعني أنه ليس هناك أي جسم ثابت في الفضاء ثباتا مطلقا، وبالتالي فإن سرعة أي جسم يمكن

---

[1] – ماهر عبد القادر ماهر، مرجع سبق ذكره، ص 170.

[2] – هينز باجلز، مرجع سبق ذكره، ص 36.

[3] – ايين نيكلسون، مرجع سبق ذكره، ص 192.

[4] – بول موي، ، مرجع سبق ذكره، ص 303.

أن تتخذ سرعتها بقيم مختلفة حسب ما تكون من يراقب سرعتها ساكنا أو متحركا في اتجاه السيارة أو عكس اتجاهها[1]. أو بمعنى آخر فالصائد بالسيارة يقدر سرعة السفينة بالنسبة إلى الشاطئ، والملاح يقدر سرعة البحار بالنسبة إلى السفينة التي يظل الملاح ساكنا عليها، ويعيد الصياد تقدير النتائج من جديد فيعمل على إحداث "نقصان" فيها، إذا ما كان الملاح متحركا بالنسبة إليه، فإنه يبدو له أن ساعته أكثر بطأ مما ينبغي أي أنه يغلو في تقدير السرعة، ويزداد مقدار النقصان الذي يفرض عليه بازدياد سرعة السفينة[2].

أما بالنسبة لعلاقة الكتلة بالسرعة فهي على خلاف ما اعتقده نيوتن بأن لكل جسم كتلة معينة وهي مقدار ثابت لا يتغير، سواء كان الجسم في حالة سكون أو حالة حركة، وأن الحركة تساوي كتلة الجسم مضروبة في سرعته (ق= ك تـع). فآينشتاين أعطى تصور آخر مختلف عن تصور نيوتن، فإذا كانت كتلة الجسم ثابتة حينما يكون ساكنا فإنها لا تبقى كذلك عندما يتحرك لأن مقدراها يتغير بتحركه وتزداد بازدياد السرعة، ونقترب من قيمة لا نهائية كلما اقتربت سرعة الجسم من سرعة الضوء، وهكذا تصبح الكتلة هي الأخرى تابعة للحركة، أي نسبية [3]. طبقا للمعادلة التالية:

$$ك = \frac{ك_0}{1 - \frac{سر^2_{ج}}{سر^2_{ض}}}$$

حيث $ك_0$ هي الكتلة في حالة سكون، وهي كتلة جسم المقاسة في حالة سكون بالنسبة للملاحظ[4].

الكتلة لا تتطابق مع الوزن، فالوزن هو خاصية الكتلة في المجالات الجاذبية، بينما الكتلة هي مقياس مقاومة المادة، فالكتل الأكبر ذات قوة قصورية

---

[1] – محمد عابد الجابري، مرجع سبق ذكره، ص 344.

[2] – بول موي، مرجع سبق ذكره، ص 304.

[3] – عبد السلام بنعبد العالي، سالم يفوت، مرجع سبق ذكره، ص 127.

[4] – CH. Brunold, l'univers et sa représentation, Belin, Paris, 1966, P.210.

أكبر. والوزن يتغير حسب تغير قوة الجاذبية، أما الكتلة فبمقدار ثابت حسب نيوتن فكتلة الجسم لسيت ثقله، وإنما هي مقاومة للحركة، وهذه المقاومة تزيد بزيادة السرعة[1]، فعندما تكون القوة القصورية هي الكتلة تكون بالشكل التالي:

القوة = الكتلة القصورية × التسارع (العطالة)، وعندما تكون القوة المتحركة هي الثقل (الوزن) تكون بشكل آخر: القوة = الكتلة الوازنة × مجال الجاذبية[2].

فالنسبية الخاصة تخلت عن مفهوم "الكتلة المطلقة" فهي تسلم بأن لكل جسم كتلة خاصة به ما دام الجسم ساكنا غير متحرك. أما إذا تحرك الجسم فإن كتلة تختلف عنها في حالة السكون، وبعبارة أخرى تجعل النظرية النسبية الخاصة كتلة الجسم كمية نسبية شأنها شأن الزمان والطول[3].

II.5- علاقة الكتلة بالطاقة

تعتبر العلاقة بين الكتلة والطاقة عماد التحولات والتفاعلات النووية، فما هو مضمون تلك العلاقة؟ تطلق تسميات على العلاقة بين الكتلة والطاقة منها "وحدة المادة والطاقة" أو "تعادل وتكافؤ المادة والطاقة"[4]، إن الطاقة والكتلة ليسا مفهومين مستقيلين...بمعنى أن الطاقة والكتلة مثل الدولار والأورو- عملتان قابلتان للتحويل إحداهما للأخرى. وعلى حالات العملات فإن معدل التغير- انطلاقا من معادلة آينشتاين ط= ك سر$^2_{ض}$- الذي يساوي مربع سرعة الضوء ثابت دائما وإلى الأبد. ولأن معدل التغير المذكور كبير جدا فإن الكتلة الصغيرة تنتج طاقة هائلة. وقد اقتنص العلم المقدرة الهائلة المدمرة التي نتجت من تحويل من 1% من رطلين من اليورانيوم إلى طاقة في هيروشيما في أحد الأيام[5].

---

[1] – السيد حسين شعبان، مرجع سبق ذكره، ص 73.

[2] – CH. Brunold, l'univers et sa représentation, Belin, Paris, 1966, P.210 .

[3] – – السيد حسين شعبان، المرجع السابق نفسه، ص 73.

[4] – السيد حسين شعبان، المرجع السابق نفسه، ص 75.

[5] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص 68.

فإذا استعرضنا حركة جسم معقد يتكون من جسيمات كثيرة، فإن معنى الكتلة هنا، يجب أن يفهم على أن كتلة الجسم كله، وعند بحث حالة جسم ساكنا، ككل، ففي هذه الحالة تكون طاقته التي يمكن تسميتها "بالطاقة الداخلية" مساوية لكتلة هذا الجسم في مربع سرعة الضوء، وهذه الطاقة عبارة عن "طاقة الكون" للجسيمات الداخلة في تركيب الجسم، بالإضافة إلى "طاقة الحركة" لهذه الجسيمات وكذلك طاقة تفاعل هذه الجسيمات بعضها مع بعض.

فازدياد كتلة جسم يتعلق بالطاقة المبذولة لتحريكه وإكسابه سرعته .وهذه الطاقة التي يكتسبها الجسم هي التي تؤدي إلى زيادة كتلة[1]. فالمادة والطاقة متكافئتان وإذا استخلت المادة من كتلتها وتحركت بسرعة الضوء أسميناها إشعاعا. أما عندما تبرد الطاقة وتصبح عاطلة، فإنها نسميها مادة[2].إن معادلة "**آينشتاين**" تقدم لنا التفسير الأقوى والأصلب للحقيقة الرئيسية حول استحالة انتقال أي شيء أسرع من الضوء[3].

III- المفاهيم الأساسية للنظرية النسبية العامة

1.III- تمهيد

إن سرعان ما أيقن "**آينشتاين**" أن من بين الأصداء العديدة التي تبعت ظهور النسبية الخاصة كانت هناك واحدة مدوية بشكل خاص، القول بأن لا شيء يمكن أن يسبق الضوء، يبرهن على أنه لا يتفق مع نظرية **نيوتن** العالمية الموقرة عن الجاذبية، التي اقترحها **نيوتن** في النصف الثاني من القرن السابع عشر. وهكذا في الوقت الذي تمكنت فيه النسبية من حل أحد التناقضات فإنها أوجدت تناقضا آخر. ويعد عقد من العمل الشاق والمرهق في بعض الأحيان تمكن "**آينشتاين**" من حل هذه المعضلة بواسطة نظرية النسبية العامة Théorie de la relativité générale في سنة 1915، فأضافت إلى جانب مراجعة مفهوم الزمن مراجعة في

---

[1] – السيد حسين شعبان، مرجع سبق ذكره، ص 86.

[2] – عبد السلام بنعبد العالي، سالم يفوت، مرجع سبق ذكره، ص 128.

[3] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص 69.

خواص الفضاء الهندسية، فإذا كانت النظرية قد أعطت التعليل الصحيح للعدد المحدود من الملاحظات الفلكية المتوفرة لدينا في الوقت الحاضر فلابد من وجود علاقة بين الهندسة وبين توزيع المادة في الكون، وعلى هذا فإن هندسة "**إقليدس**" لا يمكن تطبيقها إلا على مناطق صغيرة الحجم في الفضاء، أما على النطاق الواسع فربما كان الفضاء تركيب مختلف تماما عن ذلك الذي نلحظه مباشرة[1]. فقام "**آينشتاين**" في هذه النظرية بتثوير مفهومنا عن المكان والزمان، وذلك بإثبات أنه يحدث لها اعوجاج وتشويه لثقل قوة الجاذبية[2].

النظرية النسبية العامة لم تبدأ بملاحظات وتجارب وإنما بدأت بمجموعة فروض مصاغة صياغة رياضية، يمكن أن تشتق منها بطريق غير مباشر وقائع تقبل الملاحظة بفضل براهين رياضية معينة. وبالتالي فالنظرية النسبية العامة ترسم صورة خيالية للكون Fiction، لا بمعنى أن ليس لها أساس في الواقع المحسوس. وإنما بمعنى أن القضايا الأساسية التي صيغت فيها فروض النظرية قد لا تكون معقولة Intelligible ولا مقبولة Plausible ولا يمكن فهمها بوقائع الحياة اليومية، لكن يمكننا رغم ذلك تدعيم نتائجها بتجارب. نعم تتناول النظرية تصورا جديدا للكون لكنها ليست نظرية ميتافيزيائية من اجل ذلك، ذلك لأنه يمكن إثباتها أو إنكارها بتجارب. وليست النظرية النسبية العامة تدعو إلى مثالية بمجرد أنها تتصور المادة تصورا مختلفا عن تصورنا للمادة في الحياة اليومية، وإنما هي نظرية علمية تقدم تصورا جديدا للمادة، كما أنها تقدم تفسيرا جديدا لحركات الأجسام وجاذبيتها، وتقدم فروضا جديدة عن نشأة الكون[3] .

III.2- المتصل الرباعي الأبعاد

الكون عند "**آينشتاين**" هو كون مكاني زماني ذو أربعة أبعاد، ويسمى بالرباعي الأبعاد "المتصل" Continuum وفكرة هذا المتصل من صياغة العالم

---

[1] – فرنر هايزنبرج، المشاكل الفلسفية للعلوم النووية، الترجمة أحمد مستجير، الهيئة المصرية العامة للكتاب، 1972، ص.ص 7– 8.

[2] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص 71.

[3] – محمود فهي زيدان، من نظريات العلم المعاصر، دار النهضة العربية، بيروت، 1982، ص 57.

الرياضي الألماني "**هيرمـــان منكوفســـكي**" أدخلهـــا ليقـــدم صـــياغة واضـــحة للنظريـــة النسبية الخاصة، ومنها صاغ "**آينشتاين**" النظرية النسبية العامـــة. وتقـــوم علـــى تصـــور جديد للمكان والزمان، بحيث يؤلفا كيانـــا واحـــد هـــو المتصـــل. يمكـــن توضـــيح فكـــرة المتصل أولا بتوضيح البعد dimension مثل شريط الســـكة الحديديـــة فهـــو متصـــل ذو بعد واحد لأن له طولا فقط، يمكنك أن تحـــدد موضـــعك عليـــه فـــي أي وقـــت بتحديـــد نقطة هندسية عليه، وسطح البحر ذو بعدين فتحديـــد الموضـــع يـــتم بتقابـــل خـــط طـــول وخط عرض، وقائد الطـــائرة يقودهـــا فـــي متصـــل ثلاثـــي الأبعـــاد، فيحـــدد موضـــعه بخطوط الطـــول والعـــرض والارتفـــاع . والآن حـــين نريـــد وصـــف شـــيء طبيعـــي متحرك فلا يكفي تحديد موضعه في المكـــان بـــل يجـــب أيضـــا تحديـــد طريقـــة تغييـــر موضعه في الزمان، فالزمان يضاف إلى الأبعاد المكانية[1].

فمن الصعب تصور عالم "**منكوفســـكي**"، أو زمكـــان "**آينشـــتاين**" تصـــورا حســـيا مشخصا، لأننا أعتدنا العيش في مكان إقليدي ذي ثلاثـــة أبعـــاد. أن زمكـــان آينشـــتاين – أو عالم "**منكوفسكي**" وهو المجموع الإجمالي لكل نقاط– العـــالم الممكنـــة وأطلـــق عليـــه اسم "العالم" Monde– عـــالم رياضـــي المعـــادلات الرياضـــية وحـــدها تثبـــت إمكانيـــة وجوده وتحدد خصائصه[2].

إن المكان متصل ثلاثي الأبعاد، ونعني بهـــذا أننـــا نســـتطيع أن نحـــدد موضـــوع النقطة الساكنة بواسطة ثلاثـــة إحـــداثيات س، ع، ص وأن هنـــاك عـــددا لا نهائيـــا مـــن النقط المتجاورة تحدد موضع أيا منها الإحـــداثيات سَ، عَ، صَ يمكـــن أن تكـــون قريبـــة بأية درجة نختارها إلى الإحداثيات س، ع، ص الخاصة بـــالنقط الأولـــى ولهـــذا الســـبب نسميها المتصل. ونظرا لأن له إحداثيات ثلاثا فإننا نقول عنه إنه ثلاثي الأبعاد.

وبالمثل فإن دنيا الظواهر الطبيعية ويســـميها "**منكوفســـكي**" باختصـــاره "العـــالم"، طبيعي أن تكون رباعيـــة الأبعـــاد بـــالمعنى الزمـــاني – المكـــاني لأنهـــا تتكـــون مـــن حوادث Event فردية يعين كل منها أربعة إحـــداثيات منهـــا ثلاثـــة مكانيـــة س، ع، ص

---

[1] –محمود فهمي زيدان، مرجع سبق ذكره، ص.ص 58– 59.

[2] – محمد عابد الجابري، مرجع سبق ذكره، ص 358.

وإحداثي زماني ز، والعالم بهذا المعنى متصل لأنه توجد بالنسبة لكل حادثة حوادث مجاورة لا حصر لها إحداثياتها سَ، عَ، صَ، زَ. وتختلف بقدر ضئيل جدا عن إحداثيات الحادثة الأولى س، ع، ص، ز، أما كوننا لم نتعود على النظر إلى العالم بهذا المعنى على أنه متصل رباعي الأبعاد[1].

كما ذهب عالم الرياضيات الفرنسي "**لويس لاجرانج**" إلى تسمية الميكانيكا بأنه "هندسية في أربعة أبعاد" فكل نقطة كتلية تعبر مسارا في فضائنا الثلاثي الأبعاد س، ع، ص وعند لحظة معينة ز= ز$_0$ تشغل الكتل جزءا معينا مع فضائنا الثلاثي الأبعاد، ثم تشغل أجزاء أخرى من هذا الفضاء عند لحظة أخرى[2].

إن وصف الأحداث بلغة (الفضاء الرباعي الأبعاد) أنسب من وصفها بلغة الفضاء الثلاثي، فإننا نميل إلى القول بأن "الفضاء الرباعي الأبعاد" أقرب إلى الحقيقة من الفضاء الثلاثي الأبعاد وبينما كل من " س" المسافة الفضائية التي تفصل بين (س – سر^2$_ض$– ز) "موجود" على نحو مستقل بذاته.

وقد كتب "**منكوفسكي**" عام 1908 بقول أن الذي "يوجد حقا" هو تركيبة من الزمان والمكان أي الوجود المتواصل الرباعي الأبعاد، أما إذا فصلنا الزمان عن المكان فإنهما يصبحان شيئين "ظاهرين". لكن حتى إذا قلنا إن الوجود المتواصل المكاني الزماني الرباعي الأبعاد أقرب إلى الحقيقة من الزمان والمكان منفصلين فإن هذا لا يعني أكثر أو أقل من القول بأن هذه الصياغة هي عرض عملي ومناسب لنظرية النسبية.

وما من شك في أننا إذا اعتبرنا أن الوجود المتواصل المكاني الزماني الرباعي الأبعاد هو "حقيقة" فإن ذلك يشجعنا على تبني رأي "**لاجرانج**" القائل بأن الميكانيكا هندسة رباعية الأبعاد، وأن نقول أن الوجود المتواصل الرباعي الأبعاد "موجود الآن"، ومن ثم فإن كل أحداث المستقبل موجودة الآن، وأن "المستقبل" يتألف من تحركنا خلال الوجود المتواصل المكاني الزماني الرباعي الأبعاد، ولكننا مثلما

---

[1] – ألبرت آينشتاين، النسبية النظرية الخاصة والعامة، ص 55.

[2] – فيليب فرانك، مرجع سبق ذكره، ص 202.

كان الحال قبل صياغة "**منكوفسكي**" لنظرية النسبية، يجب علينا أيضا أن نعترف بأن استخدام كلمة "الآن" في الصياغة هو أقرب إلى التضليل، فعندما نقول "الآن" فإننا فضاءا مستعرضا للوجود المتواصل المكاني الزماني الرباعي الأبعاد حيث ز = ز$_0$، ومن ثم فإن أي لحظة مستقبلية، يكون فيها الزمن ز> ز$_0$ يمكن أن توجد الآن سوف تكون متناقضة تناقضا ذاتيا.

وكثيرا ما استخدم الوجود المتواصل المكاني الزماني الرباعي الأبعاد لإثبات أن المستقبل، شيء "مقدر" (قضاء وقدر أي مقرر سلفا). فإذا وقع حدث أ بالنسبة إلى ب عند الزمن ز = ز$_0$، فإن نفس الحدث يمكن أن يقع بالنسبة إلى بَ عند الزمن ز$_0$ سابق على ز أي ز< ز$_0$. وقد وصف هذا الوضع على النحو التالي: لم يكن أحد ليعلم أثناء فترة قصيرة قبل ز$_0$ عما إذا كان الحدث أ سيقع أم لا، إنه في حقيقة الأمر قد حدث في النظام (بَ) وعلى هذا فقد قدر"سلفا" إنه حدث فعلا ومن ثم فليس من الممكن أن يحول شيء دون وقوعه، وسيكون هذا مذهبا "المقرر سلفا" أو "القضاء والقدر" في أشد أشكاله الجذرية. ومع ذلك، فإن الحدث أ يقع مرة واحدة في حقيقة الأمر. والوضع الحقيقي للأمور هو كما يلي: ينطبق هذا الحدث على نقطة معينة في (ب) عندما تكون الساعة الساكنة عند هذه النقطة تبين الزمن ز = ز$_0$، بينما الساعة الساكنة في (بَ) والتي تنطق مع نفس الحدث تشير أثناء الانطباق إلى زمن زَ< ز$_0$. والصياغة الرباعية الأبعاد للنسبية أداة مفيدة لعرض الأحداث الفيزيائية، ولكن لا يمكن تفسيرها بلغتنا اليومية المعتادة بأن نتحدث ببساطة عن الوجود المتواصل المكاني الزماني الرباعي الأبعاد كما تعودنا أن نتحدث عن فضائنا المعتاد الثلاثي الأبعاد[1].

III.3- المتصل منحنى مقفل محدود

تصور **نيوتن** للمكان تصورا إقليديا بينما تصور "**آينشتاين**" تصور ريمانيا. وبالتالي يكون المتصل المكاني الزماني رباعي الأبعاد منحنى Courbe أو كروي

[1] – فيليب فرانك، مرجع سبق ذكره، ص.ص 205– 207.

الشكل Sphérique. فالكون عند "**آينشتاين**" كـرة ذات ثلاثـة أبعـاد [1]. فـإذا نظرنـا إلى كرة نجد أن سطحها منحى ومقفـل (أي يمكـن الإقفـال فيـه دون أن نجـد حافـة) ومنتهي(أي لا يمكن الابتعاد إلى اللانهايـة عـن نقطـة البدايـة). فـإذا فرضـنا وجـود مخلوقات صغيرة ذكية على سـطحها، لـم يسـتطيعوا أن يـدوروا دورة كاملـة حولهـا، فإنهم يستطيعون بواسطة قياسات خاصة أن يكتشفوا انحناءها ،وذلـك بـأن يجـدوا مـثلا أن مجموع زوايا المثلث لا يساوي قائمتين. ثـم إنهـم يسـتطيعون أن يسـتنتجوا أن هـذا السطح منحنى: شرط أن يقبلوا أن هذا الانحناء يسـتمر فـي الجهـات التـي لـم يصـلوا إليها. وهذا الافتراض لا يسمح لهم بالوصول إلى أي تأكيـد ويكـون خطيـرا بقـدر مـا يكون المعروف عندهم قليلا، وبقدر ما يكون علـيهم محليـا، ونحـن أمـام الكـون فـي وضع مماثل. فملايين السنين الضوئية التي أظهرها علم الفلـك بسـرعة ليسـت بالتأكيـد سوى جزء بسيط من الكون (كمسافة الجزائـر علـى الكـرة الأرضـية). ثـم إن علمنـا بتقدمه الباهر يظهر كم هو ناقص. فنحن لسنا في موقـف يسـمح لنـا بالتكهنـات حـول الكون ككل واحد، ولكن التكهنات ولو كانت خاطئة تؤدي إلى تقـدم العلـم. ولكـن علـى الرغم من مثال الكرة فإن مبدأ انحناء الكون (الفضـاء) يبقـى غامضـا. ولآجـل تمثلـه وتصوره يلزم لذلك بعد رابع، وهذا مـا نعجـز عنـه. أمـا الرياضـيون فـإنهم يعنـون بكلمة "انحناء" بعض مميزات تجريبية تظهر فـي معـادلتهم بعيـدا عـن كـل تصـور مادي. وهذا يكفيهم، وهم يبتعدون عن كل تصـور خـاطئ يمكـن أن يصـوره خيـالهم، لنفصل مثلهم.

بعد أن ظهر لـ "**آينشتاين**" انحنـاء محلـي، بـدأ البحـث عـن إمكانيـة إقفـال المكاني الزماني (الذي ضربنا عنه مـثلا بالسـطح الكـروي). ولكـن مـدى ملاحظتنـا ومشاهدتنا يمنعنا من أن نتعرف على نموذج كوننا مـن بـين النمـاذج المعروضـة إلـى الآن، والتي هي نماذج مؤقتة.

[1] – محمود فهمي زيدان، مرجع سبق ذكره، ص 62.

والدفاع عن فكرة كون الكون إقليديا، وأن يكون لـه أي شـكل أردنـا، لا يفضـل الحكم يكون الأرض مسطحة أو أن شكلها غير محدود[1].

فمعنى أن المتصل سطح منحنـى أو كـروي أن نتخيـل سـطحا مسـتويا ملتـو على نفسه. وهذا المتصل في حركة يدور بعـدان فيـه حـول البعـدين الآخـرين، أي لا يدور المتصل حول محور وإنما حول مسـطح Plat. أمـا معنـى أن المتصـل المكـاني الزماني مقفل Ferme هو نفس المعنـى حـين نقـول أنـه محـدود Fini. هـو مقفـل كمحيط الكرة. والواقع أن الكون ليس كرويا بالمعنى الـدقيق، وإنمـا قـد يتخـذ انحنـاؤه شكل الكمثري أو شكل الموز.

نلاحظ أن صورة "**آينشتاين**" للكـون ضـخمة لدرجـة أنـه يتسـع لبليـارات أو تلييارات المجرات، يحوي كل منهـا مئـات الملايـين مـن النجـوم الملتهبـة، وكميـات هائلة من السدم بها غازات مخلخلة وغبار كوني، وأن شـعاعا ضـوئيا ينطلـق بسـرعة 300 ألف كلم/ثا في الكون سوف يرسم دائرة كونية كبـرى ويعـود إلـى مصـدره بعـد 200 بليون سنة بمعيارنا الأرضي[2].

إن النتيجة التي انتهى إليها "**آينشتاين**" هي: أن المتصـل المكـاني الزمـاني فـي النظرية النسبية العامة لا يمكن اعتباره متصلا إقليديا بل إننـا نجـد هنـا الحالـة العامـة التي تمثلها الرخامية في حالـة الاخـتلاف الموضـعي فـي درجـة الحـرارة (متفاوتـة التسخين) والتي اعتبرناها متصلا ثنائي الأبعاد[3].

III.4- نظرية الجاذبية

إن نظرة **نيوتن** للجاذبية سميت بـالموازن العظـيم. فقـد أعلـن أن كـل شـيء على الإطلاق يمارس قوة جاذبية على كـل شـيء علـى الإطـلاق ومـن دون النظـر للتركيب الفيزيائي للأشـياء، فاسـتنتج نيـوتن أن شـدة الجاذبيـة بـين جسـمين تعتمـد

---

[1] – بول كوديرك، النسبية، دار منشورات عويدات، بيروت، 1971، الطبعة الأولى، ص.ص 102– 103.

[2] – محمود فهمي زيدان، مرجع سبق ذكره، ص.ص 62– 65.

[3] – ألبرت آينشتاين، النسبية، ص 91.

بالتحديد على أمرين: كمية حشو (المادة) كل جسم والمسافة بينهما (أي التي تتكون من العدد الكلي للبروتونات والنيترونات والإلكترونات، والتي تحدد كتلة الجسم). تجزم النظرية الكونية للجاذبية **لنيوتن** بأن شدة التجاذب بين جسمين كبيرة للأجسام ذات الكتل الكبيرة وصغيرة للأجسام ذات الكتل الصغيرة، كما تؤكد أيضا أن شدة التجاذب تزيد إذا صغرت المسافة بين الجسمين وتقل إذا زادت المسافة بينهما.

ومن خلال معادلة التجاذب: القوة تساوي ثابت **نيوتن** مضروب في كتلتي الجسم الأول والثاني مقسومة على مربع المسافة بين الجسمين، والتي تكون بلغة رياضية بالشكل التالي:

$$\text{القوة} = \text{ثا} \frac{\text{ك}_1 \cdot \text{ك}_2}{\text{ب}^2}$$

حيث ثا: ثابت **نيوتن**، ك_1: كتلة الجسم (الكوكب) الأول، ك_2: كتلة الجسم الثاني، ب: المسافة بين الجسمين (الكوكبين).

وتقرأ أن قوة الجاذبية بين جسمين تتناسب طرديا مع حاصل ضرب كتلتهما وعكسيا مع مربع المسافة بينهما.

هناك مشكلة في نظرية **نيوتن** للجاذبية بحيث يمارس الجسم شدة الجاذبية على جسم آخر بشدة تتحدد فقط بكتلة الجسمين المعنيين ومقدار المسافة التي تفصلها ولا تعتمد الشدة على طول فترة بقاء الجسمين سيشعران بالتغير في شد الجاذبية المتبادل بينهما لحظيا تبعا **لنيوتن**. فمثلا تزعم نظرية نيوتن للجاذبية أنه لو انفجرت الشمس فجأة، فإن الأرض ستبتعد لحظيا من مدارها البيضاوي المعتاد. ومع أن ضوء الانفجار سيستغرق ثماني دقائق لينتقل من الشمس إلى الأرض إلا أنه تبعا لنظرية نيوتن فإن معلومة انفجار الشمس ستصل لحظيا إلى الأرض من خلال التغير المفاجئ في قوى الجاذبية المتحكمة في حركتها.

وهذا الاستنتاج في تناقض مباشر مع النسبية الخاصة حيث إن الأخيرة تؤكد أنه لا يمكن أن تنتقل أية معلومات أسرع من الضوء، والانتقال اللحظي بشكل اعتداء على هذا المبدأ في أعلى صورة.

ولهذا ففي الجزء المبكر من القرن العشرين، أيقن "**آينشتاين**" بأن نظرية الجاذبية الناجحة جدا **لنيوتن** تتعارض مع نظريته في النسبية الخاصة. ولوثوق "**آينشتاين**" من صحة النسبية الخاصة، وعلى الرغم من خلال الدعم التجريبي لنظرية **نيوتن**، فإنه فكر في نظرية جديدة للجاذبية تتوافق مع النسبية الخاصة. وقد أدى ذلك به في النهاية إلى اكتشاف النسبية العامة، التي خضعت فيها خواص المكان والزمان لتحولات ملحوظة مرة أخرى[1].

فـ"**آينشتاين**" يرفض التأثير عن بعد وينكر أن الجاذبية قوة، ويحدد أن الجسم يولد حركة فيها يجاوره مباشرة مجالا ويحدد شدة واتجاه هذا المجال في النقط البعيدة عن الجسم. وعلى عكس من المجالات المغناطيسية والكهربائية نجد أن مجالات الجاذبية تنفرد بميزة خاصة على جانب أساسي من الأهمية "فإن الأجسام التي تتحرك تحت تأثير مجال الجاذبية فقط تتحرك بعجلة (سرعة) لا تعتمد أبدا على الحالة المادية ولا الفيزيائية للجسم"[2]. مثال على ذلك: إن قطعة الرصاص وقطعة الخشب تسقطان بنفس الكيفية تحت تأثير مجال الجاذبية (السقوط الحر) في الفراغ سواء بدأ سقوطهما من حالة السكون أو ابتدأه بسرعة واحدة، ويمكن التعبير عن هذا القانون الدقيق بطريقة أخرى كما يلي: إننا وفقا لقانون **نيوتن** للحركة نجد أن:

القوة = كتلة القصور الذاتي (العطالة) × العجلة (التسارع) حيث تكون كتلة القصور ثابتا مميزا للجسم المعجل (المتسارع). فإذا أصبحت الآن الجاذبية سبب العجلة نجد أن:

القوة = الكتلة الجاذبية (الثقل) × شدة المجال الجاذبي

---

[1] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص.ص 72– 74.

[2] – ألبرت آينشتاين، النسبية، ص 66.

حيث كتلة الجاذبية ثابت مميز للجسم، ومن هاتين المعادلتين نجد أن:

$$\text{العجلة (التسارع)} = \frac{\text{كتلة الجاذبية (الثقل)}}{\text{كتلة القصور الذاتي (العطالة)}} \times \text{شدة مجال الجاذبية}$$

فإذا كانت العجلة مستقلة عن طبيعة الجسم وحالته من السكون أو الحركة كما هو ثابت بالتجربة، فعلى ذلك لابد أن تكون حدة العجلة واحدة بالنسبة إلى كل الأجسام، وإذا اخترنا الوحدات المناسبة أمكن أن نجعل هذه النسبة مساوية للوحدة. وبذلك نحصل على القانون : "كتلة الجاذبية (الثقل) لجسم ما مساوية لكتلة القصور الذاتي (العطالة) للجسم نفسه"[1]. ومعنى هذا أن قوة الجاذبية هي نفس قوة القصور الذاتي، أي نفس قوة العجلة (التسارع). فالجاذبية إذن بالنسبة إلى "**آينشتاين**" ليست قوة، بل هي عبارة عن سقوط حر[2].

قد يبدو إذن أن كتلة الجاذبية وكتلة القصور الذاتي لجسم ما تكونان دائما في نسبة واحدة بالضبط، وأن كتلة القصور الذاتي (وهي التي تحدد التسارع) والكتلة الجاذبية (التي تحدد قوة الجاذبية) متعادلتان تماما. وإن جسما صلبا أكثر قد يلاقي قوة جاذبية تمارسها الأرض عليه أقوى مما يلاقيه جسم صلب أقل، ولكن، لأن كتلة قصوره الذاتي أكبر بنفس النسبة بالضبط فإن العجلة (التسارع) الذي يعاينه هو نفسه بالضبط الذي يعاينه الجسم الأقل ثقلا أو والواقع أن القوة الإضافية الناجحة عن كتلة إضافية تلغي تماما بواسطة القصور الذاتي الإضافي للجسم[3] .

ولتوضيح ذلك أكثر نتطرق إلى المثال الآتي: دعنا نتخيل راصدا واقفا داخل مصعد، ممسكا بكومة من الأشياء بين يديه، فلو انقطع حبل المصعد، لسقط المصعد بحرية تحت تأثير الجاذبية (سقوط حر)، متسارعا بمعدل مطرد، وكذلك يحدث لمحتوياته: فالراصد وسائر الأشياء الأخرى في المصعد سوف تسقط بنفس السرعة

---

[1] – ألبرت آينشتاين، النسبية، ص 66.

[2] – محمد عابد الجابري، مرجع سبق ذكره، ص 353.

[3] – إيين نيكلسون، مرجع سبق ذكره، ص 219.

التي يسقط بها المصعد بالضبط، ولن يشعر الشخص الساقط بأن هناك أية قوة بينه وبين أرضية المصعد، ومن ثم سوف يعاني حالة انعدام الوزن، وسيبدو أن كل الأشياء التي كان قابضا عليها بيده تطفو في منتصف الهواء. وبالطبع، ستصل هذه الحالة الشبيهة بالحلم إلى نهاية مباغتة ودائمة حيث يرتطم المصعد بالأرض، غير أن هذه لا يطعن في صحة النقطة التي نناقشها وهي: بينما يكون الراصد ومحتوياته في حالة سقوط حر فإنه لا يشعر بأية آثار يمكن أن تعزى لمجال الجاذبية. هذه التجربة نفسها تحدث لرائد الفضاء يستقل سفينة فضاء تدور حول الأرض مثل هذه السفينة تتحرك بحرية تحت تأثير الجاذبية ولا يشعر سكانها (روادها) بأي وزن.

لدينا إذن معادل ذو طريقين بين آثار الجاذبية وآثار التسارع. فهذه قوة لا سبيل إلى تميزها عن الجاذبية يعانيها راصد تتزايد سرعته (فلنقل إنه رائد فضاء أثناء تشغيل المحرك الصاروخي لسفينته)، غير أن هذه القوة تتلاشى حين تزول وهذه القوة المتسارعة (أي حين وقوف المحرك). وبالمثل يمكن أن تبطل آثار الجاذبية أو أن "تلغى" أو "تتحول بعيدا" بأن يسمح لمصعد الراصد بالسقوط بحرية تحت تأثير الجاذبية. وقوى "الجاذبية" الظاهرة مألوفة لنا، وهناك اقتراح بأنه من الممكن توليد الجاذبية الاصطناعية في محطة فضاء كبيرة بسيطة بجعلها تدور حول نفسها (مثل لعبة التورنادو). فالأشخاص الذين يكونون خاضعين لتسارع ثابت ماداموا مجبرين على التحرك في مسار دائري نتيجة لدوران المحطة بدلا من التحرك خلال الفضاء في خط مستقيم وبسرعة متسقة (منتظمة)، ويكون اتجاه التسارع نحو مركز الدائرة، ولكن نظرا لقصورهم الذاتي فسوف يشعرون بأنفسهم مضغوطين على الجدار الخارجي ب "قوة" لا سبيل إلى التمييز بينها وبين الجاذبية: ويشار عادة إلى القوة الظاهرة التي يشعرون بها على أنها القوة الطاردة المركزية Centrifuge. ومن الممكن تعديل قوة الجاذبية الاصطناعية بتغيير سرعة الدوران أو بأن يختار فرد ما مستوى الجاذبية التي يريدها بمجرد التحرك مقتربا من محور الدوران أو مبتعدا عنه: فكلما اشتد تقاربه، أصبحت القوة الظاهرة للجاذبية أضعف، وتتلاشى تماما عند المحور[1].

[1] – ايين نيكلسون، مرجع سبق ذكره، ص.ص 220– 221.

فالتكافؤ بين التسارع والجاذبية كان معروفا لدى "**جاليلي**" و"**نيوتن**"، لكن "**آينشتاين**" رفعه إلى سدّة مبدأ أساسي في الطبيعة. ويدرس عادة من خلال صلته بالأجسام الساقطة في حقل الثقالة (مجال الجاذبية)[1].

وقد أطلق "**آينشتاين**" على عدم المقدرة على التمييز بين الحركة المتسارعة والجاذبية "مبدأ التكافؤ"[2]Principe d'équivalence. وهو يلعب دورا محوريا في النسبية العامة، فالارتباط الوثيق بين الجاذبية والتسارع هو إنجاز مشهور وذلك أن الجاذبية شيء غامض. إنها عظمى تتغلغل في حياة الكون، غير أنها مراوغة وغير مادية. ومن ناحية أخرى فإن حركة المتسارعة على الرغم من كونها أكثر تعقيدا بشكل ما من الحركة بسرعة ثابتة، فهي متماسكة ومحسوسة. وباكتشاف رابطة أساسية بين الاثنتين، فإن "**آينشتاين**" أيقن أنه يمكن استخدام فهمه للحركة كأداة قوية ليكتسب فهما مماثلا للجاذبية[3].

نعود مرة أخرى إلى مثال المصعد ونفترض أنه يتوفر على ثقب صغير في جدار الأيمن، وأن شعاعا ضوئيا يدخل عموديا من الثقب إلى داخل المصعد، وإنه بالتالي يرتسم على الجدار المقابل مخترقا الفراغ الموجود داخل المصعد، السؤال الذي نطرحه هو: هل سير الشعاع داخل المصعد في مسار مستقيم أم أنه يسلك طريقا منحرفا؟

إن الراصد الموجود خارج المصعد يرى بأن المصعد في حالة تسارع إلى أعلى، وبما أن الشعاع يحتاج إلى بعض الوقت ليقطع المسافة التي تفصل بين الجدارين، فإن ارتسامه على الجدار المقابل سيتأخر عن زمن مروره بالثقب، ولو لبرهة قصيرة. وفي أثناء هذه البرهة سيكون المصعد قد تحرك إلى أعلى، مما يجعل الشعاع يسقط على الجدار المقابل في نقطة منخفضة بالنسبة إلى الثقب

---

[1] – بول ديفس، جوليان بروان، الأوتار الفائقة، ترجمة أدهم السمان، دار طلاس للدراسات والترجمة والنشر، دمشق،1993، الطبعة الأولى، ص 18.

[2] – وبدقة أكثر بعض الشيء، أيقن آينشتاين أن مبدأ التكافؤ يصلح طالما كانت مشاهدتنا محصورة في مناطق صغيرة من الفضاء، والسبب هو أن مجالات الجاذبية يمكن أن تختلف في شدتها من مكان لآخر.

[3] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص.ص 78– 79.

وبالتالي لابد أن يكون مسار الشعاع مسارا منحرفا إلى أسفل. أما الراصد الموجود داخل المصعد فإنه يرى رأيا آخر، بحيث أن كل ما يوجد داخل المصعد خاضع لتأثير الجاذبية، فليس هناك أية حركة متسارعة، بل فقط تأثير مجال الجاذبية. وبما أن الشعاع الضوئي "لا وزن له" فإن الجاذبية لا تؤثر فيه، وبالتالي فإن مساره سيكون مستقيما داخل المصعد. ولكن لماذا يختلفان في الرأي؟ واضح أن الراصد الموجود داخل المصعد يجهل نظرية النسبية، وإلا لما قال أثناء استدلالاته "أن شعاع الضوئي لا وزن له". وبالتالي لما توصل إلى نتيجة مخالفة لتلك التي قال بها الراصد الثاني. فإن النسبية الخاصة ترى أن للطاقة كتلة، وضوء طاقة إذن للضوء كتلة. وكتلته من نوع كتلة القصور الذاتي (العطالة). وبما أن كتلة القصور الذاتي تساوي كتلة الجاذبية (الثقل)، فلا بد أن يخضع الشعاع الضوئي داخل المصعد لتأثير الجاذبية، وبالتالي لابد أن ينحرف قليلا خلال سيره من الثقب إلى الجدار المقابل[1].

انحناء الضوء في مجال الجاذبية هو أحد التنبؤات الحاسمة لنظرية "**آينشتاين**" العامة، وقد أكدته المقاييس الفلكية التي قام بها "**سير آرثر ادينجتون**" عام 1919، فإن شعاعا من الضوء ينبعث من نجم بعيد مارا بالقرب من حافة الشمس لابد أن ينحرف بمقدار ضئيل، وهذا كان خلال الكسوف الكلي للشمس في سنة 1919، بحيث تمكن "**ادينجتون**" من قياس التغيير الظاهر الذي طرأ على موقع النجوم القريبة من الشمس في السماء[2].

5.III- الكون المتمدد والمنكمش

[1] – محمد عابد الجابري، مرجع سبق ذكره، ص 354.

[2] – ايين نيكلسون، مرجع سبق ذكره، ص 224.

إن اكتشاف قوانين الطبيعة الجديدة يتطلب ثورة في تفكيرنا، وهذه القوانين الجديدة قد تمدنا في بادئ الأمر ببعض التصحيحات البسيطة للقوانين القديمة ليس إلا، ولكن القوانين الجديدة التي لها مضامين نوعية تمتد إلى ما بعد الأفكار القديمة كما تمتد نظرية النسبية العامة لـ"**آينشتاين**" إلى ما بعد نظرية **نيوتن** القديمة. وإذا أردنا أن نفهم بدء الكون ونهايته فيجب علينا أن نتخطى نظرية **نيوتن** في الجاذبية إلى نظرية النسبية لـ"**آينشتاين**".

فتأكيدات النسبية العامة لأهمية الهندسة تفتح الطريق أمام رؤية جديدة لطبيعة الكون تمدنا بأساس لعلم الكونيات، وهو علم دراسة الكون بأكمله. فهناك أداة رياضية حديثة لفهم الكون وطرح تساؤلات وللإجابة عنها هي النظرية النسبية العامة. فإذا نظرنا إلى السماء وجدناها مكتظة بالنجوم، مما يوحي إلينا أن الكون واسع، فجيمع النجوم التي نراها تشكل جزاءا من الطريق التبني (تبانة) وهي واحدة من بلايين المجرات. فكيف يمكن أن نقوم بدراسة مثل هذا الاتساع؟

كان الفيزيائي السوفيتي "**ألكسندر فريدمان**" أول من وجد الحلول لمعادلات "**آينشتاين**". ففي عام 1922 توصل إلى نتيجة مدهشة هي أن النظرية النسبية العامة تدل ضمنيا على أن الكون لا يمكن أن يكون ساكنا، وإنما يجب أن يكون متغيرا. فغاز المجرات يجب أن يتمدد أو ينكمش. وقد أوضح "**فريدمان**" أنه إذا كانت كثافة غاز المجرات أقل من قيمة حرجة، فإن الكون يكون مفتوحا وسيستمر في التمدد إلى الأبد، أي أن المجرات تتباعد عن بعضها البعض باطراد. أما إذا كانت كثافة غاز المجرات أعلى من قيمة حرجة فمن شأن الكون أن يكون مقفلا وأن يتقلص في النهاية[1].

الأدلة التي جاء بها الفلكين في الوقت الحاضر توحي بأننا تحت الكثافة الحرجة لمادة المجرات وان الكون مفتوح. ولكن إذا اكتشف مزيد من المادة، فإن الكثافة الفعلية تزيد وحينئذ يمكن أن يكون لنا كون مقفل من شأنه أن يتمدد ثم يعود للانكماش.

---

[1] – هينز باجلز، مرجع سبق ذكره، ص.ص 63– 64.

كان "**آينشتاين**" يظن أن الكون ساكنا وانه موجود من الأزل إلى الأبد، فكان يريده ساكنا مقفلا، فقد ذهب إلى حد تغير معادلاته في النسبية مضيفا "حد كوني" يسمح بالوصول إلى حل ساكن. وقد أطلق "**آينشتاين**" على هذا التشويه " أفدح خطأ في حياتي" وهكذا كان "**فريدمان**"، وليس "**آينشتاين**"، هو الذي اكتشف أن النسبية العامة تتطلب كونا متمددا ومتحركا. ولقد جاء هذا التنبؤ الرائع قبل الاكتشاف الكوني العظيم الذي توصل إليه الفلكي الأمريكي "**أدوين هبل**" بسبع سنوات. فبعد دراسة مفصلة للمجرات البعيدة خلص هبل إلى أن الكون يتمدد حقا مثل انفجار هائل ،أي أن الكون يتطور[1].

إذا كان النسيج الفضائي يتمدد، وبالتالي تزداد المسافة بين المجرات المحمولة في التيار الكوني تباعدا، فلنا أن نتخيل استرجاع التطور في الاتجاه العكسي للزمن لنعرف أصل الكون. وفي الاتجاه العكسي ينكمش نسيج الفضاء جالبا جميع المجرات أقرب فأقرب بعضها من بعض.وكما هو الحالة في حالة البخار وما تحتويه، فإن الكون المتقلص الذي ضغط المجرات مع بعضها سيسبب زيادة هائلة في درجة الحرارة، وتتحلل النجوم، وتتكون بلازما ساخنة من المكونات الأولية للمادة. وباستمرار تقلص هذا النسيج سترتفع درجة الحرارة بلا حدود كما سيحدث نفس الشيء لكثافة البلازما البدائية. وإذا تخيلنا رجوع الساعة إلى الوراء بدءا من الزمن الحالي للعالم الذي نشاهده الآن إلى حوالي 15 مليار سنة مضت، فإن الكون الذي نعرفه سينسحق إلى جحم متناهي الصغير. وستنكمش وتعتصر المادة التي يصنع منها "كل شيء" بقدر كوني إلى كثافة مذهلة[2] .

مادامت الجاذبية تفسر على أنها انحناءة الزمكان، فلنا أن نتوقع حدوث آثار زمنية بجوار الأجسام الضخمة، والحق، أن هناك تنبؤ آخر للنسبية العامة يمت بصلة مباشرة لأفكارنا عن الزمان فالساعات الطبيعية تسير ببطء أكثر في مجال جاذبي قوي عما تسير في مجال ضعيف. وبعبارة أخرى، ينبغي أن يكون هناك تمدد جاذبي للزمان مماثل لتمدد الزمان الناجم عن السرعة النسبية في نظرية

---

[1] – هينر باجلز، مرجع سبق ذكره، ص.ص 64–65.

[2] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص.ص 101– 102.

النسبية الخاصة. فالساعة التي توضع على سطح جسم ضخم سوف تسير على نحو أيضا من ساعة مثلها تماما موضوعة على بعد من ذلك الجسم. فالساعة المستقرة على الأرض سوف تسير ببطء بالقياس إلى الساعة الأخرى- موضوعة بعيدة عن الأرض – بمدة لا تعدو عشرين ثانية في ألف سنة[1]. فكلما زادت قوة الجاذبية زاد انسياب الزمن. وقد قال "**آينشتاين**" «إن الزمن ما تقيسه الساعة»[2].

تقتضي النسبية العامة ضمنا وجود موجات جاذبية، و هي تموجات في انحناء الفضاء تنتشر سرعة الضوء عبر أي مسافة. و لأنه لمن المثير أن يكشف عن موجات جاذبية حقيقية و لكن معظم وسائل توليد الجاذبية كحدوث كوارث كونية مثل انفجار أو تصادم النجوم ستولد موجات جاذبية ضعيفة جدا لا يمكن كشفها من سطح الأرض. ومن الممكن أن تكون الثقوب السوداء التي تستهلك النجوم في قلب مجرتنا أحد المصادر الممكنة لموجات الجاذبية[3].

يمكن أن نلخص الأفكار الرئيسية للنسبية العامة كما يلي: أولا، يجب أن نعترف بمبدأ التكافؤ، القائل بأن الجاذبية و الحركة غير المنتظمة شيئان لا يمكن التمييز بينهما. ثانيا، و كفكرة مستقلة يجب أن نعترف بأن تعيين هندسة الفضاء مشكلة تجريبية. فبإطلاق أشعة ضوء الليزر، يمكننا أن نخطط الهندسة المنحنية لفضائنا. ويمكن الجمع بين هاتين الفكرتين، مبدأ التكافؤ وانحناء الفضاء، إذا اعترفنا بأن مسار الضوء الذي نستخدمه في تعيين الهندسة المنحنية للفضاء، معرض لتأثير الجاذبية. ولكن بدلا من أن نفكر بأن الضوء "ينحني" في وجود "الجاذبية" أخرى بنا أن ندرك أن الجاذبية تظهر نفسها حقيقة كفضاء منحنى وأن أشعة الضوء تتحرك على طول مسار في هذا الفضاء المنحني. فالجاذبية هي انحناء الفضاء[4].

وحسب رأي "**جون ويلر**"، الفيزيائي الأمريكي الذي طور نظرية النسبية العامة بشكل كبير فيما بعد، تتلقى المادة أوامر حركتها مباشرة من الفضاء نفسه،

---

[1] – ايين نيكلسون، مرجع سبق ذكره، ص 227.

[2] – هينز باجلز، مرجع سبق ذكره، ص 60.

[3] – المرجع السابق نفسه، ص 61.

[4] – هينز باجلز، مرجع سبق ذكره، ص.ص 54- 55.

لذلك يجب النظر إلى الجاذبية على أنها مفعول هندسي فراغي، وليس قوة بالمعنى المألوف. إن الفضاء يخبر المادة عن الكيفية التي يجب أن تتحرك بها، بينما تخبر المادة الفضاء عن الكيفية التي يجب أن ينحني وفقها، ومن جهة النظر هذه، يكون تفسير نظرية النسبية العامة للجاذبية هو أنها تشوه في هندسة الزمكان[1].

IV- تفسيرات ميتافيزيائية للنظرية النسبية

1.IV- مضامين ميتافيزيائية لنظرية النسبية

عند عرض نظرية النسبية لـ "**آينشتاين**" من الوجهة المنطقية والتجريبية اتضح أن بنيتها المنطقية لا تختلف اختلافا أساسيا عن أي نظرية فيزيائية فهي تبدأ من نظام شكلي أضيفت إليه تعريفات تشغيلية، وتستنبط من هذا النظام بطريقة منطقية نصوصا يمكن تدقيقها بالمشاهدات الواقعية. وتلك المشاهدات هي من نفس النوع تماما مثل أي مشاهدات في الميكانيكا التقليدية أو الضوء، وهي تتألف من مشاهدة انطباق العلامات على المقاييس المختلفة. ويمكن عرض النظرية على أنها منظومة من الفروض الفيزيائية، أو منظومة من التعريفات، على النحو الذي يمكن أن تعرض به أي نظرية فيزيائية. ومنظومة التعريفات هي ترتيب يمكننا من صياغة الفروض على نحو بسيط وعملي. ومع ذلك، فقد ردد كثير من المؤلفين مرارا وتكرارا أن نظرية النسبية ليست نظرية فيزيائية بالمعنى المعتاد لهذه الكلمة، ولكنها مذهب فلسفي أو ميتافيزيائي يفسر حقائق فيزيائية جديدة دون أن يقدم الجديد من الفروض الفيزيائية. إنها تقترح وجهة نظر جديدة بشأن المكان والزمان، وتضع المشاهد العلمي نفسه في الصورة بالشبيه للكون الفيزيائي.

إن كثير من الفلاسفة يدعون أن نظرية النسبية قد غيرت النظرة العامة بشأن موضع الإنسان في الكون تغييرا جذريا. فالصورة الميكانيكية للكون كانت دعما للفلسفة المادية، التي كانت ينظر إليها بأنها لا يمكن مقاومتها، ومع بداية القرن العشرين أوقفت الفيزياء وخاصة نظرية النسبية ونظرية الكوانتم (التي

---

[1] – بول ديفس، العوالم الأخرى، ترجمة حاتم النجدي، مراجعة أدهم السمان، دار طلاس للدراسات والترجمة والنشر، دمشق، 1994، الطبعة الثانية، ص 59.

سنتطرق إليها في الفصل الثاني) الاتجاه المادي، وكان واضحا بأنه حدث تحول حاد نحو المثالية. بحيث حاول "**أدموند وير سينوت**" في كتابه سبيلا الحقيقة Two Roads of Truth أن يصلح بين العلم والدين معتمدا على نتائج العلم المعاصرة، فيقول: «بعد الثورة التي أحدثتها النسبية وميكانيكا الكوانتم والفيزياء النووية، اضطر العلم إلى تعديل بعض نتائجه السابقة. فالحقيقة الواضحة هي أن الكون نظام أكثر تعقيدا عما كان يبدو عليه في زمن **نيوتن**...فالعلم يتقبل الآن، دون دهشة أفكارا كانت تبدو منذ زمن بعيد أفكارا مستحيلة. وقد انعكس هذا التغيير على وضع متفتح الذهن تجاه الفلسفات المثالية. وعلى مدى ثلاثة قرون كان العلم المتقدم يبدو وكأنه يقوض أساس الإيمان، واضطر الدين إلى تعديل موضعه بطرق شتى حتى لا يفقد أفضل أنصاره من المفكرين وعلى أية حال، بدأت حركة المد تنعكس حيث تنتقل المثالية العدوانية من حالة الدفاع إلى حالة الهجوم »[1].

إذن فالنظرية النسبية لقيت ترحيبا في أوساط الفلاسفة المثاليين لنزعتها اللامادية الواضحة. ولتأكيدها الأساسي على مكانة الإنسان المتميزة في الكون، بيد أن هذه لم يمنع من أن يوجد بين المثاليين أنفسهم من هاجمها بعنف لأنها أفسدت التصور الكيفي النفسي للزمان. واستبدلت به زمانا كميا جافا. أضف إلى ذلك ما تأوله البعض من أن تعدد المتواليات الزمنية يشكل خطورة على الحرية الإنسانية. ويدفع على الاعتقاد بالجبرية[2].

أما الفلسفات المادية، فقد كان من الطبيعي أن تقف موقفا عدائيا من نظرية النسبية، وبخاصة بعد استبعادها لمفهوم المادة كحقيقة مطلقة. لذلك سارع عدد من المفكرين السوفيت الناطقين بلسان الحزب باتهام النسبية بأنها نظرة رجعية دوجماتية، تعود بالعقل الإنساني إلى عصور الروحانيات والتصورات الميتافيزيائية. فغالبية المفاهيم التي بنيت عليها هذه النظرية لا تمت إلى عالم المشاهدة بصلة. وإنما هي مجرد تصورات نظرية. ومرة أخرى لم يمنع هذا من محاولة البعض منهم لجعل النظرية لتتفق مع مقولات المادية العلمية فذهبوا إلى أن تأكيد

---

[1] – فيليب فرانك، مرجع سبق ذكره، ص 220.

[2] – بدوي عبد الفتاح، مرجع سبق ذكره، ص 258.

"**آينشتاين**" بأن سرعة الضوء ثابتة، إنما هو عودة إلى المطلق من الأبواب الخلفية[1].

إن "**آينشتاين**" يرى أن المفاهيم والقوانين الأساسية هي تخمينات تخيلية وأفكار ميتافيزيائية تعمل جميعها على تدعيم المصادرات الميتافيزيائية، ويطلق عليها آينشتاين اسم المفاهيم التخيلية الخالصة Fiction pure، وقال بأن هذه المفاهيم التخيلية الخالصة لم يكن معترفا بها في القرنين الثامن عشر والتاسع عشر، ولكن ثم بعد ذلك يرى "**آينشتاين**" الاعتراف بقيمتها، وذلك « ألف الفجوة المنطقية بين المفاهيم والقوانين الأساسية من ناحية، والنتائج التي يجب أن تربط بينهما وبين تجاربنا من الناحية الأخرى، أخذت في الاتساع يوما بعد يوم»[2].

فهذه المفاهيم والقوانين الأساسية هي من خلق العقل الإنساني، وإنها ليست مشتقة من الخبرة الحسية عن طريق الاستقراء...إن توحيد العلم الطبيعي بنظرياته في إطار واحد يبدأ بأقل عدد ممكن من القوانين الإنسانية، واستنباط القواعد المنطقية منها لتفسير أكبر عدد من الحقائق. وقد تجلى هذا الأمر بصورة واضحة في صياغة نظرية المجال الموحد، حيث وحدت قوانين النظرية الكوانتية والنظرية النسبية معا. وقد استخدم "**آينشتاين**" في سبيل تدقيق هذا الغرض رياضيات عليا[3].

فالمفاهيم الأساسية للفيزياء، والتي تتمتع بصفة مقولات بالنسبة للعلم لا تشتق إطلاقا من التجربة. إنها إبداعات حرة للذهن. كان يمكن لـ"**كانط**" أن يقول أنها ليست بعدية بل قبلية وبدلا من الاستنتاج، من هذا الوضع للأمور، أن الأفكار الأساسية للفيزياء قابلة للمراجعة، لأنها خاضعة لحكم التجربة، يستخلص "**آينشتاين**" النتيجة المتناقضة: إلى جانب مفاهيم أو فرضيات مفيدة، تستمد شرعيتها من التجربة، يكون الذهن قادرا أيضا على تصور مفاهيم وفرضيات لا تستلهم من التجربة بل تكون صحيحة كما هي الفكرة المطابقة لدى "**سبينوزا**" بدون علاقة مع الشيء. لكي يقبل المكان والزمان أو الكتلة تصورا كليا، يجب أن يكون ذهن

---

[1] – بدوي عبد الفتاح، مرجع سبق ذكره، ص 258.

[2] – حسين علي، الميتافيزيقا والعلم، دار قباء للطباعة والتوزيع، القاهرة، 2006، ص 96.

[3] – المرجع السابق نفسه، ص 100.

الإنسان على صلة ألفة مع الطبيعة، كما كانت ترى ذلك الفلسفة الطبيعية للرومانسية أو أن إبداعاته على كونها حرة بشكل جذري، تحظى بشكل ما بضمانة شبيهة بالضمان الإلهي لدى "**ديكارت**"[1].

كما نجد أن "**بتريم سوروكين**"، عالم الاجتماع بجامعة هارفارد يرى بأن الثقافة بعد ظهور العلوم الحديثة أصبحت ثقافة حسية،و يعني بها أن الاهتمام الأساسي كان مركزا على ظواهر الحسية. وهو يقارنها دون تفضيل بالثقافة التصويرية التي كانت سائدة في القرون الوسطى عندما كانت القيم الروحية والمثالية هي الهدف الرئيسي للكفاح البشري . ويرى "**سوروكين**" أن مفهوم الزمان يمثل إحدى الصفات المميزة للحضارة السائدة . فهناك "زمن حسي" في "الثقافة الحسية" يمكن أن يتطور في قياسات كمية، بينما نجد أن "الزمن القصوري" نوعية مميزة مرتبطة بنشوء الكون وتطوره. وبين "**سوروكين**" كذلك أن بعض علامات رد الفعل ضد التأكيد المطلق على "الزمن الحسي" قد بدأت تظهر في القرن العشرين. أول هذه العلامات هي استرداد الزمن الكيفي بواسطة الفيلسوف الفرنسي "**هنري برجسون**" الذي يميز بين "الزمن الكمي" كما يتصوره الفيزيائي وبين ما يسميه "بالأمد" (الفترة التي يستغرقها حدث ما) وهو زمن كيفي وقد استخدمه "**برجسون**" في وصف تطور الكائنات. والعلامة الأخرى التي ذكرها "**سوروكين**" « ...الوجود المتصل المكاني الزماني الذي قال به "**منكوفسكي**" و"**آينشتاين**" الذي يعتبر...ثورة ضد نقيضه الزمن الحسي...ومعنى هذا أن علامات الثورة ضد الزمن الحسي كانت موجودة. وتتوافق هذه الثورة مع ثورات أخرى ضد عقلية الثقافة الحسية في أواخر القرن التاسع عشر وفي القرن العشرين في كل أقسام الثقافة» [2]. فمفاهيم الثقافة الحسية لا تختلف عن مفاهيم المستخدمة في علوم القرن العشرين، مما أدى حدوث سد الفجوة بين العلم والدين، واعتبار النظرية الفيزيائية الجديدة سند للمعتقدات الأخلاقية والدينية.

---

[1] – برتران سان ــ سرنان، العقل في القرن العشرين، ترجمة فاطمة الجيوشي، منشورات وزاراه الثقافة السورية دمشق، 2000، ص 96.

[2] – فيليب فرانك، مرجع سبق ذكره، ص.ص 220– 229.

ويتساءل المرء كيف يتسنى لنظرية جديدة أن تكون سلاحا في المعرفة ضد أو مع الدين أو الفلسفة. وكيف تفسر على أنها تؤيد أو تدحض المادية أو المثالية. فإن ذلك يضع الفيزيائيين حقا في مأزق، فهناك فيزيائيون على استعداد لأن يتقبلوا أكثر الحجج إيهاما طالما أنها لا تتظاهر بأنها حجج علمية، ولكنها تدعي بأنها فلسفية تتفق مع الفلسفة التي استقاها الفيزيائي في طفولته. ولكن هذا الفيزيائي عندما يتحدث كفيزيائي فإنه يقول عادة إن هذه المضامين الفلسفية بشأن المثالية أو المادية هي مجرد هراء لا يصح للعالم الأمين أن يوليها اهتماما. ولسوء الحظ أن لهذا الهراء تأثيرا قويا على السلوك البشري، فالفيزيائي الذي يعجز عن أن يقدم إلى طلبته تفسيرا محددا عن الأصداء الفلسفية للنسبية لا يكون قد أدى واجبه كمدرس للفيزياء. ويميل الفيزيائي إلى تطبيق كلمة هراء على محاولة ولاستنباط آراء فلسفية عن الكون من النظريات الفيزيائية، لأنه يشعر بأن هذه النتائج ليست بالمعنى الدقيق نتائج منطقية للنصوص العلمية التي تتألق منها هذه النظريات، مثل نظرية النسبية. ومع ذلك يمكننا أن نفهم معنى هذه المضامين الفلسفية فهما جيدا إذا لم نعتبرها نتائج منطقية أو تعميمات استقرائية للنسبية الفيزيائية، ولكننا نعتبرها تفسيرات ميتافيزيائية لنظرية "**آينشتاين**"[1].

فالمضامين الفلسفية للنسبية يمكن أن تستخرج بطرق شتى كثيرا ما تتناقض حتى مع بعضها البعض وهذا أمر مفهوم إذا علمنا أن لنظرية لا تحدد هذه التفسيرات تفسيرا فريدا، فهذه التفسيرات هي تماثلات لنظرية النسبية مستخلصة من دنيا تجاربنا اليومية. وقد قال "**برتراند راسل**": « وكما هو المعتاد في حالة كل نظرية علمية جديدة كان هناك اتجاه من كل فيلسوف نحو تفسير أعمال "**آينشتاين**" على نحو يتفق ونظامه الميتافيزيائي، ولأن يقترح أن المحصلة هي نصر للآراء التي يعتنقها هذا الفيلسوف»[2].

فهناك من يعتبر نظرية النسبية بأنها مجرد وصف للمشاهدات دون تغلغل في القوانين الحقيقة للطبيعة، كما أن هناك كذلك يدعي بأنها ليست نظرية فيزيائية

---

[1] – المرجع السابق نفسه، ص 222.

[2] – فيليب فرانك، مرجع سبق ذكره، ص 223.

ولكنها نظرية ميتافيزيائية تنبئنا بقوانين الكون الأكثر توغلا. فيما نجد آخرون يعتبرونها بأنها النصر النهائي لمذهب المثالية على المادية، ويلعب هذا التفسير الميتافيزيائي دورا كبيرا جدا في نطاق المحاولات التي جرت لنشر نظرية النسبية بين الجماهير، لتفسير معناها للرجل العادي. وقد كتب "**لنكولن بارنيت**" يقول: « لقد اضطر الفيزيائيون إلى التخلي عن دنيا التي اعتدناها وهي دنيا الإدراك الحسي...بل إن المكان والزمان هما شكلان للحدس لا يمكن فصلهما عن الوعي أكثر مما نفصل مفهوم اللون، والشكل والجسم. فالمكان ليس حقيقة موضوعية سوى أنه ترتيب أو تنظيم للأشياء التي نشهدها فيه، كما أن الزمن ليس له وجود مستقل سوى ترتيب الأحداث التي نقيسه بها»[1].

إن "**آينشتاين**" أمن مثله مثل "**ماخ**" بأنه ليس هناك عالم حقيقي يستطيع الفرد أن يعود إليه، بمعنى أن المفهوم الكلي للعالم الواقعي قد برر بأنه يشير إلى العلاقات العقلية التي تنسج العدد الوافر من الانطباعات الحسية في شبكة مترابطة إلى حد ما. أي أن يبين وجود العالم الحقيق (الواقعي) وانطباعات الحواس اتصالا ذهبيا[2].

وهذا الأمر صحيح على وجه التأكيد ولكنه صحيح لكل النظريات الفيزيائية. إذا أنها تربط بين رموز والانطباعات الحسية في شكل تعريفات، ويمكننا أن نستنبط تفسيرات ميتافيزيائية من هذه التعريفات فيمكن أن تؤكد أن كل النصوص الخاصة بالطول أو الأمد لم تعد بعد نصوصا بشأن زمان أو مكان موضوعين ولكنها نصوص بشأن انطباعاتنا ويبدو أن ذلك يقلل من دور المادة ويزيد في دور العقل وهذا يعني دحضا للمذهب المادي في العلم. فالتفسير المادي لنظرية النسبية فيما يخص مبدأ بقاء المادة لم يعد ساريا فالمادة يمكن أن تتحول إلى شيء غير مادي وهو الطاقة وهذا النص دعم للعقيدة الدينية.

يرى الفيلسوف البريطاني "**هربرت ولدوب كار**" أن النظرية النسبية قد أمنت للعقل موضعه في الكون المادي الموضوعي فلا يمكن صياغة القوانين الفيزيائية

---

[1] – المرجع السابق نفسه، ص 223.

[2] – ألبرت آينشتاين، أفكار وآراء، ترجمة رمسيس شحاتة، الهيئة المصرية العامة للكتاب القاهرة، 1986، ص76.

دون تدخل واضح لعقل العالم المشاهد. بحيث يقول "**كار**":« والآن عندما نتناول الحقيقة على نحو محسوس كما تتطلب منا النظرية النسبية العامة، فإننا لا يمكننا أن نفصل المشاهد عما يشاهده، أو العقل عن موضوعه، ثم نتنازع في أيهما له الأولوية على الآخر» [1].

أما المؤلفين السوفيت يتفقون على أن نظرية النسبية تتناقض مع المادية باعتبارها نظرية رجعية من شأنها أن تؤدي إلى سلوك سياسي غير مرغوب فيه، انطلاقا من نقطتين لهدف لهجومهم: التخلي عن الأثير كوسيط مادي ينتشر فيه الضوء والتخلي عن الفرض بأن الأرض تتحرك حقيقة وأن النظام البطليموسي نظام خاطئ حقيقة. وكل هذين الرأيين موصوم بأنه مضاد للمادية لأنهما ينطويان على أن الفيزياء ليست مذهبا بشأن الحركات الموضوعية للأجسام المادية ولكنها مذهب يرتب مشاهداتنا الحسية[2].

ويرى الفيزيائي الفيلسوف الروسي "**أركادي كليمنتوفتش تيمرياسيف**" أن الاستنتاجات المثالية ليست تفسيرات ميتافيزيائية اختيارية لنظرية "**آينشتاين**" ولكن "**آينشتاين**" نفسه بنى هذه النظرية عمدا على نحو يجعل من استخلاص هذه الاستنتاجات أمر ممكنا لكي تدعم التقاليد العبرية المسيحية التي نشأت خلال محاربة مذهب المادة. وكذلك يرى أيضا "**تميرياسيف**" أنه لا يمكن تطهير نظرية آينشتاين من هذا التفسير دون تدمير النظرية نفسها. وقد كتب يقول: «إذا حاول المرء أن يحارب هذا التفسير الرجعي لنظرية النسبية فلا بد له أن يحول النظرية تحويلا جذريا. أما إذا كان سيبقى من هذه النظرية شيء يذكر بعد إعادة بنائها فهذا أمر يحتمل الجدل»[3].

فمن اليسير أن نتبين بأن نظرية "**آينشتاين**" مثالية وأنها دحض للمادية ليس تأكيدا على التشابه بين "**آينشتاين**" و"**أرنست ماسن**" (فيزيائي وفيلسوف نمساوي). وعلى أية حال، هناك نقطة واضحة: كل من "**آينشتاين**" و"**ماسن**" يرفض الدوران بالنسبة للفضاء المطلق كسبب للقوة الطاردة المركزية لأن الفضاء المطلق والأثير

---

[1] – فيليب فرانك، مرجع سبق ذكره، ص 224.

[2] – المرجع السابق نفسه، ص 224.

[3] – فيليب فرانك، مرجع سبق ذكره، ص 227.

ليسا جسمين ماديين منظورين. وهذا الاتجاه بأنه اتجاه مادي، ولهذا السبب كان لها العداء لأسباب سياسية ويتمثل فيما يدعو إليه الحزب الحاكم النازي بألمانيا.

أما بالنسبة إلى الفيزيائيين السوفيت انتقدوا "**آينشتاين**" لأنه قد استبعدوا العناصر المثالية والميتافيزيائية من فيزياء نيوتن وركز على النقاط المادية في نظرية نيوتن. وقد كتب الفيزيائي الروسي الشهير "**سيرجى إيفانوفتش فافيلوف**" يقول: « وفي الواقع أن المذهب الميتافيزيائي **لنيوتن** عن المكان والزمان قد ظل محجوبا إلى يومنا هذا لـ– 1983– ويتمثل قدر "**آينشتاين**" في نقده للآراء الميافيزيائية القديمة بشأن المكان والزمان»[1].

2.IV– نظرية النسبية في مواجهة المذهب المادي

لقد تعرفنا مما سبق أن نظرية النسبية سلاحا لدحض المذهب المادي، وإلى استخدمها كأداة فعالة لإرشاد الناس. ولهذا اتخذت جملة من الأسباب ضد المذهب المادي، وتتحقق إلى أي درجة هي استنتاجات مستخلصة من الجانب العلمي لهذه النظرية وهذه الأسباب هي كالآتي:

1– الكون الحقيقي ليس أوقليديا ثلاثي الأبعاد، ولكنه رباعي الأبعاد وغير أوقليدي. فقبل 1900 كان افتراض العلم المادي بأن ليس هناك شيء حقيقي في الكون سوى المادة بمعناها المعتاد، الذي يقضي بأن المادة هي شيء غير مهذب ثلاثي الأبعاد. ويمكن معاملة المادة بالقواعد التقليدية للهندسة الأوقليدية، وهي شيء يختلف تماما عما يمكن أن نسميه شيئا "روحيا" مثل العقل. فالنظرية النسبية أوضحت أن المادة غير المهذبة هي مظهر فقط، في حين أن الحقيقة التي تكمن وراءها هي شيء أكثر تهذيبا، فهي وجود متصل مكاني زماني رباعي الأبعاد، وله انحناء[2]. ولذلك فإننا عندما نقول إن الكون ثلاثي الأبعاد، فإننا نقصد أنه في الزمن الحاضر، أما إذا قلنا إن الكون رباعي الأبعاد، فإن الزمن هنا ينطوي على معنى شديد التعقيد. فاستخدام الفضاء رباعي الأبعاد ساعد على إيجاد نظريات فيزيائية

[1] – المرجع السابق نفسه، ص 227

[2]– فيليب فرانك، مرجع سبق ذكره، ص 228.

لأنها تتفق مع تجارب القرن العشرين ومشاهداته. ولم يكن من السهل إيجاد نظرية "**آينشتاين**" بدون مساعدة نظام الرموز الرباعي الأبعاد.

إن فكرة الفضاء رباعي الأبعاد جاءت مع "**منكوفسكي**" الذي يقول:« ومن ثم، فإن المكان بذاته، والزمان بذاته، محكوم عليهما بالتلاشي إلى مجرد ظلال، غير أن نوعا من الإتحاد بين الاثنين هو وحده الذي يبقى في واقع مستقل»[1].

والقول بأن التفسير الرباعي الأبعاد لنظرية النسبية يتصادم مع المذهب المادي قول مضلل، وصحيح أنه من المستحيل صياغة مبادئ عامة لنظرية النسبية بمدلول لغتنا الفطرية السليمة لأننا لا نستطيع أن نقول بهذه اللغة أن حدثين أ وب يقعان في آن واحد لنظام إسناد واحد . ويقول "**الفريد نورث وايتهيد**":« وينشا الوضع الجديد في فكر اليوم من أن النظرية العلمية تتجاوز سرعتها سرعة الفطرة السليمة. فإدخال نسبية التزامن كان ضربة عنيفة للغة الفطرة السليمة على مستوى المبدأ العلمي العام». كتب "**وايتهيد**" يقول:« إن ما أنجزه العلم السابق هو أنه هذب الآراء العادية للناس العاديين»[2]. أما نظرية النسبية فقد أعادت صياغة هذه الأفكار على النحو جذري. وبالتالي نسبية التزامن ضربة عنيفة لمذهب المادية الكلاسيكية التي تعتبر أن المادة عندما تكون في لحظة محددة تكون حقيقية في آن واحد. فالنظرية النسبية دحضت المادة، وذلك بتوضيحها أن المعنى الفطري السليم للمادة لا يمكن أن يكون الأساس المفاهيمي للعلم. فالنظرية النسبية لا يمكن تقديمها بلغة الفطرة السليمة. فالنظرية تفسر على أنها سند "للإيمان بالقضاء والقدر" أو "القدرية"، أكثر توضيح على ذلك: يمكن لحادث يقع في الحاضر بالنسبة لنا (مثل موت شخص) أن يكون قد وقع في الماضي بالنسبة لنظام إسناد آخر، ومن ثم فإن يكون قد سبق تقرير وقوعه. ومثل هذا البرهان يستخدم لغة التماثل[3] .

2- يمكن للمادة أن تتحول إلى شيء غير مادي، هو الطاقة الإشعاعية. فمن الواضح أننا تعودنا أن نطلق كلمة "مادي" على كل ما هو عيني يدرك بالحواس

---

[1] – ايين نيكلسون، مرجع سبق ذكره، ص 209.

[2] – فيليب فرانك، المرجع السابق نفسه، ص 229.

[3] – فيليب فرانك، مرجع سبق ذكره، ص 230.

كالأحجار والأشجار وغيرها. فكلها أشياء لها كتلة وحجم وتشغل حيزا من الفراغ. ومن ثم، فكل شيء لا يتصف بهذه الصفات، كالموجات الضوئية مثلا أو انحناء المكان الزماني، يعتبر لا ماديا. ولكن إذا سألنا أنفسنا يوما: ما نعني بكلمة "لامادي"، إنها تنفي عن موضوع ما صفة المادية. أي أنها وصف سلبي، ولكنها لاتثبت له صفة أو صفات أخرى. ومن ثم. فاللامادي خارج عن نطاق معرفتنا ولا يجوز لنا الحديث عنه.

والواقع أن المادي واللازماني يمثلان متصلا واحدا غير منفصم يبدأ طرفه الأول المادي من مستوى الإدراك الحسي. وينتهي طرفه الثاني فيما وراء الإدراك الحسي. ومن ثم، فالمشكلة ليست في طبيعة الأشياء ذاتها، سيان كانت مادية أو لامادية، وإنما المشكلة فينا نحن، أي في جهازنا الإدراكي الحسي والعصبي، الذي يتوقف عمله عند حدود معينة لا يمكنه تجاوزها. مثلا في حالة الماء عندما يصل إلى درجة الغليان فيتبخر ويختفي عن أنظارنا، فهل هذا يعني أن الماء تحول من حالة المادة إلى حالة اللامادة، فتشبيهاتنا الحسية هي التي صورت لنا المفاهيم التي تطرحها علينا نظرية النسبية على أنها تمثل حقائق لامادية. وما هي بكذلك. وقد كان "**آينشتاين**" على وعي تام بهذه المسألة وفيه إليها مؤكدا أن كل مستوى من مستويات معرفتنا بالطبيعة له لغته ومفاهيمه الخاصة[1] .

3- يمكن لأشياء غير مادية مثل انحناء الفضاء أن تنشأ عنها حركة لأجسام مادية ثقيلة. وهي صفة غير مادية، يمكن أيضا أن نعتبرها دحضا للمادية إذا كنا نعني بهذه الكلمة أن كل قوانين الطبيعة يمكن أن تعبر عنها لغة الفطرة السليمة. وبالتالي فإن أي شيء جلي ومحسوس، مثل الحجر أو الفيل يكون غير مادي[2].

4- النظرية النسبية لا تتعامل مع الحركة الموضوعية كالأجسام المادية، ولكنها تتعامل مع الحالات العقلية، مع الانطباع الذي تولده الأجسام المادية لدى الأفراد المشاهدين. يمكن اعتبار نظرية النسبية مذهبا بشأن الانطباعات الحسية في

---

[1] – بدوي عبد الفتاح، مرجع سبق ذكره، ص 268.

[2] – فيليب فرانك، مرجع سبق ذكره، ص 231.

الوقت الذي تتعامل فيه ميكانيكا **نيوتن** مع الحقائق الموضوعية. وقد تعودنا بالطبع منذ طفولتنا أن نصف تجاربنا بأن ندخل "أجساما مادية" بدلا من المشاهدات الحسية. فالانطباعات العقلية التي تتركها الحركة في ذهن الملاحظ. فالملاحظ ليس له أي دلالة إنسانية كما يتصوره ذلك المثاليون. كالقول بالذاتية أو العقلانية أو هيمنة الإنسان على الطبيعة. وإنما الملاحظ يعني ببساطة الموضوع أو النقطة المكانية الزمانية التي يتم منها الرصد. وحيث أن عملية الرصد أو الملاحظة هي وظيفة يقوم بها الإنسان[1].

ويقال أن نظرية النسبية قد أحالت الفيزياء إلى نصوص بشأن الظواهر العقلية، ومن ثم فقد دحضت المذهب المادي. وإذا صح ذلك عن نظرية النسبية فإنه صحيحا بالنسبة لكل النظريات الفيزيائية، وهذا المعنى تتعامل كل نظرية فيزيائية مع الانطباعات الحسية وهي أشياء عقلية، وبهذا المعنى فإن كل نظرية فيزيائية تدحض المذهب المادي. ومع ذلك فمن المهم أننا لا يمكن أن نعثر في نظرية النسبية على حجة إضافية في صف المثالية أو ضد المادية[2].

3.IV- هل نظرية النسبية نظرية عقائدية؟

اعتقد "**آينشتاين**" في كون منظم منسجم، ورفض أن تكون الحركة والظواهر في الكون عشوائية، ورأى أن على العالم تقع مهمة كشف القوانين التي تعلل أو تشرح الحركة والظواهر، وفي ذلك يقول "لا يمكني أن اعتقد أن الخالق يلعب النرد بالدنيا" فإن موقف "**آينشتاين**" من الكون وراء الظواهر المحسوسة، وقد تمثلت صوفية العلمية بقوله الذي أورده "**لنكولن بارنت**" في كتابه "العالم و"**آينشتاين**":« إن ديني ينطوي على إعجاب متواضع بتلك الروح العليا اللامتناهية والتي تكشف في

---

[1] – بدوي عبد الفتاح، مرجع سبق ذكره، ص 268.

[2] – فيليب فرانك، المرجع السابق نفسه، ص.ص 232– 233.

سرها عن بعض التفصيلات القليلة التي تستطيع عقولنا المتواضعة إدراكها، وهذا الإيمان القلبي العميق والاعتقاد بوجود قوة حكيمة عليا تستطيع إدراكها خلال ذلك الكون الغامض يلهمني فكرتي عن الإله»[1].

من هذا المنطلق يعتبر العالم الألماني "**يوهانس شتارك**" نظرية النسبية كمثال نموذجي للروح العقائدية في العلم والتي تبدأ من الاعتقاد بأن "سرعة الضوء لا تتغير بالنسبة لكل نظم الإسناد" وتحاول أن تعدل الفيزياء كلها لتنضبط مع هذه العقيدة. فـ"**شتارك**" ميز بين نوعين من النظريات العلمية، النوع الأول هو النظريات التي تقوم على الروح العقائدية. والتي وجدت في العصور الوسطى الأوروبية وأوائل العصر الحديث، وهي تعتمد بشكل أساسي على المبادئ المعقولة بذاتها، والتي يتقبلها العقل ويفهم معناها لبساطتها وبداهتها. أما النوع الثاني، فهو الذي تمثله نظريات العلم الحديث والتي تقوم على ما يسميه بالروح الذرائعية (البرجماتية). ونظريات "**جاليلي**" و"**نيوتن**" هي من هذا النوع الأخير الذي يدفع على مزيد من البحث والاكتشافات العلمية[2]. فيقول "**شتارك**":« تقدمت الروح الذرائعية تقدما مستمرا نحو اكتشافات جديدة ومعارف جديدة. وتؤدي الروح العقائدية إلى كبت جماح الأبحاث التجريبية وإلى الإهتمام بالآداب التي كانت مسرفة في العواطف بقدر ما هي مرهقة وغير مثمرة، وهي في جوهرها مثيلة للعقائدية اللاهوتية في العصور الوسطى التي كانت مضادة لإدخال العلوم الطبيعية الذرائعية»[3] .

وطبقا لما يرى "**شتارك**"، ليس هذا الترتيب ترتيبا ذرائعيا لأن كل خبراتنا المألوفة لا تتفق مع هذه العقيدة، ولا يمكن التوفيق بينهما إلا من خلال افتراضات مفرطة في الاصطناع مثل انقباض المساطر (تقلص الطول) أو تأخر الساعات (تقلص الزمن) نتيجة للحركة.

---

[1] – حسين علي، ، المرجع السابق نفسه، ص 96.

[2] – فيليب فرانك، فليب فرانك، المرجع السابق نفسه، ص 232– 234.

[3] – بدوي عبد الفتاح، مرجع سبق ذكره، ص 270.

وإذا نظرنا إلى نظرية النسبية من الوجهة العلمية نجد أنها ليست عقائدية أكثر من أي نظرية فيزيائية أخرى. ومن الواضح أن مبدأي الثبات والنسبية الذين يؤلفان العمود الفقري لنظرية النسبية لا يمكن استنباطهما من الحقيقة المكتسبة من خبرتنا، أو حتى من التجارب التي يعدها ويجريها علماء الفيزياء[1]. وإذا كان "**شتارك**" يعتبر أن مبدأ ثبات سرعة الضوء مصادرة عقائدية (دوجماتية). فإن نفس الوصف ينطبق على مبدأ القصور عند "**جاليلي**" و"**نيوتن**"، الذي لا سبيل لتقبله على ضوء خبراتنا العادية. وعلى النقيض مما ذهب إليه "**شتارك**"، فإن هذه المبادئ التي وصفها بالعقائدية هي نماذج جديدة للمبادئ الذرائعية (البرجماتية). بمعنى أنها تتصف بالبساطة والعمومية على نحو أتاح إجراء تعديلات جوهرية على النسبية فيما بعد. واعترف بها "**آينشتاين**" نفسه.

ولكن، إذا كانت الروح الذرائعية واضحة في نظرية النسبية فلم وصفها "**شتارك**" بالعقائدية، وما الأساس الذي اعتمد عليه، والواقع أن "**شتارك**" كان ضحية تشبيهات الحس المشترك (الإدراك الحسي العادي) التي تجعل الواحد منا ينتقل من لغة العلم إلى لغة الفطرة السليمة دونما وعي بالفارق المنطقي بينهما. فكما فرضت العقائد السياسية والدينية على أساس بواسطة السلطات، وتصور "**شتارك**" أن نظرية النسبية فرضت على العلماء مصادرات معينة لا تساندها شواهد تجريبية. وبشكل عام، فإن أي نظرية علمية يمكن أن تفهم بمعنيين مختلفين بحسب التركيز على هذا الجانب أو ذاك منها.

فالنظرية تعتبر عقائدية من حيث هي نسق صوري يتكون من عدد من المبادئ والمفاهيم وما بينهما من علاقات. من حيث الاتساق المنطقي بصرف عن الصدق التجريبي. وفي نفس الوقت تعتبر النظرية ذراعية من حيث هي فروض وتنبؤات تتعلق بالتجارب الفعلية وتتطلب التحقق. وبقدر ما تكون النظرية عقائدية،

[1] – المرجع السابق نفسه، ص.ص 270– 271.

أي اشد تجريدا وأبعد عن خبراتنا اليومية، كلما كانـــت أكثـــر ذرائعيـــة. أي اقـــدر علـــى توسيع رقعة التفسير مما تتصف به من مرونة وقدرة تنبؤية عالية[1].

[1] – بدوي عبد الفاتح، مرجع سبق ذكره، ص.ص 272–273.

الفصل الثاني
النظرية الكوانتية

المبحث الأول : نظرة تمهيدية لنظرية الكوانتم

المبحث الثاني : نظرية الكوانتم الحديثة

المبحث الثالث : اللغة الجديدة للكون الذري

المبحث الرابع : تفسيرات ميتافيزيائية للنظرية الكوانتم

I- نظرة تمهيدية لنظرية الكوانتم

1.I تمهيد

إن الإشارة الجديدة التي أتت بها نظرية الكوانتم جعلت الفلسفة تقترب من الفيزياء، أو قل جعلت الفيزياء تقترب من الفلسفة فقد كان للميكانيكا الكوانتية Mécanique Quantique ولمبدأ اللاتحديد (اللامحققية) لـ "**هايزنبرج**" في مجال الفيزياء دور كبير في إشعار العلماء والفلاسفة بالحاجة إلى نظرة جديدة لمذهب الجبرية فلسفيا. وهذا إن دل على شيء فيدل على أن الفلسفة تتأثر بالعلوم السائدة في عصرها.

إنه باكتشاف نظرية الكوانتم، حدثت ثورة في علم الفيزياء، تتعدى نتائجها علم الفيزياء نفسه، لأنها تؤثر في نظرتنا الفلسفية العامة للكون، ولأنها تؤثر في الفلسفة، وفلسفة أي عصر تخضع للعلم الذي يسود ذلك العصر، فأي تغيير جذري في العلم يتبعه رد فعل في الفلسفة، وهذا هو الحال فيما يتعلق باكتشاف نظرية الكوانتم، فالتغيرات في الفيزياء لها لون فلسفي متميز، والاستجواب المباشر للطبيعة عن طريق التجربة، قد كشف في الخلفية الفلسفية التي كان العلم يسلم بخطتها حتى الآن.

لقد جلبت نظرية الكوانتم (الكم) معها تغييرا عميقا في أسس الفيزياء، إذ أن مناسبتين قد جدتا فأجبرتا الفيزياء على التخلي عن واقعتيها الساذجة في تصور الذرة كجسم صغير مادي في منتهى الدقة. لكن بظهور نظرية الكوانتم، أصبح بإمكان معرفة أن الخصائص التي كانت تبدو خاصة بالجسيمات. فالملاحظة تعني دائما عملية فيزيائية وما نلاحظه إذن ليس الجسيم نفسه بل هو لا يعدو أن يكون تأثير العملية فينا أو في آلات القياس التي نستخدمها، وبالتالي فالجسيم كالإلكترون، مثلا له حساسية أخرى وهي تأثره بالقياسات التي نجريها عليه بدرجة لا يمكن إهمالها واعتبارها ضئيلة.

وهكذا تفقد الجسيمات الدقيقة عند ملاحظتنا لها كجسيمات لها ذاتيتها الخاصة وهذا ما يؤدي بنا إلى الامتناع عن معالجتها بواسطة مفاهيم الفيزياء

الكلاسيكية، ومن هنا كان ظهور نظرية الكوانتم ضرورة لا غنى عنها. لمعالجة تلك الظواهر الدقيقة أو الجسيمات اللامرئية بمفاهيم جديدة.

2.I- مفاهيم أولية لنظرية الكوانتم

العالم مؤلف من ذرات، والذرة تحوي أكثر من الجزيئات إذ تحوي أيضا طاقة. ما الطاقة؟ لم يفكر العلماء في تعريفها لكن أمكنهم فقط صياغة قوانين حركتها وتغيراتها حين تسافر في الفراغ أو حين تؤثر على حواسنا. بالشمس ذرات لكنها لا ترسل إلينا ذرات وإنما ترسل طاقة، وقد تتحرك الطاقة في وسط مادي أي تنتقل من ذرة إلى ذرة وقد تسافر الطاقة حرة طليقة ولا ترتبط بمادة.

يمكننا أن نفهم معنى الطاقة إذا عرفنا صورتها أو أمثلتها، إذ تتخذ عدة صور في الحرارة والضوء والصوت والكهرباء والطاقة الحركية والطاقة الكيمياوية والمغناطيسية والجاذبية. والذرة مصدر الطاقة، للبروتون طاقة وللإلكترون طاقة، يمكن أن ينبعث من الذرة طاقة في صورة ضوء يسافر عبر الفضاء، حتى تصادف ذرة أخرى تمتص تلك الطاقة الضوئية، والضوء بدوره نوعان: مرئي وغير مرئي، الضوء غير المرئي هو الإشعاع، ويتخذ الإشعاع عدة صور منها موجات المذياع والتلفزيون والأشعة تحت الحمراء Infrarouges والأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet والأشعة السينية Rayons X. ويرجع اختلاف صورة من صور الإشعاع عن صورة أخرى إلى حجم الموجة ويسمى "طول الموجة" Langueur d'onde والطاقة المصاحبة لها. والموجة اهتزاز Vibration، وطول الموجة هو سرعة اهتزازها في الثانية، ويسمى عدد الاهتزازات في الثانية "ترددا" Fréquences، والموجة قد تطول أو تقصر، فيكون عدد الاهتزازات عاليا حين تكون الموجة قصيرة، ويكون منخفضا حين تكون الموجة طويلة. وسرعة أي إشعاع نقيسه بعدد الموجات في الثانية مضروبا في طول الموجة، وسرعة الإشعاع هي سرعة الضوء بطبيعة الحال وأبسط مثل حسي على الإشعاع أن نأخذ بعض من

ملح الطعام (NACL كلوريد الصوديوم) ونضعه في درجة حرارة عالية فيكتسب طاقة فتبدو لنا في صورة لهب [1].

للكوانتم شوط طويل في بحث الإلكترون، الإلكترون ليس شيئا ندركه في ذاته بالبصر ولا بالآلات، وإنما نستدل على وجوده بآثاره. أقرب طريقة لرؤيته هي رؤية مجرى مركز يبعثه الإلكترون كلما شق طريقه في جزيئات الغاز، كما نرى مجرى مركز تتركه الطائرة وراءها وهي مرتفعة حين لا نرى الطائرة ذاتها. هذا ما نشاهده من الإلكترون خارج الذرة، أما الإلكترون داخل الذرة فلا يقبل الملاحظة. يدور الإلكترون حول النواة في مدارات محددة ويرتبط كل مدار بكمية محدودة من الطاقة، لكن الإلكترون لا يثبت على مدار محدد دائما، وإنما قد يتسع مداره أو يضيق. حيث تخضع الذرة لطاقة من خارج مثل حرارة، أو قذفها بالإلكترون فتتحرك بسرعة، فإن الذرة تمتص هذه الطاقة فتزيد طاقتها فيتغير مدار الإلكترون داخل الذرة إلى مدار أوسع، وهذا ما يسمى "إثارة الإلكترون". وقد يطلق الإلكترون الشحنة الزائدة من الطاقة التي كسبها فتنبعث إلى خارج الذرة ويسمى "كم الإشعاع" Radiation Quantique.

لكن كيف نستدل على وجود الإلكترون داخل الذرة؟ حين يدور الإلكترون حول النواة في مدار محدد حيث لا يثيره شيء لا يمكن الاستدلال على وجوده لأنه لا يصدر عنه شيء مما نراه. نستدل على وجوده حين يثار فقط، أي حين تمتص الذرة طاقة من خارج فيقفز الإلكترون إلى مدار أوسع، وبعد وقت قصير حين يبعد مصدر الطاقة الخارجية يقفز الإلكترون إلى مدار أصغر وحينئذ تفقد الذرة بعض طاقتها. وحين تكتسب طاقة أو تفقد طاقة أخرى يبدو ذلك في صورة انطلاق موجة ضوئية أو إشعاع، ويمكننا قياس تلك الطاقة المنطلقة أو الممتصة بمقياس الطيف " المطياف " Spectromètre[2].

---

[1] – محمود فهمي زيدان، من نظريات العالم المعاصر إلى المواقف الفلسفية، دار النهضة العربية، بيروت ، 1982، ص 19.

[2] – المرجع السابق نفسه، ص.ص 20 – 21.

I.3- نظرية بلانك للكوانتم

بحلول القرن العشرين اهتمت الفيزياء الحديثة بالظواهر التي تقع على مستوى الذرات متحدية كافة الصعاب التي أحذقت الفيزياء الكلاسيكية، بحيث أعطت تغيير كلي في التفكير خلال ثلاثين سنة[1]، ومن أهم العلامات لهذه الفيزياء أن البحث الذي نشره "**ماكس بلانك**" في برلين سنة 1899 كانت نهايته تصحيح الفيزياء الكلاسيكية حتى تتناسب مع الحقائق التي نشاهدها في الإشعاع، توصل "**بلانك**" باكتشافه لفرضيته من خلال دراسته لتوزيع تغير الطاقة في طيف إشعاع الجسم الأسود، فشعر بأنه من المستحيل قياسه حتى إن كان كبيرا باستخدام مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية [2]، فبين هذا البحث السبب في عدم تحول كل طاقة الأجسام إلى إشعاع، فبحثه يبرز ضرورة التخلي عن فكرة الاستمرار في تمثيل الظواهر على أنها تغيرات تحدث في المكان والزمان، واقترح أخيرا أن التغيرات في الكون لا تتكون من حركات مستمرة في المكان والزمان، بل هي على نحو ما غير مستمرة.

يؤكد "**ماكس بلانك**" بفرضه الكوانتم بأن الإشعاع ذري في تركيبه مثل المادة مع اختلاف جوهري واحد، فهناك اثنتان وتسعون نوعا مختلفا من ذرات المادة ولكن أنواع الإشعاع المختلفة عددها لانهائي [3]. فالإشعاع ذا طبيعة موجية بالأحرى عند قوة معينة، ووجد أنه يتمتع بخصائص أحتفظ بها مسبقا في ظواهر الميكانيكا الحرارية. ويمكن التغلب على هذا التناقض بتصور أن الطاقة الكهرومغناطيسية تنقل بواسطة "جسيمات" أي أن الطاقة تتناسب مع تردد الإشعاع وأصبح بمثابة دور نظري للثابت الذي صاغه "**بلانك**" ط= ثا x تر [4]، (حيث ط: طاقة، ثا: ثابت "**بلانك**" ويساوي 6،622 x 10^{-34} جول/ثا، تر: تردد الإشعاع)، إذن إن الإشعاع كما يرى "**بلانك**" بأنه ينبعث في وحدات منفصلة غير متصلة،

---

1 – Arthur March, La physique moderne et ses théories , Gallimard , P. 137.

2 – Ibild, P,.138.

3 – جيمس جينز، الفيزياء والفلسفة، ترجمة جعفر رجب دار المعارف ،القاهرة 1981، ص.ص 173–175.

4 –جيلس كوهن–تانودجي، الثوابت الفيزيائية ودورها الكوني، ترجمة عبد اللطيف يوسف الصديقي، دار علاء الدين، دمشق 2006، الطبعة الأولى، ص.ص 21–22.

وتسمى كل وحدة من هذه الوحدات "كماً" Quanta، وإن هذا 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. مثلا أننا حين نسخن جسما لدرجة حرارة عالية فإنه يتوهج ويبعث إشعاعا أحمر، وإذا زدنا درجة حرارته تحول لون اللهب إلى لون برتقالي ثم أصفر ثم إدا زدنا درجة الحرارة تحول إلى لون أبيض، فالثابت هو كم الطاقة الصادرة عن الذرة في الثانية الواحدة، فلم يستطع "**بلانك**" تفسير هذا المقدار، لم لا يزيد عن ذلك أو ينقص، ويقول إنها واقعة رياضية لا تفسير لها. ليست هذه الوحدة من الطاقة ثابتة في كل أنواع الإشعاع وإنما تعتمد على طول موجة الإشعاع وترددها. فدرجة ذبذبة الضوء الأزرق والبنفسجي عالية لأنه يتألف من كم طاقته كبيرة، بينما درجة ذبذبة الضوء الأحمر منخفضة إذ يتألف من كم من طاقة صغيرة[1].

نظرية "**بلانك**" للكوانتم لا تنقض نظرية "**ماكسويل**" كليا، بل تحد من قيمتها، ذلك أن الطاقة تدخل المادة في شكل حزم أو كم، أما خارج المادة، حيث تأخذ شكل إشعاع، فهي تخضع لقوانين ماكسويل الكهرومغناطيسية[2].

I.4- طبيعة الضوء

لقد كان الرأي السائد إلى حدود نهاية القرن التاسع عشر أن تجليات الطاقة في مختلف الميادين تتم بشكل متصل. فالطاقة الكهربائية تسري في الأسلاك بشكل متصل، مثلها مثل أنواع الطاقة الأخرى. وهذا يعني أنه من الممكن تخفيض شدة التيار الكهربائي إلى أقصى حد، دون أن يحدث أي انقطاع، ومثل ذلك الطاقة الحرارية، فلقد كان الاعتقاد السائد أن درجة حرارة جسم ما يمكن رفعها أو خفضها بكيفية متصلة، أي بكميات يمكن الزيادة فيها أو النقصان بينها، دون التقيد بكمية

[1] – محمود فهمي زيدان، مرجع سبق ذكره، ص.ص 21 – 22.

[2] – عبد السلام بنعبد العالي، سالم يفوت، درس الإستمولوجيا، دار طوبقال للنشر، المغرب 2001، الطبعة الثانية، ص 141.

محددة لا تقبل التجزئة [1]، فهذه نظرة **نيوتن** للضوء، والتي عرفت بنظرية الجسيمات la théorie corpusculaire، إلا أنها أدت إلى طريق مسدود. ذلك أن الانعكاس قد يحول مسار الضوء، إذا سقط على سطح مرآة مثلا. أو قد يقطع الانكسار طريقه، إذا دخل في ماء أو في أي وسط سائل... فنظرية **نيوتن** الجسيمية قد أخفقت بواقعة مؤداها أنه حين يسقط شعاع الضوء على سطح، فسوف ينكسر جزء من إشعاع، وينعكس الجزء الآخر، والجزء المنعكس هو الذي يسبب انعكاس الأجسام وانعكاس ضوء القمر على سطح البحيرة. ونظرية **نيوتن** الجسيمية لا تستطيع أن تفسر هذا. فلو كان الضوء مكونا من جسيمات لكان أثر قوى الماء واحد عليها جميعا فإذا انكسر جسيم واحد وجب أن ينكسر جميع الجسيمات... ولكن النظرية واجهت صعوبة أخطر من هذه، ومن أن الضوء إذا درس دراسة مفصلة ودقيقة، تبين أنه لا يسير في خطوط مستقيمة كل الاستقامة بحيث يمكن فعلا القول أنه جسيمات تتحرك. فالأجسام الضخمة تحجب الضوء وتلقي ظلا، لأن الضوء ينحني حوله، فلا نرى ظلا بل مناطق متعاقبة ومتوازية نسبيا تعرف بمناطق التداخل[2].

فكرة **نيوتن** ليست بجدية، مما أدى بالفيزيائي الهولندي "**كريستيان هيوجينز**"، أنه لم يتفق معه في هذا الرأي بل أنه أعلن أن الضوء عبارة عن موجات [3]، انطلاقا من المثال الآتي: نلق بحجر صغير على سطح مائي هادئ، إننا سنلاحظ، ولا شك، حدوث أمواج تندفع متتابعة انطلاقا من النقطة التي يسقط فيها الحجر. إن هاهنا حركة، فما الذي يتحرك؟ إن قطرات الماء تبقى في مكانها وتكتفي بذبذبة عمودية، ويمكننا أن نشاهد ذلك أيضا إذا وضعنا قطعة من الفلين على الماء. ففي هذه الحالة نلاحظ انطلاق الأمواج في اتجاه معين، في حين تظل قطعة الفلين في مكانها تتحرك صعودا وهبوطا. إذن، فالحركة الظاهرة، هي حركة الموجات

---

[1] – محمد عابد الجابري، مدخل إلى فلسفة العلوم، ، مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت 1994، الطبعة الثالثة ص 365.

[2] – يمنى طريف الخولي، فلسفة العلم بين الحتمية واللاحتمية، دار قباء للطباعة والنشر والتوزيع، القاهرة 2001، ص.ص336 – 377.

[3] – برايان جرين، الكون الأنيق، ترجمة فتح الله الشيخ، مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت 2005، الطبعة الأولى، ص 118.

لاحركة الماء. والمسافة بين قمة موجة وقمة موجة موالية لها هي ما يعبر عنها بطول الموجة، أما عدد ذبذبات الموجة (صعود وهبوط قطعة الفلين) يسمى التردد(التواتر).

فأوضح "**هيوجينز**" أن هذه الذبذبات راجعة إلى حركة الموجات، وإذا فسرنا الضوء على هذا الأساس أمكننا القول أن سرعته هي سرعة التذبذب، أي التردد. القانون الذي يحدد العلاقة بين طول الموجة وترددها هو التالي: طول موجة الضوء متناسب عكسيا مع ترددها (تواترها). وهذا يعني إذا زاد طول الموجة قل ترددها والعكس بالعكس[1]. فالضوء ينحني حول الحاجز الصغير الذي لا يفيد في الوقاية، مما يوحي بأنه مكون من موجات، فالموجات تمر من كلا جانبيه، ثم تلتقي خلفه، هكذا استبدل الجسيمات بالموجات. فقدر لهذه النظرية الموجية أن تنتصر وهي تشبه الضوء بموجة تنتشر على صفحة الماء، بحيث يكون المصدر الضوئي مركز الذبذبة (الاهتزاز) الذي تتولد عنده الأمواج فتنتشر بعد ذلك من حوله في كل اتجاه[2].

على الرغم من أن نظرية "**هويجينز**" تقدم تفسيرا معقولا لكثير من الظواهر الضوئية، إلا أنها لقيت معارضة شديدة من طرف **نيوتن**، لأنها لا تتفق مع نظرية الميكانيكية العامة التي ترجع جميع أنواع الحركة إلى الفعل ورد الفعل، فلقد تبنى **نيوتن** النظرية الجسيمية، كما رأينا سابقا لأن "**هويجينز**" معاصر **لنيوتن**.

في الأخير احتدم الجدل، مع الطبيب الإنجليزي "**توماس يونج**" الذي بين أن **نيوتن** كان على خطأ [3]، بحيث قام بتجارب أثبتت فيها ظاهرة التداخل Interférence، والمقصود بها ما يحدث من تعاقب بين الضوء والظلمة على الستار عندما نركز عليه حزمتان ضوئيتان في شروط معينة[4]، ولتوضيح أكثر أنه

---

[1] – محمد عابد الجابري، مرجع سبق ذكره، ص 328.

[2] – يمنى طريف الحولي، مرجع سبق ذكره، ص 337.

[3] – بريان جرين، مرجع سبق ذكره، ص 118.

[4] – محمد عابد الجابري، مرجع سبق ذكره، ص 330.

عندما تلتقي موجتان متوازيتان قائمتان من مصدرين مختلفين ولكن متوافقين، فإن تأثيرهما هو جمع لحركتيهما المختلفتين.

فالموجات الضوئية يمكن أن تنبع من مصدر الاهتزاز، ثم تنتقل كالأمواج كروية أو سطحية، حيث أن للموجة مقدمة واضحة في كل لحظة، ويمكن اعتبار كل نقطة من هذه المقدمة كمصدر جديد ينشر الموجات الثانوية في جميع الاتجاهات. وإذا قمنا بتركيب هذه المويجات الصادرة من جميع هذه المصادر الثانوية فإننا نحصل على المقدمة الجديدة للموجة وهكذا تنتقل مقدمة الموجة ويتغير شكلها من مكان إلى آخر. فالنظرية الموجية للضوء تقول أن الضوء يحمل رسالته من مكان لآخر سالكا سلوك الموجة[1].

لقد أبرز العالم الفرنسي "**أوجستن فرينل**" الطبع التموجي في الضوء عندما بحث في ظاهرة التداخل والحيود (الانعراج) أو ما يسمى هدب التداخل Les franges d'interférences في الضوء[2]، ولتوضيح أكثر ظاهرة التداخل نسرد هذه التجربة: عندما نمرر ضوء في فتحتين مستطيلتين ضيقتين على حجاب حاجز ولتكن المسافة بين الفتحتين س وطول الموجة ل. ولكن نرى كيف يتأثر الضوء بمروره في الفتحات نقيم ستارا خلف الحاجز وعلى مسافة م منه. إذا كانت حزمة أشعة الضوء عمودية على الحاجز، فإننا نشاهد على الستار نموذجا لأهداب مضيئة ومظلمة. ويوجد في الوسط أهداب مضيئة وتوازيه أهداب أخرى مضيئة تفصل بينها أهداب مظلمة. فإن كان طول الموجة ل صغيرا بالنسبة إلى المسافة س بين الفتحتين فإن المسافة م بين كل هدبين مضيئين تكون $\frac{م ل}{س}$ على وجه التقريب.

نستنبط نظرية الموجية من هذه الظاهرة (الحيود) على النحو التالي: تنتشر الموجات من كل عملية التداخل. وفي المواضع التي تلتقي فيها ذروات (قمم) الموجات تنتج إضاءة وحين تلتقي ذروة (قمة) الموجة بقاع الأخرى ينتج ظلام[3].

---

[1] – السيد حسين شعبان، مرجع سبق ذكره، ص 13.

[2] – محمد عابد الجابري، مرجع سبق ذكره، ص 331.

[3] – فيليب فرانك، مرجع سبق ذكره، ص 252.

ظلت نظرية الموجية للضوء مقبولة بوجه عام بعد تجربة "**فوكولت**" عام 1850، مع إدخال تعديل واحد هو أنه بعد أعمال "**جيمس كلارك ماكسويل**" و"**هانز يسن هرتز**" حلت الذبذبات الكهرومغناطيسية محل الذبذبات المرنة. وفي عام 1902 أجريت تجربة حاسمة يمكن أن تحكم بين نظريات الجسيمات ونظرية الموجية في الضوء لم يكن مبدع هذه التجربة "**فيليب لينارد**" مدركا لأهمية تجربته كما فعل سابقه. وهذا إلا في سنة 1905 بفضل "**آينشتاين**"[1]. وجد "**فيليب لينارد**" أن الطاقة التي يمتصها السطح تظل دائما أعلى من مستوى معين، وهي طاقة " جسيم ضوئي " واحد. وتقصى نظرية الموجية بأن هذه الطاقة تتناقص إلى الصفر عندما تتزايد المسافة بين الستار ومصدر الضوء. وقد بينت تجربة "**لينارد**" بطريقة جازمة أن الحد الأدنى للإشعاع الذي يمتصه الستار عندما تزيد المسافة (بين مصدر الضوء والستار) لا يتوقف على هذه المسافة وإنما يتوقف فقط على لون (تردد) الضوء.

استبعدت هذه التجربة نظرية الموجية في شكلها الكلاسيكي الذي وصفه "**فرينل**"، وأثبتت إمكانية وجود نظرية الجسيمات. ونظرية الجسيمات التي تفترضها هذه التجربة لا تحتوي على أية قوانين تجذب الجسيمات إلى المادة طبقا لها، ولكنها تفترض فقط أن هذه الجسيمات تتحرك في الفراغ في خط مستقيم[2].

لقد أثبتت فكرة "**آينشتاين**" القائلة بأن شعاع الضوء ذو الترددات يتكون من حبات من الطاقة مقدارها ثا x تر، والتي تتناسق مع تصورات نظرية الكوانتم وسميت بالفوتونات Photons[3]، وتختلف عن تصور **نيوتن** وبشكل ما، فإن الفوتونات –ولو أنها جسيمات– تتضمن كذلك صفات شبيهة بموجات الضوء. وحقيقة أن طاقة هذه الجسيمات تتحدد بواسطة صفة من صفات الموجات –التردد– هي أول إشارة إلى وجود إتحاد غريب، لكن الظاهرة الكهروضوئية تبين أن للضوء

---

[1] – فيليب فرانك، مرجع سبق ذكره، ص 240.

[2] – المرجع السابق نفسه، ص 249.

[3] – لويس دي بروجلي، الفيزياء والميكروفيزياء، ترجمة رمسيس شحاتة، مراجعة مرسي أحمد، مؤسسة سجل العرب، القاهرة 1967، ص 72.

خـــواص الجســـيمات، وتجربـــة الشـــق المـــزدوج تبـــين أن للضـــوء خـــواص تـــداخل الموجات. فالاثنان معا يبينان أن للضوء خواص مثل كـــل مـــن الموجـــات والجســـيمات. ويتطلب العالم الميكروسكوبي أن نحشد حدسنا حول وجـــود شـــيء هـــو إمـــا موجـــة أو جسيمة، أو احتمال وجود الشيئين معـــا. وهنـــا ظهـــرت للوجـــود مقولـــة "**فينمـــان**" «لا أحد يفهم ميكانيكا الكم» ويمكن أن تنطق بكلمات مثل «ثنائية جسيمية-موجة»[1].

II- نظرية الكوانتم الحديثة

1.II- بداية كوانتم حديثة

لقد أوضحت الفيزياء الحديثة، أن معظم الأنظمة الفيزيائيـــة القديمـــة ابتـــداء مـــن فيزياء **نيوتن** حتى فيزياء الكوانتم (الكـــم) القديمـــة، قـــد ارتكبـــت نفـــس الخطـــأ، خطـــأ اعتبار أن المظهر هو الحقيقة. فقد أغفلت وجـــود حقيقـــة أعمـــق تكمـــن وراء الظـــواهر، وجاءت نظرية الكوانتم الحديثة لتوضح لنا أنه علينـــا أن نغـــوص فـــي الطبقـــة العميقـــة للحقيقة قبل أن نتمكن من فهم عالم المظهـــر، إلـــى درجـــة تســـمح لنـــا بـــالتنبؤ بنتـــائج التجارب. لكن التغير الذي طرأ على مفهوم الحقيقة، كما يتجلـــى فـــي نظريـــة الكـــوانتم، ليس مجرد استمرار لأفكار الماضي، بل إنمـــا يبـــدو انقطاعـــا حقيقيـــا عنهـــا فـــي بنيـــة الفيزياء الحديثة.

بيد أن نظرية الكوانتم تبقى المجـــال الـــذي حـــدثت فيـــه أهـــم التغيـــرات التـــي طرأت على مفهوم الحقيقة الواقعيـــة وأن المفـــاهيم الجديـــدة فـــي الفيزيـــاء الذريـــة قـــد تركزت وتبلورت في ظل نظرية الكوانتم بشـــكلها النهـــائي. وتضـــيف نظريـــة الكـــوانتم الحديثة عوامل أخـــرى إلـــى الموقـــف، فهـــي تعـــرض أمامنـــا الصـــورتين الجســـيمية والموجية. فالصورة الجسيمية عندما تصور لنـــا الظـــواهر تكـــون محتوياتهـــا نفـــس مـــا في الصورة المألوفة للعالم المادي. أي مادة وإشعاع يتواجـــدان ويتحركـــان فـــي المكـــان والزمان. أما الصورة الموجية فتحتـــوي علـــى اضـــطرابات شـــبيهة بـــالأمواج. وبـــنفس

[1] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص 123.

الشكل علمتنا نظرية الكوانتم الحديثة أن نعمل دون مفهوم القياس المطلق للزمن ودون مفهوم الحوادث الموضوعية في المكان والزمان[1].

2.II- الظاهرة الكهروضوئية

لم تلقى نظرية "**بلانك**" نجاحا سريعا إلا بفضل الظاهرة الضوئية الكهربائية وتؤكد أن الضوء ذو طبيعة جسيمية[2]، فهي تقدم حلا كمياً وكيفياً مقبولا وصحيحا، وذلك عندما تسقط الأشعة فوق البنفسجية فوق سطح معدني نجد أن تيارا من الإلكترونات ينطلق من ذلك المعدن، فإذا كان الإشعاع يصور على أنه موجات، فلن نجد صعوبة في توضيح السبب في حدوثه، فالإشعاع ربما كان من يهز الإلكترونات في ذرات المعدن، فإن كان الإشعاع قويا بما فيه الكفاية تتفكك الإلكترونات من روابطها بالذرات أي ينزع الإلكترون واحد من الصفيحة المعدنية، وانتزاعه يتطلب طاقة، فلابد من مجهود، وهذا المجهود أو الطاقة المطلوبة، هو الحبة الضوئية التي أطلق عليها "**آينشتاين**" اسم: الفوتون Photon[3]، فإذا كان هذا هو التفسير الصحيح فإن إضعاف الإشعاع لابد أن يتبعه انطلاق الإلكترونات بطاقة أقل، أو عدم انطلاقها، ولكن الذي يحدث هو أن إضعاف الإشعاع رغم إنقاصه لعدد مع شدة الإشعاع الإلكترونات المنطلقة- وهذا لا يحدث إلا لأشعة تتجاوز تردد موجاتها قدرا معينا، فهناك عتبة لا يمكن من دونها أن يحدث أي ضوء. فإنه يترك طاقة لكل إلكترون بمفرده على حالها، والعدد المنطلق يتناسب مع شدة الإشعاع لدرجة أن أضعف تيار من الإشعاع ينتج عنه تسرب عدد محدود من الإلكترونات بحيث يتحرك كل إلكترون بنفس القوة التي يتحرك بها في تيار أكبر ينتج عن إشعاع أشد، كما لو كان الإشعاع وابلا من المقذوفات التي تضبط بعض الإلكترونات فتطلقها وتترك بقيتها بدون أن تمسها[4].

---

[1] – السيد حسين شعبان، مرجع سبق ذكره، ص 65.

[2] – جيمس جينز، مرجع سبق ذكره، ص 176.

[3] – محمد عابد الجابري، مرجع سبق ذكره، ص 371.

[4] – جيمس جينز، مرجع سبق ذكره، ص 177.

فالظاهرة الضوئية هي التي تتجلى في الخلايا الضوئية الكهربائية التي تستخدم في بعث حركات معينة وتلعب دورا هاما في التلفزيون وفي قياس الكثافة الضوئية... إذن يجب أن نفترض أن الطاقة الضوئية تتكاثف في "نقط معينة" من سطح الموجة، وعلى ذلك فالظاهرة الضوئية الكهربائية تقتضي وجود حبيبات للطاقة الضوئية حبيبات للضوء[1].

تأكدت الطبيعة الكوانتية للضوء أكثر مع مجيء ظواهر أخرى أهمها ظاهرتان، الأولى يطلق عليها في تاريخ العلم اسم «مفعول **كومبتون**» نسبة إلى مكتشفه سنة 1925، العالم الفيزيائي الأمريكي، ومفاده أن فتونا ما عندما يلاقي إلكترونا، فإنه إما أن يمنح الإلكترون بالصدفة قسطا من طاقته، فتصبح طاقته بعد الملاقاة أقل، كما يصبح تردده (تواتره) أقل، وإما أن يمتص طاقة جديدة من الإلكترون، يضيفها إلى طاقته الأصلية، فيزداد تردده وتزداد سرعته[2]. فتفسير الظاهرة الكهروضوئية يحتاج إلى الطاقة المشعة بأنها ليست متقطعة في الفضاء بصفة دائمة، وعلى هيئة تموجات، ولكن على شكل كوانتا Quanta، نقط ضوئية ثا x سرض التي تنتقل في الفضاء بسرعة الضوء. فالظاهرة الكهروضوئية تنتج عندما تكون الذرة نشطة (ثوران) من طرف إثارة إحدى كوانتاتها (إلكتروناتها) وتمتصها، التي تزداد طاقتها زمنيا، وبالمعنى الآخر يمكننا العودة إلى التصور الذي أهمل منذ أمد بعيد في الضوء، وهي ظاهرة الأمواج، لكن يتخذه على شكل جسيمات[3]. فهذه الظاهرة يشبهها "**كومبتون**" بسقوط جسم على كرة مطاطية، إنه أيضا تفاعل بين الذرة والضوء، الذي يخفي طبيعته الموجية ويظهر على طبيعة جسيمية[4].

أما الثانية، فيطلق عليها اسم «مفعول **رمان**» ومفاده أن الفوتون عندما يلاقي سائلا صافيا أو غازا أو بلورا، فإنه، إما يفقد جزءا من طاقته، فيمتصها السائل أو الغاز أو البلور الذي يضيفها إلى طاقة الفوتون، عندما تصطدم بفوتون آخر تعطيه جزءا من طاقتها فينخفض ترددها (تواترها)، بينما تزداد طاقة الفوتون ويزداد

---

[1] – بول موي، المنطق وفلسفة العلوم، ترجمة فؤاد حسن زكريا، دار النهضة، مصر، دت، ص.ص 331–332.

[2] – عبد السلام بنعبد العالي، سالم يفوت، مرجع سبق ذكره، ص 142.

[3] – Arthur March , La physique moderne et ses théories, P. 151-153 .

[4] – Ibild , P. 154.

ترددہ، وأحيانا لا يحصل أي تبادل في الطاقة بين الفوتون والسائل، رغم التقائهما[1].

II.3- نظرية نيلز بور عن الأطياف الذرية

لقد أدت تجارب "**رذرفورد**" الشهيرة في 1911، على انكسار أشعة ألفا المنبعثة من الأجسام المشعة في أثناء مرورها في المادة إلى إثبات أن كل كتلة الذرة تقريبا محطها النواة المركزية حيث تتحد مع شحنات موجبة من الكهرباء. وهنا يتكشف ميل جديد للكهرباء الموجبة في الارتباط مع المادة[2].

فوصف "**رذرفورد**" الذرة على أنها نموذج مصغر للمجموعة الشمسية، مجموعة من الإلكترونات تدور حول نواة متماسكة في المركز، ويجب على الإلكترون أن يستمر في حركته المدارية حول النواة كي يتجنب السقوط عليها، وهذه الصورة لا تتفق مع الميكانيكا الكلاسيكية فوفقا لها يستمر الإلكترون يشع طاقته نتيجة لحركته المدارية، وبذا يسقط حلزونيا بالتدريج نحو النواة التي ستمتصه في النهاية، ولذلك فالذرات ستكون تركيبات مؤقتة وأحجامها تتبدل وتتعدل باستمرار[3].

ظل هذا النموذج الشمسي للذرة غامض بعض الشيء إلى غاية سنة 1913 عندما اكتشف عيوبا بها، فاضطر إلى إدخال أفكار جديدة أفكار نظرية الكوانتم. فأدخل "**نيلز بور**" فكرة ذرية الطاقة على الذرة نفسها، ذرة الهيدروجين، فهي تحتوي على إلكترون وحيد منفرد يدور حول النواة، افترض بور أن الذرة لا يمكن أن تكون بأي حجم كان، بل تكون فقط بالحجم الذي يحتوي على عدد صحيح من الكمات أو الطاقة، وحتى ذلك الحين كانت طاقة الكمة ذاتها تساوي ثا من المرات تردد الإشعاع الذي تنتمي إليه الكمة، ولكن لأنه لايوجد إشعاع يقدم مقياسا للتردد، فقد قاس بور كماته على أساس التردد الذي يصف به الإلكترون مداره.

---

[1] – عبد السلام بنعبد العالي، سالم يفوت، مرجع سبق ذكره، ص 142.

[2] – لويس دي بروجلي، مرجع سبق ذكره، ص 17.

[3] – جيمس جينز، مرجع سبق ذكره، ص 197.

هذه الطريقة تجنب "**بور**" التناقض المستمر في حجم الذرة والتسرب الدائم للطاقة ولكن الذرة لم يبقى لها أي فرصة للإشعاع، على حين أن ذرات الهيدروجين يمكنها بالتأكيد أن تقذف الإشعاع وتمتصه، لهذا اقترح "**بور**" أن الإلكترون لا يظل إلى الأبد في نفس المدار من الذرة، بل إنه قد يقفز من أحد المدارات المسموح بها أي الآخر، وتلك هي قفزات الكونجر، فهذه العملية غير قابلة للتصوير، فالإلكترون عندما يغير مداره، تتغير الطاقة الداخلية للذرة، فإما أن تطلق أو تمتص طاقة، وافترض بور أنه في أي حالة فالطاقة التي تتحرر أو تمتص تكون على هيئة كمة واحدة من الإشعاع، وهو ما جعل تردد الإشعاع ثابتا، الذي يشاهد في طيف الهيدروجين. وهذا الطيف من النوع المعروف في التحليل الطيفي «بالطيف الخطي» Spectre Linéaire، ويظهر كمجموعة من الألوان البراقة على خلفية مظلمة تدل على أن الإشعاع يجزئ نفسه بين عدد من الترددات المحددة بوضوح وفيما بينها لا يوجد أي إشعاع.

إن نجاح نظرية "**بور**" جعل الذرة تبدو لا كتركيب دائم التغير، يتسرب منه الإشعاع كما يتسرب الغاز من البالون المثقوب، بل كتركيب يطلق ويمتص الإشعاع على هيئة حزم عبر لحظات محددة من الزمن، وعلى هذا فإن طاقة الذرة لا تتغير باستمرار، ولكنها تقفز فجأة عند تلك اللحظات من قيمة لأخرى ولا يسمح لهذه التغيرات في الطاقة إلا على هيئة مقادير محسوبة بالضبط،، هذه المقادير تشكل سلسلة من «مستويات الطاقة» مرئية مثل درجات السلم، وطاقة الذرة يمكنها أن تنتقل من إحداها إلى الأخرى على حين لا يمكنها أن تظل معلقة في الهواء بين درجتين، وعندما تخطو إحدى الذرات إلى مستوى طاقة أقل فإن مكوناتها تعيد ترتيب نفسها فجأة وكأنها بيت هش ينهار[1].

لقد بقيت فرضية "**بور**" مجرد فرضية صالحة كمنطق للبحث. ولم يكن من الممكن تحويلها إلى حقيقة علمية إلا بعد تأكدها بالتجربة، ولقد كان نجاح فرضية "**بور**" باقتراح "**سومرفيلد**" أن الذرة إذا كانت تشبه المنظومة الشمسية فيجب أن

[1] – جيمس جينز، مرجع سبق ذكره، ص.ص 198 –200.

تكون مدارات الإلكترون، مدارات إهليلجية لا مدارات دائرية. وبالتالي فإن نواة الذرة يجب أن توجد في أحد مركزي الإهليلج، وفقا لنظرية "**كيبلر**" الفلكية، وهكذا عدل "**سومرفيلد**" نظرية "**بور**" مستعينا بنظرية النسبية في حساب طاقة الإلكترون عند انتقاله من مدار إهليجي إلى آخر. فالإلكترون لايستطيع الانتقال من حالة قارة إلى خالة قارة أخرى إلا بواسطة طفرة[1]. إذن نظرية "**بور**" تعطي تصويرا وصفيا لا كميا لما يحدث داخل الذرة، بأن ثمة ملمحا جديدا لسلوك المادة قد عبر عنه كميا تحت الشروط الكماتية التي ترتبط بدورها بالثنائية بين الموجات والجسيمات[2].

تبعا لأعمال "**بور**" و "**سومرفيلد**" فالنظرية الكوانتية تسمح بإجراء ترتيب عقلي للأطياف Spectres، وتعطي قوانين الحزم الخيطية[3].

II.4- ميكانيكا الكوانتم

كانت ثنائية الضوء، أي معرفة أن الضوء يحوز على خواص موجية وجسيمية معا، قد دفعت "**دي بروجلي**" عام 1924 لأن يطرح سؤالا مناظرا وهو:ألا يمكن أن تحوز الجسيمات الصغرى (الدقيقة) خواصا موجية إضافية إلى خواصها الجسيمية؟

من خلال مناقشات ثنائية الجسيمية- الموجة نشير إلى فكرتين رئيسيتين في هذا المجال:

-الأولى تنطلق من أن التناقض هنا تناقض بين الصورتين الكلاسيكيتين «الجسمية والموجة»، وأن أيا منهما أن لا تساوي بالجسيم الكوانتي لأنها لا تطابقه

---

[1] – محمد عابد الجابري، مرجع سبق ذكره، ص.ص 378 – 379.

[2] – فرنر هايزنبرج، الفيزياء والفلسفة، ترجمة أحمد مستجير، المكتبة الأكاديمية، القاهرة 1993، الطبعة الأولى، ص26.

[3] – A.Grumbach, L’évolution des sciences physique et mathématique Ernst Flammarion, 1935, P. 209.

مطابقة ملائمة واقعية، كما هو الحال في الماكروفيزياء، وأن ما يبرر استعمال هاتين الصورتين هو فقدان أنظمة ومفاهيم ملائمة للجسيم الكوانتي.

– والثانية تنطلق من أن للجسيم الميكروسكوبي الواحد خواصه الجسيمية الموجية، أي هي خواص متناقضة. وما لا تعتبر الجسيمة أو الموجة موضوعية ولهذا لا يستطيع أي من الجانبين لوحده استيعاب جميع خواص الجسيم الفيزيائي. وهنا يفهم النوعان من الخواص الواقعية الموضوعية للجسيم الفيزيائي الجسيمي والموجي كوحدة من الأضداد متناقضة جدليا[1].

II.1.4– تفسير آينشتاين

لقد هزت هذه الثورة الجذرية الكيان الفيزيائي برمته، تلك الشرارة التي انطلق بها "**ماكس بلانك**" مما أثارت جرأة وحماس "**ألبرت آينشتاين**" حول تفسير "**بلانك**" للثابت وذلك عن طريق تقديم مفهوم التقطع إلى القوى، فمنذ عام 1900 إلى 1905 حاول "**آينشتاين**" في هذه الفترة أن يعالج الأشعة الكهرومغناطيسية لجسيمات مادية ذات تقسيم نهائي[2]، فاستنتاجات "**بلانك**" حول قطع الطاقة تعكس في الحقيقة، سمة أساسية للموجات الكهرومغناطيسية فهي تتكون من جسيمات – فوتونات – وهي على شكل حزم صغيرة أو«كوانتا»من الضوء. والسبب في تقطيع الطاقة المصاحبة لهذه الموجات لأنها هي في الأفضل مكونة من قطع[3]، فهذه الفكرة مهدت السبيل إلى تفسير حقائق عظيمة وكثيرة عجزت عن تفسيرها النظرية الموجية[4]، وهي أن "**آينشتاين**" تصور أن كل كمة مطلقة على أنها تنتقل في المكان على هيئة وحدة متماسكة لا تنقسم أو حزمة من الإشعاع لا تنكسر، وتسمى هذه الحزمة «سهم الضوء» برغم أننا اعتدنا أكثر على اسم الفوتون وهو اصطلاح

---

[1] – محمد عبداللطيف مطلب، الفلسفة والفيزياء، الجزء الثاني، الموسوعة الصغيرة، دار الحرية للطباعة، بغداد 1985، ص.ص 89 – 90.

[2] – جيلس كوهن – تانودجي، مرجع سبق ذكره، ص 26.

[3] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص 117.

[4] – لويس دي بروجلي، مرجع سبق ذكره، ص 72

مبهم. ووفقا لهذه الصورة يمكننا أن نتصور تيار الإشعاع على أنه رشاش من الفوتونات وعندما يسقط على سطح مادي مثل وابل السهام الذي يصيب هدفا، فإن كل فوتون سيصيب إلكترونا واحدا على السطح، وسيحدث تلفا يقتصر على نقطة الإصابة، وهذه الصورة تفسر لنا على الفور لماذا لا تتوقف الإلكترونات على الانطلاق عندما يضعف الإشعاع، ولماذا تؤدي مضاعفة شدة الإشعاع إلى مضاعفة عدد الإلكترونات أو بشكل عام. يتناسب الاثنان.

وتبين من بعض الاعتبارات البسيطة العامة، أن الإلكترون الطليق لايمكنه أن يمتص أي كمة من الإشعاع، فإذا أصاب سهم الضوء مثل هذا الإلكترون لابد أن نتصور ذلك مثل تصادم كرتي بليارد، فهذا التصادم يغير اتجاه حركة كل منهما، وفي عام 1925 تمكن "**كومبتون**" و "**سيمون**" من أن يصورا فوتوغرافيا مسارات الإلكترونات قبل وبعد مثل هذه التصادمات ووجدا أن تصور "**آينشتاين**" عن أسهم الضوء يفترض بالضرورة أنها تحمل مقادير من الطاقة وكمية الحركة (السرعة) مساوية بالضبط لما تطالبه نظرية الكوانتم[1]. فـ "**آينشتاين**" لقد تغلب بالفعل على صعوبة ازدواجية جسيمة – موجة مستنجدا بالتفسير الميكانيكي للنظرية الموجية الكهرومغناطيسية ومقترحا التقديرات الإحصائية للأشعة[2].

II.2.4- تفسير دي بروجلي

خطا الأمير الفرنسي "**لويس دي بروجلي**" خطوة هامة الذي قادته اهتماماته الفكرية إلى حدود الفيزياء، فقد فكر مستعينا بالتشبيه، إنه إذا كان الضوء الذي تبدو صفاته الموجية واضحة يتصرف بأنه جسيم –فوتون– فإن الإلكترون –جسيم– يمكنه أن يتصرف أحيانا كموجة، ولكن كيف ذلك؟

---

[1] – جيمس جينز، مرجع سبق ذكره، ص.ص 179 – 180.

[2] – جيلس كوهن– تانودجي، مرجع سبق ذكره، ص 26.

قدم "**دي بروجلـــي**" هــذه الأفكــار الحاســمة فــي بحثــين فــي ســبتمبر 1923، استنتج فيها طول موجة الإلكترون. وكان من رأيه أنــه يمكــن تأكيــد فكرتــه، كموجــة البحر عندما تصطدم بحــاجز، يعنــي انثنــاءه (انحنــاءه) وراء الحــاجز، علــى خــلاف الحزمة الجسيمية التي تلقي ظلالا حــادة. والصــوت موجــات ولــذلك نســتطيع ســماع الصوت على الجانب الآخر من زاوية البناء التي يثني حولها[1].

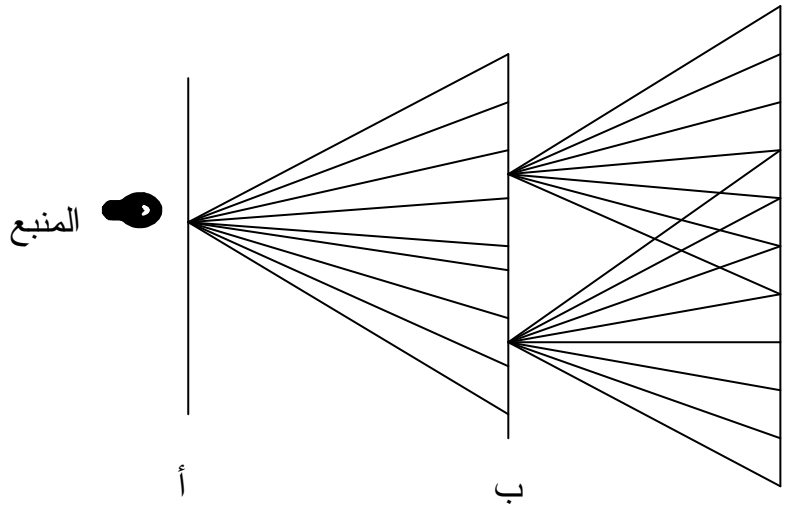
إن مضمون فكرة "**دي بروجلـــي**" أعمــق فــي الواقــع، إذ أن لحركــة الأمــواج ســماتها الخاصــة جــدا علــى كــل مــن الصــعيدين الفيزيــائي والرياضــي. فإحــدى الخصائص الهامة في حركة الأمواج هي قابليتهــا للتــداخل فيمــا بينهــا، تلــك الظــاهرة المألوفة لدينا جميعا في حياتنا العادية، والتي تلعــب دورا أساســيا فــي الوصــف الكمــي للمادة وفي النتائج المريعة –التي توصــل إليهــا الفيزيــائيين– أن حــوض المــاء يمثــل مكانا جيدا لملاحظة ظاهرة تداخل الأمواج على سطح المــاء، فلــو تــم رمــي حصــاتين في الحوض في آن واحد، وفي نقطتين متجاورتين، فإن كل حصــاة ســوف تتســبب فــي ظهور تقاطعهما. يعود سبب هذه الظاهرة إلــى أنــه عنــدما تتلاقــى المويجــات وهــي قممها فإنها تتضافر معا، في حين أن التقاء قمــة مــن الموجــة الأولــى مــع قــاع مــن الموجة الثانية يجعلها تتفانيان معا (تضمحلان) ويظل سطح المــاء عنــد نقطــة التقائهمــا ساكنا.

لقد أدرك العلماء منذ العشرينيات من القرن الماضي إنــه إذا كــان افتــراض "**دي بروجلي**" صحيحا، فإن التداخل يجب أن يظهر إذا تراكبت معا حزم مختلفة من الإلكترونات، لأن الحركة الموجية لكل حزمة سوف تتداخل مع موجات الحزم الأخرى. حينئذ فقط ظهــر المغزى الجديد لنتيجة تجربة "**ديفسون**" و "**جيرمر**" سنة 1927: قذف بلورات معدن النيكــل بحزمة من الإلكترونات تشبه الحزمة التي تستخدم لتشكيل الصورة على شاشــة التلفزيــون، ولقد لاحظ "**ديفسون**" و "**جيرمر**" في هذه التجارب أنماط غريبة لانتثار الإلكترونــات مــن سطح بلورات النيكل –هذه الظاهرة تعرف بميكانيك الكــوانتم. فقــد وجــد "**ديفســون**" أن

[1] – هينز باجلز، رموز الكون، ترجمة محمد عبد الله البيومي، الدار الدولية للنشر والتوزيع، القاهرة 1989، الطبعة الثانية، ص.ص 95–96.

الإلكترونات، عندما تتطاير من سطح بلورات النيكل، تتجمع على شكل حزم متتابعة تتداخل مع بعضها، فكانت النتيجة مذهلة هي أن الحزم المتراكبة تتضافر أو تتفانى معا على النمط التقليدي لتداخل الأمواج، فالالكترونات تتصرف كأمواج بقدر ما تتصرف كالجسيمات[1]. فعندما تقطع ومضات جسيمات المادة مجالا (مكاني) تنتج نفس ظواهر التداخل كما هو في عدسة الضوء المرئي أو أشعة X[2].

يوضح في الشكل رقم (2–1) إحدى التجارب الشهيرة عن الطبيعة الموجبة للضوء.



الشكل رقم(2 – 1)

في هذه التجربة يوجد لوح عاتم غير شفاف أ، فيه شقتان متوازيتان ومتجاوران، يسمحان للضوء الصادر عن منبع ضوئي نقطي بالمرور عبرهما ليسقط على لوح غير شفاف ب، الآن، إذا تم سد أحد الشقين مؤقتا، فإن صورة الشق الآخر تظهر على اللوح ب على شكل مستطيل ضوئي ضيق موازٍ لذلك الشق وإذا كان الشق ضيقا جدا، فإن الضوء المار خلاله يعاني تشوها يؤدي إلى تفشي

[1] – بول ديفس، العوالم الأخرى، ترجمة حاتم النجدي، دار طلاس للدراسات والترجمة والنشر دمشق 1994، الطبعة الثانية، ص.ص 79 – 74.

[2] – W. Heisenberg, Les principes physiques de la théorie des quanta, trd. de l'allemand M.MB. Champion et E. Hochard, Gauthier – Villard, Paris, 1957, P. 4.

صورته. لو أغلقنا الآن هذا الشق وفتحنا الآخر وحده، يظهر على اللوح ب صورة مشابهة لكن مزاحة قليلا بالنسبة إلى ما حصلنا عليه مع الشق الأول. هذا إذا كان أحد الشقين مفتوحا والآخر مسدودا، لكن المفاجأة تحدث عندما يكون الشقان مفتوحين معا، فقد يتوقع المرء أن الصورة الناتجة عندئذ لن تكون سوى إجماع لصورتي الشقين في صورة واحدة تحتوي على شريحتين ضوئيتين متوازيتين ومتراكبتين بعض الشيء، بسبب ما ينجم عن ذلك التفشي من اتساع رقعة كل منهما. إلا أن الواقع هو غير ذلك، فما يظهر على اللوح ب ما هو إلا سلسلة من الأهداب الضوئية المنتظمة تفصل بينها أهداب مشابهة لكن عاتمة. لقد كان أول من لاحظ هذه الصور هو "**توماس يونج**" في عام 1803، والصورة الناتجة ليست في الواقع سوى تعبير عن التداخل الموجي.

يمكن إعادة التجربة نفسها لكن باستخدام الإلكترونات بدلا من الضوء وباستخدام شاشة تلفزيونية في مكان اللوح ب. يجب أن نتذكر هنا أن الإلكترون بمفرده هو جسيم حتما، وأنه يمكن عد الإلكترونات فردا فردا. إضافة إلى ذلك، وحسب المعلومات المتوفرة، ليس الإلكترون مكونات داخلية (الإلكترون جسيم بسيط غير قابل للتجزئة)، كما ليس لحجمه حدود واضحة. تتم التجربة الآن برشق الشقين في اللوح أ بحزمة دقيقة من الإلكترونات تصدر عن منبع إلكتروني، كذلك المستخدم في أنبوب شاشة التلفزيون، حيث تندفع الإلكترونات التي تتمكن من عبور الشقين باتجاه الشاشة لتصطدم بها ولتحول طاقتها إلى وميض ضوئي عليها (وهذا هو مبدأ تشكيل الصورة التلفزيونية)، وبمراقبة الومضات الناجمة عن الإلكترونات المختلفة، يمكن إيجاد سجل للمواضع التي اصطدمت بها على الشاشة كما يمكن تحديد توزع تلك المواضع[1].

إذا أغلقنا أحد الشقين، فالإلكترونات المارة عبر الشق تسقط على الشاشة، وقليل منها يتناثر يمينا ويسارا، فتوزع الإلكترونات هنا بمثل توزع الضوء على اللوح ب، وكذلك بالنسبة إلى الشق الثاني، نفس النتيجة. لكن عندما يكون كلا

[1] – بول ديفس، العوالم الأخرى، ص.ص75 – 76 .

الشقين مفتوحين، ينتج ما هو مفاجئ وغير متوقع: عندئذ، تتوزع مواقع الإلكترونات في عصب متوالية بانتظام على صورة أهداب تداخل تشبه ما حصلنا عليه في التجربة الضوئية وهذا ما يشير إلى الطبيعة الموجية للإلكترونات. ولتسجيل مواقع الإلكترونات نضع على الشاشة لوح حساس (فيلم فوتوغرافي)، نلاحظ نقط متوزعة على اللوح مما يدل على أنها تمثل موضع الإلكترون على اللوح وتكون نقطة وحيدة مظلمة، في حين يكون باقي اللوح شفافا. وهو ذات التوزع الناتج في تجربة الضوء الأولى، وهذا دليل على التداخل الموجي. فالموجات المقترنة بالإلكترونات لا نستطيع اعتبارها موجات إلكترونية بل موجات احتمال.

فاكتشاف حيود (تداخل) الإلكترونات في البلورات على يد "**ديفسون**" و "**جيرمر**" عام 1927 هي التي أيدت أبحاث "**دي بروجلي**"، وأدت إلى إثبات أن طول الموجة لموجة مرتبطة مع إلكترون عزمه: عز أي كمية تحرك الفوتون، يحدده التعبير التالي [1] :

ل= $\frac{ثا}{عز}$، عز= كمية تحرك الفوتون $\frac{(\text{طاقة})}{\text{سرعة الضوء}}$.

وطاقة الفوتون= ثا.تر، ل: تسمى موجة "**دي بروجلي**".

ومن هذا التعبير الرياضي الذي يظهر فيه ثابت "**بلانك**"، بدا لـ "**بروجلي**" أن تدخل الكمات وثابت "**بلانك**" في نظرية الفوتون، كما في تكميت الحركات الإلكترونية، فيتضح الاتصال بين الثنائي موجة – جسيم تكمن في توسط كم الفعل. ولقد كانت هذه هي فعلا حالة العلاقات التي كانت تعبر في نظرية الفوتون عن طاقة وعزم جسيم الضوء كدالة لتردد طول موجة الموجة المضيئة [2].

فالإشعاع موجات وجسيمات، فحزمة الإشعاع الساقطة على سطح مادي يمكن تصويرها كرشاش من الفوتونات، فكل فوتون يحتل نقطة محددة من المكان

---

[1] – لويس دي بروجلي، مرجع سبق ذكره، ص.ص 80 – 81.

[2] – المرجع السابق نفسه، ص 166.

وله كتلة وطاقة، والآن نجد أن رشاش الإلكترونات يمكن تصور أن له بعض خواص الموجات، على الأقل من حيث، امتلاكه لطول موجة خاص به[1]. فالتجارب أثبتت أن الإلكترون ليس مجرد جسيم، فهو جسيم وموجة في آن واحد. وكذلك شأن البروتون، على ما بينته التجارب الأحدث عهدا، نرى إذن أن المادة، شأنها شأن الضوء، تتألف من أمواج وجسيمات. والمادة والضوء يبدوان أشد تشابها بكثير في بنيتهما مما كان يظن في الماضي. ونجد هذا السبيل أن تصورنا عن الطبيعة قد اكتسب جمالا وتبسيطا[2].

II.3.4- تفسير شرودنجر

الفيزيائي النمساوي "**أرفين شرودنجر**" يعتبر أحد الفيزيائيين الذين سمعوا بموجات "**بروجلي**" الإلكترونية، فتأمل ما تعنيه فكرة الموجة ثم استنبط معادلة يجب أن يخضع لها مشكل موجة الإلكترون، إذا كان الإلكترون جزءا من ذرة الهيدروجين واستطاع باستخدام معادلته، أن يستنتج طيف ضوء الهيدروجين وكان مطابقا لما اكتشفه "**بور**" منذ سنوات[3].

لقد دعمت التجارب التي أجراها "**ديفسون**" و "**جيرمر**" حول ظاهرة التداخل (حيود الإلكترونات) وتؤكد الطبيعة وتؤكد الطبيعة الموجية للإلكترونات بشكل ملموس، ولكن موجات ماذا؟ فأقترح "**شرودنجر**" أن الموجات عبارة عن الإلكترونات «مكشوطة» وقد قرب هذا التعبير «الإحساس» بالموجة الإلكترونية لكنه كان تقريبيا جدا. وعندما نكشط شيئا ما فإن جزءا منه يتواجد هنا وجزءا آخر يتواجد هناك. إلا أنه لا يمكن أن يتصادف وجود نصف أو ثلث إلكترون أو أي

---

[1] – جيمس جينز، مرجع سبق ذكره، ص 220.

[2] – فرنر هايز نبرج، الطبيعة في الفيزياء المعاصرة، ترجمة قسطنطين قدسي، منشورات وزارة الثقافة والإرشاد، دمشق 1975، ص 152.

[3] – هينز باجلز، مرجع سبق ذكره، ص 96.

جزء آخر منه في هذه الحالة. وهذا يجعل من الصعب أن نتخيل حقيقة ما هو الإلكترون المكشوط[1].

أصبحت مشكلة تفسير موجات "**دي بروجلي**" و "**شرودنجر**" هي لغز الميكانيكا الموجية الجديدة الأساسي. أعطى "**شرودنجر**" نفسه أول التفسيرات: فحاج في أن الإلكترون ليس جسيما، فهو موجة مادية كموجة المحيط في موجة مائية. وطبقا لذلك فإن فكرة الجسيم خاطئة أو تقريبية ليس إلا، وأن جميع الأشياء الكمية، وليس الإلكترون وحده، موجات صغيرة، وإن الطبيعة كلها ظاهرة موجية ضخمة[2].

يبين "**شرودنجر**" أن الصورية الرياضية لميكانيكا الموجية تعادل ميكانيكا الكوانتم، فحاول لفترة أن يهجر تماما فكرة الكمات و«القفزات الكماتية»، وأن يستبدل بالإلكترونات في الذرة موجات المادة ثلاثية الأبعاد. أما ما ألهمه القيام بهذه المحاولة فكانت نتائجه، إذ بدا منها أن مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين في نظريته هي ببساطة الترددات الكامنة لموجة المادة الموقوفة، وعلى هذا فقد تصور أنه من الخطأ أن نسميها بالطاقات، فهي ليست سوى ترددات[3]. ولهذا يقول "**شرودنجر**" «أن كل التصورات حول القفزات الكمية ما هي إلا تصورات خيالية محضة لا نستطيع تصورها، أي أن المصطلحات الظاهرية التي نصف بها الأحداث في الفيزياء المعاصرة لاتعتبر كافية لتمثيل الأحداث التي تتم أثناء "القفزات الكمية"»[4].

قام "**ماكس بورن**" بتنقيح تفسيرات "**شرودنجر**" سنة 1926، بالفكرة القائلة: أن الموجات لا تمثل أكثر من احتمال، فهذا لغز كبير، واليوم يقوم الفيزيائيون المختصون بإجراء الحسابات العملية التي تكشف عن البنية الداخلية للذرات

---

[1] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص.ص 125 – 126.

[2] – هينز باجلز، مرجع سبق ذكره، ص 97.

[3] – فرنر هايز نبرج، الفيزياء والفلسفة، ص 29.

[4] – السيد حسين شعبان، مرجع سبق ذكره، ص 77.

والجزيئات وحركاتها، وذلك عن طريق حل معادلة "**شرودنجر**"- العلاقة الرياضية الفعلية التي تحكم أمواج الاحتمال، فمثلا يمكن حساب مستويات الطاقة في الذرة وبالتالي ترددات(تواترات) الضوء التي تشعه أو تمتصه، كما يمكن حساب الشدة النسبية للألوان المختلفة في طيف الضوء الصادر. إن هذه الحسابات تمكن من التعرف على الكثير من الأطياف الغامضة، كتلك الواردة من الأجرام الفلكية البعيدة، وذلك بمقارنتها على أطياف العناصر الكيماوية المعروفة، فالكورتزات، وهي أجرام فلكية موجودة في عمق الفضاء الكوني، تبدو لنا بألوان منزاحة نحو الأحمر بسبب توسع الكون، بينما قد يكون ضوءها الأصلي الصادر عنها غير مرئي لنا لوقوعه في المجال فوق البنفسجي، إنما الحسابات وحدها هي التي تمكن من التنبؤ ببنية الطيف الفعلية عند الترددات المختلفة[1].

II.4.4- تفسير ماكس بورن

رفضت مجموعة "جوتنجن" Gottingen بقيادة "**ماكس بورن**" تفسير الموجات المادية. فقد كانوا يعلمون أن المرء يستطيع عدّ الجسيمات المفردة بعداد "**جيجر**" أو يرى أثارها في غرفة "**ويلسون**" السحابية. فلم تكن الطبيعة الجسيمية للإلكترون- حقيقة أنه يسلك سلوك الجسيم الحقيقي – اصطلاحا، فماذا تكون إذن هذه الموجات؟

أجاب "**ماكس بورن**" بنفسه على هذا التساؤل المربك والحاسم. وكان تفسيره هو مولد الإحتمالية ونهاية الحتمية في الفيزياء[2]. وساهم بدور جوهري في تطوير الميكانيك الكوانتي، إذ أتى بالتفسير الإحصائي لدالة "**شرودنجر**" الموجية الذي يضمن التفسير الجسيمي في الميكانيك الكوانتي من ناحية، ويؤدي من الناحية الأخرى إلى تقديم مقولات إحصائية احتمالية[3]. فتبنى "**بور**" فكرة موجة الاحتمال، وقدم تعريفا واضحا للكمية الرياضية الصورية، التي كانت لها أن تترجم كموجة

---

[1] – بول دبفس، العوالم الأخرى، ص 80.

[2] – هينز باجلز، مرجع سبق ذكره، ص 97.

[3] – محمد عبد اللطيف مطلب، مرجع سبق ذكره، ص.ص 89- 90 .

احتمال. لم تكن موجة ذات أبعاد ثلاثة مثل الموجات المرنة أو الموجات الراديوية وإنما هي موجة في تشكل الفضاء عديد الأبعاد، ومن ثم فهي رياضية مجردة[1]. وكان هذا في جوان 1926 أي بعد ستة أشهر من ظهور بحث "**شرودنجر**"، فأصاب مجتمع الفيزيائيين بانزعاج عميق. فلقد فسر "**بورن**" الدالة الموجية التي وضعها "**دي بروجلي**" و "**شرودنجر**" بأنها تحدد مقدار احتمال اكتشاف إلكترون عند نقطة ما في الحيز.

تخيل موجة تتحرك في الفضاء وأن ارتفاع الموجة أحيانا أعلى من المستوى المتوسط وفي بعض الأحيان أقل منه. ويسمى ارتفاع الموجة «سعة الموجة». وقد أوضح "**بورن**" أن مربع السعة عند أي نقطة مقدار احتمال وجود إلكترون عند هذه النقطة. فعلى سبيل المثال، إذا كانت سعة الموجة كبيرة في منطقة معينة في الفضاء فإن احتمال وجود إلكترون فيها كبيرا أيضا، وربما قد نجد الإلكترون في هذا المكان مرة من مرتين ($\frac{1}{2}$)، وبالمثل إذا أصغرت سعة الموجة قل أيضا احتمال وجود الإلكترون، مرة من عشر مرات مثلا، فالإلكترون جسيم حقيقي دائما ولكن دالة "**شرودنجر**" الموجية تحدد فقط احتمال وجوده في نقطة معينة في الفضاء. لقد أدرك **بورن** أن الموجات ليست مادية كما افترض "**شرودنجر**" خطأ، ولكنها موجات الاحتمال، أشبه بإحصاء "إكتواري" خاص بخلق الجسيمات الفردية الذي يمكن أن يتغير من نقطة إلى أخرى في الفضاء والزمن. وهذا الوصف لحركة الجسيمات الكمية إحصائي بطبيعته الأصلية، فلا يمكن تتبعها بدقة. وأقصى ما يستطيعه الفيزيائي هو تحديد الحركة المحتملة للجسيم. وقد أوضح "**بورن**" توافق تفسيره بالتحليل الدقيق بتجارب التصادم الذري[2].

كانت هذه اللاحتمية أول مثال للصفة الكمية الخارقة للطبيعة، فهي تنطوي على وجود أحداث فيزيائية لا يمكن العلم بها ولا التنبؤ بها على الإطلاق –فيجب على العلماء التجريبيين من البشر أن يكفوا عن محاولة معرفة الوقت الذي تعتزم فيه ذرة معينة الإشعاع أو الوقت الذي تضمحل فيه نواة معينة. فلاحتمية نظرية

---

[1] – فرنر هايزنبرج، الفيزياء والفلسفة، ص 28.

[2] – هينز باجلز، مرجع سبق ذكره، ص.ص 97– 98.

الكوانتم هي مسألة مبدأ يتعلق بما يمكن علمه وما لا يمكن علمه، وليست أسلوبا تجريبيا[1].

تفسيرات "**ماكس بورن**" مازالت هي السائدة حتى الآن بعد إضافات "**بور**" ورفاقه إليها. فأكد "**بور**" على أن الموجة الإلكترون لابد من تفسيرها بمفهوم «الاحتمالية» – وهذا ما سنراه لاحقا. ففي الأماكن حيث يكون مقدار الموجة كبيرا (و الأكثر دقة مربع المقدار) تكون أكثر المواقع احتمالا لوجود الإلكترون، أما في الأماكن التي فيها مقدار الموجة صغير، فهي التي يكون احتمال وجود الإلكترون فيها أقل ما يمكن. وفي الحقيقة، هذه الفكرة غريبة، فما شأن الاحتمالية في صياغة الفيزياء الأساسية؟ فقد تعودنا على الاحتمالية في سباق الخيل، وفي المراهنة على وجه العملة عند إلقائها، وعلى موائد القمار، وهذا يعكس تماما عدم معرفتنا التامة بالأمر... إن ميكانيكا الكوانتم تدخل مفهوم الاحتمالية إلى أعمق المستويات في الكون. وفقا لـ"**بورن**" وللتجارب التي دامت أكثر من نصف قرن، فإن الطبيعة الموجبة للمادة تعني أن المادة نفسها لابد من أن توصف في صورة احتمالية بشكل أساسي [2].

III- اللغة الجديدة للكون الذري

III.1- علاقة اللايقين لهايزنبرج

إن المقدمة – وهي وجهة النظر العالمية بأن الطبيعة وحياتنا نفسها مقدرة تماما من الماضي إلى المستقبل- لتعكس حاجة الإنسان إلى اليقين في عالم لا يقطع فيه شيء. لقد ساندت الفيزياء الكلاسيكية وجهة النظر العالمية المبنية على الحتمية. فطبقا لهذه الفيزياء تحدد قوانين الطبيعة الماضي والمستقبل إلى أدق التفاصيل وكان العالم فيها شبيها بساعة بلغت حد الكمال، من أن نعلم موضع أجزائها في لحظة

[1] – هينز باجلز، مرجع سبق ذكره، ص.ص 100 – 101.

[2] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص.ص 126 – 127.

معينة حتى تحدد أوصافها إلى الأبد. ولا يستطيع البشر بالطبع أن يعلموا مواضع وسرعات الجسيمات في هذا الكون في لحظة واحدة. وبظهور تفسير "**ماكس بورن**" الإحصائي لدالة موجة "**دي بروجلي**" و"**شرودنجر**" تخلى الفيزيائيون أخيرا عن النظرة العالمية المبنية على الحتمية للطبيعة. وتحول العالم من حتمية الساعة إلى الاعتماد على الصدفة التي تحكم لعبة«الكرة والدبابيس» التي تطلق فيها كرة على سطح منحدر لتمر بين مجموعة من الدبابيس وهي من أجهزة المقامرة. ونظرية الكوانتم، تلك النظرية الجديدة التي حلت محل الفيزياء الكلاسيكية، تعطي تنبؤات إحصائية فقط. ولكن هل من المحتمل أن توجد وراء نظرية الكوانتم فيزياء جديدة مبنية على الحتمية، تصفها نظرية تحت كمية من نوع ما، وتستخدم في تحديد العالم؟ إن هذا مستحيل طبقا لنظرية الكوانتم. فلابد من تأييد المعرفة بالتجربة، وما أن تجرى محاولة لتحديد إحدى الكميات الفيزيائية تجريبيا حتى يتغير نظام بقية مكونات الطبيعة عشوائيا، فالمحاولة التي تجري لإثبات الحتمية تحدث، هي نفسها اللاحتمية. فلا توجد عشوائية كالعشوائية الكمية.

وهذه العشوائية الزائدة هي التي أدت إلى ارتداد المؤمن بالحتمية. فيفترض في الفيزياء، كما فهمت على مر القرون، أن تتنبأ بدقة بما يمكن أن يحدث في الطبيعة. ونظرية الكوانتم تحدد بدقة الاحتمالات ولا شيء غير ذلك، ويجد المؤمن بالحتمية صعوبة في أن يتخلى عن الأمل في وجود حقيقة مبنية على الحتمية خلف الحقيقة الكمية. ولكن، في الواقع أغلقت نظرية الكوانتم كل باب أمام الحتمية[1].

حدث تطور عظيم لنظرية الكوانتم في عام 1925، وكان الميلاد الثاني لها، والمتبلور في أن اللاحتمية قد اعتمدت رسميا، جهارا نهارا. فمبدأ "**هايزنبرج**" ينص على اللاحتمية إن لم نقل ولاشيء إلا اللاحتمية، وليس إبستمولوجيا، فحسب، كما يتبدى للنظرة الأولى، بل وأيضا انطولوجيا[2].

---

[1] – هينز باجلز، مرجع سبق ذكره، ص 103 – 104.

[2] – يمنى طريف الخولي، مرجع سبق ذكره، ص 357.

ميكانيك الكوانتي كان – كما نعرف – نقطة بداية موجة جديدة للحتمي Déterministe والتي تدعمت بمبدأين أساسيين بوجه الخصوص: نمطها الإحصائي وعلاقة اللايقين "**لهايزنبرج**" .(هذين المبدأين مرتبطين فيما بينهما). والنمط الثاني يطرح أيضا الحجة الأساسية لبداية اللاحتمية وصالحة في مجال علاقة اللايقين (اللامحققية) "**لهايزنبرج**". فطبقا لهذه العلاقة يستحيل القياس المتزامن وتحديد اللانهائي لموضع وسرعة الجزء الكوانتي[1].

اكتشف "**هايزنبرج**" مبدأ اللايقين (اللامحققية)، وكانت قوته تكمن في قدرته على التعبير عن التخمينات الفيزيائية بلغة رياضية دقيقة. فكان اكتشافه مثلا لذلك. فهي قاعدة نبعت من الشكلية (الصورة) الرياضية لميكانيكا الكوانتم، وكان لها فائدة عميقة في إيضاح معنى الشكلية[2].

يؤدي مبدأ اللايقين إلى نشوء ظاهرة مدهشة تعرف باسم ظاهرة «المرور في نفق الكم». فإذا أطلقت رصاصة من البلاستيك صوب حائط إسمنتي سمكه عشرة أقدام، فإن الفيزياء الكلاسيكية تؤكد ما تنبئك به غريزتك، سترتد الرصاصة إليك. والسبب في ذلك ببساطة أن الطلقة لا تملك الطاقة الكافية لتنفذ من خلال هذا العائق الهائل، غير أنه على مستوى الجسيمات الأساسية فإن ميكانيك الكوانتم تبين بما لايدع مجالا للشك أن دوال الموجة – أي الموجات الاحتمالية – للجسيمات المكونة للرصاصة تملك قطعا صغيرا جدا ستخترق هذا الحائط. وبقي ذاك أن هناك فرصة ضئيلة أن تخترق الرصاصة بالفعل الحائط لتتدفع من الجانب الآخر. كيف يحدث ذلك؟ يرجع السبب، مرة أخرى، إلى مبدأ اللايقين لـ"**هايزنبرج**"[3]. فاللامحققية ليست أمرا ذاتيا، إنما هي حقيقة موضوعية تتعلق بطبيعة الجسيمات الميكروسكوبية وبنيتها المعقدة[4].

---

[1]– Eftichios Bitsaxis, physique contemporaine et matérialisme dialectique, édition sociales, Paris, 1973, P. 168.

[2] – هينز باجلز، مرجع سبق ذكره، ص 105.

[3] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص.ص 135 – 136.

[4] – محمد عبد اللطيف مطلب، مرجع سبق ذكره، ص 99.

اخترع "**هايزنبرج**" ميكانيك المصفوفات Matrices التي تمثل فيها الخواص الفيزيائية للجسيم كالطاقة وكمية الحركة (السرعة) والمكان والزمان كأدوات رياضية تسمى المصفوفات التي هي تعميم لفكرة الأعداد البسيطة. والأعداد البسيطة تخضع لقانون الضرب التبادلي – وهو أن نتيجة ضرب الأعداد لا تعتمد على ترتيبها مثل: 3 x 6= 6 x 3= 18، ولكن ضرب المصفوفات يمكن أن يعتمد على الترتيب، فعلى سبيل المثال إذا كانت أ، ب مصفوفتين فإن أ x ب لا تساوي ب x أ.

كان ما أوضحه "**هايزنبرج**" هو أنه إذا مثل مصفوفتان خاصتين فيزيائيتين مختلفتين لجسيم، كالمصفوفة س لموضع الجسيم (الإلكترون) والمصفوفة سر لكمية حركته (سرعته)، وكانت لهاتين المصفوفتين خاصية أن س x سر لا يساوي سر x س، فليس من الممكن قياس كلتا الخاصتين آنيا (أي في اللحظة نفسها) بدقة عالية محددة تحكميا. ولإيضاح ذلك، تخيل أني أنشأت جهازا لقياس موضع وسرعة الإلكترون، يتكون مقياس القراءة من مجموعتين من الأرقام إحداهما تظهر «السرعة» والأخرى «الموضع». وفي كل مرة أضغط على مفتاح الجهاز فإنه يقيس في نفس الوقت السرعة والموضع ويظهر مقياس القراءة عددين طويلين. ولنقل أن القياسات، ولتكن الأولى، قد أعطت عددين كافيين لإقناعي بأن دقة القياس عالية. وعلى أي حال فلتكوين فكرة عن الخطأ أو اللامحققية (الارتياب) في القراءة الأولى قررت أن أعيد القياس وضغطت على مفتاح الجهاز مرة أخرى فظهر في مرة أخرى عددان أحدهما للسرعة والآخر لموضع الإلكترون. إلا أنهما يختلفان عن القياس الأول. ونعيد القياس لعدة مرات يمكننا الحصول على عدد كبير من القياسات. عندئذ يمكننا حساب الارتياب في قراءات السرعة والموضع للإلكترون بطريقة حساب المتوسط الإحصائي لكل قراءات القياس، بحيث تكون الكمية التي يرمز لها بالرمز **Δ**س هي انتشار أو لامحققية (ارتياب) قياسات الموضع حول قيمة متوسطة، وبالمثل **Δ**سر إلا إذا أجرى عدد كبير من القياسات. إن ما تؤكده علاقة اللامحققية التي وضعها "**هايزنبرج**" هو استحالة إنشاء جهاز لا يتحقق فيه المتطلب التالي فيما يتعلق بقيمتي اللامحققية المحسوبتين على النحو السابق لمجموعة كبيرة

من القياسات: فيجب أن يكون حاصل ضرب Δس x Δسر أكبر من ثابت بلانك أو مساويا له. وهذا يمكن التعبير عنه رياضيا بالعلاقة [1]:

Δ س x Δ سر ≥ ثا

ولهذا السبب نستعمل ثنائية الموجة – الجسيمة ليس في نظرية الإشعاع وإنما في المادة نفسها[2].

وتوجد علاقة لامحققية مماثلة بين اللامحققية في الطاقة Δط لجسيم واللامحققية في الزمن المنقضي Δز:

Δ ط x Δ ز ≥ ثا

ولقد استنتج "**هايزنبرج**" هاتين الصيغتين من نظرية الكوانتم الجديدة مباشرة.

ولفهم ما تعنيه هاتين الصيغتين ضمنيا، لنفترض أننا نحاول قياس موضع الإلكترون بدقة عالية تختار تحكميا. وهذا يعني أن عدم تيقننا من موضع الإلكترون يساوي صفرا، Δس= صفر – أي أننا نعلم تماما موضعه – ولكن علاقة اللامحققية (الارتياب) "**لهايزنبرج**" تقول بأن حاصل ضرب اللامحققية في الموضع في اللامحققية في السرعة يجب أن يكون أكبر من كمية محددة هي ثابت "**بلانك**". ولكن إذا كانت Δس= صفر فإن Δسر يجب أن تكون لانهائية – أي أن اللامحققية في معرفة سرعة الجسيم لا نهائية. وبالعكس، إذا علمنا تماما أن الإلكترون في حالة سكون فإن Δسر= صفر، وعلى ذلك فإن اللامحققية في معرفة موضعه تساوي قيمة لانهائية – أي لا توجد لدينا أي فكرة عن موضع الجسيم[3].

إن الثورة الكوانتية حددت مجال انطباق مفهوم العلاقات المكانية والزمانية، ففي مستوى الظواهر الميكروفيزيائية، يصعب الحديث عن موضع الجزيء الذري وعن مداره وتنقله وسرعته بكيفية مماثلة لتلك التي ألفناها في عالم الظواهر الاعتيادية. وعليه، فإن الذرة تعيش خارج الزمان والمكان بمفهومها التقليدي

---

[1] – هينز باجلز، مرجع سبق ذكره، ص.ص 106– 107.

[2] W. Heisenberg, Les principes physiques de la théories quanta, P.19.

[3] – هينز باجلز، مرجع سبق ذكره، ص.ص 107 – 108.

المتداول، يقول "**بور**":«كشفت الدراسة المعاصرة للبنية الذرية للمادة عن تصنيف، غير متوقع، لمجال انطباق أفكار الفيزياء الكلاسيكية. فألقت بذلك ضوءا جديدا على شروط التفسير العلمي التي كانت تعتمدها الفلسفة التقليدية. فقد لزم لفهم الظواهر الذرية، مراجعة المبادئ التي لم تكن تسمح سوى بانطلاق وحيد الجانب لتصوراتنا الأولية، مما تمخض عن تخطي أمر الفيزياء الكلاسيكية وتجاوزها» [1].

الميكانيكا الكوانتية ورثت عن الفيزياء الكلاسيكية جميع المفاهيم التي استخدمتها هذه الأخيرة في تفسيرها لظواهر عالمنا الواقعي الاعتيادي، ثم نقلت هذه المفاهيم إلى عالم الميكروفيزياء، شعر الفيزيائيون في أول الأمر بارتياح كبير لاعتقادهم في خضوع الجسيمات الدقيقة لنفس قوانين الحركة. غير أن نقل المفاهيم القديمة إلى الفيزياء الكوانتية، صادف عدة صعوبات نظرية، أثبتت محدودية مجال استخدام الأولى، وأظهرت أن النظرة الكلاسيكية الاعتيادية التي استخدمت في ميكانيكا الكوانتم لتفسير الظواهر الميكروفيزيائية اعتمادا على مفهومي المكان والزمان وهي تغيير الأفق الذي كان ينظر منه إلى الظواهر الميكروفيزيائية: فهذه الأخيرة لا تمثل وقائع عينية محددة في الزمان والمكان، بل هي نتيجة إحصاء، والجانب الكمي فيها أهم من الجانب الكيفي[2].

لا يمكن التوفيق بين متطلبات التحديد الدقيق لكل من موضع الإلكترون وسرعته في عملية رصد واحدة، لأن هناك حدودا طبيعية لمقدار المعلومات التي يمكن أن نحصل عليها عن حالة الإلكترون. إذ يمكن قياس موضعه بدقة، لكن على حساب إدخال اضطراب عشوائي غير قابل للتحديد في سرعته، وبالمقابل، يمكن وضع سرعة الإلكترون تحت السيطرة التامة، لكن على حساب فقدان تام للمعلومات عن موضعه. إن هذا اللاتحديد المتبادل في حالة الإلكترون ليس مجرد قصور عملي ناجم عن خصائص المجهر، بل هو سمة أساسية متأصلة في العالم اللامتناهي في الصغر، وليس هناك طريقة حتى من حيث المبدأ، يمكن بها الحصول على

[1] – عبد السلام بنعبد العالي، سالم يفوت، مرجع سبق ذكره، ص.ص 145 – 146.

[2] – عبد السلام بنعبد العالي، سالم يفوت، المرجع السابق نفسه، ص 146.

معلومات دقيقة عن كل من موضع الجسيمات دون الذرية وسرعتها (حركتها) في آن واحد. تمثل هذه الأفكار روح مبدأ "**هايزنبرج**" في الإرتياب الموصف بعلاقة رياضية تمكن من تقدير الخطأ الأصغر في عملية القياس والذي لا يمكن إنقاصه[1].

يستحيل القياس المتزامن وتحديد اللانهائي لموضع وسرعة الجزيء الكوانتي، ففي نظر "**بلونشار**" أن «موضع الجزيء مستقلا» غير محدد، وأنه «الجزيء في حركته لا يتوقف على السببية»[2].

علاقة اللامحققية "**لهايزنبرج**" دليل على محدودية استطاعتنا في القياس، فهو أي القياس مرتبط بالقانون الفيزيائي[3]. وبالتالي تدفعنا إلى معرفة اللاتحديد، هذا ما يجعلنا واقعين تحت رحمة قوانين الطبيعة. فالقياس المتزامن للجسيمين اللامتناهيين غير محدودين في داخل مجال الأبعاد لـ Δس، Δسر. فالرمز Δ ليس هو الخطأ وإنما هو اللاتحديد Indéfinition. من هذا ليس بالضرورة أن تحصل على قيم مطلقة لـ س وسر، ولكن هذين الجسيمين اللامتناهيين يحملان جانب من الموجة اللامحدودة،. فاللاتحديد بالمعنى المستخدم هنا كان غير معروف في الفيزياء الكلاسيكية. طبقا لهذه الأخيرة، إن القيم تحدد بشكل موجي، فهذا دليل على أن معرفتنا كانت غير كاملة[4].

III.2- تتامية بور

بينما كان "**هايزنبرج**" منكبا على علاقتي اللامحققية (الارتياب) طور "**بور**" مستقلا بأسلوبه الخاص جدا تفسيره الخاص لنظرية الكوانتم. وفي حين كان أسلوب "**هايزنبرج**" هو استخدام الرياضيات لاستخلاص معنى النظرية الجديدة. فكر "**بور**"

---

[1] – بول ديفس، العوالم الأخرى، ص.ص 71 – 72.

[2] – Etlichios Bitsaxis, physique contemporaine et matérialisme dialectique ,PP. 174– 177.

[3] – Arthur March, La physique moderne et ses théories, P. 197.

[4] – Iblid, PP.190- 200.

فلسفيا في طبيعة الحقيقة الكمية،. وقد أضاف أسلوب كل منهما إلى أسلوب الآخر وأثراه، وكونا معا ما يعرف بتفسير كوبنهاجن Copenhague.

تساءل "**بور**" عن الطريقة التي نستطيع بها، ولو التحدث عن العالم الذري، فهو في منأى بعيد عن الحيرة البشرية. وجاهد في هذه المشكلة، وتساءل كيف يمكن أن نستخدم لغتنا العادية المستخدمة في الأشياء والأحداث اليومية لكي نصف الأحداث الذرية؟ ربما كانت طبيعة تركيب لغتنا غير وافية بالغرض لهذه المهمة. ولذلك ركز "**بور**" في تفسيره لميكانيكا الكوانتم على مشكلة اللغة، وكما المح «من الخطأ أن نفكر بأن مهمة الفيزياء هي اكتشاف حال الطبيعة، فالفيزياء تتعلق بما يمكن أن نقوله عن الطبيعة»[1].

أكد "**بور**" أهمية أنه يتحتم علينا، عندما نسأل سؤالا عن الطبيعة أن نحدد أوصاف الجهاز التجريبي الذي سنستخدمه في الإجابة عن هذا السؤال. فلنفرض مثلا أننا نسأل «ما هو موضع الإلكترون وما هي كمية حركته (سرعته)؟». ليس علينا، في الفيزياء الكلاسيكية، أن نأخذ في الاعتبار حقيقة أننا نغير حالة الشيء أثناء حصولنا على الإجابة عن السؤال. فيمكننا أن نهمل التفاعل بين الجهاز والشيء الذي نفحصه. ففي ميكانيكا نيوتن نبدأ بقياس موقع وسرعة الكوكب الذي نود دراسته. ثم نترجم نتائج الملاحظات إلى صورة رياضية بأن نستنبط من الملاحظات أرقاما لإحداثيات الكوكب وكمية حركته. ثم نستخدم معادلات الحركة كي نستنبط من قيم الإحداثيات وكمية الحركة في وقت معين ما ستكون عليه هذه القيم أو غيرها من خصائص النظام في وقت لاحق. بهذه الطريقة يمكن للفلكي أن يتنبأ بخصائص النظام في وقت لاحق. إنه يستطيع مثلا أن يتنبأ بالضبط بوقت خسوف القمر. وليست هذه الحال فيما يتعلق بالأشياء الكمية كالإلكترون، فإن إجراء المشاهدة نفسه يغير حالة الإلكترون. فلقد نهتم مثلا بحركة الإلكترون خلال غرفة سحابية، وقد نستطيع أن نحدد بملاحظات من نوع ما موضعه الابتدائي وسرعته، لكن هذا التحديد لن يكون دقيقا، إذ سيحتوي على الأقل على اللادقة الناتجة عن

[1] – هينز باجلز، مرجع سبق ذكره، ص 111.

العلاقات اللامحققية، وربما احتوى أيضا على أخطاء أكبر ناجمة عن صعوبة التجربة، وعدم الدقة ناجم عن العلاقات اللامحققية هو الذي يسمح بأن نترجم نتيجة الملاحظة إلى المخطط الرياضي لنظام الكوانتم، ستسجل دالة احتمال تمثل الوضع التجريبي وقت القياس، وتتضمن حتى الأخطاء المحتملة في القياس[1].

فالباحث التجريبي إذ أراد أن يقيس موضع الإلكترون بدقة عالية وقام بتجهيز أداة قياس فلا يوجد أي قانون في نظرية الكوانتم يمنعه من تحديد الجواب. ومن شأنه أن يستنتج أن الإلكترون «جسيم» أي أنه شيء موجود عند نقطة محددة في الفضاء. ومن جهة أخرى إذا كان هذا التجريبي مهتما بقياس طول موجة الإلكترون وقام بتجهيز أداة قياس أخرى فإنه سيحصل أيضا على إجابة محددة. وبإجراء التجربة بهذه الطريقة يمكنه أن يستنتج أن الإلكترون موجة وليس جسيما. ولا يوجد أي تعارض بين مفهوم الموجة والجسيم لأن نتائج التجربة، كما رأى "**بور**"، يعتمد على الترتيبات التجريبية ذاتها، ويحتاج قياس الموضع وطول موجة الإلكترون ترتيبات تجريبية مختلفة. لماذا لا نستطيع قياس الموضع وكمية الحركة في نفس الوقت، وما الذي يمنعنا ؟ يصف لنا "**بور**" ذلك على النحو التالي:«لكي نتمكن من قياس إحداثيات الفضاء ولحظات الزمن، يجب استخدام مسطرة قياس وساعة. ولقياس كميات الحركة والطاقات تلزم ترتيبات تحتوي على أجزاء متحركة لتلقى صدمة الشيء وتبينها، فإذا كانت ميكانيكا الكوانتم تصف التفاعل بين الشيء موضع القياس وأداة القياس ذاتها فإن كلا الترتيبين مستحيلان»[2].

مبدأ تتامية "**بور**" Complémentarité في محتواه العقلاني، وبصرف النظر عن التأويلات المتعددة، ولا سيما الوضعية منها، جزء مهم من النهج المعرفي الفيزيائي الكوانتي. إذ اختفت النواة العقلانية لهذا المبدأ في البداية في العديد من التأويلات المثالية الذاتية. **فبور** نفسه ومعه العديد من ممثلي مدرسة كوبنهاجن وقعوا بعض الوقت تحت تأثير الفلسفة الوضعية بشدة. وكان العديد من

---

[1] – فرنر هايزنبرج، الفيزياء والفلسفة، ص.ص 31 – 32.

[2] – هينز باجلز، مرجع سبق ذكره ، ص.ص 112 – 113.

تصريحات "**بور**" عن التتامية (تكاملية) مطبوعا بالطابع الوضعي، فمثلا قضية «التفاعل الذي لا يمكن السيطرة عليه مبدئيا» بين الجسيم الصغير وجهاز القياس الكبير، تلك القضية التي توحي بوجود حدود مغلقة للمعرفة، واستحالة الحصول على معلومات عن الجسيمات الصغرى. ومن الجدير بالذكر أن "**بور**" قد ابتعد في سنواته الأخيرة عن الأفكار الوضعية المثالية – الذاتية المتطرفة– وأصلح بعض أرائه الفلسفية ودققها. فبد مثلا قضية التفاعل الذي لا يمكن السيطرة عليه مبدئيا[1].

إن الموجة والجسيم هما ما سماهما "**بور**" «مفهومين متتامين». أي أن وجود أحدهما يمنع وجود الآخر وهذان المفهومان، في التشبيه بين اللغة والرياضيات. هما تمثيلان مختلفان للشيء نفسه. فالفيزيائي يتحدث عن التمثيل الجسيمي أو التمثيل الموجي. وتؤكد قاعدة التتام التي وضعها "**بور**" أنه توجد خاصتان متتامتان للشيء الواحد المراد معرفته، يمنع العلم بإحداهما العلم بالأخرى. لذلك قد نصف شيء كالإلكترون بأسلوبين كل منهما مانع للآخر – كموجة أو جسيم – بدون أي تناقض منطقي، بشرط أن ندرك أيضا أن الترتيبات التجريبية التي تعين هاتين الخاصتين متبادلة المنع بالمثل، إن معرفة موضع الجسيم متمم لمعرفة سرعته أو كمية حركته. فإذا عرفنا أيهما بدرجة دقة عالية فلا يمكن أن نعرف الآخر بدقة عالية. على أننا لابد أن نعرف كليهما لتحديد سلوك النظام. إن الوصف الزمكاني للأحداث متمم لوصفها الحتماني.

الصعوبة الحقيقية في تفهم هذا التفسير فتظهر عندما نسأل السؤال الشهير: ولكن ما الذي يحدث "فعلا" في أية واقعة ذرية؟ فإننا نستطيع أن نصوغ آلية الملاحظة ونتائجها بلغة المفاهيم الكلاسيكية لكن ما نستنبطه من الملاحظة هو دالة احتمال، تعييرا رياضيا يجمع ما بين تقارير عن احتمالات أو نزعات وتقارير عن معرفتنا بالحقائق. وعلى هذا فقد لا نستطيع تماما أن نجعل نتيجة الملاحظة موضوعية. إننا لا نستطيع أن نصف ما "يحدث" بين هذه الملحوظة والملحوظة التالية لها يبدو هذا كما لو كنا قد أدخلنا إلى النظرية عنصرا من الذاتية، كما لو كنا

[1] – محمد عبد اللطيف مطلب، مرجع سبق ذكره، ص.ص 103 - 104.

نود أن نقول إن ما يحدث يتوقف على الطريقة التي نلاحظ بها، أو على حقيقة أننا نلاحظ.

بعد التفاعل بين الموضوعية والذاتية بدالة الاحتمال، لا يمكننا أن نتنبأ بنتيجة الملاحظة بيقين. إن ما يمكن التنبؤ به هو احتمال حصول نتيجة معينة للملاحظة، ومن الممكن التحقق من هذا الاحتمال بتكرار التجربة مرات عديدة. ودالة الاحتمال لا تصف واقعة بذاتها وإنما مجموعة كاملة من الوقائع المحتملة، على الأقل أثناء الملاحظة [1].

فكرة التتامية أي متممات الجسيم والموجة: إنها نفس الواقع الكوانتي الذي يعتمد على شروط الملاحظة (المشاهدة)، تكشف لنا النقاب عن أبعاد الموجة والجسيم بالنسبة للمشاهد. وما نتائج هذه التتامات إلا في واقع الأمر مفارقات لم يبت في أمرها بعد[2].

III.3- مدرسة كوبنهاجن

مدرسة كوبنهاجن جماعة من الفيزيائيين (**هايزنبرج، بورن، بوردان، باولي**) تجمعت حول "**نيلز بور**" (معهد الفيزياء النظرية في كوبنهاجن) في العشرينات وأوائل الثلاثينات من القرن الماضي، وذهبت في التفسير الفلسفي للنظرية الكوانتية الحديثة مذهبا خاصا. متأثرا إلى حد بعيد بالفلسفة الوضعية الجديدة التي ادعت لنفسها كونها «فلسفة العلم».

لقد تبنى العديد من الفيزيائيين الفلسفة الوضعية كرد فعل لخيبة أملهم في الفلسفات التقليدية التأملية التي عجزت عن حل المشاكل الفلسفية التي أثارها تقدم علم الطبيعة. وقد تعمقت خيبة الأمل تلك بالاكتشافات الكثيرة التي أنجزتها الفيزياء في بداية القرن العشرين في المجالين العملي والنظري، ولا سيما بعد تطوير

---

[1] – فرنر هايزنبرج، الفيزياء والفلسفة، ص.ص 35 – 37.

[2] – جيلس كوهن – تانودجي، مرجع سبق ذكره، ص 63.

النظرية النسبية والنظرية الكوانتية، وما استوجبته من إعادة النظر في عدد من المفاهيم الفلسفية المتعلقة بالعلم كالسببية والحتمية والقانون وغيرها، وما طرحته من أسئلة تمس أسس العلم مثل ما هي النظرية العلمية؟ وكيف تبنى؟ وكيف ترتبط بالواقع العلمي، التجربة؟

ظهر الاتجاه الفلسفي – الذاتي في مدرسة كوبنهاجن في البداية في فهم العلاقة بين الذات والموضوع فهما وحيد الجانب (الزعم باختفاء الحدود مابين الذات والموضوع)، حيث أنكرت الصفة الواقعية – الموضوعية الشيء الفيزيائي الكوانتي (الإلكترون مثلا) نكرانا كليا أو جزئيا. كما رفضت الحتمية استنادا إلى الصفة الإحصائية لقوانين الميكانيك الكوانتي، بحيث أبرز "**بور**" و"**بورن**" أهمية القوانين الإحصائية منتقدين "**آينشتاين**" الذي اعتبرها حلا مؤقتا.

أما الطابع الذاتي الطاغي في تفسير مدرسة كوبنهاجن الفلسفي للميكانيك الكوانتي فأسسه فقدا الفهم الجدلي للمادة وبنيتها، والجهل بجدلية القانون والصدفة، وبالحتمية الجدلية ونظرية التناقض الجدلي، رغم أن "**بور**" تقرب بمبدأ التتامية (التكميلية) من معرفة الوحدة الجدلية للأوجه المتناقضة في الفيزياء الكوانتية[1].

وبهذا نصل إلى النقطتين الحاسمتين عن الحقيقة الكمية اللتين تظهران من أعمال "**هايزنبرج**" و "**بور**". النقطة الأولى، هي أن الحقيقة الكمية إحصائية وليست يقينية. فلقياس خاصية كمية يستلزم إعادة القياس الدقيق مرات عديدة. ومحاولة تكوين أي صورة عقلية لمكان وكمية حركة إلكترون منفرد متوافقة مع سلسلة من القياسات تؤدي إلى صورة غير واضحة المعالم للإلكترون. فهذا إنشاء عقلي بشري يحاول أن يفسح مكانا لعالم الكم داخل قيود الوعي الحسي العادي. وإن الناس الذين ينشغلون بهذه الإنشاءات العقلية أو يحاولون إيجاد معنى موضعي في الأحداث الفردية هم حقا حتميون غير عمليين. والنقطة الثانية هي: أن الحديث عن الخصائص الفيزيائية للأشياء الكمية غير ذي معنى بدون التحديد الدقيق لأوصاف

[1] – محمد عبد اللطيف مطلب، مرجع سبق ذكره، ص.ص 114 – 115.

الترتيبات التجريبية المزمع استخدامها في قياس هذه الخصائص. فالحقيقة الكمية هي جزئيا، حقيقة من بدع الراصد (المشاهد). وكما قال الفيزيائي "**جون ويلر**" «لا تكون الظاهرة ظاهرة حقيقية قبل أن ترصد»[1].

باختصار رفض تفسير كوبنهاجن لنظرية الكوانتم مذهب الحتمية وقبل عوضا عنه الطبيعة الإحصائية للحقيقة، ورفض أيضا الموضوعية وقبل بدلا منها أن الحقيقة المادية تعتمد جزئيا على الكيفية التي نختارها لرصد هذه الحقيقة.

III.4- أبرز أراء مدرسة كوبنهاجن

- لايمكن الفصل فصلا واضحا بين الراصد (الإنسان أو الجهاز) والمرصود (الجسيمة، الذرة) أي بين الذات والموضوع، وان المرصود ليس له واقع موضوعي مستقل عن الراصد. فلا يمكن أن توجد «فيزياء موضوعية» فالفيزياء الذرية لا تعالج بنية الذرات، بل أحداثا نحس بها عن الرصد، وليس من الممكن جعل الرصد عملية موضوعية، ولا يمكن اعتبار نتائجه شيئا واقعيا بصورة مباشرة. وكتب "**هايزنبرج**": «تختصر مهمة الفيزياء في وصف الترابط بين الإحساسات وصفا شكليا فقط»[2]. أما الواقع الموضوعي الذي هو مصدر تلك الإحساسات، وإمكان معرفة هذا الواقع، فينبذ من تفكير البعض باعتباره تأملات «غير ذات معنى»[3].

- الإحصاء والسببية أو الاحتمال والحتمية، نقيضان يتنافى أحدهما مع الآخر تناقضا مطلقا. ولا يمكن التوفيق بينهما. وأن قوانين الميكانيك الكوانتي والإحصائية تعني اللاحتمية واللاسببية في أحداث الميكروسكوبي.

- اللاحتمية تعني أن علينا أن نتخلى عن موضوعية العالم، فالإلكترون، مثلا : لا يوجد كجسيم حقيقي عند نقطة في الحيز إلا إذا رصدنا مباشرة.

---

[1] - هينز باجلز، مرجع سبق ذكره، ص.ص 114 - 115.

[2] - محمد عبد اللطيف مطلب، مرجع سبق ذكره، ص 119.

[3] - المرجع السابق نفسه، ص 118 .

لقد وقف العديد من الفيزيائيين ضد الاتجاه الوضعي لمدرسة كوبنهاجن في تفسير الميكانيك الكوانتي. وبالرغم من أخذ غالبية الفيزيائيين قد قبلت بالتفسير الإحصائي للدالة الموجية، إلا أن بعضهم لم يكتف به، ورأى فيه تفسيرا إجماليا يجب أن يخلى مكانه لتفسير حتمي صارم. وكان على رأس ذلك هو "**آينشتاين**" الذي لم يرفض الميكانيك الكوانتي رفضا قاطعا، بل اعتبره من أنجح النظريات الفيزيائية في ذلك العصر، بحيث كان ينظر إلى علاقة اللايقين لـ"**هايزنبرج**" بأنها حقيقة أثبتت صحتها بصورة نهائية»[1].

تأويل كوبنهاجن للميكانيك الكوانتي، يستنتجون أكثر موضوعية مما يريدون بما يتعلق بفيزيائنا من أنها إنسانية[2]. فتفسيرهم يبدو غريبا خارق للطبيعة. فيرى بعض الفيزيائيين أنه يتطلب وجود فاصل بين الراصد والمرصود، أي انفصام بين الهدف والعقل[3].

IV- تفسيرات ميتافيزيائية لنظرية الكوانتم

1.IV- موقف نظرية الكوانتم مشكل الذات والموضوع

تطرح نظرية الكوانتم مشكلة الذاتية والموضوعية في المعرفة العلمية أو هي التي كانت تتميز عن المعرفة الفلسفية بالموضوعية، ففي نظرية الكوانتم تتضمن كل عملية رصد انتقال كمة كاملة من الموضوع المدرك إلى الذات المدركة – على خلاف الفيزياء الكلاسيكية التي يسود فيها فصل تام بين الذات والموضوع بدعوة الحفاظ على الموضوعية في العلم والبحث العلمي، والكمة الكاملة تقوم بعمل ازدواج هام بين الراصد والمرصود لذلك لا يمكننا أن نضع فاصلا تعسفيا بين الاثنين، لأن تلك المحاولة تتطلب منا أن نتخذ قرارا اختياريا بشأن النقطة المحددة

---

[1] – محمد عبد اللطيف مطلب، مرجع سبق ذكره، ص.ص 126 – 127.

[2] – Bernard d'espagnat, Etienne Klein, Regard sur la matière des quanta et des choses, Libraire Artheme Fayard, 1993, P. 223.

[3] –هينز باجلز، مرجع سبق ذكره، ص 186.

التي تفصل بين الذات والموضوع، وهو ما يبعدنا عن الموضوعية التامة التي تتطلب معاملة الراصد والمرصود على أنهما طرفان في تركيب واحد، فيجب علينا لذلك أن نفترض أنهما يشكلان كلاً لا ينقسم، ويجب أن نضعه في اعتبارنا عند النظر إلى الطبيعة أو الموضوع أو أي دراسة نقوم بها، ويبدو الآن أن المشكلة ليست في الشيء الذي ندركه بل في عملية الإدراك ذاتها، والمهم هو العلاقة نفسها بين الذات والموضوع، وفي عالم الذرات والإلكترونات يؤدي هذا التطور الجديد إلى اختلاف ملحوظ[1]. فعندما يحاول الفيزيائي أن يتتبع حركة أحد الإلكترونات داخل ذرة، فليس في مقدوره أن يكتسب معرفة عن حالة الذرة الداخلية إلا بجعلها تقذف كمة كاملة من الإشعاع، ولكن قذف كمة من الإشعاع حدث خطير يزلزل الذرة لدرجة تغيير حركة الذرة الكلية والنتيجة العملية لذلك هي ذرة جديدة[2].

فإذا كنا في الفيزياء الكلاسيكية نلاحظ أن أدوات القياس لا تؤثر في الموضوع الذي نقيسه (قياس الطاولة لا يغير منها شيئا) فإن الأمر ليس كذلك في عالم الميكروفيزياء، إن أدوات القياس تؤثر بشكل واضح في الموضوع نفسه وبالتالي فإن الذات (القياس) والموضوع (ما يقاس) يتعاونان بالضرورة على صنع الشيء الخارجي. فالجسيم إذن هو مزيج بين الذاتية والموضوعية، وبالتالي فإن العالم الخارجي شارك الذات في صنعه (ومن هنا المسحة المثالية التي ترافق الوضعية الجديدة)[3].

ترتبط مشكلة الزمان والمكان – أن استحالة تحديد موضع الجسيم (المكان) وسرعته (الزمان) في آن واحد يطرح من جديد مشكلة العلاقة بين الزمان والمكان، طرحا يختلف عن الشكل الذي طرحتها به نظرية النسبية.

ففي نظرية النسبية تحدثنا عن زمان الراصد (الزمان الخاص) ومكانه (منظومة المرجعية). أما في النظرية الكوانتية فإننا نتحدث عن زمان ومكان الجسيم

---

[1] – جيمس جينز، الفيزياء والفلسفة، ص 195.

[2] – السيد حسن شعبان، مرجع سبق ذكره، ص 95.

[3] – محمد عابد الجابري، مرجع سبق ذكره، ص 384.

أي الموضوع. وكما قال "**جان بياجي**": في مجال العالم الأكبر تندمج الذات في الظواهر (موضوع القياس)، أما مجال العالم الأصغر فيحصل العكس، إن الظاهرة هي التي تندمج في عمل الذات (في قياساتها وأدوات هذا القياس)[1].

يمكن أن تهيئ لنا سلسلة من الكمات شرائح من المعلومات عن المراحل المختلفة للذرة. ولكنها لا تعطينا تسجيلا عن الحركة المستمرة، والواقع أنه لا وجود لمثل هذه الحركة المستمرة لكي نسجلها لأن انطلاق لكل كمة تكسر الاستمرار. لهذا السبب فإن البحث حول اتفاق حركة الذرات مع القوانين السببية أمر غير ذي جدوى، لأن صياغة قانون السببية يفترض مبدئيا وجود نظام موضوعي منفصل بحيث يتمكن الراصد المحايد من مراقبة دون أن يخل بنظامه، فإذا راقبنا مثل هذا النظام في حالة خاصة وفي لحظة معينة، فلنا أن نتساءل هل يمكن التنبؤ بحالته في المستقبل أم لا ؟ ولكن عندما لا يوجد تمييز حاد بين الراصد والمرصود فإن السؤال يصبح عديم المعنى لأن أي ملاحظة سيقوم بها لابد أن تؤثر في مجرى النظام في المستقبل[2].

وهكذا لم تعد التفرقة بين الذات والموضوع محددة أو دقيقة، والدقة الكاملة يمكننا أن نتوصل إليها إذا أدمجنا الذات والموضوع في وحدة واحدة.

2.IV- مثالية علماء نظرية الكوانتم

لقد اتخذ علماء نظرية الكوانتم موقف فلسفي آلا وهو المثالية التي تعني القول بأن الوجود الحقيقي الأصيل هو العقل وأفكاره سواء كان عقل الإنسان المحدود أم العقل الإلهي اللامحدود، وما العالم المادي إلا من خلق العقل وابتكاره، أو على أفضل تقدير أن للعالم المادي، وجودا وواقعية تاليا في الأصالة للوجود العقلي. قال العلماء إن العالم الذي يصفونه ويصنعون قوانينه ليس العالم المادي في

[1] – محمد عابد الجابري، مرجع سبق ذكره، ص 385.

[2] – جيمس جينز، الفيزياء و الفلسفة، ص.ص 195 – 196.

حقيقته، وإنما هو العالم كما يبدو لعقولنا، أنه عالم من صيغ رياضية مجردة، ونحن نقوم بدور في صنعه وصياغته. أما العالم الحقيقي في موضوعيته بعيدا عن دورنا فيه، فلا علم لنا به وكذلك فحقيقة المادة أو حقيقة العالم مجهولة لنا تماما.

سئل "**ماكس بلانك**": هل تظن أن العقل يمكن تفسيره في إطار المادة وقوانينها؟ فأجاب بالنفي وأضاف أن العقل شيء أساسي وأن المادة مشتقة من العقل وفي نفس المعنى يقول "**سير أرثر إدنجتون**": «العقل أو شيء في خبرتنا، وكل ما عداه استدلال، ووجود المادة استدلال، لا أن المادة من طبيعة عقلية، وإنما أن هنالك علاقة وثيقة بين ما هو مادي وما هو عقلي»[1]. ويقول "**هايزنبرج**" « اهتمام أساسي بالمقابلة بين الطبيعة والإنسان حيث يلعب العلم دورا فيها، ولذلك لم تعد هناك دلالة كتلك التقسيمات المألوفة بين الذات والموضوع، العالم الذاتي والعالم الخارجي، النفس والجسم، إذ تخلق هذه التقسيمات عقبات كأداة، ولذلك نجد أن موضوع البحث حتى في العلم لم يعد الطبيعة ذاتها، وإنما بحث الإنسان في الطبيعة»[2].

ويقول "**شرودنجر**" ما خلاصته أننا لا نستطيع إقامة قضايا عن الواقع أو أي نسق فيزيائي ما لم نره ونلمسه، لكن لكي نراه ونلمسه يجب أن نوجه إليه أشعة ضوئية تنعكس على أبصارنا فنلاحظه. وهذا يعني أن الجسم يتأثر بملاحظتنا، ولا يمكننا الوصول إلى معرفة عن الشيء منعزلا عنا، ويؤدي هذا التدخل منا إلى أن نعرف بعض خواصه وتغيب عنا خواصه الأخرى. ولذلك لن نعرف العالم كما هو في واقعه الموضوعي[3]، ويقول "**جيمس جينز**":« القول أن العالم الطبيعي يستقل عنا بمحض افتراضي وليس واقعة ثابتة. لكن العالم في ما مضى يسلم بأن للمكان

---

1 – Eddington, The Nature Of The Physical Word, Collins, London, 1928, P. 230.

– نقلا عن محمود فهمي زيدان، من نظريات العلم المعاصر، ص 83.

2 – W. Heisenberg, The Physical Conception Of Nature, Hutchinson, London, 1958, P. 24.

– نقلا عن محمود فهمي زيدان، المرجع السابق نفسه، ص 83.

3 – E. Schrödinger, Mind and Matter, Cambridge University Press, London, 1958 P.P. 48 – 50.

– نقلا عن محمود فهمي زيدان، المرجع السابق نفسه، ص 83.

والزمن وجودا خارجا عنا سواء أدركناه أم لا، وأن للمادة وجودها الخارجي في المكان والزمن. لكن الفيزياء المعاصرة ربطت العالم الطبيعي ربطا وثيقا بالفعل المدرك»[1].

لقد فهموا علماء الفيزياء للقرن العشرين المثالية بمعاني دقيقة يمكن حصرها في النقاط التالية:

النقطة الأولى: استحالة الوصول إلى معرفة موضوعية تماما عن العالم العادي المادي، وإنما تقوم معرفتنا للعالم نتيجة تدخلنا فيه بقدراتنا العقلية وآلاتنا ومقاييسنا، فالمفاهيم والمبادئ العلمية ذات طبيعة استنباطية وليست استقرائية، لأنها من خلق العقل الإنساني في سبيل فهم أوسع لحقائق أو وقائع العالم الخارجي[2]، وهذا ناتج عن المعطيات التالية: بحيث أننا لا نعلم عن وجود الذرة شيئا حين تدور الإلكترونات حول النواة، في ظروف عادية، لأنها لا تقبل الإدراك الحسي المباشر، لكن يمكننا استدلال على وجودها حين نثير الإلكترون إثارة إرادية، وذلك بإخضاع الذرة لطاقة حرارية من خارج، أو قذفها بإلكترونات تتحرك بسرعة هائلة، وفي تلك الحالات تمتص الذرة هذه الطاقة فتزيد طاقتها فيتسع مدار الإلكترونات حول النواة، ويبدو لنا ذلك في صورة انطلاق موجة ضوئية أو إشعاع يمكننا مشاهدته وقياسه. وقد تكون إثارة الذرة بفقد أحد إلكتروناتها، وبالتالي فقد طاقة زائدة تكون قد اكتسبتها من قبل فتمتصها ذرة أخرى. وكذلك فالإلكترون لا يتحرك فردى وإنما يتحرك في مجموعات، فإذا أراد العالم عزل إلكترون واحد عن المجموعة ليدرس طبيعته وتركيبه وحركاته، فإنه لا يعبر عن شيء، فإن استطاع تحديد موضعه المكاني بدقة عجز عن تحديد سرعة حركته واتجاهها، والعكس صحيح[3].

هذا ما يتعلق بمسألة الموضع والحركة، أما ما يتعلق بطاقة فوتون الضوء فالأمر يختلف، فبموجب فرضية "**بلانك**" التي تطرقنا إليها في السابق أن طاقة

---

1 – J. Jeans, The New Background Of Science, C.U. P, London, 1934, P.P. 71 – 72.

– نقلا عن محمود فهمي زيدان، مرجع سبق ذكره، ص 83.

2 – حسين علي، الميتافيزيقا والعلم، ص 107.

3 – محمود فهمي زيدان، مرجع سبق ذكره، ص.ص 84 – 85.

الفوتون (وميض) تتناسب مع تردد (تواتر) الضوء: أي أن مضاعفة التردد تؤدي إلى مضاعفة طاقة الفوتون. واعتمادا على هذه الفرضية يتم عادة قياس تردد الضوء، لنقيس طاقة فوتوناته، وقياس التردد يتم بتحديد عدد اهتزازات موجة الضوء خلال زمن معين. إن عدد هذه الاهتزازات في الضوء المرئي يصل إلى حوالي مليون مليار هزة في الثانية الواحدة. ولكي تكون عملية القياس صحيحة، يجب أن لا تقل عدد الاهتزازات المرصودة عن الواحد، ويفضل أن تكون هناك العديد منها. إن إنجاز الهزة الواحدة يستغرق بالطبع زمنا معينا لأن على الموجة أن تنتقل أثناء ذلك من قمة إلى القمة التي تليها عبر الوادي بينهما، وبالتالي فإن قياس تردد الضوء في مدة تقل عن هذا الزمن أمر مستحيل، ولو مبدئيا. في حالة الضوء المرئي، هذا الزمن قصير جدا (حوالي الجزء من مليون مليار من الثانية)، أما في حالة الأمواج الكهرومغناطيسية الأطوال، كالأمواج الراديوية مثلا، فقد تستغرق الهزة بضعة أجزاء من الألف من الثانية. لذلك فإن فوتونات الأمواج الراديوية تحمل طاقة صغيرة جدا. وفي الطرف الآخر، هناك فوتونات أشعة "جاما" Gama التي يبلغ ترددها آلاف المرات من تردد الضوء المرئي، مما يعني أن طاقة فوتوناتها تبلغ آلاف المرات من طاقة فوتوناته.

من خلال هذه الاعتبارات الجوهرية التي ذكرناها، يظهر لنا أن هناك حدودا للدقة التي يمكن بها قياس التردد وبالتالي قياس طاقة الفوتون خلال مدة معينة من الزمن. فإذا كان زمن القياس أصغر من دور اهتزاز الموجة ستكون الطاقة غير معينة، وبالتالي فإن هناك علاقة لامحققية (ارتياب) تربط بين الطاقة والزمن مماثلة لعلاقة اللامحققية بين موضع الجسيم وحركته، وللحصول على دقة كافية في قياس الطاقة لابد أن يكون زمن القياس طويلا، لكن إذا كان زمن حدوث حادث ما هو المقدار الذي يهمنا أمره، فإن تحديده بدقة لابد أن يكون على حساب التضحية بالمعرفة بالطاقة.

فاللامحدودية الدقة في قياس الطاقة والزمن ليست ناجمة عن قصورنا التكنولوجي في إجراء عملية القياس، إنما هي من خصائص الطبيعة المتأصلة في

الذرة ذاتها، فإن الطاقة والزمن خاصتان متضاربتان في الفوتون[1] وأيضا بالنسبة إلى الموضع والحركة، وتبعا لعملية القياس التي نختار أن نجريها عليه، تكون إحداهما أكثر دقة من الأخرى.

النقطة الثانية: معرفتنا تركيب عقلي Construction Mental تلعب فيها الذات دورا أساسيا، وليست معرفتنا مطابقة موضوعية للواقع، وهذا الموقف ناتج عن تأثر العلماء بنظريتي "**كانط**" ونظرية المعطيات الحسية، فنظرية "**كانط**" في المعرفة تقول إن إدراكنا للأشياء الجزئية في العالم المادي تقوم على عنصرين: عنصر الانطباعات الحسية، نكتسبها عن طريق الحواس، وعنصر التصورات القبلية غير التجريبية وهي جزء من طبيعة العقل. فإدراكنا لأي شيء تركيب عقلي من عنصري الانطباعات التجريبية والتصورات العقلية، ويصبح الشيء المدرك هو الشيء كما يبدو لنا لا كما هو في حقيقته، وحقيقته مجهولة لنا.

و نظرية المعطيات الحسية تقول أننا لا ندرك شيئا ما إلا عن طريق إدراك صفاته الحسية، ونصل إلى هذه الصفات بطريق الحواس. ندرك هذه الصفات إدراكا مباشرا، وتقول أن الشيء المدرك ليس إلا مجموعة من الصفات، أو تقول أن وجود الشيء تأليف عقلي من تلك الصفات. ولهذا يقول "**شرودنجر**": «العالم تركيب عقلي من إحساساتنا وإدراكنا الحسي وذكرياتنا. ومن اليسير أن نقول إن للعالم وجود موضوعيا في ذاته، لكن لن يبدو وعينا به بمجرد وجوده، وإنما يعتمد وجوده بالنسبة لنا على أجزاء معينة نعني حوادث معينة من المخ»[2]. ويقول "**ماكس بورن**": «إن الواقع يفترض انطباعات حسية يؤلفها العقل بطريقة لا شعورية ومجموعة هذه الانطباعات هي الواقع الفيزيائي، لكن هذه الانطباعات ذاتية، فلنتعلم من كانط أن تلك الانطباعات الحسية مشتركة بين الناس جميعا، ويتم تأليف المعرفة من الانطباعات بارتباطها بتصورات في عقل الإنسان»[3].

---

[1] – بول ديفس، العوالم الأخرى، ص 88.

[2] – نقلا عن محمود فهمي زيدان، مرجع سبق ذكره، ص 87. E. Schrödinger, Mind and Matter, P. 1.

[3] – M. Born, Natural Philosophy of Cause and Chance, Dover Publication. Inc, New York, 1964, P.P. 103 – 104.

نقلا عن محمود فهمي زيدان، المرجع السابق نفسه، ص 88.

ظلت الفيزياء تعتقد أنها تدرس طبيعة موضوعية موجودة بذاتها مستقلة عن العقل الذي يدركها حسيا، وأنها كانت موجودة منذ الأزل سواء كانت مدركة حسيا أم لا، هذا الاعتقاد هو الأرضية التي نشأ عليها مذهب المادية، وصل إلى حين ملاحظة حركة الإلكترون الذي أثبت العكس.

فجاءت نظرية الكوانتم الحديثة لإصلاح أوجه النقص القائمة، ووجدت ما نعتقد أنه النسق الحقيقي للأحداث، بحيث تقوم الصورة الموجية بدور التمثيل التصويري، لقد تخلت الصورة الجسيمية عن مكانها بالفعل إلى الصورة الموجية، وبدا عندها أن الصورة الجسيمية للمادة يجب أيضا أن تستبدل بصورة موجية، وكانت النتيجة اتفاقا تاما مع التجربة، وفي هذا التقدم نحو الحقيقة. نلاحظ أن كل خطوة كانت من الجسيمات إلى الموجات، أو من المادي إلى العقلي، والصورة النهائية تتكون بأكملها من موجات، ومحتوياتها هي تركيبات عقلية خالصة، وهذه الصورة هي التي تساعدنا على تخيل مجرى الأحداث في الحقيقة[1].

النقطة الثالثة: معرفتنا للعالم المادي مصاغة في صيغ رياضية مجردة تبعدنا عن المألوف عن المادة وتقربنا من وجود ذهني، فالنظريات العلمية المعاصرة ليست سوى بناء نسق رياضي يحوي رموزا بينها علاقات تصاغ في معادلات رياضية، وينظر العلماء إلى هذه اللغة الرياضية على أنها مرشد لفهمنا للعالم لا لأنها تعبر عن حقيقته[2]، وإذا شئنا أن نعرف على وجه التحديد إلى أي درجة فسرت الفيزياء الذرية على أنها دعم للمذهب العقلي «الروحي»، فنعود إلى قول الفيلسوف الألماني المعاصر "**آلفيس فينزل**" إن « هذا العالم المادي، الذي تحدث فيه أحداث تلقائية وحرة... هذا العالم لا يمكن أن يكون عالما ميتا، وإذا شئنا أن نضع نصا بشأن جوهره فإننا نقول إن هذا العالم هو عالم أرواح أولية، والعلاقات التي تربط بين هذه الأرواح تحددها بعض القواعد المستقاة من العالم الأرواح. ويمكن أن تصاغ هذه القواعد صياغة رياضية. أو بعبارة أخرى، هذا

---

[1] – جيمس جينز، الفيزياء و الفلسفة، ص.ص 271 – 272.

[2] – محمود فهمي زيدان، مرجع سبق ذكره، ص 90.

العالم هو عالم أرواح سفلى، يمكن التعبير عن العلاقات المتبادلة بينهما بشكل رياضي. ونحن لا نعرف معنى هذا الشكل، ولكننا نعرف الشكل. ولا يمكن أن نعرف هذا ماذا يعنيه هذا الشكل جوهريا سوى الشكل نفسه أو الله »[1].

لقد ورد في كتاب "حدود العلم" The Limitation Of Science لمؤلفه: "**ج. و. ن سوليفان**" بأن فيزياء القرن العشرين قد أعادت إلى الكون دور الروح «العقل» الذي لفظه نمط فيزياء النيوتونية، فيؤكد "**سوليفان**" على أن فيزياء القرن العشرين لا تتحدث عن حقيقة مثلما تحدثت الفيزياء النيوتونية عن المادة والحركة. ويدعي "**سوليفان**" أننا في النسبية ونظرية الكوانتم «لا نحتاج إلى معرفة طبيعة الأشياء التي نناقشها ولكننا نحتاج فقط إلى معرفة بنيتها الرياضية، وهو في واقع الأمر ما نعرفه»[2].

فمهمة الفيزيائي تقوم على كشف أنماط الظواهر الطبيعية لكي يحاول بعدئذ مواءمتها مع مخططات (صيغ) رياضية بسيطة. أما السؤال: لماذا توجد أنماط الظواهر، ولماذا تكون مثل هذه الصيغ الرياضية ممكنة، فهذا خارج عن مجالات البحث الفيزيائي، لأنه يدخل في مجال الميتافيزياء[3]. ويقول "**فيجنر**" أيضا «إن ميكانيكا الكوانتم ليست مهمتها أن تصف واقعا ما بصرف النظر عما يعنيه هذا المصطلح، وإنما تقتصر فقط على تكوين روابط إحصائية بين الملاحظات المتتالية»[4].

قد رأينا أن تصورات العلماء عن الذرة والإلكترون والموجات والحوادث لا تشير إلى موجودات فيزيائية تقبل الإدراك الحسي ولكن تعبر عنها بصيغ رياضية بحتة تبلغ حدا بعيدا في التجريد.

---

[1] – فيليب فرانك، مرجع سبق ذكره، ص 290.

[2] – المرجع السابق نفسه، ص.ص 293 – 294.

[3] – بول ديفس، الله والعقل والكون، ترجمة سعد الدين خرفان، وائل بشير الأتاسي، دار علاء الدين للنشر والتوزيع والترجمة، دمشق 2005، الطبعة الرابعة، ص 27.

[4] – سام تريمان، من الذرة إلى الكوارك، ترجمة أحمد فؤاد باشا، عالم المعرفة، عدد 327، الكويت 2006، ص259.

إن هذا التفسير المثالي لوجود العالم تفسير فلسفي مقبول له وجاهته، لكنه ليس التفسير الفلسفي الممكن الوحيد، فقد نقول إن تلك التصورات العلمية التي يبتكرها العلماء ليست تصورات عشوائية أو تصورات تمليها طبيعة العقل الإنساني، وإنما هي تصورات مقترحة وتبين فائدتها وثبت أن لها تدعيمها تجريبيا فأصبحت وسيلة للوصول إلى تصور عن العالم على حقيقته، ومن الممكن تعديلها أو تطويرها وتفسيرها في المستقبل.

3.IV- الفيزياء وحرية الإرادة

كثيرا ما تردد أن ميكانيكا الأجسام الذرية في القرن العشرين تقدم حلا للنزاع الذي كان قائما بين مذهب الميكانيكا النيوتونية. وطبقا لميكانيكا **نيوتن** يمكن حساب موضع كل جسيم مادي وسرعته إذا عرفت حالة حركته عند أي لحظة سابقة وعرفت القوة المؤثرة على كل الكتل، من معادلات من نوع ق= ك x تع، حيث ك هي الكتلة، تع هي التسارع (العجلة)، ق هي القوة المؤثرة على الجسيم ذي الكتلة ك. ويمكن حل هذه المعادلة إذا عرفت القوة ق. وقد بنيت كل فيزيائنا عمليا على فرض أن هناك ثلاثة أنواع فقط من القوى: وهي قوة التجاذب، والقوى الكهرومغناطيسية وأحدث القوى وهي القوة النووية.

وإذا تناولنا المعادلة ق= ك x تع بمعناها الفيزيائي البحت لا نستطيع أن نحل أي «قدرة روحية» أو «قدرة الإرادة» محل ق في المعادلة النيوتونية. وإذا أمكن حساب كل التحركات المنظورة دون اعتبار لقدرة الإرادة كمركبة للقوة ق، فإن الإرادة لا يمكن أن تؤثر على حركة الكتل المادية. وبما أن أي فعل يأتيه الإنسان يؤدي إلى نوع من تحرك الكتل، فإن قدرة الإرادة لا يمكن أن تحدث أي فعل، وذلك إذا كانت ميكانيكا **نيوتن** صحيحة بمعناها الفيزيائي الدقيق. ومع ذلك إذا افترضنا أن قدرة الإرادة يمكن أن تحل محل ق في المعادلة النيوتونية فلن يوجد تضارب بين ميكانيكا **نيوتن** والإرادة الحرة.

يرى "**برنارد بافنك**" أن القوانين التي تحكم انتقال الإلكترون من أحد المدارات حول نواة الهيدروجين إلى مدار آخر. وتحدد لنا قوانين ميكانيكا الكوانتم ما هي المدارات التي يمكن أن يتحرك فيها الإلكترون حول النواة، غير أنه إذا كان هناك إلكترون معين يدور حول النواة، فليس هناك قانون يحدد لنا تحديدا دقيقا، وفي كل لحظة، ما الذي سيفعله هذا الإلكترون في اللحظة التالية – هل سيقفز إلى مدار آخر أم لا يفعل؟ وتستطيع النظرية أن تحدد فقط متوسط عدد الإلكترونات التي تقفز في الثانية التالية، ولكنها لا تستطيع أن تحدد ما إذا كان إلكترون معين سوف يقفز أم لا. ففسر "**بافنك**" هذه الوضعية بقوله كالآتي: «يجب أن نتذكر أولا أن الفعل الأولي المفرد (القفزة) لا يمكن حسابه على هذا النحو، ولكنه يترك حرا، وأن نتذكر ثانيا أن الجوهر الحقيقي لهذه الحرية ربما كان حدثا فيزيائيا... وبعبارة أخرى، أن الاختيار الحر للفعل الأولي، والذي تحدده الفيزياء لا وجود له في الواقع إلا كجزء من خطة أو هيئة شاملة، أو هو جزء من مجموعة متسلسلة من الهيئات أو الأشكال، والشكل الأرقى يمتص الشكل المتخلف ليصنع منه تركيبا أعلى... والجديد في الأمر هو أن الفيزياء تقترح اختبار هذه الفكرة»[1].

"**بافنك**" يقارب سلوك الإلكترون بسلوك الكائن الحي الحر في اختيار ما يفعله في اللحظة التالية، وبالتالي ترسخ وجود الحرية في العالم الفيزيائي، فإن المرء يستخدم هذه الحقيقة لكي يصبح من المعقول أن تكون القرارات البشرية قرارات حرة. فمن المؤكد أن الإنسان لا يمكن أن يكون أقل تحررا من الشيء الفيزيائي غير الحي. وقد كان تبرير مذهب الإرادة الحرة بواسطة الفيزياء الذرية واحدا من الأسباب التي أعلن من أجلها مرارا أن الفيزياء قد صارت اليوم أكثر تآلفا مع الدين التقليدي كما كانت عليه لقرون مضت.

فالنصوص التي تناولت تقدم الفيزياء فهي تناولت التفسيرات الميتافيزيائية للنظريات الفيزيائية الأخيرة، فالفيزياء المعاصرة قد تعرضت لتفسير ميتافيزيائي، وطبقا لهذا التفسير يعتبر الإلكترون ناتجا عن قوى روحية عقلية كما أنه في قفزه

[1] – فيليب فرانك، مرجع سبق ذكره، ص 292.

من مدار إلى مدار إنما يمارس عملا من أعمال الإرادة الحرة. ومن ثم علينا أن نتساءل عما إذا كانت الميكانيكا النيوتونية لا تستطيع أن يكون لها تفسير ميتافيزيائي يرخص بإدخال القوى الروحية والإرادة الحرة إلى الفيزياء. وبما أن كل هذه التفسيرات هي في الأساس عرض لتماثلات من الفطرة السليمة للنظريات الفيزيائية فيمكننا فقط أن نتساءل عما إذا كان من الأقرب إلى الطبيعة أو إلى الفطرة السليمة أن تفسر ميكانيكا الكوانتم بواسطة القوى الروحية (العقلية) وألا نفعل ذلك بالميكانيكا النيوتونية.

هذه الأفكار الجذرية التي تنطوي عليها نظرية الكوانتم حول طبيعة الحقيقة قد أثارت الكثير من الجدل على مدار عدة عقود من الزمن. فبينما لا يوجد أدنى شك في النجاح الكبير الذي أصابته النظرية على الصعيد العملي والتطبيقي، تبقى مضامينها على صعيد نظرية المعرفة الميتافيزيائية، مثار قلق مستديم إن هذه الأفكار والتفسيرات تعود أصلا إلى"**بور**" إلا أن "**آينشتاين**" يرى أن نظرية الكوانتم ناقصة لأنها تحتوي على أفكار وتفسيرات خادعة أو عديمة المعنى، لأنه لم يستطيع أن يقبل أن فوتونا ومقطبا (المرآة التي ينفذ منها الفوتون) بعيدين يمكن أن يتأثرا بسلوك فوتون ومقطب قريبين. إذ كيف يمكن للمقطب البعيد أن يعرف ما إذا كان عليه أن يقبل فوتونا أو يرفضه إذا لم تكن هناك إشارة ترد من المقطب الأول تدل على ذلك، فتخرق بالتالي نظرية "**آينشتاين**" نفسه بسبب تحركها بسرعة تزيد عن سرعة الضوء؟

الفصل الثالث
النظرية الوترية

المبحث الأول : الحاجة إلى نظرية جديدة

المبحث الثاني : ما قبل الأوتار

المبحث الثالث : أساسيات نظرية الأوتار الفائقة

المبحث الرابع : نظرية الأوتار و نسيج الزمكان

المبحث الخامس: ما بعد الأوتار في البحث عن نظرية-M

المبحث السادس: هل نظرية الأوتار نظرية فلسفية؟

I- الحاجة إلى نظرية جديدة

تبدو ميكانيكا الكوانتم غريبة الأطوار، وأكثر غرابة أنها لا تزال حتى اليوم، بعد انقضاء عقود عديدة على تأسيسها، مستمرة في غرابتها ظاهريا حتى بالنسبة لأصحاب المهنة من العلميين الذين يتعاملون مع الموضوع يوميا، والذين يقرؤون ويعملون بثقة في إطارها. وتظهر دهشتهم على المستوى الفلسفي أكثر كثيرا مما تظهر على المستوى العلمي، حيث تثار أسئلة فلسفية عميقة.

إن فكرة المتغير الخفي هي أن ميكانيكا الكوانتم غير مكتملة، وأن الواقع الكلاسيكي يسود على مستوى أعمق متعذر بلوغه حاليا. ولسوف تظهر فيزياء جديدة إذا استطعنا توضيح تلك المتغيرات عن طريق الملاحظة. حقيقة سوف يكون ذلك مثيرا. هناك وجهة نظر بديلة في اتجاه معاكس للمتغيرات الخفية، وهي بكلمات "**فيجنر**": «إن ميكانيكا الكوانتم ليست مهمتها أن تصف واقعا ما، بصرف النظر عما يعنيه المصطلح، وإنما تقتصر فقط على تكوين روابط إحصائية بين الملاحظات المتتالية»[1].

1.I- أساسيات دنيا الجسيمات دون الذرية

إن عدد الجسيمات دون الذرية المعروفة يبلغ المئات، فالإلكترون والبروتون والنترون ليست سوى ثلاثة أفراد من ذلك الحشد الجسيمي. أما الأخريات فقد تم اكتشافها في الأشعة الكونية أو تصنيعها في المسرعات الجسيمية من خلال تصادمات عنيفة من جسيمات عالية الطاقة جدا، وهي كلها ربا ثناء حفنة منها، قلقة جدا وتتفكك، في جزء زهيد من الثانية الزمنية إلى جسيمات أخرى. وكل من الجسيمات لها جسيم مضاد، الذين يختلفان في الشحنة الكهربائية إحداهما سالبة والأخرى موجبة.

---

[1] – هينز باجلز، رموز الكون، ترجمة محمد عبد الله البيومي، ، الدار الدولية للنشر، القاهرة، 1989، الطبعة الثانية، ص 251.

للجسيمات دون الذرية ميزة أساسية هامة تتمثل في عزم الدوران أو الحركة المغزلية والتي تسمى سبين Spin*. فهذا السبين خاصية ميكانيكية كوانتية لا شبيه لها في الميكانيك غير الكوانتي. يأخذ سبين الجسيم دوما قيما هي أضعاف صحيحة (غير كسرية) من وحدةقيمتها $\frac{1}{2}$ $\frac{ث}{\pi 2}$، (حيث ثا: ثابت بلانك و πتساوي 3,14). فمثلا سبين الإلكترون يساوي $\frac{1}{2}$، وسبين الفوتون يساوي 1[1]، وهكذا.

I.1.1- الهدرونات

وهي مادة جديدة على شكل جسيمات اكتشفها الفيزيائيين، وهي المسؤولة حقا عن القوى النووية، ولقد كان تكاثر الهدرونات Hadrons اكتشافا لم يخطر على البال، فلم يكن هناك من ظن أنه من الممكن وجود جسيمات جديدة كثيرة بهذا القدر، ولم يدري أحد ما كان يعنيه كل ذلك، فمن الواضح أن هذه الجسيمات الجديدة (الهدرونات) تمثل مستوى جديدا للمادة، فيؤكد معظم الفيزيائيين على أنها أشياء مركبة تتكون من جسيمات أساسية بدرجة أعلى تسمى «الكواركات» Quarks** – والتي سنراها لاحقا – ولكن كيف حدث هذا التحول في النظرة؟

في أوائل الستينات اكتشف "**موري جيل مان**" أن الهدرونات تنظم نفسها في عائلات أو فئات، وسميت قاعدة التنظيم هذه بـــ «طريق الثماني»*** وهي مبنية على أساس تماثل رياضي. فالهدرونات مكونة فعلا من جسيمات جديدة أصغر من «الكواركات» وتحتاج منها

---

*– كلمة Spin تعني في العربية التدويم أو اللف أو الفتل، أي دوران الشيء على نفسه.

[1] – بول ديفس، جوليان براون، الأوتار الفائقة، نظرية كل شيء؟ ترجمة أدهم السمان، الطبعة اولى، دار طلاس للدراسات والترجمة والنشر، دمشق، 1993، ص 27 – 28.

**– كلمة كوارك Quark كلمة ألمانية تنطق بـــ كفارك، ونظرا لإستعمالها الشائع بالإنجليزية فضلنا أن يكون نطقها كوارك، وهي مأخوذة من بيت شعري من قصيدة قريبة من الخيال «ثلاث كواركات لسيد مارك Mark» للشاعر جيمس جويس James Joyce وهي كلمة ألمانية تطلق على خثارة اللبن التي يصنع منها الجبن الأبيض، وإكتشفه الفيزيائي الأمريكي موري جيل مان Murray Gell-Mann.

***– ان طريق الثماني، مأخوذ من حكمة مأثورة منسوبة إلى بوذا هي: والآن أيها النساك هذه هي الحقيقة الرفيعة التي تؤدي إلى إنقطاع الألم، إنها "الطريق الثماني" الذي هو: الآراء السليمة الحسنة والقول الطيب والفعل الصالح والحياة القويمة والجهد المناسب واليقظة الملائمة والتركيز لسليم.

لثلاثة فقط لتكوين الهدرونات جميعا. فيمكن أن يعتبر كل هدرون مكونا من بضعة كواركات تدور حول بعضها البعض في تشكيل محدد. وحيث أنه يمكن للكواركات أن تدور في عدد لانهائي من التشكيلات المختلفة، فإنه يوجد عدد لانهائي من الهدرونات. وقد اخترع الفيزيائيون النظريون نموذج الكوارك Quark من أجل تبسيط تعقيد الهدرونات. ولكن لم يرى أحد الكوارك حتى الآن[1]. وهنا تصبح المشكلة الرئيسية هي: أين هذه الكواركات وكيف يمكن إثبات نموذج الكوارك تجريبيا؟

I.2.1- الكواركات

إن الهدرونات مكونة من الكواركات. هذا هو حل لغز الهدرونات، ولكن ما هي الكواركات؟ الكواركات هي جسيمات كمية نقطية للإلكترونات ولها نفس سبين الإلكترون الذي يساوي $\frac{1}{2}$، ولكن شحنتها الكهربائية كسرية بالمقارنة بالشحنة الإلكترونية التي تساوي واحد، ولم يرى الكوارك بعكس الإلكترون، ولم يكن دخول الكوارك في الفيزياء الحديثة بوصفها اكتشاف تجريبي رائع بل كانت حيلة رياضية احتال بها الفيزيائيون النظريون[2].

يمكن ترتيب كل الجسيمات المعروفة للمادة في ثلاثة أجيال كما هو موضح في الجدول رقم (3-1)- والتي نراها فيما بعد بالتفصيل.

الجيل الأول يبنيان الكواركات البروتونات والنيترونات وتكون مستقرة عموما، وتصنع منها المادة العادية للعالم الذي نراه مثل الشمس والنجوم. الجيل الثاني يحتوي على الميون والنيوترينو، وهي جسيمات غير مستقرة سرعان ما تتفكك إلى جسيمات من الجيل الأول، وبعدها يا للمفاجأة فإن الطبيعة تفعلها مرة أخرى وتعطينا نسخة أخرى أيضا لهذا النمط المشكل في الجيل الثالث[3].

---

[1] – هينز باجلز، مرجع سبق ذكره، ص. ص 255 – 256.

[2] – المرجع السابق نفسه، ص 256.

[3] – بول ديفس، الله والعقل والكون، ترجمة سعد الدين خرفان، وائل بشير الأتاسي، دار علاء الدين للنشر والتوزيع والترجمة، دمشق، 2005، الطبعة الرابعة، ص 224.

	لبتونات	كواركات
الجيل الأول	إلكترون نيوترينو إلكتروني	أسفل أعلى
الجيل الثاني	ميون نيوترينو ميوني	غريب مسحور
الجيل الثالث	تاو نيوترينو تاوي	قعر قمة

الجدول رقم (3-1)

الفكرة الأساسية للكواركات هي أن جميع الهدرونات يمكن أن يتكون من ثلاثة كواركات كوارك علوي up وسفلي down وكوارك غريب strange، ومن أقرانها ضديدات الكوارك الثلاثة (أي صورة المادة الضديدة للكواركات بالشحنة الكهربائية المضادة). والصفات علوي وسفلي وغريب مذاقات للكواركات، وهذا استعمال غريب للفظ مذاق[1]. فعندما تتحد ثلاث كواركات تعطينا باريون Baryon الذي سبينه يساوي $\frac{1}{2}$ أو $\frac{3}{2}$، وأما عندما تتحد الكواركات مع أحد أضداد الكوارك تعطينا ميزون Mison والذي سبينه يساوي صفر أو 1 أو 2 أو ما إلى ذلك[2]. هل الكواركات هي نهاية الطريق؟ أم أنها ذاتها مكونة من أشياء أساسية بدرجة أعظم، وإذا كانت الكواركات تبدو محصورة بصفة دائمة في داخل الهدرونات فهل هناك معنى للحديث عن تركيب هذه الكواركات ذاتها؟ كما قال "**شلدون جلاشو**": «إذا كان هذا التفسير، حصر الكواركات، صحيحا فإنه يوحي بطريقة بارعة بوضع نهاية النكوص اللانهائي ظاهريا لبنية المادة المتزايدة الدقة. فالذرات يمكن تحليلها إلى إلكترونات ونوى، والنوى إلى بروتونات ونيترونات، وكلاهما إلى كواركات»[3] .

---

[1] – Daniell Husson, Les Quarks, In: La recherche, société d'études scientifiques Paris, N°= 340 Mars, 2001, P.P. 62-64.

[2] – هينز باجلز، مرجع سبق ذكره، ص 285.

[3] – المرجع السابق نفسه، ص.ص 298 – 299.

3.1.I – اللبتونات

كلمة Lepton كلمة يونانية تعني خفيف، أو رشيق. للذرة مكونين رئيسيين هما النواة وسرب من الإلكترونات يحيط بها، ولكن ماذا تعرف عن هذه الإلكترونات؟ وأين تقع في النظام؟ يعلم الفيزيائيون الآن أن الإلكترون هو أول عضو في فئة جديدة من الجسيمات المتساوية السبين، وسبينها يساوي $\frac{1}{2}$، وتعرف جميعا باسم لبتونات Leptons. واللبتونات الأخرى هي النيوترينو Neutrino المراوغ والميون Muon والتاو Tau.

تتفاعل الهدرونات بعضها مع البعض تفاعلات قوية جدا، وهذا بعكس القوى الشديدة التي تتماسك بها الكواركات داخلها، بينما تفاعلات اللبتونات ضعيفة نسبيا، ولكن للبتونات أن توجد حقا في الحالة الحرة، وهي في ذلك على نقيض الكواركات التي تشبهها في أوجه كثيرة. وعلى سبيل المثال فإن الإلكترون يرتبط بالنواة بقوى كهرومغناطيسية ضعيفة، وهذه الطريقة يمكن تحريره بسهولة[1].

أولا– الإلكترون: الإلكترون Electron هو لبتون حقيقي وسريع الحركة وهو أخف الجسيمات المشحونة، يبدو كجسيم مستقر بصورة مطلقة، فإنه لا يستطيع أن يتحلل إلى جسيمات أخف لعدم وجود الجسيم الذي يمكنه أن يحمل عنه شحنته الكهربائية، الإلكترون له ضديد في الشحنة الكهربائية أي شحنة موجبة يسمى البوزيترون Positron[2].

ثانيا– الميون: اكتشف الميون Muon وهو اللبتون الثاني في عام 1937، والميونات هـــي المكون الرئيسي للأشعة الكونية عند سطح الأرض. الميون جسيم شبيـــه بالإلكترون فيما عدا أن كتله مائتي ضعف كتلة الإلكترون، أي أن الميون إلكترون بدين، وله شحنته الكهربائية سالبة (في حين أن ضديد الميون له شحنة موجبة)[3]، غير مستقر ويتفكك بعد 1– 2 ميكروثانية، مما أدى بدهشة الفيزيائي "**ايزيدور راباي**" للتساؤل لماذا هذا الميون؟ لما

---

[1] – هينز باجلز، مرجع سبق ذكره ، ص 302.

[2] – المرجع السابق نفسه، ص.ص 303 – 307.

[3] – المرجع السابق نفسه، ص.ص 307 – 308.

تحتاج الطبيعة إلى هذا النوع الذي يختفي فجأة؟ كيف يستخلف العالم إذا كان الميون ببساطة غير موجود؟[1]

ثالثا- النيوترينو: النيوترينو Neutrenio لبتون مراوغ حقا، فهو أخف في الوزن كثيرا من الإلكترون، وله تفاعلات ضعيفة للغاية مع بقية المادة. وهو يتولد غالبا في بقايا اضمحلال جسيمات أخرى. فعلى سبيل المثال يضمحل الميون إلى إلكترون ونيوترينو وضديد النيوترينو كما يوجد نيوترينو مصاحب للميون، يطلق عليهما نيوترينو الإلكترون ونيوترينو الميون[2].

رابعا- التاو: اكتشف التاو Tau عام 1977 وهو لبتون جديد له كتلة هائلة مقدارها 3500 قدر كتلة الإلكترون، ويمكنه الإضمحلال إلى عدد كبير من الجسيمات الأخف منه بالإضافة إلى النيوترينو المصاحب له(نيوترينو التاو)، والفرق الوحيد بين الإلكترون والميون والتاو هو على ما يبدو اختلاف كتلهم. فإذا كان الميون إلكترونا بدينا فإن التاو ميون بدينا أيضا[3].

خامسا- الجليونات: التفاعلات المعقدة بين الكواركات واللبتونات تحتاج إلى وساطة، ففي الحقيقة هي مجموعة محددة من الجسيمات الكمية تسمى الجليونات Gluons، فالجليونات تجعل الجسيمات الكمية تلتصق بعضها ببعض، فهي الغراء الذي يعمل على تماسك العالم. إن الكواركات واللبتونات والجليونات وتنظيمها موجودة جميعا في الكون. فهي المادة النهائية، المادة الخام التي ينبثق منها تعقد الوجود جميعه.

اكتشف الفيزيائيون أن هناك أربعة تفاعلات أساسية كمية فقط. هي بالترتيب التصاعدي لقوتها: التفاعل الجاذبي والتفاعل الضعيف المسؤول عن النشاط الإشعاعي والتفاعل الكهرومغناطيسي والتفاعل الرابط للكواركات. ويصاحب كلا من هذه التفاعلات الأربعة "جليون" Gluon ما وتتخذ "لاصقية" الجليون مقياسا لقوة التفاعل.

---

[1] - بول ديفس، الله والعقل والكون، ص 323.

[2] - هينز باجلز، مرجع سبق ذكره، ص.ص 309-310.

[3] - المرجع السابق نفسه، ص 313.

إن السمة الرائعة التي تتميز بها تفاعلات الجليونات الكمية هي أن قوة تفاعلها تتوقف على طاقة الجسيمات المتفاعلة. وأن الكواركات واللبتونات، التي تتفاعل بالطاقات المنخفضة نسبيا المتاحة في المعامل في الوقت الحاضر، تتعرض للتفاعلات الأربعة المختلفة السابقة الذكر. ولكن الاكتشاف المثير هو إيجاد الطاقة العالية الأعلى مما لدينا بكثير التي يمكن أن تصبح عندها قوى التفاعلات الأربعة (لاصقية الجليونات) متساوية، وتختفي الفوارق بينها، فقد تكون التفاعلات الأربعة حقا مظهر لتفاعل عام وحيد! وهذا الاحتمال هو أساس لنظرية المجال الموحد الذي طالما حلم به الفيزيائيون.

تركزت الأبحاث على أبسط ذرة الهيدروجين لاحتوائها على كميتين، البروتون والإلكترون، مرتبطين بمجال كهربائي وهو الفوتون Photon، بحيث يمكننا أن نعتبر الإلكترون والبروتون كلاعبي التنس يتقاذفان الكرة – الفوتون – ذهابا وجيئة بينهما. فتبادلهما الكرة يربط بينهما ويلعب الفوتون دور الغراء الذي يربط بين مكوني ذرة الهيدروجين. فالفوتون هو المثال الأول لفئة الجسيمات التي أطلق عليها الفيزيائيون اسم الجليونات[1].

لكل تفاعل من التفاعلات الأساسية الأربعة كمات(جرونات) مرتبطة به، فالجرون المرتبط بالتفاعل الكهرومغناطيسي هو الفوتون، وجليون التفاعل الجاذبي هو "الجرافيتون" Graviton، وتتوسط الجليونات الضعيفة في التفاعلات الضعيفة، وتمد الجليونات الملونة بقوى ربط الكواركات[2].

1- التفاعل الجاذبي (الجاذبية Gravité): يصف الفيزيائيين التفاعل الجاذبي بأنه تفاعل «طويل المدى» بمعنى أنه يمكن له أن يمتد مسافات عيانية طويلة. فالقمر يرتبط بالأرض بالتفاعل الجاذبي، فإن لكل مجال كمجال الجاذبية، جسيم كمي مرتبط به الجرافتون Graviton، وهو الجليون الذي يعمل على تماسك الكتل الكبيرة كالنجوم، فمثلا الأرض والقمر يتبادلان الجرافيتونات، وهذه التبادلات تشكل ما ندركه بحواسنا من مجال الجاذبية بين

[1] – هينز باجلز، مرجع سبق ذكره ص.ص 317 – 319.

[2] – المرجع السابق نفسه، ص 320.

هذين النجمين. فمجال الجاذبية هو أضعف تفاعلات الجسيمات الكمية [1]. الجرافيتون هو جسيم افتراضي لكوانتم الجذب، فهو يتفاعل ببطء مما يجعل وجوده غير ممكن عمليا، لأن موجات الجاذبية تم التنبؤ بها في النسبية العامة ولم تبرهن حتى الآن[2]. ولأن جسيم الجرافيتون عديم الكتلة والشحنة كالفوتون[3]، يبقى اكتشافه أحد تحديات الفيزياء الفلكية للقرن الحالي.

2- التفاعلات الكهرومغناطيسية: إن القوة الكهرومغناطيسية، طويلة المدى أيضا كالجاذبية عندما ينظر إليها في شكل مجالات كهربائية ومغناطيسية، ولكن التفاعلات الكهرومغناطيسية بين الجسيمات المشحونة أقوى ببلايين بلايين المرات من تفاعلات الجاذبية. وعلى حين أن مصدر الجاذبية هي الكتل، وهي كميات موجبة دائمة، نجد أن مصدر المجالات الكهربائية والمغناطيسية هو الجسيمات المشحونة كهربائيا المتحركة، وهذه الشحنات يمكن أن تكون موجبة وسالبة. فالقوى الكهرومغناطيسية يمكن أن تكون تجاذبية (بين الجسيمات المتضادة الشحنة) أو تنافرية (بين الجسيمات المتشابهة الشحنة)، وعلى نقيض الجاذبية فهو تجاذبي دائما، وهذه بعض الاختلافات بين التفاعل الكهرومغناطيسي والجاذبية. الجرونات المصاحبة للتفاعلات الكهرومغناطيسية تسمى بالفوتونات[4]- التي تأكد وجودها تجريبيا بطريق مباشر.

وهذه الجسيمات أي الفوتونات كما سبق وأن ذكرنا أنها عديمة الكتلة، وبأنها عبارة عن حزم من الموجات تتحرك بسرعة الضوء، ومعروف عند الفيزيائيين أن الجسيمات ذات الطاقة العالية تميل إلى سلك سلوك الموجات[5].

---

[1] – هينز باجلز، مرجع سبق ذكره، ص.ص 321 – 322.

[2] – جيلس كوهن، تانودجي، الثوابت لفيزيائية ودورها الكوني، ترجمة عبد اللطيف يوسف الصديقي، دار علاء الدين للنشر والتوزيع وللترجمة، دمشق 2006، الطبعة الأولى، ص 88.

[3] – محمد ممدوح الخطيب، بنية المادة بين الوجود والعدم، مؤسسة الرسالة، بيروت 1996، الطبعة الأولى، ص181.

[4] – هينز باجلز، مرجع سبق ذكره، ص.ص 322 –324.

[5] – محمد ممدوح الخطيب، مرجع سبق ذكره، ص 219.

3- التفاعل الضعيف: هو أضعف بكثير من التفاعل الكهرومغناطيسي، ومداه قصير جدا إلى درجة أنه لم يكن حتى الآن قياسه كبعد محدد. ولا يلعب التفاعل الضعيف أي دور في ترابط مكونات النواة معا، بل على العكس فمثلا يحدث في التفاعل النووي الذي يسمح للشمس بالالتهاب (الاحتراق)، والتي تم فهمها وتحديدها في القرن العشرين[1]. تبدو فعاليته مقتصرة على بعثرة الجسيمات دون الذرية وحتى تفككها. ومن الأسئلة على ذلك، ما يحصل للنترون Neutron عندما يتحرر من النواة ليصبح وحيدا، إذ بعد حوالي خمس عشرة دقيقة يتفجر النترون ليظهر في مكانه بروتون وإلكترون أو نوع آخر من الجسيمات دون الذرية، وهو ما يعرف بالنيوترينو[2].

افترض الفيزيائيون بوجود «جليونات ضعيفة» تقوم بدور الوسيط في التفاعل الضعيف (القوة النووية الضعيفة) مثله في ذلك مثل التفاعل الجاذبي والتفاعلات الكهرومغناطيسية، وهذه الجليونات على نقيض الفوتون والجرافيتون، كبيرة الكتلة للغاية، حتى أنه لا يوجد معجل الآن يعطي الطاقة اللازمة لتوليدها[3]. هذه الجسيمات تسمى بوزونات* قياسية ضعيفة Bousons Jauge Faible، ويسمى أيضا بوزون ضعيف Z,W تم اكتشافهما في سنة 1984[4]، بوزون ذو كتلة كبيرة نسبيا، فهو أكبر كتلة من البروتون، ولكن عمره قصير لا يتجاوز 10^{-17} ثا[5] -التفاعل الضعيف هو المسؤول عن التفتت الإشعاعي لمواد مثل اليورانيوم و الكوبلت.

الهدرون مكون من الكواركات المختلفة المذقات العلوي Up والسفلي Down والغريب Strange والمسحور (المفتون) Charme والقاعي Beauté والقمي Top، وما

---

[1] – Lisa Randall, L'équation ultime pour la physique, Trad. en Français par Mukiel Valenta, In: La Recherche, N°= 390 Octobre 2005, P 43.

[2] – بول ديفس، العوالم الأخرى، ص 165.

[3] – هينز باجلز، مرجع سبق ذكره، ص 326.

*– سميت بالبوزونات نسبة إلى الفيزيائي الهندي ساتيندرا بوز.

[4] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص 25.

[5] – محمد ممدوح الخطيب، مرجع سبق ذكره، ص 181.

تفعله البوزونات الضعيفة هو تغيير مذاق كواركات، وهذه هي الطريقة التي يمكنها بها جعل الهدرونات تتفتت[1].

4- التفاعل القوي: أقوى تفاعل هو تفاعل الكواركات، فالكواركات ترتبط ببعضها البعض بواسطة مجموعة جديدة من الجليونات الفائقة اللاصقية بدرجة أن هذه الكواركات لا يمكنها أن تنفصل أبدا، فهي تعتبر المكون المكروسكوبي في الغراء القوي الذي يمسك الأنوية الذرية بعضها مع بعض [2].

2.I- نظرية مجال الكوانتم

خلال حقبة الثلاثينيات والأربعينيات من القرن العشرين، ناضل الفيزيائيون النظريون – "**بول ديراك**"، "**باولي**"، "**ديسون**" و "**فينمان**" – بلا هوادة ليكتشفوا صياغة رياضية قادرة على التعامل مع هذا الجموح المجهري، وقد وجدوا أن معادلة موجة الكوانتم "**لشرودنجر**" في الواقع لم تكن إلا وصفا تقريبيا للفيزياء المجهرية، لكنها تفشل بالتأكيد إذا حاول الفيزيائيون ذلك.

والجزء المركزي في الفيزياء الذي أهمله "**شرودنجر**" في صياغته لميكانيكا الكوانتم هو النسبية الخاصة. وفي الواقع حاول "**شرودنجر**" أن يضمن النسبية الخاصة في النهاية، إلا أن معادلة الكوانتم الناتجة من ذلك، كانت تعطي تنبؤات ثبت أنها متناقضة مع القياسات التجريبية للهيدروجين. وقد ألهم ذلك "**شرودنجر**" أن يتناول الأمور بالتقليد الذي يقدس فعل الزمن في الفيزياء، فيتناول قسما فقسما للتغلب عليها، تتضمن كل معرفتنا من العالم الفيزيائي من أجل وضع نظرية جديدة. فوجد "**شرودنجر**" إطارا رياضيا يشتمل على ثنائية الموجة والجسيمة المكتشفة تجريبيا، لكنه تضمن النسبية في هذه المرحلة المبكرة من عمله. وسرعان ما أدرك علماء الفيزياء أن النسبية الخاصة بمثابة المركز للإطار السليم لميكانيكا الكوانتم. ويرجع ذلك إلى أن الغرابة المجهرية تتطلب أن الطاقة يمكن أن تتخذ أشكالا مختلفة- وهي

---

[1] – هينز باجلز، مرجع سبق ذكره، ص 327.

[2] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص 25.

مفهوم يأتي من النسبية الخاصة. وبإهمال النسبية الخاصة فإن منطلق "**شرودنجر**" قد أهمل قابلية التحول للمادة والطاقة والحركة[1].

وقد ركز علماء الفيزياء جهودهم الأولى لفتح الطريق أمام مزج النسبية الخاصة بمفاهيم كوانتم وذلك تطبيقا على القوى الكهرومغناطيسية وتداخلها مع المادة. ومن خلال سلسلة من التطورات الملهمة وضعوا علم الكهرباء الديناميكية الكوانتية. ومن مثال على ما أصبح يسمى فيما بعد بنظرية مجال كوانتم النسبي أو بنظرية مجال الكوانتم اختصارا. وهي كمية لأنها تتضمن كل الأمور المختلفة وغير المؤكدة منذ لحظة البداية، وهي نظرية مجال لأنها تمزج مبادئ الكوانتم في المفاهيم الكلاسيكية السابقة عن مجال القوة – وهي في هذه الحالة مجال ماكسويل الكهرومغناطيسي– وفي النهاية هي نسبية لأنها تتضمن كذلك النسبية الخاصة من البداية.

وقد ألهم النجاح الذي حققه "الإلكتروديناميك الكوانتية" علماء الفيزياء الآخرين خلال عقدي الستينيات والسبعينيات من القرن العشرين أن يحاولوا تطوير منطلق مشابه لفهم القوى الضعيفة والقوية والجاذبية من وجهة نظر ميكانيك الكوانتم. وقد ثبت أن هذه الطريقة مثمرة جدا بالنسبة إلى القوى الضعيفة والقوية. وكما في حالة "الإلكتروديناميك الكوانتية" Electro– dynamique Quantique، فإن علماء الفيزياء تمكنوا من وضع نظرية مجال الكوانتم للقوى القوية والضعيفة، أطلق عليها اسم "الكروموديناميكا الكوانتية" Chromodynamique Quantique و"نظرية الكهربائية الضعيفة الكوانتية" Théorie Electrofaible. Quantique والاسم "الكروموديناميكا الكوانتية" أكثر بهجة عن الاسم الأكثر المنطقية "الديناميكا القوية الكوانتية"، غير أن ذلك مجرد اسم من دون أي معنى عميق.

ومن خلال الأعمال التي أكسبت "**شلدون جلاشو**" و **محمد عبد السلام** و"**ستيفن واينبرج**" جائزة نوبل، بينوا أن القوى الضعيفة والكهرومغناطيسية متحدة طبيعيا عن طريق وضعهم النظري بالمجال الكوانتي، على الرغم من أن الصورة التي تظهر عليها تبدو متمايزة في العالم حولنا. وفي النهاية فإن مجالات القوى الضعيفة تتضاءل شدتها على جميع

[1] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص 143.

المستويات ماعدا المستوى تحت الذري، بينما للمجالات الكهرومغناطيسية – الضوء المرئي وإشارات الراديو والتلفزيون والأشعة السينية– تواجد ماكروسكوبي لا يقبل الجدل. غير أن "**جلاشو**" و**عبد السلام** و"**واينبرج**" قد بينوا في الواقع أنه عند طاقة ودرجة حرارة مرتفعتين بما فيه الكفاية – كما كان عليه الوضع في أول جزء من الثانية بعد الانفجار العظيم Big Bang – فإن مجالات الكهرومغناطيسية والقوة الضعيفة تذوب بعضها في بعض لتصبح ذات خواص واحدة لا تمييز بينها، ويطلق عليها بصورة أكثر دقة "المجالات الكهربائية الضعيفة"[1].

وهكذا، وللتاريخ فإنه بحلول السبعينات من القرن العشرين تم تطوير توصيف معقول وناجح من وجهة نظر مكانيكا الكوانتم لثلاث من القوى الأربع (القوية والضعيفة والكهرومغناطيسية).

3.I- النسبية العامة لمواجهة ميكانيكا الكوانتم

1.3.I- موقف بول ديراك

يرى "**بول ديراك**" صاحب نظرية الكوانتم الجديدة أن مجموعتي الأفكار المنفصلتين، نظرية الكوانتم الحديثة ونظرية النسبية كانتا صحيحتين. ولكن المشكلة كانت الجمع بين مجموعتي الأفكار هاتين واستنباط نظرية كوانتية خاضعة لمبدأ النسبية[2]، فالمزج بين نظرية كوانتم ونظرية النسبية الخاصة أدى إلى فتح الباب على مصراعيه لإمكانيات جديدة لم تكن متطورة من قبل. وحتى ذلك الوقت بقيت معادلة "**شرودنجر**" التي استخدمها فيزيائيون لوصف أمواج المادة غير متوافقة رياضيا مع مبادئ النسبية الخاصة، وهذا ما دفع "**ديراك**" إلى محاولة وضع صيغة بديلة تحقق التوافق المنشود لكنه وجد أنه لا يمكن الحصول على الصيغة المرضية باستخدام الوسائل الرياضية المتاحة آنذاك. ولذلك كان عليه أن يخترع مقدارا جديدا

---

[1] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص.ص 144 – 145.

[2] – هينز باجلز، مرجع سبق ذكره، ص 304.

أسماه سبينا Spin – الذي سبق أن شرحناه – أمكن معادلته الجديدة من حيازة نوع من التناظر الموجود أصلا في صلب النسبية الخاصة. في كثير من التطبيقات، لا تختلف نتائج استخدام معادلة "**ديراك**" عن النتائج السابقة لها إلا بشكل طفيف، إلا أن وضع هذه المعادلة أدى إلى ظهور سمتين أساسيتين وجوهريتين لا تقلان في غرابتهما عن غرابة ظواهر عالم الكوانتم الأخرى كافة.

السمة الأولى كانت تخص تصرف الجسيمات لدى تدويرها، تبعا لقوانين الكوانتم، هناك تنبؤات (احتمالية) محددة حول تصرفات الأجسام أثناء حركتها على مسارات منحنية أو دائرية، وقد وجد "**ديراك**" أن تماسك تلك القوانين يستدعي بالضرورة أن يدور الجسيم على نفسه على نحو ما. إن حركة الإلكترون حول النواة تشابه حركة دوران الأرض حول الشمس وحول محورها، إلا أن حركة دوران الإلكترون حول نفسه خاصته متميزة ومحيرة لا تظهر في دوران الأرض حول نفسها. تصور كرة تدور حول محورها الشاقولي باتجاه عقارب الساعة، وافترض أننا قلبنا محور الدوران رأسا على عقب. طبعا ستستمر الكرة بالدوران حول المحور نفسه لكنه بعكس اتجاه عقارب الساعة. إذا قلبنا الكرة مرة أخرى بحيث تعود إلى وضعها الأصلي فإنها ستعود إلى حالتها الأولى، وسيصبح الدوران باتجاه عقارب الساعة ثانية، بينما الأمر عند ذلك في الأجسام الصغيرة كالإلكترونات، فالإلكترون لا يعود إلى خاصته الأولى بعد تدويره حول محور عمودي على محور تدويره دورة كاملة، كما في مثال الكرة السابق، بل يحتاج إلى دورتين كاملتين. إن أصل هذه الطبقة المزدوجة للإلكترون يخص سلوك الموجة المقترنة به عند التدوير، إذ يعد تدويره دورة كاملة تتبادل قمم وقاع موجاته مواضيعها، ولا تعود إلى حالتها الأصلية إلا بعد دورة كاملة ثانية. كل هذا يدل على أن حركة التدوير (المغزلية) للجسيم دون الذري تختلف فعلا عن الصورة الذهنية البسيطة لدوران الكرة [1].

السمة الثانية أن معادلته – "**ديراك**" – لها حلول، فافترض أن كل حل من حلول المعادلة يمثل وصفا لحالة فيزيائية ما. فمثلا لو تم استخدام المعادلة

[1] – بول ديفس، العوالم الأخرى، ص.ص 94 – 95.

لاستقصاء حركة الإلكترون في مداره حول ذرة الهيدروجين، فإن كل حل لها يجب أن يطابق حالة ممكنة معينة من حالات الحركة. لكن معادلة "**ديراك**" كما كان متوقعا، تقبل عددا لانهائيا من الحلول واحد لكل سوية من سويات طاقة الذرة، وفوق ذلك الحركات الإلكترونات عالية الطاقة التي تتحول بحرية تامة بعيدا عن أثر جذب نواة الهيدروجين لها. لكن الأمر المقلق في اكتشاف حلول ليس لها ما يقابلها في الواقع الفيزيائي، وقد بدت هذه الحلول عديمة المعنى للوصلة الأولى. لقد وجد أن مقابل كل حل يصف إلكترونا ذا طاقة معينة، يوجد حل آخر، كأنه خيال للحل الأول في مرآة تصف إلكترونا آخر ذا طاقة مساوية لكن سالبة [1].

فمعادلة "**ديراك**" تنبأت بوجود نوع جديد من المادة لم يعرف من قبل، فهي تصف جسيما جديدا له شحنة كهربائية موجبة – أي شحنة مضادة لشحنة الإلكترون. وقد اعتقد "**ديراك**" في بادئ الأمر أن الجسيم المتوافق مع هذا الحل الجديد يجب أن يكون بروتون، وهو الجسيم الموجب الوحيد المعروف في ذلك الوقت [2]. ولكن الأمر الذي يجعلنا نعود إلى المشاكل القديمة التي تقتضي بالبحث عن السبب الذي يحمي الذرة من الانهيار. الأكثر من ذلك، فإنه لا يوجد حد لعدد الحالات الديراكية سالبة الطاقة، الأمر الذي يهدد كامل المادة في الكون بالانزلاق نحو هاوية لا قرار لها في وسط يعج بكميات لا متناهية من أشعة "جاما" Gama[3].

I.2.3- موقف باولي فولفجانج

بعدما اقترح "**ديراك**" الفكرة التالية: لماذا لا يكون عدم انهيار المادة العادية في الهاوية التي لا قرار لها ناتجا عن كون سويات الطاقة السالبة كافة محتلة أصلا من قبل جسيمات أخرى؟ فجاء اكتشاف التعليل لهذه الفكرة على يد الفيزيائي الألماني "**باولي فولفجانج**" عام 1925، حيث كان يدرس خواص الجسيمات الدوامة

---

[1] – بول ديفس، العوالم الأخرى، ص 95.

[2] – هينز باجلز، مرجع سبق ذكره، ص 304.

[3] – بول ديفس، العوالم الأخرى ، ص 96.

(ذات السبين)، لا إفراديا بل مجتمعة. إن الطبيعة الازدواجية في السبين ذات صلة وثيقة بأسلوب استجابة جسيمين أو أكثر للتقارب فيما بينهما. فكنتيجة للخواص الموجية يتحمس كل إلكترون وجود الآخر إلى جواره، لا بفضل القوة الكهربائية بينهما، بل بسبب تداخل قمم وقاع كل موجة مع نظيراتها في الموجة الأخرى. إن دراسة هذا المفعول رياضيا تبين وجود نوع من التنافر يحول دون أن يحتل أكثر من إلكترون واحد حالة كوانتية واحدة. وعلى وجه التقريب، لا يمكن لإلكترونين أن ينحشرا في بوتقة واحدة جد متجاورتين: فكأن لكل إلكترون مقاطعته التي لا يسمح لغيره بغزوها [1].

يتضمن مبدأ "**باولي**" مبدأ الانتفاء (أو عدم التعدي) أنه إذا كانت الذرة ذاتها التي قد تحتوي على عشرات الإلكترونات الموجودة على مدارات حول نواتها، فللوهلة الأولى يبدو أن الإلكترونات كافة يجب أن تنزلق إلى أخفض سوية طاقية ممكنة،... ولو تيسر لها ذلك، لاختلطت الإلكترونات معا بشكل عشوائي ولا أصبح من الصعب تصور وجود رباط كميائي مستقر يضمن ترابط الذرات معا لتشكيل جزيئات المواد الكيميائية المختلفة. لكن هذا لا يحدث، بل تنتظم الإلكترونات حول النواة في مدارات تغلق بعضها بعضا، حيث يمنع الإلكترون في المدار الخارجي من النزول إلى المدار الداخلي وذلك بما ينسجم مع مبدأ الانتفاء، ولولا هذه الخاصية لانكمشت جميع الذرات الثقيلة إلى حطام[2].

نعود مرة أخرى إلى مشكلة حالات الطاقة السالبة التي تنبأ بها "**ديراك**" في معادلته، ولننظر كيف أن مبدأ "**باولي**" يقدم الحل لذلك اللغز المحير: فكما أن الإلكترون لا يستطيع النزول إلى سوية طاقة أخفض يحتلها إلكترون آخر، فإن الإلكترون الموجود في أخفض سوية طاقية موجبة لا يستطيع النزول إلى سوية طاقة سالبة، وبالتالي إلى الهوية التي لا قرار لها، إذا كانت سويات الطاقة السالبة جميعا ممتلئة بالإلكترونات. إنها فكرة بسيطة ورائعة، إلا أن فيها عيبا واضحا، إذ

---

[1] – بول ديفس، العوالم الأخرى، ص 96.

[2] – المرجع السابق نفسه، ص 97.

أين هي تلك الإلكترونات (ومعها الجسيمات) ذات الطاقة السالبة التي تملأ هذه الهاوية؟ الأكثر من هذا وبما أن الهاوية بلا قرار، فإنه يجب أن يكون هناك عدد لانهائي من الجسيمات لملئاها، ويأتي جواب "**ديراك**"، الذي يبدو للوهلة الأولى مجرد خدعة، ليقول أن هذا العدد اللانهائي من الجسيمات ليس محسوسا لنا، وأن ما نظنه عادة خلاء، مطلقا ليس خلاء على الإطلاق، بل هو مليء ببحر لامتناه من مادة ذات طاقة سالبة لا نشعر بها.

تنبأت معادلة "**ديراك**" بوجود جنس جديد كليا من المادة، تعرف اليوم بالمادة المضادة. ففي عام 1932 اكتشف الفيزيائي الأمريكي "**كارل أندرسون**" الإلكترون المضاد – البوزيترون Positron والذي شحنته موجبة – وسط وابل من الجسيمات الذرية الواردة ضمن الأشعة الكونية من الفضاء الخارجي، فالمادة المضادة – الضبابية في بعض المراجع – لا تعيش طويلا، ذلك لأن الفجوة في بحر الطاقة السالبة تمثل مكانا مريحا يسعى إليه كل جسيم ذي طاقة موجبة – شحنة كهربائية سالبة – فلدى تلاقي إلكترون عادي مع مثل هذه الفجوة يقوم باحتلالها مباشرة ليختفي كليا من الكون تاركا مكانه مقدارا من أشعة "جاما" Gama يساوي الفرق بين طاقته الأصلية وطاقة الفجوة التي احتلها. إن هذه الحادثة هي العملية المعاكسة لخلق زوجي الجسيم (إلكترون) والجسيم المضاد (بوزيترون)، ونرى عادة لدى تصادم إلكترون مع بوزيترون وما يتبعه من فنائهما المشترك وإصدار لأشعة "جاما". وهكذا، عندما تلتقي المادة مادتها المضادة، تختفيان معا في تفان انفجاري لا مناص منه [1].

على الرغم من النجاح الذي لاقته نظرية "**ديراك**" حول البحر اللامتناهي من جسيمات الطاقة السالبة، إلا أنها بقيت كنموذج افتراضي يحتاج إلى معالجة رياضية أعمق لتستطيع تقديم تفسير شامل لنشوء المادة واختفائها.

[1] – بول ديفس، العوالم الأخرى، ص.ص 98 – 100.

I.3.3- الجمع بين النسبية العامة وميكانيكا الكوانتم

يجري استخدام النسبية العامة في الحياة العادية في المسافات الفلكية الهائلة وبالنسبة إلى مسافات هذا الشكل فإن نظرية "**آينشتاين**" تعني أن غياب الكتلة معناه تسطح الفضاء، وللربط بين النسبية العامة وميكانيكا الكوانتم لابد من الفيزيائيين من تغيير اهتمامهم بشكل حاد واختبار الخواص المجهرية المكروسكوبية للمكان... وبتكبير مناطق صغيرة جدا في نسيج الفضاء، حتى يصل إلى مقاييس صغيرة الطول، فإن ميكانيكا الكوانتم ستغير هذه النتيجة جذريا. "فكل شيء" معرض للتأرجحات الكمية المتأصلة في مبدأ اللامحققية – حتى مجال الجاذبية . لأن مجالات الجاذبية تظهر على شكل تحدب، فإن التأرجحات الكمية تظهر نفسها تشوهات متزايدة العنف للفضاء المحيط. ومنه فيظهر تأرجح عشوائي كمي (كوانتي) في مجال الجاذبية ويقابله اعوجاج شديد في الفضاء بحيث لم يعد يمثل جسما هندسيا ذا انحناءات رقيقة كما في حالة الغشاء المطاطي الذي يتخذ شكلا رغويا هائجا ملتويا. وعلى مثل هذه المقاييس للمسافات الصغيرة فإننا نرى عدم التوافق الأساسي بين النسبية العامة وميكانيكا الكوانتم. وقد «حطمت التأرجحات الكمية العنيفة التي تظهر عند مقاييس المسافات الصغيرة مفهوم الشكل الهندسي الفضائي الهادئ الذي هو المبدأ المحوري في النسبية العامة». وعلى المقاييس فوق المجهرية فإن السمة المحورية لميكانيكا الكوانتم – مبدأ اللامحققية – تتناقض مباشرة مع السمة المحورية للنسبية العامة [1].

وعمليا يقحم هذا التناقض نفسه في كل أمر أساسي. فالحسابات التي تمزج بين معادلات النسبية العامة وميكانيكا الكوانتم تؤدي بالضرورة إلى نفس الإجابة غير المنطقية: ما لا نهاية. وتشبه الإجابة بما لا نهاية أثرا حادا تركه معلم من الطراز القديم بأن الفيزيائيين ارتكبوا خطأ جسيما [2]. وكيف يمكن أن يقبلوا بأن ما

---

[1] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص.ص 149 – 150.

[2] – المرجع السابق نفسه، ص 151.

لا نهاية ينسجم مع الطبيعة [1]. ولا تستطيع معادلات النسبية العامة أن تتعامل مع الجنون الغاضب للرغوة الكمية (للمكان والزمان).

وتسمح لنا المبادئ الأساسية للنسبية العامة وميكانيكا الكوانتم بحساب المقاييس التقريبية للماسافات التي علينا أن تنزل إلى أصغر منها لتظهر الظاهرة الغريبة – وهي الاعوجاج في نسيج الفضاء – وتتضافر كل من صغر ثابت "**بلانك**" والضعف الذاتي لقوى الجاذبية ليعطينا ما يعرف اسم "طول **بلانك**" الذي طوله يساوي $1,616 \times 10^{-33}$ سم. وهكذا، يصبح عدم التوافق بين النسبية العامة وميكانيكا الكوانتم واضحا فقط في جزء صغير من الكون (مستوى محدود من الكون). ولهذا السبب قد نتساءل عما إذا كان ذلك يستحق المعاناة؟ في الحقيقة هناك اختلاف بين الفيزيائيين فهم لا يتخذون موقف واحد عند تناول هذا الموضوع. ففي رأيهم أن عدم التطابق يشير إلى عيب أساسي في فهمنا للعالم الفيزيائي فحاول الفيزيائيين بمحاولات عديدة لتنقيح النسبية العامة أو ميكانيكا الكوانتم بشكل أو بآخر لتجنب هذا التناقض، إلا أنها باءت بالفشل.

II- ما قبل نظرية الأوتار

1.II- توحيد القوى

يمكن التعبير عن مهمة الفيزياء بالقول أن مشروعها هو نظرية توحد القوى الأربع الأساسية المعروفة في الزمن الراهن. هذا "التوحيد الكبير" تلك "الأحلام بنظرية نهائية". تشكل إحدى البرامج الكبرى للفيزياء وغايتها الكوسمولوجية. بينما كان "**كانط**" منذ قرنين متأكدا من صحة ميكانيكا **نيوتن**، ومنذ أكثر من مائة عام يتابع العلماء تقديمهم لنظر "**ماكسويل**" بنماذج ميكانيكية – في القرن التاسع عشر اهتم بوجود شأن من المفاهيم والقوانين تضم في نظرية واحدة، معرفة الكون بالنظر إليه بوصفه كلا في قواه ومكوناته النهائية، غير أنه تحقق تقدم واسع خلال القرن العشرين.

[1] – ريتشارد فا ينمان، طبيعة قوانين الفيزياء، ترجمة أدهم السمان، مؤسسة الرسالة، د.ت ، ص 159.

في عام 1919م قرر الرياضي الألماني "**تيودور كالوزا**" أن يكتب معادلات "**آينشتاين**" لمجال الجاذبية في خمسة أبعاد بدلا من أربعة وذلك بأنه أضاف بكل بساطة بعدا فضائيا خامسا تخيليا [1]. بمعنى أنه أضيف البعد الإضافي للمكان على أنه اصطناعي[2]. إننا ألفنا أننا محصورين في قبضة كون من ثلاثة أبعاد يتطور في بعد الزمان الرابع، فكيف يكون شكل كون من خمسة أبعاد؟ بل هل يمكن أصلا تعقل كون لهذا؟ وهل يمكن أن يكون قابلا للتصور والتأمل فيه؟

إن أي نظرية نهائية عن الكون ينبغي أن تجيب عن السؤال عما هو سحري بشأن عدد الأبعاد التي نجد أنفسنا فيها. إنه واحد من أبسط ما يمكن طرحه من أسئلة، ولكن الأسئلة الأكثر بساطة عادة ما تكون الأسئلة الأكثر عمقا والأكثر صعوبة بالإجابة عنها. وليس من الواضح على الإطلاق كيف يمكننا أن نبدأ في الإجابة عن هذا السؤال إجابة علمية؟

اقتراح الفكرة الغريبة لـ "**كالوزا**" كانت نتيجة مثمرة على نحو غير متوقع وذلك أن إسقاط معادلات المجال الجديدة ذات الأبعاد الخمسة في عالم الأبعاد الأربعة الزمكانية، يسفر عن معادلات "**آينشتاين**" الجاذبية مضاف إليها مجموعة أخرى من المعادلات تبين أنها معادلات "**ماكسويل**" للمجال الكهرومغناطيسي بالضبط[3]. بمعنى آخر أن "**كالوزا**" تيقن من أن ذلك يعطي إطارا رائعا وطاغيا لنسج النسبية العامة لـ "**آينشتاين**" ونظرية "**ماكسويل**" للكهرومغناطيسية معا في إطار مفرد موحد للمفاهيم [4]. هكذا يستطيع المرء، من خلال صياغة المجال في خمسة أبعاد، أن يحصل على الجاذبية والكهرومغناطيسية كلتيهما من نظرية واحدة. وبتعبير أوضح، ينتج من نظرية "**كالوزا**" أن الكهرومغناطيسية ليست قوة منفصلة

---

[1] – بول ديفس ، جوليان براون، الأوتار الفائقة، نظرية كل شيء، ترجمة أدهم السمان، دار الطلاس للدراسات والترجمة والنشر، دمشق 1992، الطبعة الأولى، ص 51.

[2] – Paul Davies, les forces de la nature, Trd. de l'anglais par Alain Bauquet, Flammarion, 1996, P. 227.

[3] – بول ديفس، جوليان براون، الأوتار الفائقة، ص 51.

[4] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص 212.

بل وجه من وجوه الجاذبية، وأن يكن ذلك في عالم ينطوي على بعد فضائي فوقي خفي[1].

نوضح فكرة "**كالوزا**" عن البعد الإضافي بالمثال التالي: تخيل أن رجلا يمشي على حبل حاملا قضيب حديدي للحفاظ على توازنه، له صورة واحدة للعمل، فهذا الأخير له بعد مكاني واحد في هذه الوضعية، فهو يمشي إلى الأمام أو إلى الخلف على الحبل. فلا يهتم بالمشي إلى اليمين أو إلى اليسار، وإلا ينتج عنها عواقب أخرى التي لا تقبل الأبعاد الأخرى. الفيزيائي يقول بأن الذي يمشي على الحبل بالتوازن يصنع بعد مكاني وبالتأكيد بعد زماني: الزمن يمشي متوازي مع نفسه كما يمشي مع كل العالم.

الحشو الذي يتحرك على نفس الحبل يصبح ثنائي، الذي لا يوجد أقل من بعدين زمنيين: الذي يمكن أن يحدث دورة كاملة للحبل والمسافة التي تعني قياس طول البعد الإضافي، الذي هو واقع. تخيل بأننا نقلص من حجم الحبل حتى يصبح ميكروسكوبي(غير مرئي): الحشو الميكروسكوبي يصبح شعوري للبعد الإضافي بفضل طوله الميكروسكوبي، بإضافة الرجل المتوازن على الحبل مهمل البعد كليا. السؤال الذي يطرحه الفيزيائيون كيف نفكر عندما نكون في هذا المكان؟[2] وكيف يتناسب مع الحقيقة الظاهرية في أننا نرى بالضبط ثلاثة أبعاد إضافية؟

جاء الفيزيائي السويدي "**أوسكار كلاين**" عام 1926 بتنقيح لفكرة "**كالوزا**"، أن البعد الخامس (الإضافي) يعود إلى سبب أنه غير ملحوظ، وبأن النسيج الفضائي لعالمنا قد يكون له بعد ممتد وبعد متجعد (ملتف على نفسه في حيز صغير جدا) ويمكن تشبيه ذلك بخرطوم المياه ، تخيل أن خرطوم المياه طوله بضع مئات الأمتار، تشاهده على بعد مسافة 200 متر، فتلاحظ خط مستقيم غير متعرج، ولكنك لن تتمكن من تمييز سمك الخرطوم إلا إذا كنت تملك قوة إبصار فائقة الحدة. ومن

---

[1] – بول ديفس، جوليان براون، مرجع سبق ذكره، ص 51.

[2] – Gilles Cohen - Tannoudji, Emile Noel, le réel et ses dimensions, Bibliothèque Nationale de France, 2003, P57.

هذه المسافة، وإذا كانت هناك نملة تمشي فوق هذا الخرطوم، فهي لاتملك إلا بعدا واحدا فقط تسير فيه: البعد "يمين – يسار" على الخرطوم، فإذا استعملنا منظار مقرب، سنلاحظ أن سطح خرطوم المياه على شكل أسطوانة دائري، وبالتالي له بعدان: بعد يمين – يسار وبعد في شكل دائرة تلتف حول الخرطوم على شكل حلقة دائرية. ومع ذلك هناك فرق بين هذين البعدين، فاتجاه طول الخرطوم يكون طويلا وممتدا من السهل رؤيته، أما الاتجاه حول سمك الخرطوم فيكون قصيرا ومتجعدا ومن الصعب رؤيته[1].

وهكذا للغرابة، أن تفسيرات "**كالوزا**" و "**كلاين**" توضح أن إدراكنا للأبعاد الثلاثية الفضائية الممتدة لا يمنع وجود أبعاد إضافية متجعدة، وخاصة إذا كانت متناهية الصغر، وهكذا فإن الكون يمكن أن يكون له أبعاد أكثر مما تراه العين.

في عام 1928 دمج "**كلاين**" اقتراح "**كالوزا**" الأصلي مع بعض أفكار من مجال ميكانيكا الكوانتم، بحيث أشار إلى أن هذا البعد الإضافي الدائري قد يكون في صغر طول "**بلانك**"، أي أقصر كثيرا مما هو متاح تجريبيا[2] – قرابة 10^{-17} من قطر نواة الذرة.

سجل اكتشاف القوى النووية نقطة انعطاف مهمة في توحيد القوى. إذ تفهم الفيزيائيون بأن الجاذبية تختلف عن القوى الثلاثة الأخرى، ولذلك حان وقت توحيد الجاذبية مع القوى الأخرى[3]. ففي سنة 1967، خطى خطوة أولى في هذا الاتجاه كل من "**شلدون جلاشو**" و"**ستيفن وانبرج**" **وعبد السلام** بنظرية «الكهرباء الضعيفة»Electrofaible التي وحدت الكهرومغناطيسية والقوة النووية الضعيفة[4]. وكذلك بافتراض أن الكتلة الكبيرة لجسيمي بوزون W،Z ليست صفة أولية ولكنها مكتسبة نتيجة للتفاعل مع شيء آخر. أي افترض أن هذين الجسمين لم يولدا، إن صح القول، ضخمين وإنما نتيجة للتفاعل مع شيء

---

1 – Paul Davies, les forces de la nature, P. 228.

2 – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص 216.

3 – Lisa Randall, l'équation ultime pour la physique, In:La Recherche N°= 390 Octobre 2005, P. 44.

4 – Ibild, P.44.

آخر. إن التمييز بين الجسيمين الصرفيين والقائمين عندئذ مرهف وحاسم. وهو يعني أن الكتلة لا تعزى للقوانين الأساسية في الفيزياء وإنما إلى حالة الخاصة التي توجد فيها W ، Z عادة[1].

2.II- التناظر والتناظر الفائق

الأشكال الهندسية البسيطة: المربع، المثلث المتساوي الأضلاع، الدائرة، غنية بخصائص تناظرية تلفت النظر ربما كان التناظر الانعكاسي (أو المرآتي) أوضح ما تتمتع به هذه الأشكال كلها. في كل شكل ترى أن خيال نصفه الأيسر هو منعكس خيال نصفه الأيمن. في كل شكل يوجد عدة محاور تناظر مرآتي (انعكاسي): أربعة في حال المربع، ثلاثة في حال المثلث، عدد لانهائي في حال الدائرة (أي قطر من أقطارها).

التناظر الدوراني يأتي على نوعين مختلفين: مستمر ومتقطع، فدورات الدائرة عملية تناظر مستمر تدع الشكل صامدا إزاء أي تدوير حول المركز. أما المثلث والمربع فشكلاهما صامدان إزاء دورات أو تناظرات مرآتية متقطعة. الدائرة تتميز بتناظر أسمى وذلك بتحطيم التناظر Symétrie الدوراني فيها إذا جعلناها مفلطحة قليلا، أو إذا وضعنا نقطة فيها، وحتى إذا أضفنا سمات جديدة وبنية.

إن الزمن في هذا العالم الخالي العديم السمات، يتمتع بتناظر، فأية لحظة زمنية في فضاء خال لا يحدث فيه شيء، لا تختلف في شيء عن أية لحظة أخرى. وهذا يعني أن الزمن صامد أيضا إزاء كل الانسحابات فيه. ويوجد أيضا صمود إزاء الانعكاسات الزمنية، أي انقلاب الزمن. فإذا لم يحدث شيء في عالم خال، فلا مجال للتمييز فيه بين اتجاه الماضي واتجاه المستقبل. لكن العالم الواقعي ليس خاليا تماما، بالطبع فهو مفعم بالمجالات والجسيمات من كل نوع وجنس، ويعج بنشاط

[1] – بول ديفس، الله والعقل والكون، ص 221.

كوانتي. فالتناظرات الصحيحة في عالم خال تتحكم في عالم نشيط، ولكن ربما تبقى فيه تناظرات تقريبية [1].

يفترض أن يقوم جسيم ما فجأة بالحركة في اتجاه معين، طبعا بدافع قوى ما، وإلا لايتحرك. وأساس هذه الثقة هو بالضبط اعتقادنا بأن الفضاء متناظر إزاء الانسحابات. وإذا كانت أجزاء الفضاء لا تختلف بعضا عن بعض، فلماذا يتميز أحد المواضع عن سواه بوصول مفاجئ للجسيم إليه؟ وفوق ذلك، ما السبب الذي يعزي الجسيم باختيار اتجاه معين يسلكه مفضلا إياه على اتجاه آخر؟

يمكن أن تجري محاكمة مماثلة على الدورات، فالفيزيائيين يجب أن لا يتوقعوا من جسيم أن يدور فجأة على ذلك الاتجاه؟ زد على ذلك أن محور دوران الجسيم على نفسه يحدد اتجاها خاصا في الفضاء، فتناظر الفضاء إزاء الدورات يجعل الاتجاهات فيه كلها سواسية. وعلى هذا يجب أن يتوقعوا من الجسيم أن يدور على نفسه من تلقاء نفسه.

إن هذه الملاحظات يمكن أن تعطي صيغا رياضية دقيقة، وأن تقدم صلة عميقة ووثيقة بين تناظرات الفضاء الهندسية، من جهة، والتصرف الديناميكي (التحريكي) للأجسام المادية، ومن هنا يبرز لنا السؤال: هل تحترم كل قوى الطبيعة آليا تناظرات المكان والزمان الهندسية؟ إن نظرية ماكسويل الكهرومغناطيسية تحوي بالتأكيد كل التناظرات سابقة الذكر.

هذا ما يتعلق بالتناظر الهندسي، كالدورات والانعكاسات، بينما اكتشف الفيزيائيون النظريون في أوائل السبعينات تناظرا هندسيا أعمق وأقوى من تلك العمليات الشائعة كالدورات والانسحابات وقد سموه التناظر الفائق Supersymétrie [2]. فالتناظر الفائق يحول معادلة الموجة (يعني التمثيل الرياضي

[1] – بول ديفس، جوليان براون، الأوتار الفائقة، ص.ص 39 – 40.

[2] – المرجع السابق نفسه، ص 48.

للحالة الكوانتية) إلى جسيم عادي [1]، ولابد للجسيمات في الطبيعة أن تتواجد في أزواج تختلف في جهة الحركة المغزلية (سبين) بمقدار نصف وحدة، وتسمى مثل هذه الأزواج من الجسيمات «بالشركاء الفائقين» – جسيمات فائقة في الصغر – بصرف النظر عما إذا كانت جسيمة نقطة أو حلقات دقيقة متذبذبة [2]. فكل جسيم خاص Particule معروف يدفع بشريك ما يعرف الشريك الفائق Sparticule بأن يكون مهم في حالة تناظر الفائق. وفي كل حال لا يمكننا أن نلاحظ أي شيء من الشركاء الفائقين في السرعات الكبيرة، ولهذا فالتناظر النسق موجود فعلا، كما أن سرعته لا تتجاوز أن تتطلب طاقة أكبر من أجل إنتاج الشركاء الفائقين [3].

إن السمة الجديدة للتناظر الفائق هي أنه يقدم إطارا هندسيا تأخذ فيه الفرميونات Fermions والبوزونات Bosons صفات مشتركة – الفرميون يجب أن يدور بزاوية 720° قبل أن يعود إلى الوضعية التي انطلق منها – وهذا لايمكن أن يحدث ضمن إطار العمليات الهندسية الشائعة في فضاء العادي. ويمكن تمثيل عمليات التناظر الفائق رياضيا بإضافة أربعة أبعاد أخرى إلى أبعاد الزمكان الأربعة، فيتشكل ما يسمى «بالفضاء الفائق» Superespace. والهدف من الأبعاد الأربعة هو أن تتسع مع الأربعة الأولى، للميزات الهندسية المضاعفة للفرميونات، لذا فإن «الأبعاد الفرميونية» الزائدة لديها عما لدى البوزونات، ليست مكانية ولا زمانية بالمعنى الذي نعرفه [4].

إن قواعد الهندسة في الأبعاد الإضافية الجديدة غريبة جدا، بحيث أن كل عملية التناظر تقابل تحول بوزون إلى فرميون، أي انعكاس لبوزون في المرآة يناظر فرميون،

---

[1] – Pierre Fayet, la Théorie de Tout, Publie Par Marc Lachièze – Rey, Maison Neuve et la rose 1999, P. 70.

[2] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص 196.

[3] – Ignations Antoniadis, Et si l'on prouvait la théorie des cordes? In: La Recherche, Hors série n°= 08 Juillet 2002, P. 14.

[4] – بول ديفس، جوليان براون، مرجع سبق ذكره، ص 50.

وهكذا بالتبادل[1]. وعلى هذا الأساس يمكن أن ننظر إلى الفرميونات والبوزونات على أنهما إلى حد ما «إسقاطان» مختلفان لأصل هندسي واحد.

التناظر الفائق يتناول الجانب الرياضي فقط، من هذا يبرز السؤال عما إذا كان التناظر الفائق قد عثر عليه في عالم الواقع؟ إذ لو كان العالم ذا تناظر فائق لايحق لنا أن نتوقع ظهور برهان فيزيائي مباشر على الصلات بين الفرميونات والبوزونات. وهذا يقتضي بأن نجد، مثلا، لكل نوع فرميوني نديدا بزونيا، ولكل بوزون نديدا فرمونيا، وذلك بشكل منهجي وبخصائص مقابلة، أي يجب أن يوجد لكل جسيم شريك في دنيا التناظر الفائق. لا يوجد في قائمة البوزونات والفرميونات المعروفة اليوم جسيمات يمكن أن تتزاوج بينهما بالأسلوب المذكور، لكن هذا لا يعني بالضرورة أن التناظر الفائق غير ذي علاقة بعالم الواقع. فغالبا ما يحدث، في أطوال الطبيعة أن «ينكسر» فعلا تناظر عميق لقوانين الفيزياء في الحالة الفيزيائية المنظومة. ومثل هذا الانكسار يحدث مثلا، فيما يسمى «القوة الكهروضعيفة» Force Electrofaible، حيث تناظر القوة العميق خفي، وقد تكون الطبيعة فائقة التناظر أساسيا، لكن تناظرها هذا مكسور في معظم الظواهر المدروسة حتى الآن هذا أولا.

وثانيا، لا يوجد سبب يجعل الفرميونات المعروفة أندادا (شركاء) فائقة للبوزونات المعروفة. فقد يكون في الطبيعة مما لم يكتشف الفيزيائيون بعد، جسيمات هي الأنداد الفائقة للجسيمات المعروفة[2]. وعلى هذا الأساس يفترض مثلا وجود شريك للإلكترون قيمة سبينه صفر، وقد أطلق عليه اسم "سيلكترون" Sélectron، وينطبق نفس الشيء على جسيمات المادة الأخرى، فمثلا يسمى الشريك الفائق ذو السبين التخيلي المساوي للصفر للنيوترينو "سنيوترينو" Sneutrenio، وللكوارك "سكوارك" Squarks، وبالمثل فإن الشريك الفائق لجسيمات القوى يجب أن يكون له قيمة سبينه (حركته المغزلية) $\frac{1}{2}$ ويسمى شريك الفوتونات "فوتينوس" Photinos، وللجيليونات "جلينوس" Glunos وللجرافيتونات

---

1 – Etienne Klein, Marc Lachièze – Rey, la quête de l'unité, l' aventure de la physique, Sciences d'aujourd'hui, Albin Michel, S.A. Paris, 1996, P. 175.

2 – بول ديفس، جوليان براون، مرجع سبق ذكره، ص 51.

"جرافيتينو" Gravitino، ولبوزونات W، Z "فينوس" Winos و"زينوس" Zinos[1]. فالتناظر الفائق هو إذن فكرة نظرية عظيمة، لكنها ما تزل تفتقر إلى شواهد ملموسة ذات دلالة لا شبهة فيها.

II.3- الجاذبية الفائقة

بالرغم من التقدم المشجع الذي حصل في السبعينات بخصوص مخططات توحيد القوى الكهرومغناطيسية والقوى النووية الضعيفة والشديدة، ظلت الجاذبية خارج الموضوع. لكن منظري الجاذبية لم يدخروا جهدا في تلك الفترة، ففي نهاية السبعينات وبداية الثمانينات من القرن العشرين، بحيث كثير من الفيزيائيين النظريين النظرية الموحدة لميكانيكا الكوانتم والجاذبية والقوى الأخرى في إطار نظرية مجال الكوانتم للجسيم النقطة. وكان الأمل أن عدم التوافق بين نظريات الجسيمات النقاط المتضمنة للجاذبية وميكانيكا الكوانتم يمكن التغلب عليه وذلك بدراسة نظريات بها مزيد من التناظر. اكتشف الفيزيائيين إن أكثر النظريات هي تلك المتضمنة للتناظر الفائق. فأعطى المؤلفون مصطلح «الجاذبية الفائقة» Supergravité لوصف نظريات المجال الكوانتي فائقة التناظر التي تحاول أن تتضمن النسبية العامة[2].

الجاذبية الفائقة على حسب اسمها تشير إلى جمع الجاذبية مع باقي المعادلات بشكل موحد[3]. وقد باءت مثل هذه المحالات لمزج النسبية العامة وميكانيكا الكوانتم في النهاية بالفشل. إلا أنه، هناك محاولات أخرى للفيزيائيين أن نظريات الجاذبية الفائقة التي صيغت لأكثر من أربعة أبعاد. وبالذات كانت الواعدة منها أكثر من غيرها تلك التي بها عشرة أو حتى أحد عشر بعدا[4]– وقد اتضح أن تلك ذات الأحد عشر بعدا هي الأكثر احتمالا.

---

[1] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص 197.

[2] – المرجع السابق نفسه، ص 336.

[3] – Etienne Klein, Marc Lachieze – Rey, la quête de L'unité, P. 181.

[4] – برايان جرين، المرجع السابق نفسه، ص 337.

إن الجاذبية الفائقة تضم نظرية "**آينشتاين**" النسبية العامة وتشكل امتدادا لها. فنظرية "**آينشتاين**" تظل صحيحة بالتقريب، الأمر الذي لا يهدد اتفاقها الرائع مع النتائج الرصدية. لكن الصفة الرئيسية للجاذبية الفائقة هي أن الجرافيتون Graviton لم يعد الجسيم المرسال الوحيد المسؤول عن نقل القوة الجاذبية. فالتناظر الفائق يقدم صلة بين الفرميونات والبوزونات – التي ذكرناها سابقا، فإذا طبق المرء عملية تناظر فائق على الجرافيتون، وهو مرسال سبينه 2، تقوده النظرية إلى جسيم سبينه $\frac{3}{2}$. والفيزيائيون لا يعرفون الآن في الطبيعة جسيما سبينه $\frac{3}{2}$، فهذا إذن شيء جديد، وقد دعي هذا الجسيم باسم «جرافيتينو» Gravitino [1].

III- أساسيات نظرية الأوتار الفائقة

النظرية النهائية عن الكون ينبغي لها أن تجيب عن السؤال عما هو سحري بشأن عدد الأبعاد التي نجد أنفسنا فيها، إنه واحد من أبسط ما يمكن طرحه من أسئلة، ولكن الأسئلة الأكثر بساطة عادة ما تكون الأسئلة الأكثر عمقا والأكثر صعوبة في الإجابة عنها، وليس من الواضح على الإطلاق كيف يمكننا أن نبدأ في الإجابة عن هذا السؤال إجابة علمية؟

وعلى أن المثار للانفعال في الفيزياء النظرية يتركز في الوقت الراهن في نظرية تصدر أحكاما عميقة بشأن المادة التي نسج منها الكون. وهذه النظرية اسمها الرمزي هو «الأوتار الفائقة» Supercordes، وهي تقتضي بأنه في وقت الانفجار العظيم Big Bang كان هناك عشرة أبعاد، وثمة ستة من تلك الأبعاد أصبحت مخفية عن حواسنا الفجة، ولكنها تترك علاماتها بما ينشأ عنها من كهرباء، ونشاط إشعاعي نووي، وما يتعلق بذلك من ظواهر، ومن النتائج الأخرى البارزة المرتبة على هذه النظرية أنها قد تدل ضمنا على أن ثمة كونا خفيا بالكامل يعمل هنا في الداخل مباشرة من الكون المألوف لنا [2].

---

[1] – بول ديفس، جوليان براون، مرجع سبق ذكره، ص.ص 63 – 64.

[2] – فرانك كالوزا، النهاية، ترجمة مصطفى إبراهيم فهمي، عالم المعرفة عدد نوفمبر، الكويت 1994، ص 270.

و نحن لا يمكننا رؤية هذا الكون الظل، لكن يمكننا الشعور به، ووزنه يشدنا عن طريق الجاذبية. وهو يؤثر في مسارات المجرات والنجوم، وبخلاف حقيقة أن هذا الكون موجود هناك، فإننا لانعرف شيئا آخر عنه. أما تأثير ذلك فينا فهو أمر مازال يجري البحث فيه الآن، فالنظرية جديدة جدا، ومازالت لا تفهم إلا فهما محدودا وهي لاتزال تحت الدراسة في الجامعات والمعامل في العالم بأسره. وقد وصفها أحد الحاصلين على جائزة نوبل بأنها أعظم تقدم في الفيزياء النظرية منذ ميكانيكا الكوانتم والنسبية العامة. فهاتان النظريتان هما العمودان العظيمان لعلم القرن العشرين، ومقارنة نظرية الأوتار الفائقة بهما تدل على أنها قد تكون أيضا الكأس المقدسة للفيزياء النظرية، وهي إذا كانت كذلك بالفعل فإن إشاراتها إلى وجود كون خفي ينبغي أن ينظر إليها بما تستحقه من أهمية.

والواقع أن مقارنة هذه النظرية بالنسبية العامة وميكانيكا الكوانتم هو أمر يثير الاهتمام، لأن الأوتار الفائقة تتخذ كلتا هاتين النظريتين كمقدمات لها. فالأمر ينتهي إلى تناقض كل منهما للأخرى تناقضا متبادلا. ونظرية الأوتار الفائقة توضح طريقة الاختلاف من هذه المفارقة وتبين أن هذه المفارقة ترجع في جزء منها إلى قدرة الإنسان المحدودة على التخيل، فهناك في السماء والأرض أبعاد أكثر مما يحلم به الإنسان [1].

كانت مفارقة إشعاع الجسم الأسود أول مفتاح للوصول إلى بنيات أكثر ثراء تقع على مسافات تحت إدراكنا العياني، فإن هذه المفارقة الجديدة تشبه ذلك تماما. ففي حالة لانهائية إشعاع الجسم الأسود تمثلت الإجابة في التحبب الذري Granularité atomique، بينما تمثلت الديناميكا الجديدة في ميكانيكا الكوانتم، وتجاوز ميكانيكا الكوانتم أطر الميكانيكا التقليدية على مستوى المسافات الكبيرة حيث يكون التحبب مخبوءا.

[1] – فرانك كالوز، مرجع سبق ذكره، ص 271.

والمفارقات التي تواجه النسيبة العامة وميكانيكا الكوانتم إنما هي إشارات تدل على أن هناك تحببا على المسافات بالغة القصر، بما هو أصغر حتى من مقياس نواة الذرة. وحسب النظرية الجديدة الأوتار الفائقة، فإن الطبيعة لها بنية معقدة ذات تفصيلات وبمقاييس هي أصغر بملايين البلايين من المرات من الجسيمات الذرية المعروفة مثل الإلكترونات والبروتونات. وما كنا نفكر فيه من قبل على أنه نقط أصبح الآن ينظر إليه كبنيات ممتدة تتذبذب مثل أوتار الكمنجة Violon، وهذا التحبب يحوي ستة أبعاد مخبوءة تمتد لما هو أقل من جزء من بليون البليون من حجم البروتون [1]. نظرية الأوتار الفائقة توضح كأنها منتخبة من بين أكبر النظريات الواعدة للوصف الموحد بطاقة مصاحبته تقدر بـــ 10^{19} ج إ ف (جول إلكترون فولت) [2].

1.III- موجز تاريخ نظرية الأوتار

تعود جذور نظرية الأوتار إلى أواخر الستينات وإلى أعمال الفيزيائي الإيطالي "**جابريال فينيزيانو**"، الذي كان يحاول فهم الخواص التجريبية المختلفة للقوى النووية القوية التي لاحظها. فكشف معادلة التي وضعها الرياضي السويسري "**ليونارد أويلر**" منذ أكثر من مائتي سنة – واسمها معادلة "بيتا" Beta الخاصة بـــ "**أويلر**" – ويبدو أنها تصف العديد من خواص الجسيمات المتداخلة بقوة في خطوة واحدة [3]. وكان الشيء المحير في هذا الشأن هو الهدرونات التي فترة حياتها قصيرة جدا، من رتبة 10^{-23} ثانية. وهي معروفة جماعيا باسم «تجاوبات» Résonances (أو جسيمات التجاوب) ولأنها كما هو واضح جدا، ليست جسيمات أولية، بل إنها تبدو بالأحرى ضربا من الحالات المثارة لهدرونات أخرى. ولتفسير هذه الوقائع اخترع "**فينيزيانو**" نموذجا رياضيا خال من أية صورة فيزيائية [4]. إذن هذا النموذج الرياضي لم يفهم أحد معناه، فالمعادلة تحتاج إلى تفسير. تغير الأمر

---

[1] – فرانك كالوزا، مرجع سبق ذكره، ص.ص 277 – 278.

[2] – Pierre Fayet, la Théorie de Tout, P. 71.

[3] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص.ص 158 – 159.

[4] – بول ديفس، جوليان براون، مرجع سبق ذكره، ص 69.

في 1970 بعدما قام مجموعة من الفيزيائيين بالكشف عن فيزياء خفية غير معروفة في ذلك الوقت وراء معادلة "**أويلر**". وقد بين هؤلاء الفيزيائيون أن إذا وصفنا نموذجا للجسيمة الأولية صغيرا مثل أوتار أحادية البعد متذبذبة، فإن تداخلاتها النووية يمكن أن تصفها معادلة "**أويلر**" بدقة. وإذا كانت قطع الأوتار صغيرة جدا فإنها ستبدو كنقاط وسيتماشى ذلك مع المشاهدات التجريبية [1].

وبالتالي تم صياغة نظرية الأوتار لأول مرة وذلك تبعا للحاجة الماسة التي أفرزتها ظواهر تفاعلات القوى العظمى، فهذا النموذج تم تصميمه لتفسير توالد الكواركات التي تظهر كنهايات للأوتار أو الأقطاب المغناطيسية، فليس بإمكان فصل الكواركات، فحتى نهاية الوتر لا يمكن فصله إذا قطع[2]، ولذا فنحن في هذه الحالة لدينا قطعتان من الوتر.

في عام 1974 قام "**جون شوارتز** " و "**جوئيل شيرك**" – انتحر في عام 1979 – بدراسة النسق المحير شبيه المرسال لتردد (اهتزاز)، أيقنوا أن خواصها تتفق تماما مع تلك الجسيمات المراسلة المفترضة لقوى الجاذبية – الجرافيتون. ولم يرى أحد على الإطلاق هذه «الحزم متناهية الصغر» لقوى الجاذبية – جسيمة الجرافيتون هي نسق معين من أنساق الاهتزازات، فاكتشف "**شيرك**" و "**شوارتز**" أن هذه الصفات تتحقق بالضبط بواسطة أنساق اهتزازية معينة، فيقول **شوارتز:** «هب أنك أمام وتر يمكن أن يهتز ويرتجف بأشكال شتى، إن كل شكل من أشكال هذا الرجفان أو الاهتزاز يمكن أن يفسر وصفا لنوع جسيمي خاص، وعلى هذا تستطيع أن تتصور أن الإلكترون شكل اهتزازي معين، وأن الكوارك شكل اهتزازي آخر، والجرافيتون شكل ثالث، وهكذا»[3]. ويقول في هذا الصدد كذلك، الفيزيائي "**إدوارد وايتن**" «الإلكترون وتر صغير مهتز، والبعد الإضافي للوتر المهتز يجعلنا قادرين على صنع معنى لمجاله الجاذبي»[4]. وبناءا على ذلك، أيقن "**شيرك**" و "**شوارتز**" أن

---

[1] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص 159.

[2] – جيلس كوهن، تانودجي، مرجع سبق ذكره، ص 90.

[3] – بول ديفس، جوليان براون، مرجع سبق ذكره، ص.ص 80 – 81.

[4] – المرجع السابق نفسه، ص 91.

السبب وراء فشل نظرية الأوتار في المحاولات الأولى هو أن الفيزيائيين قد حصروا بشكل غير ملائم مجال هذه النظرية. وقد أعلنوا أن نظرية الأوتار ليست مجرد نظرية للقوى القوية، ولكنها نظرية كوانتم تتضمن الجاذبية أيضا.

كان هذا هو الحال حتى سنة 1984 حين بين "**شوارتز**" والفيزيائي البريطاني "**مايكل جرين**" إن التعارض الكمي مع نظرية الأوتار يمكن حله، إن النظرية الناتجة لها اتساع كاف يحتوي كل القوى الأربع وكل المادة كذلك. فعرفت الفترة بين 1984 – 1986 بالثورة الأولى للأوتار الفائقة، حيث قال "**مايكل جرين**": «في اللحظة التي تواجهك فيها نظرية الأوتار وتتحقق من أن كل التطورات العظمى في الفيزياء تقريبا على مدار المائة سنة الأخيرة تنبثق من مثل نقطة البداية البسيطة تلك، ستتيقن من أن هذه النظرية الخارقة بشكل غير معقول فريدة لا نظير لها»[1].

في سنة 1995 قام "**إدوارد وايتن**" بخطوة مشعلا ثورة الأوتار الفائقة الثانية من المحاضرة التي ألقاها في جامعة جنوب كاليفورنيا، بحيث مازال منظرو نظرية الأوتار يعملون بهمة بالغة في صياغة وتطوير مجموعة من الطرق الجديدة التي تعد بالتغلب على الصعوبات النظرية السابقة[2]، وسنرى ذلك فيما بعد.

III.2- الجاذبية وميكانيكا الكوانتم في نظرية الأوتار

إن النظرية التي تصف تفاعل الجسيمات داخل الذرة هو ميكانيكا الكوانتم. والقوة التي تبقي الإلكترونات حول النواة هي القوة الكهربائية، وتأتي من تبادل حزم من كتلة وطاقة في ميكانيكا الكوانتم، تصور أن الجسيمات في الذرة تثبت نفسها ببعضها البعض عن طريق تبادل جسيمات أخرى، والإلكترون يدور حول النواة لأن الاثنين يتبدلان الفوتونات. وبالمثل فإن المرء لا يهيم إلى الفضاء، لأنه

[1] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص.ص 160 –161.

[2] – المرجع السابق نفسه، ص 162.

يتبادل مع الأرض فيض من الجسيمات التي تدعى جرافيتونات، مما يولد قوة الجاذبية [1]. ومن الواضح أن هذه الفكرة للجاذبية تختلف تماما عن الجاذبية في النسبية العامة.

الإطار الموحد الذي تقدمه نظرية الأوتار طاغ، لكن أفضل ما فيها هو مقدرتها على تخفيف العداوة بين قوى الجاذبية وميكانيكا الكوانتم. ولنتذكر أن مشكلة مزج النسبية العامة وميكانيكا الكوانتم قد ظهرت لأن العقيدة المحورية في النسبية العامة هي كون المكان والزمان يشكلان بنية هندسية ناعمة التحدب، وذلك في مواجهة السمات الأساسية لميكانيكا الكوانتم في أن كل شيء في الكون بما في ذلك نسيج المكان والزمان، يعاني من التأرجحات الكمية التي تزداد اضطرابا كلما اختبرناها على مستويات أصغر فأصغر في المسافات. ففي المسافات الأقل من مقياس بلانك، تصبح التموجات الكمية من العنف لدرجة أنها تحطم مفهوم المكان الهندسي ناعم التحدب[2]، الأمر الذي يعني أن هذه الفكرة للجاذبية تختلف تماما عن الجاذبية في النسبية العامة – سقوط النسبية العامة. فيرى الكثير من الفيزيائيين أن هذا اللاتوافق يؤدي إلى أن النسبية لا تصبح... "عامة" [3]. النظرية التي عالجت الجاذبية باعتبارها قوة تولدت عن طريق تبادل الجسيمات أطلق العلماء اسم نظرية الكوانتم في الجاذبية أو ببساطة «الجاذبية الكوانتية» Gravité Quantique [4].

قامت نظرية كوانتم بتهدئة التموجات الكمية وذلك "بطمس" خواص الفضاء في المسافات القصيرة، وهناك إجابة للرد على السؤال عما يعنيه ذلك وعن كيفية حل هذا التناقض. فيأخذ الفيزيائيون في اعتبارهم أولا الطريقة التي تتداخل بها الجسيمات النقاط، إذا فرض أنها موجودة بالفعل، وبالتالي كيف يمكن أن تستخدم كمجسات (كاشفات) فيزيائية. وأقوى التداخلات الأساسية هو الذي يحدث بين جسيمتين نقطتين تتحركان في اتجاه تصادمي

---

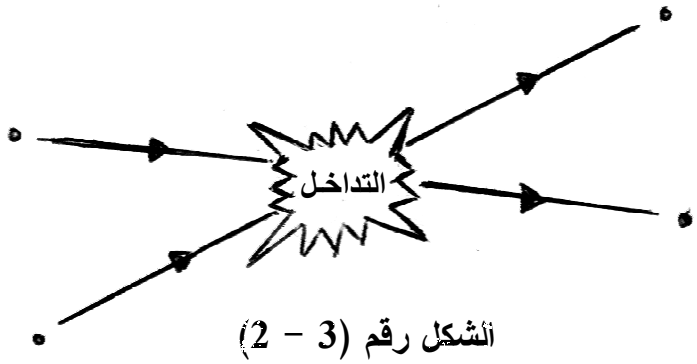
[1] – جيمس تريفل، 101 قضية علمية مجهولة لانعرفها، ترجمة أحمد رمو، دار علاء للنشر والتوزيع، دمشق 2007، الطبعة الثانية، ص 56 – 57.

[2] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص.ص 174 – 175.

[3] – Costas Bachas – Frank Daninos, Quatre succès des cordes, In:La Recherche, N°= 411 Septembre 2007, P. 36.

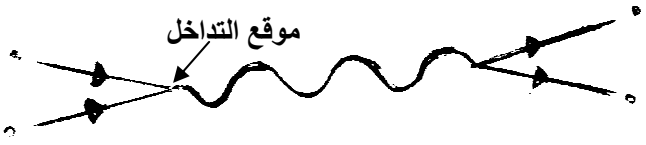
[4] – جيمس تريفل، المرجع السابق نفسه، ص 57.

بحيث يتقاطع مسارهما كما في الشكل رقم (3 – 2)، فإذا كانت هذه الجسيمات شكل كرات بلياردو فإنها ستتصادم وسينحرف كل منها إلى مسار جديد. وتبين نظرية مجال الكوانتم للجسيمة النقطة أن نفس الشيء يحدث أساسا عندما تتصادم الجسيمات الأولية غير أن التفاصيل شيء مختلف.



الشكل رقم (3 – 2)

ومن أجل البساطة يعطي "**برايان جرين**" مثالا موضحا بذلك التصادم: تخيل أن إحدى تلك الجسيمات إلكترون والأخرى جسيمة مضادة، بوزيترون. فعندما تصطدم المادة بالمادة المضادة، فإنهما يتلاشيان متحولين إلى ومضة من الطاقة لينتج عنها مثلا فوتون. ولكي نميز بين مسار الفوتون الناتج عن المسارات السابقة للإلكترون والبوزيترون فإننا نتبع مصطلاحات الفيزياء التقليدية، ونرسمه على أنه خط متموج، وعادة سيقطع الفوتون بعض المسافة ثم يطلق الطاقة التي استقاها من زوج الإلكترون – بوزيترون، منتجا زوجا آخر من إلكترون – بوزيترون بالمسارات المشار إليها في الشكل رقم (3 – 3).



الشكل رقم (3 – 3)

وفي النهاية فإن جسيميتين انطلقتا الواحدة اتجاه الأخرى، وتتدخلان بواسطة القوى الكهرومغناطيسية، ثم تظهران في النهاية بمسارات منحرفة، وذلك في سلسلة متتابعة من الأحداث تحمل بعض التشابه مع تصادم كرات البلياردو. وما يهمنا هو تفاصيل التداخل، وكما سيظهر بجلاء، فإن الحقيقة المحورية هنا، هي أن هناك زمانا ومكانا واضحين يمكن تحديدهما تماما بالنسبة إلى الحدث.

كيف يتغير هذا الوصف إذا اختبرنا الأجسام عن قرب، التي كنا نعتقد أن لها بعدا يساوي الصفر (نقطة)، واتضح أنها أوتار أحادية البعد؟ والعملية الأساسية للتداخل هي نفسها، لكن الأجسام الآن موجودة في مسارات تصادمية عبارة عن حلقات متذبذبة، فإن كانت هذه الحلقات تهتز في أنساق رنينية مناسبة تماما، فإنها ستعبر عن إلكترون وبوزيترون في مسار تصادمي، ويكون السلوك كوتر حقيقي واضح فقط عندما نختبر المسافات متناهية الصغر، والأصغر كثيرا من أي تقنة حديثة متاحة. وكما في حالة الجسيمة النقطة، فإن الوترين يتصادمان ويتلاشيان بعضهما مع بعض في ومضة خاطفة. والومضة هي فوتون، الذي هو نفسه وتر في نسق اهتزاز معين. وبدا، فإن الوترين المتلاقيين يتداخلان بالامتزاج وإنتاج وتر ثالث، فإن هذا الوتر ينتقل لبرهة ثم يطلق طاقته التي اكتسبها من الوترين المتلاقيين بأن يتفكك إلى وترين يواصلان مسيرتهما. ومرة ثانية لن يظهر هذا إلا من منظور مجهري فائق، وسيظهر كتداخل جسيمة النقطة [1].

إذن هناك نقطة محددة في المكان ولحظة محددة في الزمان عندما تتداخل الجسيمات النقاط، تتزاحم كل تداخلات الجسيمات النقاط في نقطة محددة، وعندما تكون القوى المعنية في التداخل هي قوى جاذبية–أي عندما تكون الجسيمة المرسال في هذا التداخل هي الجرافيتون بدلا من الفوتون– فإن تزاحم (حشر) مجموع القوى في نقطة وحيدة تؤدي إلى نتائج كارثية، مثل اللانهائية، وعلى النقيض فإن الأوتار "تطمس" المكان الذي يحدث فيه التداخل. ويؤدي ذلك إلى انتشار مجموعة القوى، وفي حالة قوى الجاذبية، فإن طمس الموقع يخفف من خواصها فوق المجهرية بدرجة ملحوظة. فإن الطمس يؤدي إلى تهدئة

[1] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص.ص 181 – 183.

الاضطرابات فوق المجهرية للمكان عندما تتناقض المسافات الأقل من طول بلانك بعضها مع بعض.

عدم التوافق بين النسبية العامة وميكانيكا الكوانتم الذي يظهر فقط في المسافات الأقل من طول "**بلانك**"- يمكن تجنبه في عالم له حدود دنيا للمسافات التي يمكن الوصول إليها أو حتى يمكن الزعم بأنها موجودة بالمعنى العام. وهذا هو الكون كما تصفه نظرية الأوتار، والذي نرى فيه أن قوانين الأشياء الصغيرة والأشياء الكبيرة يمكن أن تمتزج معا بتجانس[1]. حيث أننا باختصار قد تغلبنا على الكارثة التي من المفترض أن تظهر عند المسافات فوق المجهرية، فنظرية الأوتار تقدم لنا وصف كوانتي للجاذبية [2].

III.3- أبعاد أكثر ونظرية الأوتار

إذا كانت نظرية الأوتار هي التي تحل المعضلة الرئيسية التي تواجه الفيزياء المعاصرة – وهي عدم التوافق بين النسبية العامة وميكانيكا الكوانتم – فهل يتطلب أن يكون للكون أبعاد فضائية إضافية، للوصول إلى تحقيق توحيد لكل القوى والمكونات المادية الأساسية في الطبيعة؟

وهنا يكمن السبب، وأحد العناصر الرئيسية في ميكانيكا الكوانتم هو أن مقدرة الفيزيائيين على التنبؤ محدودة أساسا بمنطق تأكيد أن نتائج معينة تأتي من احتمالات معينة[3].

انطلاقا مما رأينا من اقتراح "**كالوزا**" و "**كلاين**" والذين قادا المسيرة في وجود المنفذ، للوصول إلى وجود أبعاد فضائية إضافية (أبعاد دقيقة ومتجعدة) تتذبذب فيها الأوتار، أنه بالإضافة إلى الأبعاد الثلاثة الفضائية الممتدة المألوفة هناك

---

[1] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص.ص 186 -187.

[2]– Costas Bachas – Frank Daninos, Quatre succès des cordes, In:La Recherche N°= 411 Septembre 2007, P. 36.

[3] – برايان جرين، المرجع السابق نفسه، ص 226.

ستة أبعاد فضائية أخرى متجعدة. فنظرية الأوتار تتطلب هذه الأبعاد بالضرورة. وحتى تصبح نظرية الأوتار معقولة فإن الكون لابد من أن يكون له تسعة أبعاد فضائية وبعد زمني واحد، ليصبح المجموع عشرة أبعاد.

يثير هذا الاقتراح عددا من التساؤلات من بينها: لماذا تتطلب نظرية الأوتار عددا محددا يتكون من تسعة أبعاد لتتجنب القيم الاحتمالية غير المقبولة؟ والإجابة عن هذا التساؤل يتطلب رياضيات بالغة التعقيد. أما التساؤل الآخر: إذا كانت معادلات نظرية الأوتار تظهر أن للكون تسعة أبعاد فضائية وبعدا زمنيا واحدا، فلماذا تكون ثلاثة أبعاد فضائية (وبعد زمني واحد) كبيرة وممتدة، بينما كل الأبعاد الأخرى متناهية الصغر ومتجعدة؟ ولماذا لاتكون جميعا ممتدة أو متجعدة أو أي احتمال آخر بين الحالتين؟ ولا يعرف أحد حتى الآن الإجابة عن السؤال. والتساؤل الثالث: بافتراض ضرورة وجود العديد من الأبعاد الإضافية، فهل من الممكن أن يكون بعضها أبعادا زمانية إضافية، وليست أبعاد فضائية إضافية؟ وإذا فكرت في ذلك للحظة، ستجد أن ذلك احتمال شاذ في الواقع. ولدينا جميعا إدراك غريزي لما معناه أن يكون للعالم أبعاد فضائية متعددة، حيث أننا نعيش في عالم نتعامل فيه باستمرار مع ما مجموعه ثلاثة. لكن ما الذي يمكن أن يعنيه تعدد الأزمة؟ وهل يمكن أن يتواءم أحد هذه الأزمنة مع الزمن كما نعرفه في الوقت الحالي نفسيا، فيما "يختلف" الآخر بشكل ما؟

سيصبح الأمر أكثر غرابة إذا فكر الفيزيائيين في وجود زمن متجعد، فهذا يعني أنهم يشيرون إلى نقطة البداية – أي العودة – بعد انقضاء فترة زمنية، إلى لحظة سابقة من الزمن. فهذا الموقف لم يحسم بعد، ربما يلعب دورا في التطورات المستقبلية [1].

[1] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص.ص 228 – 229.

IV- نظرية الأوتار ونسيج الزمكان

1.IV- الهندسة الكمية

في خلال عقد من الزمان، قام "**آينشتاين**" وحده بإلغاء الإطار النيوتوني الذي ظل سائدا لعدة قرون، وأعطى العالم مفهوما جديدا، عميقا للجاذبية بصورة راديكالية. ولم يستغرق الأمر طويلا بالنسبة إلى الخبراء وغير الخبراء على حد السواء ليتكالبوا على العبقرية والبناء الأصيل لإنجازات "**آينشتاين**" في صياغته للنسبية العامة. ولكن يجب ألا نغض النظر عن الظروف التاريخية المناسبة التي ساهمت بقوة في نجاح "**آينشتاين**"، وفي بدايتها هندسة "**ريمان**" التي تصف الفراغات المحدبة ذات الأبعاد الإختبارية، محطما بذلك الفراغ الإقليدي المسطح. وتظهر عبقرية "**آينشتاين**" في استخدامه رياضيات "**ريمان**" وكأنها فصلت خصيصا لتطبيقها في رؤيته الجديدة لقوى الجاذبية. وقد أعلن بجرأة أن رياضيات – هندسة – "**ريمان**" تتواءم تماما مع فيزياء الجاذبية.

لكن الآن، وبعد قرن من إنجاز "**آينشتاين**" المغري فإن نظرية الأوتار تقدم وصفا كميا (كوانتيا) للجاذبية، يعدل بالضرورة من النسبية العامة عندما تتضاءل المسافات المعينة لتصل إلى طول "**بلانك**". وحيث أن هندسة "**ريمان**" هي لب النسبية العامة، فإن ما يعني أنها لابد أن تتمحور لتتلائم بصدق الفيزياء الجديدة للمسافات القصيرة في نظرية الأوتار. وبينما تؤكد النسبية العامة على أن هندسة "**ريمان**" تصف الخواص المحدبة للكون، فإن نظرية الأوتار تؤكد على أن هذا صحيح فقط إذا اختبرنا نسيج الكون على مسافات أطول بما فيه الكفاية. وعلى مسافات قصيرة مثل طول "**بلانك**" لابد أن يظهر نوع جديد من الهندسة، وهو النوع الذي يتواءم مع الفيزياء الجديدة لنظرية الأوتار. ويسمى هذا الإطار الهندسي الجديد باسم «الهندسة الكمية» Géométrie Quantique [1].

---

[1] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره،ص.ص 257 – 258.

وعلى عكس حالة هندسة "**ريمان**"، لم يكن هناك لحن جاهز على رف الرياضيين يمكن أن يطوعه منظرو نظرية الأوتار في خدمة الهندسة الكمية – وبدلا من ذلك فإن الفيزيائيين والرياضيين يدرسون الآن بهمة نظرية الأوتار ويجمعون شيئا فشيئا أجزاء فرع جديد من الفيزياء والرياضيات. وبالرغم من أن القصة الكاملة لم تكتب بعد، فإن هذه الدراسات قد كشفت بالفعل عن الكثير من الخواص الهندسة الجديدة للزمكان نتجت من نظرية الأوتار [1].

لقد طوع "**آينشتاين**" اكتشافات "**ريمان**" الرياضية، بأن منحها تفسيرا فيزيائيا دقيقا وقد بين أن تحدب الزمكان يتضمن قوى الجاذبية، وهذا ما ناقشناه في الفصل الأول. ومن وجهة نظر الرياضيات فإن تحدب الزمكان يعكس العلاقات المضطربة للمسافات بين مواقعه. وفيزيائيا، فإن قوى الجاذبية التي يحس بها أي جسم هي انعكاس مباشر لهذا اضطراب Perturbation، وكلما جعلنا الجسم يصغر أكثر فأكثر، فإن الفيزياء والرياضيات ستتواءم أكثر فأكثر باقترابنا من التيقن من المفهوم الرياضي المجرد عن النقطة. لكن نظرية الأوتار تحد من الدقة التي يمكن بها التحقق من الصياغة الهندسية لريمان بواسطة فيزياء الجاذبية، لأن هناك حدا لمدى تناهي صغر الجسيمة النقطة في نظرية الأوتار – هذا هو العنصر الأساسي في مقدرة هذه النظرية على تقديم نظرية كوانتية للجاذبية. ويتضح ذلك بكل ثقة أن الإطار الهندسي لـ"**ريمان**"، الذي يقوم أساسا على المسافات بين النقاط قد عدل عند المقاييس المجهرية بواسطة نظرية الأوتار [2].

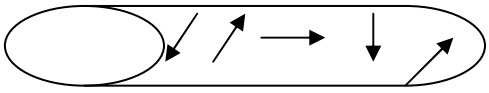
نعود إلى مثال خرطوم المياه، الذي ذكرناه في السابق، الذي له بعدين، فيمكن لجسيمة نقطة أن تتحرك في هذا العالم ذي البعدين كما هو في الشكل رقم (3–4)، أن تأتي بأنواع الحركات المختلفة، تستطيع أن تتحرك على طول البعد الممتد للخرطوم، كما تستطيع أن تتحرك على طول الجزء المتجعد للخرطوم، أو

---

[1] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص 258.

[2] – المرجع السابق نفسه، ص 259.

تتحرك حركة وسيطة بين الاثنين. وتستطيع حلقة وترية أن تتحرك بنفس الطريقة مع فارق واحد هو أنها تتذبذب أثناء حركتها على السطح.



الشكل رقم (3 – 4)

فهناك اختلاف بين حركة الجسيمة النقطة وحركة الوتر الذي يعتمد على شكل الفضاء الذي يتحرك فيه الوتر. وحيث أن الوتر شيء ممتد، فهو يستطيع أن يدور حول الجزء الدائري من عالم الخرطوم وسيواصل الوتر انزلاقه وذبذبته إلا أنه سيقوم بذلك في هيئات ممتدة. وفي الواقع يستطيع الوتر أن يلتف حول الجزء الدائري للفضاء أي عدد من المرات، وسيقوم مرة أخرى بحركة تذبذبية (اهتزازية) أثناء انزلاقه. وعندما يعالم الوتر في مثل هذه الهيئة الملفوفة، فيطلق عليه "نمط الحركة الدائرية" [1]. ومن الواضح أن وجود الوتر في نمط الحركة الدائرية ما هو إلا إمكانية كافية في الأوتار، ولا يوجد مثل ذلك في الجسيمات النقاط.

2.IV– فيزياء الأوتار الملتوية

الأوتار الملتوية أو المنطوية تختلف عن الأوتار غير الملتوية، في حالة الأوتار الملتوية إن لها كتلة "دنيا" تتحدد بمقاييس البعد الدائري وعدد لفات (دورات) الوتر. وتحدد الحركة التذبذبية للوتر مدى المساهمة في زيادة الكتلة عن الحد الأدنى. وليس من الصعب إدراك ذلك الحد الأدنى للكتلة، ويتوقف الطول الأدنى للوتر الملفوف على محيط البعد الدائري وعدد لفات الوتر حوله. ويحدد الحد الأدنى لطول الوتر كتلته الدنيا، فكلما زاد طول الوتر زادت كتلته لزيادة حجمه. وحيث أن محيط الدائرة يتناسب مع نصف قطرها، فإن الحد الأدنى لعدد اللفات (الدورات)

[1] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص.ص 262 – 263.

يتناسب مع نصف قطر الدائرة التي يلتف حولها الوتر. وباستخدام علاقة الكتلة بالطاقة لـ"**آينشتاين**" يمكن القول أن الطاقة الكاملة في الوتر الملتف تتناسب مع نصف قطر البعد الدائري. (و للأوتار غير الملفوفة كذلك حد أدنى للطول، لأنه إذا لم يكن لها هذا الحد الأدنى، فسيعيدنا ذلك إلى عالم الجسيمات النقاط. ويؤدي إلى نفس المنطق إلى أن للأوتار غير الملفوفة كتلة دنيا قد تكون ضئيلة جدا لكنها ليست صفرا. فالأوتار غير الملفوفة تعطي جسيمات لا وزن لها مثل الفوتون، الجرافيتون والجسيمات الأخرى عديمة الوزن أو ذات الوزن القريب من الصفر. غير أن الأوتار الملفوفة تختلف في هذا الشأن).

كيف يؤثر وجود أشكال الأوتار الملفوفة في الخواص الهندسية للأبعاد التي تلتف حولها الأوتار؟ فعندما يتقلص نصف قطر البعد الدائري إلى طول "**بلانك**"، وطبقا للنسبية العامة، فإنه سيواصل تقلصه إلى أطوال أقل، غير أن نظرية الأوتار تفرض إعادة تفسير جذرية لما يحدث بالفعل. وتزعم نظرية الأوتار أن جميع العمليات الفيزيائية في عالم خرطوم المياه، حيث نصف قطر البعد الدائري أقصر من طول "**بلانك**" ومستمر في الزيادة، ويعني ذلك أنه عندما يحاول البعد الدائري أن ينهار عبر طول "**بلانك**" متجها نحو أطوال أصغر، فإن هذه المحاولات لا طائل تحتها من وجهة نظرية الأوتار، الأمر الذي يقلب الهندسة رأسا على عقب. وتبين نظرية الأوتار أن هذا التطور يمكن أن تعاد صياغته لأنه عندما تتقلص الأبعاد الدائرية إلى طول "**بلانك**" تبدأ في التمدد ثانية، وتعيد نظرية الأوتار كتابة قوانين الهندسة للمسافات القصيرة، فما كان يبدو سابقا أنه انهيار عالمي تام ينظر إليه الآن على أنه ارتداد عالمي. ويمكن أن يتقلص البعد الدائري ليصل إلى طول "**بلانك**". لكن بسبب نمط الالتفاف فإن محاولات التقلص أكثر من ذلك تؤدي في الواقع إلى تمدد [1]. لأن الجاذبية تجري بشكل جزيئات طاغية المسماة "عالمية"، وآثارها تتوقف على رموزها، إيجابيا، تدفع بالكون إلى الامتداد بسرعة كبيرة [2].

---

[1] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص.ص 264 – 265.

[2] – Hélène le Meur, la Quête perdue de l'unification, In:La Recherche – N°= 411 Septembre 2007, P. 32.

ويعني الاحتمال الجديد لأشكال الأوتار الملتفة، أن طاقة الوتر في عالم خرطوم المياه لها مصدران: الحركة الاهتزازية، وطاقة الدوران. وتبعا لـ "**كالوزا**" و"**كلاين**"، يعتمد كل مصدر من هذين المصدرين على هندسة الخرطوم، أي على نصف قطر العالم الدائري المتجعد، لكن بالتواء وتري ملحوظ، حيث أن الجسيمات النقاط لا تستطيع الالتفاف حول الأبعاد. ولتحديد كيف تعتمد مساهمة الدوران والاهتزاز في طاقة الوتر على حجم البعد الدائري، يجب فصل الحركة الاهتزازية للأوتار إلى نوعين: الاهتزازات المتجانسة والاهتزازات العادية. وتشير الاهتزازات العادية إلى الذبذبات المعتادة، أما الاهتزازات المتجانسة فتشير إلى حركة أبسط، الحركة العامة للوتر عندما ينزلق من وضع لآخر من دون التغير في الشكل. وكل حركة الوتر هي مجموع الانزلاق والذبذبة غير أنه في العرض الحالي من الأسهل الفصل بينهما بهذا الشكل. فهناك ملاحظتين رئيسيتين: الأولى، تتناسب عكسيا طاقات الإثارات الاهتزازية المتجانسة للوتر مع نصف قطر البعد الدائري، وهذه نتيجة مباشرة لمبدأ اللامحققية في ميكانيكا الكوانتم: فنصف القطر الأصغر يتحكم بإحكام أكثر في الوتر، ولذا تزداد كمية الطاقة في حركته من خلال الشعور برهبة الأماكن المغلقة وفقا لميكانيكا الكوانتم. وهكذا كلما نقص البعد الدائري زادت بالضرورة طاقة حركة الوتر. الثانية، فإن طاقة اللف (تدوير) تتناسب طرديا مع نصف القطر. وتؤكد هاتان الملاحظتان أن أنصاف الأقطار الكبيرة تعني طاقة دوران كبيرة وطاقة اهتزاز صغيرة، بينما أنصاف الأقطار الصغيرة تعني طاقة دوران أقل وطاقة تذبذب أكبر.

يؤدي هذا إلى حقيقة أساسية، فأي نصف قطر كبير في عالم خرطوم المياه يقابله نصف قطر صغير له طاقة دوران في العالم الأول مساوية لطاقة الاهتزاز في العالم الثاني، وطاقة اهتزاز في العالم الأول مساوية لطاقة الدوران في العالم الثاني. وحيث أن الخواص الفيزيائية تعتمد على الطاقة الكلية لهيئة الوتر فليس هناك أي تمييز فيزيائي بين هذين الشكلين المختلفين هندسيا في عالم خرطوم المياه.

وبذلك وللغرابة الشديدة تدعي نظرية الأوتار أنه لا اختلاف على الإطلاق بين عالم خرطوم المياه "السمين" وعالمه "الرفيع" [1].

في نظرية الأوتار طاقة الأشكال الوترية تأتي من مصدرين – الاهتزاز والدوران مساهمتهما في الطاقة الكلية للوتر مختلفة بشكل عام. لكن، فإن أزواجا معينة من الظروف الهندسية المتباينة – التي تؤدي إلى طاقة دوران عالية / طاقة اهتزاز منخفضة، أو طاقة دوران منخفضة / طاقة اهتزاز عالية – لا يمكن التمييز بينهما فيزيائيا [2].

V- ما بعد الأوتار في البحث عن نظرية – M*

بحلول نهاية الثمانينات القرن العشرين، بدا للفيزيائيين أنه على الرغم من أن نظرية الأوتار قد اقتربت كثيرا من صياغة صورة فريدة للعالم، إلا أنها لم تصل لذلك، كان هناك سببان لهذا. السبب الأول، اكتشف الفيزيائيون أن هناك بالفعل خمس صور لنظرية الأوتار وهي النوع (النموذج) الأول Type I، والنوع الثاني (أ) Type IIA، النوع الثاني (ب) Type IIB، والنوع المغاير O(32)، O(32) – Type Hétrotique واختصارا هيتروتيك –O ، والنوع المغاير 8E x 8E، 8E x 8E Type Hétrotique واختصارا هيتروتيك – E. وتتشارك جميعها في صفات أساسية– فأنساقها الاهتزازية تحدد الكتلة وشحنات القوى المختلفة، وتتطلب وجود ما مجموعه عشرة أبعاد للزمكان، ولابد لأبعادها المتجعدة أن تكون

---

[1] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص.ص 265 – 266.

[2] – برايان جرين، المرجع السابق نفسه، ص 267.

*– إدوارد وايتن هو الذي أطلق عليها مؤقتا نظرية -M، وجاءت التسمية لتدل على أشياء كثيرة، وإليك بعض العينات: نظرية الغموض Mystère، والنظرية الأم Maman (مثل أم لكل النظريات)، ونظرية الغشاء Membrane (لأنه مهما كانت فإن الأغشية تمثل جزءا من الرواية)، ونظرية المصفوفات Matrices (بناء على الأبحاث الحديثة بواسطة توم بانكس Tom Banx).

أحد أشكال "**كالابي–ياو**"*– فالتحاليل أظهرت أن هذه الصورة للنظرية مختلفة بالفعل، لكن يكفي أن نعرف أنها تختلف في كيفية تضمينها للتناظر الفائق وفي التفاصيل الهامة لأنساق الاهتزاز التي تعتمد عليه [1]. (فالنوع الأول من النظرية مثلا، أوتار مفتوحة أطرافها غير مثبتة بالإضافة إلى الحلقات المغلقة). كان ذلك أمرا مخجلا بالنسبة إلى منظري نظرية الأوتار، لأنه على الرغم من وجود احترام جاد بنظرية موحدة نهائية مؤثرة، فإن وجود خمس اقتراحات تعرقل تقدم الأمور.

أما الانحراف الثاني عن الحتمية فهو أكثر دقة. وحتى ندركه تماما، فإن على الفيزيائيين أن يقروا بأن كل النظريات الفيزيائية تتكون من جزأين: الجزء الأول تجميع للأفكار الأساسية للنظرية، التي يعبر عنها عادة بالمعادلات الرياضية. أما الجزء الثاني للنظرية فيحتوي على حلول هذه المعادلات. وعموما فإن لبعض المعادلات حلا واحدا، وهو الحل الوحيد، بينما للبعض الآخر أكثر من حل. مثال على ذلك: حاصل ضرب العدد 2 في عدد ما يعطي ناتج 10، فالإجابة حل واحد وهو العدد 5، لكن في معادلة«حاصل ضرب الصفر في عدد ما يعطي صفرا» له عدد لا نهائي من الحلول، حيث أن حاصل ضرب الصفر في أي عدد يساوي صفرا.

وقد تبدو هذه الانحرافات عن الحتمية كخواص أساسية صادفها سوء الحظ لنظرية الأوتار. غير أن البحوث التي أجريت منذ منتصف سبعينات القرن العشرين قد أعطت أملا حاسما جديدا في أن هذه الصفات قد تكون مجرد انعكاسات للطريقة التي حلل بها منظرو النظرية[2]، وباختصار فإن معادلات نظرية الأوتار على

---

*– بنية هندسية أنتجت لأول مرة من طرف الرياضيين أوجينيو كالابي Euginio Calabi وشيج تونج ياو Shing Tung Yau، وهي أشكال سداسية الأبعاد، وذلك لترتيب الاحتمالات بمنظور التناظر الفائق، وعلى حسب رأي برايان جرين بأنه يوجد على الأقل مائة ألف بنية (فراغ) مختلفة من كالابي – ياو.

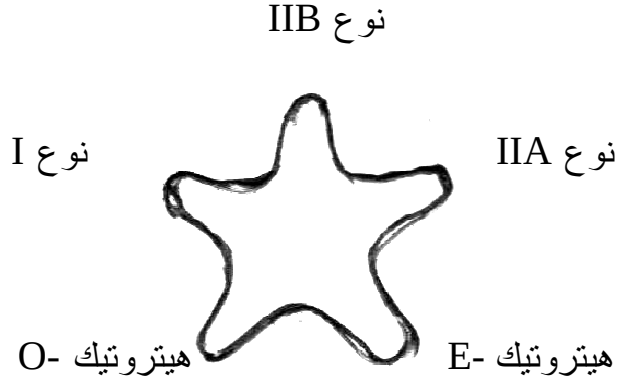
[1]– برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص.ص 311 – 312.

[2]– المرجع السابق نفسه، ص.ص 313 – 314.

درجة من التعقيد بحيث لايعرف أحد صيغات بالضبط. وقد تمكن الفيزيائيين من وضع الصيغ التقريبية فقط لهذه المعادلات.

1.V- موجز الثورة الثانية للأوتار الفائقة

منذ عام 1995، أخذت تتراكم أدلة على أن المعادلات الدقيقة، التي ما زالت صيغتها الصحيحة أبعد عن متناول الفيزيائيين، قد تقوم محل هذه المشكلات، وبالتالي تساعد في جعل نظرية الأوتار حتمية، فإن الفيزيائيين مقتنعون أن هناك نظرية واحدة تنسج هذه النظريات الخمس في إطار نظري ثري. بحيث تشكل خمسة أوجه متشابكة، فأي نظرية نختار؟ فلم يفصل فيها أي دليل رياضي، المشكل أن النظرية التي تعتبر الموحدة، فهي ثنائية النهاية أستنتجها "**إدوارد وايتن**" و"**كريس هول**"، و"**باول تاوسند**"، فيشيرون إلى أن خمس نظريات – كما هو موضح في الشكل رقم (3 – 5) – ليست إلا أن لها أوجه مختلفة بنفس الإطار التحتي المسمى «نظرية كل شيء» Théorie-M[1].



الشكل رقم (3 – 5)

كشف الفيزيائيين عن سمتين أساسيتين لنظرية -M: الأولى، أن لنظرية -M أحد عشر بعدا (عشرة أبعاد فضائية وواحد زماني)، ويشبه الأمر بعض الشيء ما وجده كالوزا عند إضافته بعد فضائي سمح بالاندماج غير المتوقع للنسبية العامة

1- Costas Bachas – Frank Daninos, Quatre succès des cordes, In:La Recherche N°= 411Septembre 2007, P.39.

والكهرومغناطيسية، فقد أيقن منظرو الأوتار أنه بإضافة بعد فضائي إلى نظرية الأوتار سيسمح للتوصل إلى كل الصور الخمس للنظرية بشكل مقنع تماما.

أما السمة الثانية فهي أنها تحتوي على أوتار متذبذبة، لكنها تحوي كذلك أشياء أخرى: أغشية Branes* ثنائية الأبعاد متذبذبة، وبقعا ثلاثية الأبعاد متأرجحة (تسمى الأغشية الثلاثية Trois - Branes)، وحزمة من مكونات أخرى كذلك [1].

على خلاف استعمال الأوتار الأساسية من قبل النظريون في مختلف وضعيات الاهتزاز التي تنتج مجموعة من الجسيمات، فإن منذ نهاية التسعينات القرن العشرين فهم النظريون بأن يأخذوا بعين الاعتبار المواد الأخرى قبل شرح تنظيمات الجسيمات المعروفة وحركتها: الأغشية Branes أنها تظهر للأغشية Membranes التي تتوسع في كثير من الأبعاد المكانية، يمكنها أن تخدع الجسيمات والقوى بحيث لا تشعر بما يحدث في الأبعاد الأخرى [2]. وتظهر هذه السمة من سمات نظرية **-M**، كما في حالة البعد الحادي عشر، عندما تتحرر الحسابات من الاعتماد على التقريب المستخدم قبل منتصف تسعينات القرن العشرين.

V.1.1- معادلات نظرية الأوتار

قد تعرف منظرو نظرية الأوتار على سمة أساسية، ضرورية، وبشكل ما، وكما تحدد قوة الحبل مدى تحمله للشد حتى ينقطع إلى نصفين، هناك عدد يحدد ميل التأرجحات الكمية التي تتسبب في انقسام الوتر إلى اثنين لحظيا منتجا زوجا فعليا، ويعرف هذا العدد بـ «ثابت ازدواج الوتر» Constante couple des cordes (وبشكل أكثر دقة، فإن لكل نظرية من نظريات الأوتار الخمس ثابتا لازدواج الوتر

---

*- Branes هي مادة أكثر انقباض وأكثر ثقل من الثقب الأسود .

[1] - برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص 316.

[2] - Lisa Randall, l'équation ultime pour la physique, In:La Recherche, N°= 390 Octobre 2005, P. 45.

خاصا بها)، فقيمة ثابت ازدواج الوتر تحدد قوة علاقة الجيشان الكمي (الكوانتي) لثلاثة أوتار (الحلقة الأصلية والحلقتان الفعليتان النتيجتان من انشطار هذه الحلقة). وتبين العمليات الحسابية أنه كلما ازدادت قيمة ثابت ازدواج الوتر كلما زاد ميل الجيشان الكوانتي لإحداث انشطار للوتر الأصلي (بالتالي إعادة الارتباط)، وكلما قلت قيمة ثابت ازدواج الوتر، قلت فرصة ميل الجيشان الكوانتي لنشوء الأوتار الافتراضية لحظيا (إتحاد وترين في حلقة مفردة) [1].

يمكن استخدام المنطلق الاضطرابي* لتحديد كيفية تداخل الأوتار بعضها مع بعض وكذلك في تحديد المعادلات الأساسية في نظرية الأوتار. وخلاصة القول تحدد معادلات نظرية الأوتار كيف تتداخل الأوتار، وبالعكس تحدد طريقة تداخل الأوتار معادلات النظرية.

هناك معادلة في كل نظرية من نظريات الأوتار الخمس معنية بتحديد قيمة ثابت الازدواج في هذه النظرية. وفي الحقيقة هي معادلة تقريبية تقول: إن ثابت ازدواج الوتر يتخذ قيمة إذا ضربت في الصفر فالناتج صفر. فهذه المعادلة لا تقدم أية معلومات عن قيمته. وهناك معادلة أخرى، التي من المفترض أن تحدد الشكل الدقيق لكل من الأبعاد الممتدة والمتجعدة للزمكان. والصيغة التقريبية لهذه المعادلة أكثر تحديدا بكثير من تلك المتعلقة بثابت ازدواج الوتر، غير أنها مازالت تسمح بعديد من الحلول. وعلى سبيل المثال فإن أربعة أبعاد زمكانية ممتدة مع أية ستة أشكال من أشكال كالابي – ياو متجعدة الأبعاد تؤدي فصيل كامل من الحلول[2].

---

[1] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص 323.

*– نظرية الاضطراب اسم توضيحي لإجراء التقريب أثناء محاولة التوصل إلى إجابة تقريبية عند أحد الأسئلة، ثم يعقب ذلك بطريقة منهجية تحسين لهذا التقريب بالفحص الأدق للتفاصيل الصغيرة التي أهملت في البداية. وقد لعبت نظرية الاضطراب دورا هاما في مجالات عديدة من البحث العلمي، كانت عنصرا أساسيا في فهم نظرية الأوتار.

[2] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص.ص 324 – 325.

V.2.1- الثنائية

ألقى "**إدوارد وايتن**" سنة 1995 في مؤتمر الأوتار بجامعة جنوب كاليفورنيا محاضرته التي أشعلت فتيل ثورة الأوتار الثانية. أعلن "**وايتن**" إستراتيجية حول تجاوز المنطلق الاضطرابي في نظرية الأوتار بمفهوم «الثنائية» Dualité الذي يمثل الجزء الرئيسي في خطته.

يستخدم الفيزيائيون مصطلح «الثنائية» لوصف النماذج النظرية التي تبدو كأنها متباينة. وهناك أمثلة عادية للثنائية التي تبدو فيها النظريات مختلفة ظاهريا لكنها في الواقع واحدة، وتظهر متباينة فقط للطريقة التي اتفق أن عرضت بها.

مثال عن الثنائية: الأوتار غير الملفوفة يمكن أن تتحرك بحرية وتختبر لكل محيط الدائرة، وهو الطول الذي يتناسب مع نصف القطر نق. وتبعا لمبدأ اللامحققية فإن طاقات هذه الأوتار تتناسب مع نصف القطر $\frac{1}{\text{نق}}$. فقد رأينا أن الأوتار الملفوفة لها طاقة دنيا تتناسب مع نصف القطر نق، وكمجسات للمسافة، فإن مبدأ اللامحققية يتنبأ بأنها تعتمد على معكوس هذه القيمة، أي $\frac{1}{\text{نق}}$ [1].

نظرية الأوتار وصفت عالما له بعد دائري بنصف قطر نق بنفس الطريقة التي وصفت بها عالما له نصف قطر $\frac{1}{\text{نق}}$. وهما وضعان هندسيان متمايزان، لكنهما من خلال خواص نظرية الأوتار، في الواقع، متطابقان فيزيائيا.

اقترح "**وايتن**" أن النظريات الخمس للأوتار هي مجرد طرق مختلفة لوصف نفس الأساس الفيزيائي، على الرغم من أنها تبدو مختلفة في بنيتها الأساسية. وبدلا من وجود خمس نظريات مختلفة للأوتار، فإن التعبير الأفضل هو أن هناك خمس

[1] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص 276.

نوافذ لهذا الإطار النظري المفرد، وبالمثل فهذه العلاقة تذكرنا بأنها تصف طبيعة الضوء: سواء كموجة أو كجسيم (فوتون) [1].

فهذه الفكرة الجديدة لـ "**وايتن**" الموحدة للنظريات الخمس، التي تجمع الآلاف من المتغيرات المتحدة مع مختلف طرق التواء الأبعاد الإضافية، كانت ببساطة خمسة أنماط مختلفة تصف نفس الأشياء: بنظرية **-M**. فالكثير من الفيزيائيين عملوا على إيجاد العلاقات الثنائية [2].

وقبل التطورات التي وقعت في منتصف التسعينات القرن العشرين، كان احتمال وجود مثل هذه الصورة العظيمة للثنائية مجرد حلم وردي يراود الفيزيائيين، الذين كان من النادر أن يتناولوه في حديثهم لأنه بدا لهم وكأنه شيء خرافي. من خلال القدرة الدقيقة لنظرية الأوتار، هناك أدلة متزايدة على أن كل النظريات الخمس للأوتار ثنائيات.

V.3.1- الثنائية في نظرية الأوتار

بتتبع خطوات "**وايتن**" حيث نتخيل في نظرية الأوتار النوع الأول (I) أن كل الأبعاد الفضائية التسعة مسطحة وغير ملفوفة. وهذا أمر غير واقعي بالطبع، لكنه يجعل النقاش أبسط، إذا افترض الفيزيائيون أن ثابت ازدواج الوتر أقل كثيرا من 1. وفي هذه الحالة فإن أدوات الاضطراب صالحة، وبالتالي فإن العديد من تفاصيل خواص النظرية يمكن التوصل إليها بدقة. فإذا زاد من قيمة ثابت الازدواج لكنه مازال أقل من 1 بشكل معقول، فإن الطرق الاضطرابية ستظل صالحة، لكن الخواص التفصيلية للنظرية ستتغير بعض الشيء. وفي ماعدا هذه التغيرات في تفاصيل الخواص العددية المصاحبة لتشتت وتر مبتعد عن الآخر،

---

1 – Costas Bachas – Frank Daninos, Quatre succès des cordes, In:La Recherche N°= 411 Septembre 2007, P.39.

2 – Hélène le Meur, la Quête perdue de l'unification, In:La Recherche – N°= 411 Septembre 2007, P. 32.

فإن المحتوى الفيزيائي الكلي يظل هو نفسه مادام ثابت الازدواج يقع في حدود تطبيق الاضطراب.

فهذا زاد من قيمة ثابت ازدواج الوتر من النوع الأول (I) ليتخطى قيمة 1، ستصبح الطرق الاضطرابية غير صالحة، ولذا فإن الفيزيائيين سيركزون فقط على المجموعة المحددة من الكتل والشحنات اللاضطرابية التي مازال في مقدورهم إدراكها. نذكر ما قاله "**وايتن**" في هذا المجال : تتفق هذه الخواص الازدواجية القوية لنظرية الأوتار من النوع الأول (I) تماما مع الخواص المعروفة لنظرية الأوتار هيتروتيك -O عندما يكون للأخيرة قيمة صغيرة لثابت ازدواج الوتر الخاص بها [1]. أي أنه عندما يكون ثابت الازدواج الأوتار النوع الأول كبيرا، فإن الكتل والشحنات المعنية والتي يعرف كيف يستخلصها الفيزيائيين يساوي بالضبط تلك الخاصة بأوتار هيتروتيك -O عندما يكون ثابت ازدواجه صغير. ويعطي ذلك إشارة قوية على أن هاتين النظريتين واللتان، لأول وهلة مثل الماء السائل والثلج، بمعنى كيف يتحول الماء من سائل إلى ثلج في حالة انخفاض درجة الحرارة، ومن ثلج إلى سائل في حالة ارتفاع درجة الحرارة، وهما حالتين مختلفتين لنفس المادة وهي الماء، فهما في الواقع ثنائي. وهذا مايؤدي إلى أن فيزياء النظرية من النوع الأول (I) في حالة ثابت الازدواج والخاص بها مماثلة (مناظرة) تماما لفيزياء نظرية هيتروتيك -O عندما تكون قيم ثابت ازدواجها صغيرة، والعكس صحيح. ومع أن النظريتين تبدوان وكأنهما غير مرتبطتين عند تحليلهما باستخدام منطلق التقريب الاضطرابي [2]، فكل واحدة تتحول إلى الأخرى عندما تتغير قيمة ثابت ازدواجهما مثل ما يحدث في التحول للماء من الحالة السائلة إلى الحالة الجامدة والعكس بالعكس.

---

[1] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص 333.

[2] – المرجع السابق نفسه، ص.ص 333 – 334.

النوع الجديد من النتائج المحورية يعرف باسم «ثنائية قوي – ضعيف» Dualité forte- faible، والذي فيه فيزياء الازدواج القوي لإحدى النظريات يمكن التعبير عنه بفيزياء الازدواج الضعيف لنظرية أخرى. فهذه الثنائية تربط بين النظرية من النوع الأول (I) ونظرية هيتروتيك -O، بحيث أن فيزياء الازدواج القوي لنظرية الأوتار من النوع الأول (I) تناظر فيزياء الازدواج الضعيف لنظرية هيتروتيك -O ، والعكس.

وبإتباع نفس المنطق يمكن للمرء أن يدرس خواص الازدواج القوي لنظرية أوتار أخرى، وليكن من النوع الثاني (ب) (IIB). كلما زاد ثابت الازدواج للنوع (IIB) تتوافق مع خواص الازدواج الضعيف للوتر من النوع الثاني (ب) نفسه. وبمعنى آخر، فإن الوتر من النوع الثاني (ب)، يكون ثنائيا ذاتيا Dual même*. فإذا زاد من قيمة ثابت ازدواج النوع IIB إلى قيمة أكبر من 1، سيبين الثنائي الذاتي أن النظرية الناتجة مكافئة تماما لنظرية النوع IIB ذات الازدواج الأقل من1 [1].

V.2- نظرية M-

جاءت نظرية الأوتار الفائقة كمحاولة لدمج كل القوى الرئيسة وكل جسيمات الفيزياء وبنية الزمكان أيضا في نظام رياضي واحد جامع. والحقيقة أن هذه الثقة ليست جديدة تماما، فهناك تاريخ طويل من المحاولات لبناء أوصاف توحد العالم توحيدا تاما [2]. إلا أن هذا الاهتمام بالتوحيد الكبير يبقى محدود في أعين عدد من الفيزيائيين من أن تنجح أو لا تعطي نظرة موحدة لحركة ما دون النووي، ليس لها

---

*– وهذا الأمر قريب الشبه بثنائية نق، $\frac{1}{\text{نق}}$، فإذا كان ثابت ازدواج الوتر من النوع الثاني (ب) (IIB) كبيرا، سيكون ثابت ازدواج الوتر من النوع $\frac{1}{IIB}$ صغيرا، والعكس صحيح.

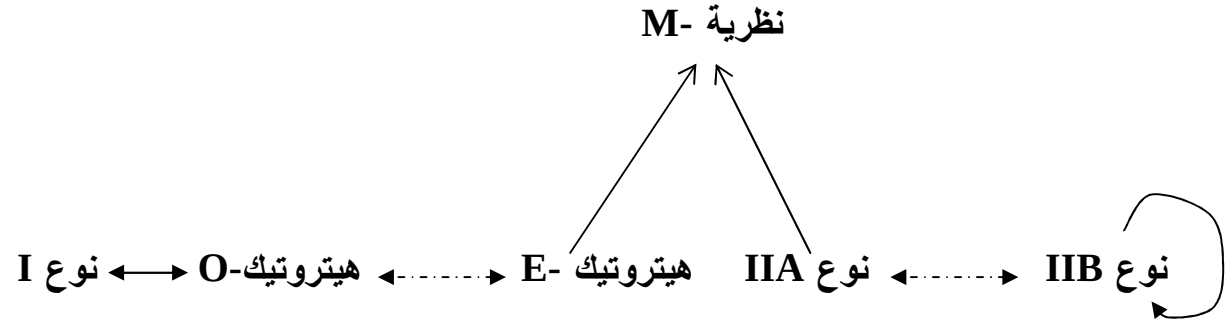
[1] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص.ص 334 – 335.

[2] – بول ديفس، الله والعقل والكون، ص 177.

أهمية في نظر الفيزيائيين الآخرين، فاندماج الجاذبية في هذا التوحيد كان المثير للاهتمام، فيما بعد في نفس الإطار توحيد المعادلات الأربعة كيف ما كان؟

فالتناقض بين الجاذبية والفيزياء الكوانتية ليس لها على الإطلاق أهمية في التطبيق. عامة الجاذبية تلعب دور في المكان ذو المقاس الكبير، نوعا ما كما هو في علم الفلك، أين لا تتدخل الفيزياء الجزئية والأحداث الكوانتية. لكل واحد منهما له مجاله الخاص، والكل على ما يرام! لكن المشاكل تكون حادة على مستوى المفاهيم (التصوري) [1].

بوجود رابطة بين نظريات الأوتار من النوع الثاني (أ) (IIA) والنوع الثاني (ب) (IIB)، ولذلك بين نظريتي هيتروتيك -O وهيتروتيك -E فإن ثنائية نصف قطر كبير/صغير تكمل شبكة الترابط كما هو موضح بالخطوط المتقطعة في الشكل رقم (3–6) ويبين هذا الشكل كل النظريات الأوتار الخمس مع نظرية -M جميعها ثنائيات بعضها بعض، وقد حيكت جميعها في إطار نظري مفرد، وهي تقدم خمسة منطلقات لوصف نفس الفيزياء الأساسية [2].



الشكل رقم (3 – 6)

مما دفع "**وايتن**" إلى القول بأنه إذا بدأ بأوتار من النوع IIA، ورفع ثابت ازدواجها من قيمة أقل كثيرا من 1 إلى قيمة أكبر كثيرا من 1، فإن الفيزياء التي سيقدر على تحليلها لها تقريب ذو طاقة منخفضة، أي أنها جاذبية فائقة ذات أحد

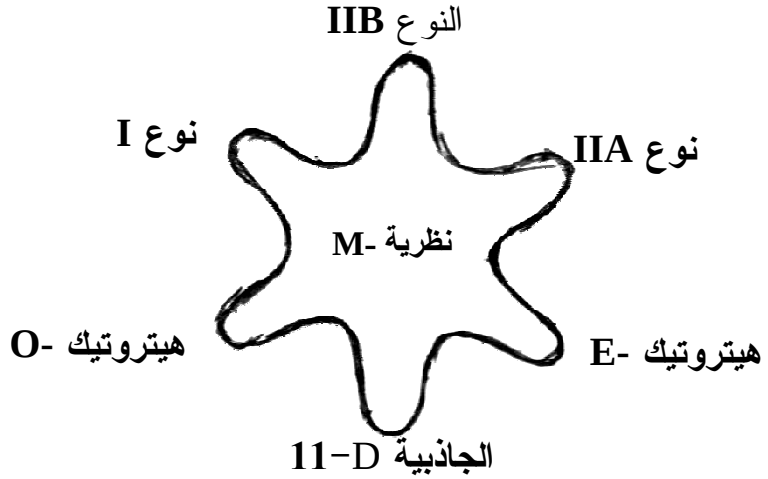
[1] – Etienne Klein, Marc Lachièze–Rey, la quête de l'unité, P.P. 179 – 180.

[2] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص 343.

عشر بعدا. إذن فيكف يمكن لنظرية معينة ذات أحد عشر بعـدا أن تتـواءم مـع نظريـة مختلفة ذات عشرة أبعاد؟

والجواب على ذلك من خلال ما توصل إليه "**وايتن**" أن أوتار هيتروتيـك -E قويـة الازدواج لها أيضا صفة الأبعاد الأحد عشر، فكلما زاد ثابت الازدواج سيزيد ذلك من عـدم صلاحية الإطار الاضطرابي. غير أن الذي لم يتوقعه أحد هو أنه عند زيـادة قيمـة ثابـت الازدواج سيظهر بعدا جديدا وهذا البعد "الرأسي"، الذي يمثل بعدا فضائيا عاشرا، ومع البعد الزمني يجعل من مجموع الأبعاد أحد عشر بعدا زمكانيا[1] .

إن نظرية -M ترتبط بشـدة بنظريـة أخـرى سادسـة – الجاذبيـة الفائقـة ذات الأبعاد الأحد عشر – وهو الأمر المبين في الشكل رقـم (3 – 7)، وهـي صـورة أكثـر دقـة للشـكل رقـم(3–5)، يصـور الشـكل رقـم (3 – 7) أن الأفكـار الأساسـية ومعادلات نظرية -M توحد كل صـيغ نظريـات الأوتـار، علـى الـرغم مـن فهمهـا الجزئي لهذه النظرية [2].



الشكل رقم (3 – 7)

V.3– نظرية -M واندماج كل القوى

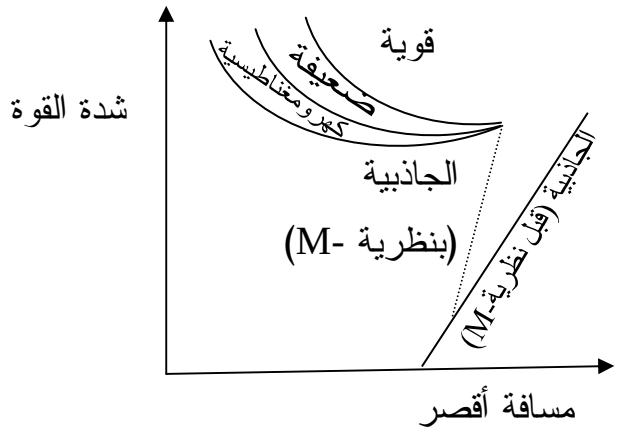
---

[1] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص.ص 338 – 339.

[2] – المرجع السابق نفسه، ص.ص 343 – 345.

رأينا كيف تندمج شدة القوة اللاجاذبية معا عندما ترتفع درجة حرارة الكون بما فيه الكفاية، وكيف تتواءم شدة قوى الجاذبية داخل هذه الصورة، فقبل ظهور نظرية -M كان مقدار منظري الأوتار أن بينوا أنه باستخدام أبسط الخيارات من أشكال "**كالابي–ياو**" في الفضاء تندمج قوى الجاذبية على الأغلب وليس تماما مع القوى الثلاث الأخرى، كما هو موضح في الشكل رقم (3 – 8). وقد وجد منظرو نظرية الأوتار أنه يمكن تجنب عدم التوافق هذا وذاك بصياغة أشكال "**كالابي–ياو**" المختارة بعناية شديدة ضمن حيل أخرى.

ولكن كما هو معهود فإن التدقيق الشديد بعد الصياغة يسبب عدم ارتياح للفيزيائيين. وحيث أنه لايوجد حاليا من يستطيع التنبؤ بالشكل الدقيق لأبعاد "**كالابي–ياو**"، فإن الأمر يبدو من الخطورة تعتمد على حلول للمشكلات التي تتعلق بوهن بالتفاصيل الدقيقة لأشكال "**كالابي–ياو**".



الشكل رقم (3 –8)

ومع ذلك، فإن "**وايتن**" قد بين أن الثورة الثانية للأوتار الفائقة قد قدمت حلا أكثر تأثيرا بكثير، وقد وجد "**وايتن**" أن تحدب قوى الجاذبية يمكن أن يدفع برفق للاندماج مع القوى الأخرى كما هو في الشكل رقم (3 – 8) من دون صياغة خاصة لأفراد "**كالابي– ياو**" من الفراغ[1].

[1] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص.ص 395 – 396.

VI- هل نظرية الأوتار نظرية فلسفية ؟

1.VI- هل نظرية الأوتار صحيحة ؟

نظرية الأوتار جميلة، لكن هل هي حقيقية ؟ بعد ثلاثين سنة لا نعرف عنها شيء، بمعنى أن تكون صالحة أو العكس، النظرية يجب أن تدعم بتنبؤ المجهول الخاص والمحدود، وأيضا تقترح تجارب جديدة لاختبارها. إلى يومنا هذا، نظرية الأوتار لم تعطي أي تنبؤ محقق بتجربة، رغم التخيل بالوعود البعيدة [1].

بدلا من المواجهة التقليدية بين النظرية والتجربة، فإن منظري الأوتار-على حسب رأي "**شلدون جلاشو**"- يلاحقون تناسقا داخليا، حيث تتحدد الحقيقة بالأناقة والتفرد والجمال. وتعتمد النظرية في وجودها على مصادفات سحرية وإلغاءات عجائبية وعلاقات بين حقول الرياضيات تبدو لا علاقة في ما بينها. فهل يمكن لهذه الخواص أن تكون سببا يجعلنا نقبل نظرية الأوتار كواقع ؟ وهل يمكن أن تحل الرياضيات والنواحي الجمالية محل التجربة المجردة وتتفوق عليها، فقال "**شلدون جلاشو**":« نظرية الأوتار الفائقة طموحة لدرجة أنها إما أن تكون صحيحة تماما أو خاطئة تماما. المشكلة الوحيدة أن الرياضيات المستخدمة فيها جديدة وصعبة لدرجة التي لن تستطيع الحكم معها بصحة أي من الاحتمالين لفترة قد تصل إلى عدة عقود»[2].

يعد كل العمل المسلط على نظرية الأوتار لا نستطيع أن نقول أنه توجد نظرية كاملة متماسكة، على أي نظرية نستطيع أن نعطيها اسم «نظرية الأوتار»، ما كان لدينا ليست نظرية، لكن التجميع العريض للحسابات المتقاربة التي ترافق كل مجالات الربط، التي إن كانت صحيحة تقودنا إلى وجود نظرية. لكن هذه النظرية لم تؤخذ على أنها صحيحة. لا نعرف ما هي مبادؤها الأساسية، لا نعرف بأي لغة رياضية نشرحها. يمكن أن تكون اللغة

1- Hélène Le Meur, la quête Perdue de l'unification, In:La Recherche, N°= 411 Septembre 2007, P. 31.

2- برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص 237.

التي يراهن عليها الفيزيائيين. في غياب المبادئ الأساسية والصورة الرياضية، لا نستطيع القول بأننا نعرف ما الذي تؤكده نظرية الأوتار[1].

فكثير من الأسباب التي تجعل أي نظرية الأوتار التي لم تتوصل إلى تنبؤ جديد، والتي تحمل بنفسها عدد لا نهائي من الأوجه[2]، بحيث وضح "**جوساف بول شينسكي**" و"**رافائيل بوسو**" بأن نظريات الأوتار لها ثابت موجب ممكن الوجود، ليس بإمكان صياغته بل على الأقل إحصاؤه وأنها تصل إلى 10^{500} متغيرات[3]. فلماذا جزء من الشرح يحتوي على أنه لا توجد نظرية الأوتار، لكن نظن أن هناك اليوم أكبر عدد من الطبعات المختلفة: ما يقارب 10^{500}، الأكثر من عدد الذرات المعروفة في الكون! من أجل التسليم بشكل نظرية أساسية موحدة، فهذه التعددية هي العائق الحقيقي، من الصعب تصور تجربة من دون نتائج حيث لا يمكن شرح نتيجتها بواحدة من هذه النظريات، فالتقيد يكون عندئذ مستحيل، وعكس ذلك، لن تستطيع أي تجربة إثبات صحة هذه النظرية[4].

يوجد عدد كثير من نظريات الأوتار والأكثر من ذلك كل واحدة تختلف عن الأخريات. كل واحدة تعطي تنبؤات مختلفة للفيزياء الجسيمية الدقيقة ... الفيزياء النظرية أصبحت مشفى كبير للأمراض العقلية أو للمجانين الذين يريدون أن يحكموا[5]، على حد تعبير "**لي سمولن**".

وقد أعلن "**رتشارد فاينمان**" بوضوح قبل وفاته بوقت وجيز أنه لايعتقد أن نظرية الأوتار هي العلاج الفريد للمشاكل التي احتدمت بالتزاوج المتجانس بين الجاذبية وميكانيكا الكوانتم، فيقول: «لقد قال لي صديق ذات يوم أنا أعتقد أني فهمت

---

1 – Lée Smolin, Rien ne va plus en physique, l'échec de la théorie des cordes, Trad. Marc Lachièze–Rey, Préface d'Alain Connes, Dunod, Paris, 2007, P. 11.

2 – Ibild, P. 10.

3 – Hélène Le Meur, la quête perdue de l'unification, In:La Recherche, N°= 411 Septembre 2007, P. 33.

4 – Pétèr Galison, Sur quels critères juger une théorie, In:La Recherche, N°= 411 Septembre 2007 P. 43.

5 – Lée Smolin, Rien ne va plus en physique, P. 217.

أن المسألة في الفيزياء النظرية هي أن تبرهن، بأسرع ما يمكن، على أنك كنت مخطئا!»، وما يفعله الوتريين الآن هو أنهم لا يبرهنون على أنهم مخطئون لأنهم يمنحون أنفسهم حريات التصرف بمعادلاتهم قائلين:«ليكن، قد يتقوقع ستة من الأبعاد العشرة ويبقى لنا أربعة»، دون أن يثبتوا أن ستة قد تقوقعت، دون أن يفحصوا لماذا لم يتقوقع سبعة، إنهم لا يمتحنون الأفكار بالتجربة بما يكفي من الحزم، بسبب صعوبة حساب أي شيء. هذا يعني أنهم معلقون في الفراغ وليس عليّ أن آبه لهم كثيرا!»[1].

2.VI- الجانب الميتافيزيائي لنظرية الأوتار

الحقيقة للوصول إلى نظرية جامعة، فهذه الثقة ليست جديدة تماما، فهناك تاريخ طويل من المحاولات لبناء أوصاف توحد العالم توحيدا تاما. يعزو "**جون بارو**" في كتابه «نظريات كل شيء في السعي وراء تفسير نهائي» إغراء مثل هذه النظرية للاعتقاد المتحمس في كون عقلاني: أي أن هناك منطق يمكن فهمه وراء الوجود الفيزيائي ويمكن ضغطه إلى صيغة ملزمة وموجزة.

وعند تحقيق هذا التوحيد التام يبرز السؤال: هل أصبحت النظرية متقيدة بإحكام بمتطلبات الاتساق الرياضي بحيث أصبحت وحيدة؟ وإذا كان الأمر كذلك فسيكون هناك نظام موحد واحد فقط للفيزياء بقوانينها المختلفة مثبت حسب الضرورة المنطقية. وعندئذ يقال أن العالم قد فسر، بمعنى أن: قوانين "**نيوتن**" وعلاقات "**ماكسويل**" في المجال الكهرومغناطيسي ومعادلات "**آينشتاين**" في مجال الجاذبية وكل ما بقي غير ذلك ينتج لا محالة من متطلبات الاتساق المنطقي كما تنتج نظرية **فيتاغورس** من بديهيات الهندسة الإقليدية. وبمتابعة هذا المنحى من النقاش إلى نهايته لن يحتاج العلماء للاهتمام بالملاحظة والتجربة ولن يكون العلم بعدها مسألة تجربة حسية، وإنما فرعا من منطق استنتاجي تأخذ قوانين الطبيعة فيه مكانة النظريات الرياضية، وتستنبط خصائص العالم باستخدام العقل وحده.

[1] – بول ديفس، جوليان براون، الأوتار الفائقة، ص.ص 180 – 181.

إن الاعتقاد بأنه من الممكن معرفة طبيعة الأشياء في العالم عن طريق العقل وحده وذلك باستخدام نقاش استنتاجي منطقي من أوليات واضحة من ذاتها. وهذا ما كان متجسدا في كتابات **أفلاطون** و**أرسطو** وكذلك لدى **ديكارت** الذي أسس نظاما للفيزياء قصد منه أن تكون جذوره في العقل وحده بدلا من الملاحظة التجريبية الحسية. وفي السنوات القليلة الماضية شاعت من جديد فكرة قابلية الوصف الموحد الكلي للفيزياء للبرهان بالاستنتاج فقط. وكان هذا ما دفع "**ستيفن هاوكينج**" ليختار في محاضرته العنوان المثير: هل أصبحت نهاية الفيزياء النظرية وشيكة؟

ولكن ما الدليل على أن مثل هذه الحالة ممكنة؟ إذا نحينا جانبا شكوكنا في حقيقة أن الأعمال الحديثة على الأوتار الفائقة أو ما شابهها حقا إلى توحيد مبكر، فيعتقد "**بول ديفس**" أنه من الممكن إثبات خطأ القول بأن هناك نظرية توحيد أعظم وحيدة. لقد توصل إلى هذا الاستنتاج لعدد من الأسباب. أولها أن الفيزيائيين النظريين يناقشون غالبا «دمى لأكوان»* متسقة رياضيا ولا تمت بالتأكيد لعالمنا[1].

إن نظرية أصيلة (لكل شيء) يجب أن تفسر ليس فقط كيف وجد كوننا، ولكن أيضا لماذا كان هذا الكون هو النوع الوحيد من الأكوان الممكنة؟ أي لماذا كان من الممكن وجود مجموعة واحدة فقط من القوانين الفيزيائية.

فيعتقد "**بول ديفس**" أن هذا الهدف وهم. أن نقص الكمال الذاتي الذي لا يمكن تجنبه يعكس نفسه في أية نماذج رياضية تمثل كوننا، وكمخلوقات تنتمي إلى العالم الفيزيائي سنكون جزءا ضمن هذا النموذج.

ويختبر "**جون بارو**" القيود التي تقتضيها نظرية واحدة لكل شيء ويستنتج أن مثل هذه النظرية ستكون أبعد من أن تكون كافية لإظهار كل دقائق كون مثل

*– لعبة روسية معروفة في المقاهي، تتضمن رقعة مقسمة إلى مربعات، وأحجار تنتقل عليها.

[1] – بول ديفس، الله والعقل والكون، ص.ص 177 – 178.

كوننا– وليست هناك صيغة واحدة يمكنها أن تـزود كـل الحقيقـة وكـل التنـاغم وكـل البساطة– ولا تستطيع أية نظرية واحدة لكـل شـيء أن تقـدم رؤيـة كليـة لأن الرؤيـة عبر كل شيء ستجعلنا لا نرى شيئا على الإطلاق.

ولذا يبدو أن البحث عن نظرية وحيدة حقا تفسر كـل شـيء وتزيـل كـل جـواز وتبين أن العالم الفيزيائي هو كما هو بالضـرورة بحـث محكـوم عليـه بالفشـل بسـبب الاتساق المنطقي. إذ لا يوجد نظام عقلاني يمكن البرهان على أنـه متسـق وكامـل فـي الوقت ذاته. بل سيبقى هناك دوما بعض الانفتاح وعنصر مـا مـن الغمـوض وشـيء لا يمكن تفسيره[1].

طرح سؤال على "**ريتشـارد فاينمـان**": هـل قـوانين الفيزيـاء موجـودة بشـكل مستقل عن العالم، أي أن لهـا وجـودا بحـد ذاتهـا؟ فيـرى أن فـي الحاضـر: مسـألة الوجود مسألة جد مهمة وصعبة. إننا إذا مارسنا الرياضـيات، وهـو علـم يجـد بسـهولة نتائج الافتراضات، نكشف مثلا – وهذا اقتراح بسـيط طبعـا – شـيئا غريبـا إذا جمعنـا مكعبات الأعداد الصحيحة مكعـب الواحـد واحـد، 1^3، مكعـب الاثنـين هـو ضـعف الاثنين 2^3، أي ثمانية، ومكعـب الثلاثـة هـو ثلاثـة أضـعاف الثلاثـة 3^3، أي سـبعة وعشرون. إذا جمعنا مكعبات الأعداد الصحيحة المتوالية، واحدا مـع ثمانيـة مـع سـبعة وعشرون وهكذا، وتوقعنا عند حد ما – لنتوقـف عنـد الثلاثـة – نجـد سـتة وثلاثـين. وهذا مربع عدد آخر، ستة، هـو مجمـوع تلـك الأعـداد الصـحيحة المتواليـة نفسـها، واحد مع اثنين مع ثلاثة، يمكن أن نجرب التوقـف عنـد عـدد آخـر، ولـيكن خمسـة. واحد مع اثنين مع ثلاثة مع أربعة مع خمسة، ربـع مجموعهـا نجـد مجمـوع مكعبـات الأعداد من واحد إلى خمسة. إن هذا الواقع، قد لا يكون معروفـا مـن قبـل، وقـد نقـول أين كان، ما هذا، من أين أتى، ما نوع الحقيقـة المخبـوءة فيـه؟ إنـه يفاجئنـا. وعنـدما نكشف هذه الأشياء، نشعر أنها كانت صـحيحة قبـل أن نجـدها. وهكـذا نحصـل علـى فكرة أنها كانت موجودة بشكل ما في مكان ما، لكـن لا مكـان لأمثـال هـذا الشـيء. أن

[1] – بول ديفس، الله والعقل والكون، ص 179.

ذلك مجرد إحساس. وهذه تسمى توابع "**بسيل**" وعلاقاتها الداخلية، إن لها وجودا حقيقيا ونحن نفاجأ بها.

في حالة الفيزياء يسبب لنا مكان وجودها حيرة مزدوجة. بحيث أن قوانينها تطبق على العالم وتعمل، ويصبح من الأصعب أن نقول أين هي. لكنها قد تكون أقرب إلى الحقيقة من قوانين الرياضيات. فهي مسائل فلسفية، ويستطيع المرء أن يمارس الفيزياء دون أن يجيب عنها. لكن في التفكير فيها تسلية ممتعة[1].

يرى أستاذ تاريخ العلوم ومختص في تاريخ الفيزياء "**بيتر جاليزون**" أن الفيزياء هي ثورة، في كل مرة يسمع جملة تقول: «هذا ليس فيزيائي». وهذا ترجمة عامة، أنه يقول مهم وعميق، اليوم بعض منظري الأوتار لا يعرفون الفيزياء في مفهوم تعددي Paysage*، ففيزيائيون آخرون لا يرون في العلوم الدقيقة بأنها قطعة تقنية غير معروفة، لكنها ليست الطريق الأساسي للبحث. فيعتقد "**جاليزون**" بأننا مواكبين لفترة إعادة بناء الفيزياء، فمنذ عشرين عام كانت العلاقات بين مختلف المجالات تثور: في يوم كان المنظرين يعملون في قسم الفيزياء التطبيقية (الفيزوفلكية)[2].

---

[1] – بول ديفس، جوليان براون، الأوتار الفائقة، ص.ص 189 – 190.

*– مفهوم Paysage يعني تعدد الصيغ (الصورة الممكنة لنظرية الأوتار).

[2] – Pétèr Galison, Sur quels critères juger une théorie ? In:La Recherche, N°= 411 Septembre 2007, P. 43.

خـــــاتمـــــة

من خلال ما سبق في تحليلنا في الفصول الثلاثة المتعلقة بالنظريات الفيزيائية للقرنين العشرين والحادي والعشرين منها النسبية العامة وميكانيكا الكوانتم ونظرية الأوتار الفائقة، توصلنا إلى جملة من النتائج، ومن أهمها مايلي:

– تغير النظرة العامة بشأن موضع الإنسان في الكون تغيرا جذريا، وهذا كان نتيجة للنظرية النسبية. وذلك أن المفاهيم والقوانين الأساسية هي من خلق العقل الإنساني – ذات طبيعة استنباطية وليست استقرائية – في سبيل فهم أوسع للحقائق أو وقائع العالم الخارجي. فلا يمكن فصل المشاهد عن موضع المشاهدة، أو العقل عن موضوعه، فخلصت النظرية النسبية بنظرة مثالية مدحضة بها المادية.

– النظرية النسبية حطمت فكرة المكان المطلق، الثلاثي الأبعاد بإضافة البعد الزماني كبعد رابع مما يصبح المكان رباعي الأبعاد.

– إثبات نظرية الكوانتم لضرورة التخلي عن التصور المادي للعالم، وعن سقوط الفلسفة المادية، وذلك من خلال نفي المادة عن الجسيمات الأولية وإعطائها مجموعة من البنيات، بحيث أن العالم المادي في الحقيقة ليس كما يبدو لعقولنا، بل إنه عالم من صيغ رياضية مجردة، فالعالم هو الذي يتدخل فيه بقدراته العقلية وآلاته ومقاييسه، ومنه يستحيل الوصول إلى معرفة موضوعية تماما عن العالم المادي.

– عودة مكانة مفهوم الإرادة الحرة في الوجود من جراء الميكانيكا الكوانتية، وذلك انطلاقا من اللاحتمية المتأصلة في الطبيعة، مما أدى إلى احتمالية وإحصائية (عشوائية) القوانين الطبيعية مهما كان دقتها، أو تترجم إلى أنها ناجمة عن قوى روحية عقلية، مثل ما يحدث للإلكترون في حركة انتقاله من مدار إلى آخر.

– محاولة دمج النسبية العامة والميكانيكا الكوانتية كان السبب في ظهور نظرية الأوتار الفائقة الطامحة نحو توحيد تام لجميع القوى الطبيعية، مما أدى إلى اعتمادها على وجود مصادفات سحرية وإلغاءات عجائبية، ورياضيات صعبة ومعقدة (أي أنها قائمة على علاقات عالية التجريد، منها التناظر الفائق) وتتميز أيضا بالاتساق المنطقي القائم على الاستنباط العقلي، وهذا ما يجعلها مستعصية التحقق تجريبيا.

– الحلول اللانهائية التي توصلت إليها نظرية الأوتار، أربكت الفيزيائيين في الوصول إلى نتائج موحدة، وخاضعة للاختبار، والدليل على ذلك الصيغة المختلفة

لنظرية الأوتار، مما جعلها أقرب إلى الفلسفة ومبتعدة عن العلم، الذي يصعب التنبؤ بها لما يحدث في الطبيعة من ظواهر.

– الفيزياء المعاصرة هي الإبحار في عالم الخيال العلمي (الافتراضي)، التفكير الخيالي الذي لا يمكن اختباره خلال أية تجربة، هو الذي ساعد الفيزيائيين على التوصل إلى نظريات فيزيائية، بحيث أن التفسير الميتافيزيائي هو توسيع للتفسير العلمي، والمنهج الميتافيزيائي هو تطوير وامتداد للمنهج العلمي.

– عملية تحليل ونقد المفاهيم والفروض المسبقة والدعائم التي تستند إليها العلوم في عملية مرتبطة بالشك، كما ترتبط أيضا بتثمين وتقويم الإدعاءات التي تتناولها العلوم بالدراسة، وعلى ذلك فإن الميتافيزياء لها طابع معياري Normative ووضعي أيضا.

– الميتافيزياء تبحث في الأسس النهائية لطبيعة ووجود موضوعات كل العلوم الجزئية التي تدخل في دائرة اهتمامها. فهي ذات طبيعة تصحيحية Révisionaire بالضرورة. فلا يمكن للعلوم أن تقوم بنحو صحيح بدونها. ولذا نقول أن الميتافيزياء هي تفسير التفكير، أنها علم من نوع ثاني، أو من نوع أعلى من حيث الدرجة، أو باختصار: الميتافيزياء هي «ما وراء العلم» Métascience.

– لا يمكن فصل الأسئلة الميتافيزيائية عن الاعتبارات الإبستيمولوجيبة مما يجعل افتراض أن العالم الذي ينبغي أن يكون «لا يصح أن يكون كذلك» من غير تحديد جوانبه مسبقا، مما يعني أن ما هو أولي إبستيمولوجيا هو أولي ميتافيزيائيا.

بعد قرون من الآن، ربما تكون نظرية الأوتار الفائقة، أو ما تطور منها في إطار نظرية -M، قد تطورت أبعد كثيرا من صياغة الفيزيائيين الحالية وللدرجة التي يمكن ألا يتعرف عليها أفضل رواد البحث العلمي اليوم. وبمواصلة البحث عن النظرية النهائية، فقد نجد أن نظرية الأوتار ليست إلا واحدة من الخطوات الأساسية على الطريق نحو المفهوم الأعظم للكون. ويعلمنا تاريخ العلوم أنه في كل مرة نتصور أننا قد توصلنا إلى الفهم الكامل تفاجئنا الطبيعة بشكل جذري بما في جعبتها لنا مما يتطلب تغيرات أحيانا وجوهرية في فهمنا نظرية عمل الكون.

إن نظرية الأوتار قد شكلت بالفعل صورة جديدة جديرة بالملاحظة لكيفية عمل الكون، لكن ما زال هناك معوقات ونهايات غير محبوكة ستكون بلا شك الموضوع المركزي لمنظري نظرية الأوتار خلال القرن الواحد والعشرين.

وكما رأينا فإن نظريتي النسبية الخاصة والعامة لـ"**آينشتاين**" قد أزاحتا بعيدا المفهوم الكوني المطلق للزمان والمكان، غير أننا مازلنا نتساءل عما إذا كان النموذج الهندسي للزمكان الذي يلعب دورا أساسيا في النسبية العامة وفي نظرية الأوتار هو فقط وحده الإختزال المريح للعلاقات الفضائية والزمانية بين المواقع المختلفة، أم أننا يجب أن ننظر إلى أنفسنا على أننا ضمن «شيء ما» عندما نشير إلى انغماسنا في نسيج الزمكان.

يرى كثير من منظري الأوتار أن إعادة صياغة الكيفية التي تتضمن بها المبادئ الكوانتية في الوصف النظري للعالم هي الطفرة العظمى القادمة في إدراكنا. وكما قال "**كومرون فافا**" «إنني أعتقد أن إعادة صياغة ميكانيكا الكوانتم بشكل يحل الكثير من أحجياتها قريب المنال»[1]. فهل فعلا نظرية الأوتار تؤدي إلى إعادة صياغة الميكانيكا الكوانتية؟ فهل يمكن اختبار نظرية الأوتار تجريبيا؟ فلا بد من أن تمدنا باختبارات لا غموض فيها حول ما إذا كانت النظرية نفسها صحيحة أم لا. فالانتقال من النظري إلى العملي في الحقيقة محفوف بالمخاطر. فإن اكتشاف عن طريق الدراسات النظرية، التناظر الفائق، هو العلامة البارزة عن طريق نظرية الأوتار، فإذا تأكد الفيزيائيون منه تجريبيا فسيكون دليلا قاطعا على صحة نظرية الأوتار.

يعتبر تفسير كل شيء وحتى بالمعنى العام لفهم لكل سمات القوى والمكونات الأولية للكون، واحدا من أعظم التحديات التي يواجهها العلم. ولأول مرة تمنحنا نظرية الأوتار الفائقة إطارا يبدو أنه عمقا كافيا لمواجهة هذا التحدي. لكن هل

[1] – برايان جرين، مرجع سبق ذكره، ص 416.

سنتحقق من كل ما تعد به النظرية بالكامـــل، مثـــل حســـاب كتلـــة الكواركـــات أو شـــدة القوى الكهرومغناطيسية، وهي الأعداد التي تفرض قيمتها الكثير من عالمنا؟

قائمـــة المراجـــع

قائمة المراجع باللغة العربية:

1- ألبرت آينشتاين، **أفكار وآراء**، ترجمة رمسيس شحاته، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة .1986

2- ـــــــــــــ، **النسبية، النظرية الخاصة والعامة**، ترجمة رمسيس شحاته، دار النهضة، مصر 1965، الطبعة الأولى.

3- السيد حسين شعبان، **مشكلات فلسفة معاصرة**، 2000، ددن.

4- بدوي عبد الفتاح، **فلسفة العلوم**، دار قباء للطباعة والنشر والتوزيع، القاهرة .2001

5- برايان جرين، **الكون الأنيق، الأوتار الفائقة والأبعاد الدفينة، والبحث عن النظرية النهائية**، ترجمة فتح الله الشيخ، مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت 2005، الطبعة الأولى.

6- برتران سان- سرنان، **العقل في القرن العشرين**، ترجمة فاطمة الجيوشي، منشورات وزارة الثقافة السورية، دمشق .2000

7- بول ديفس، **العوالم الأخرى**، ترجمة حاتم النجدي، مراجعة أدهم السمان، دار طلاس للدراسات والترجمة والنشر، دمشق 1994، الطبعة الثانية.

8- ـــــــــــــ، **الله والعقل والكون**، ترجمة سعد الدين خرفان، وائل بشير الأتاسي،دار علاء الدين للنسر والتوزيع والترجمة، دمشق 2005، الطبعة الرابعة.

9- ـــــــــــــ، جوليان براون، **الأوتار الفائقة، ونظرية كل شيء؟** ترجمة أدهم السمان، دار طلاس للدراسات والترجمة والنشر، دمشق 1993، الطبعة الأولى.

10- بول كوديرك، **النسبية**، دار منشورات عويدات، بيروت 1971، الطبعة الأولى.

11- بول موي، **المنطق وفلسفة العلوم**، ترجمة فؤاد زكريا، دار النهضة، مصر،دت.

12- جيلس كوهن-تانودجي، **الثوابت الفيزيائية ودورها الكوني**، ترجمة عبد اللطيف يوسف الصديقي، دار علاء الدين للنشر والتوزيع والترجمة، دمشق 2005، الطبعة الأولى.

13- جيمس تريفل، **101 قضية علمية مجهولة لا نعرفها**، ترجمة أحمد رمو، دار علاء الدين للنشر والتوزيع والترجمة، دمشق 2007، الطبعة الثانية.

14- جيمس جينز، **الفيزياء والفلسفة**، ترجمة جعفر رجب، دار المعارف، القاهرة 1981.

15-حسين علي، **الميتافيزيقا والعلم**، دار قباء للطباعة والنشر والتوزيع، القاهرة 2006.

16- ريتشارد فاينمان، **طبيعة قوانين الفيزياء**، رؤى واضحة وعصرية لبنية العالم، ترجمة أدهم السمان، مؤسسة الرسالة، دت.
17- سالم يفوت، **فلسفة العلم المعاصر ومفهومها للواقع**، دار الطليعة، بيروت 1985.
18- عبد السلام بنعبد العالي، سالم يفوت، **درس الإبستيمولوجيا**، دار طوبقال للنشر، المغرب 2001، الطبعة الثالثة.
19- فخري إسماعيل حسن، **مقدمة في الفيزياء الحديثة**، دار المريخ للنشر، السعودية 1993.
20- فرانك فيليب، **فلسفة العلم، الصلة بين العلم والفلسفة**، ترجمة علي علي ناصف، المؤسسة العربية للدراسات والنشر، بيروت 1983، الطبعة الأولى.
21- فرنر هايزنبرج، **الطبيعة في الفيزياء المعاصرة**، ترجمة أدهم السمان، دار طلاس للدراسات ة الترجمة والنشر، دمشق 1994، الطبعة الثانية.
22- ـــــــــــ، ـــــــــــــــــــــــ، ترجمة قسطنطين قدسي، منشورات وزارة الثقافة والإرشاد، دمشق .1975
23- ـــــــــــ، **الفيزياء والفلسفة**، ترجمة أحمد مستجير، المكتبة الأكاديمية، القاهرة 1993، الطبعة الأولى.
24- ـــــــــــ، **المشاكل الفلسفية للعلوم النووية**، ترجمة أحمد مستجير، الهيئة المصرية للكتاب، .1972
25- لويس دي بروجلي، **الفيزياء والميكروفيزياء**، ترجمة رمسيس شحاته،مراجعة مرسي أحمد، مؤسسة سجل العرب، القاهرة .1967
26- ماهر عبد القادر ماهر، **فلسفة العلوم، المشكلات المعرفية**، دار المعرفة الجامعية، 2000، الطبعة الثانية.
27- محمد عابد الجابري، **مدخل إلى فلسفة العلوم**، مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت 1994، الطبعة الثالثة.
28- محمد عبد اللطيف مطلب، **الفلسفة والفيزياء**، الجزء الثاني، الموسوعة الصغيرة، دار الحرية للطباعة، بغداد 1985.
29- محمود فهمي زيدان، من **نظريات العلم المعاصر**، دار النهضة العربية، بيروت 1982.
30- ممدوح الخطيب، **بنية المادة بين الوجود والعدم**، تحليلات فيزيائية في البنية الأساسية للمادة، مؤسسة الرسالة، بيروت 1996، الطبعة الأولى.

31- محمد قاسم، **رؤى معاصرة في فلسفات العلوم**، دار المعرفة الجامعية 2006.
32- هينز،ر،باجلز، **رموز الكون، الفيزياء الكمية كلغة للطبيعة**، ترجمة محمد عبد الله البيومي، مراجعة سيد رمضان هداره، الدار الدولية للنشر والتوزيع، القاهرة 2001، الطبعة الثانية.

قائمة الدوريات باللغة العربية:

1- إيين نيكلسون، **فكرة الزمان عبر التاريخ**، ترجمة فؤاد كامل، عالم المعرفة، عدد 159 مارس 1992، الكويت.
2- سام تريمان، **من الذرة إلى الكوارك**، ترجمة أحمد فؤاد باشا، عالم المعرفة، عدد 327، الكويت، 2006.
3- فرانك كلوز، **النهاية**، ترجمة إبراهيم فهمي، عالم المعرفة، عدد نوفمبر 1994، الكويت.
4- كارل ساغان، **الكون**، ترجمة نافع أيوب لبس، عالم المعرفة، عدد أكتوبر 1993، الكويت.

قائمة المعاجم و الموسوعات باللغة العربية:

1- جورج طرابيشي، **معجم الفلاسفة**، دار الطليعة للطباعة و النشر، بيروت، 1978، الطبعة الأولى.
2- موريس شربل، **موسوعة علماء الفيزياء**، دار الكتب العلمية، بيروت، 1991، الطبعة الأولى.

قائمة المراجع باللغة الأجنبية:

1- A.Grumbach, **l'évolution des sciences physique et mathématique**, Ernest Flammarion, Editeur, 1935.
2-Albert Einstein, **Comment je vois le monde**, Paris, 1934.
3- Arthur March, **la physique moderne et ses théories**, Gallimard.
4- Bernard d'éspaynat, Etienne Klein, **Regards sur la matière des Quanta et des choses**, Librairie Fayard, 1993.
5- CH. Brunold, **l'univers et sa représentation**, Librairie Belin, Paris, 1996.
6- Eddington, **The Natur Of The Physical World**, Collins, London, 1980.
7-Eftichios Bitsakis, **Physique contemporaine et matérialisme dialectique**, Edition Sociales? Paris? 1973.
8- Erwin Schrödinger, **Mind and Matter**, Combridge-University Press, London, 1958.
9- Etienne Klein – Marc Lachièze-Rey, **la Quête de l'unité**, l'aventure de la physique, sciences d'aujourdhui, Albin Michel S.A. Paris, 1996.
10- Gaintreau R. Savin W. **Physique moderne, théorie et problème**, MC Graw Hill, New-York, 1978.
11- Gilles Cohen-Tannoudji, Emile Noël, **le réel et ses dimensions**, EDP sciences, Bibliothèque National de France, 2003.
12- J.Jeans, **The New Background Of Science**, C.U.P. London, 1934.
13- Lee Smolin, **Rien ne va plus en physique, l'échèc de la théorie des cordes**, Trad. Marc Lachièze-Rey, préface Alain Connes, Dunod, Paris, 2007.
14- Marc Lachièze-Rey, **la théorie de tout**, Quinte science-Maison neuve et larose, 1999.
15- Max Born, **Natural Philosophy Of Cause and Chance**, Dover Publication, Inc. New-York, 1964.
16- Paul Davies, **les forces de la nature**, Trad. de l'anglais par Alain Bougnet, Flammarion, 1996.
17- W. Heisenberg, **les principes de la théorie des Qunta**, Trad. de l'allmand M.MB. Champion et E. Hochard, Gauthier-Villars, Paris, 1957.
18——————, **The Physicist Conception Of Nature**, Hutchinson, London, 1958.

قائمة المجلات باللغة الأجنبية:

1- **La Recherche**, N° 340 Mars 2001, Société d'Editions Scientifiques, Paris.

2-_____, Hors série N° 08 Juillet 2002, Société d'Editions Scientifiques, Paris.

3-_____, N° 390 Octobre 2005, Société d'Editions Scientifiques, Paris.

4-_____, N° 411 Septembre 2007, Société d'Editions Scientifiques, Paris.

قائمة المعاجم باللغة الأجنبية:

1- Noëlla Baraquin, Jacqueline Laffitte, **Dictionnaire des Philosophes**, Armond colin / Her, Paris, 2000.
2- **Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences**, publie sous la diction de Dominique le court, secrétaire de rédaction Thomas Bourgeois, 1er Edition, Presses Universitaire de France, 1999.

ثبت المصطلحـــات

ثبت المصطلحات

أ

الأثير	Ether
أسفل	Down
أشعة جاما	Rayon Gama
الأشعة السينية	Rayon x
أشكال كالابي–ياو	Calabi-Yau
أغشية	Branes
اللإلكترون	Electron
الإلكترودينامیك الكوانتية	Electrodynamique quantique
الأم	Maman
الانفجار العظيم	Big Bang
الأوتار الفائقة	Supercordes
أمواج مستعرضة	Ondes transverse
اهتزاز	Vibration

ب

باريون	Baryon
البعد	Dimension
بوزونات قياسية ضعيفة	Bosons jauge faible
البوزيترون	Positron

ت

التاو	Tau
تجاوبات	Résonances
التحبب الذري	Granularité atomique
تحويلات لورنتز	Transformation de Lorentz
تخيلية خالصة	Fiction pure
تردد	Fréquences

Construction mental	تركيب عقلي
Simultanéité	التزامن
Révisionaire	تصحيحية
Symétrie	التناظر
Supersymétrie	التناظر الفائق
Constante couple des cordes	ثابت ازدواج الوتر
Dual-même	ثنائيا ذاتيا
Dualité	ثنائية
Dualité forte -faible	ثنائية قوي ضعيف

ج

Gravité	الجاذبية
Supergravite	الجاذبية الفائقة
Gravité quantique	الجاذبية الكوانتية
Graviton	الجرافيتون
Gravitino	الجرافيتينو
Particule	جسيم
Gluon	الجليون
Interféromètre	جهاز قياس التداخل

ح

Déterministe	حتمي
Limite de la science	حدود العلم
Spin	حركة مغزلية
Franges d'interférences	حافات الضوء المتداخلة(هدب التداخل)

خ

Fiction	خيالية

ز

Espace-temps	الزمكان
Zinos	زينوس

س

سكوارك	Squark
سنيوترنيو	Sneutrenio
سيلكترون	Selectron

ط

طول السكون	Langueur statique
طول الموجة	Langueur d'onde
الطيف الحركي	Spectre linéaire

غ

غريب	Strange
الغشاء	Membrane

ف

فارميون	Fermion
فراغ كالابي–ياو	Espace Calabi-Yau
الفضاء الفائق	Superespace
فوتون	Photon
فوتينوس	Photinos
الفوق البنفسجية	Ultraviolet
فينوس	Winos

ق

قاع	Beauté
قمة	Top

القوة الطاردة المركزية	Centrifuge
القوة الكهروضعيفة	Force électrofaible

ك

كروي الشكل	Sphérique
الكروموديناميك الكوانتية	Chromodynamique quantique

Quanta	كم(كوانتا)
Radiation quantique	كم اللإشعاع
Violon	الكمنجة
Electrofaible	الكهرباء الضعيفة
Quark	كوارك

ل

Indéfinition	اللاتحديد
Incertitude	اللامحققية
Leptons	لبتونات

م

Méta science	ماوراء العلم
Complémentarité	مبدأ تتامية (تكملية)
Principe d'équivalence	مبدأ التكافؤ
Continuum	المتصل
Fini	محدود
Plat	مسطح
Charme	مسحور
Matrices	المصفوفات
Spectromètre	المطياف
Intelligible	معقولية
Normative	معياري
Plausible	مقبولة
Ferme	مقفل
Courbe	منحنى
Mécanique quantique	الميكانيكا الكوانتية
Muon	الميون

ن

Neutron	النترون

Théorie corpusculaire	نظرية الجسيمات
Théorie électrofaible quantique	نظرية الكهربائية الضعيفة الكوانتية
Théorie-M	نظرية كل شيء
Théorie relativité générale	نظرية النسبية العامة
Type I	النوع الأول
Type IIA	النوع الثاني أ
Type IIB	النوع الثاني ب
Type hétrotique- O	النوع المغاير−O
Type hétrotique- E	النوع المغاير−E
Neutrenio	النيوترنيو

هـ

Hadron	هادرون
Géométrie quantique	الهندسة الكمية (الكوانتية)

فـــهـــرس الأعـــلام

فهرس الأعلام

أ

- **ادموند وير سينوت** Edmond Ware Sinnott (1888-1968)
عالم نباتي أمريكي، ضاحب كتاب سبيلا الحقيقة (1953) و الحياة و الدماغ (1956).
42.

- **ادوارد مورلي** Edward Morly
4 ، 6 ، 7.

- **ادوارد وايتن** Edward Witten (1951-)
فيزيائي أمريكي و أستاذ في معهد الدراسات المتقدمة ، و يعتبر من الأوائل الذين بحثوا في نظرية الأوتار الفائقة.
136 ،137 ،150، 153، 154، 155، 157، 158، 159.

- **ادوين هبل** Edwin Habel (1889-1953)
فلكي أمريكي، و هو الذي بين أن معظم المجرات بأنها تبتعد عن مجرتنا بسرعة تتناسب مع بعدها عنا.
39.

- **أرثر أدينجتون** Arthur Eddington (1882-1944)
فلكي و فيزيائي إنجليزي
37، 97

- **أرثر كومبتون** Arthur Compton (1892-1961)
فيزيائي أمريكي ، من أهم اكتشافاته الأشعة السينية و بفضلها نال جائزة نوبل للفيزياء سنة 1927.
67، 72.

- **أرسطو** Aristote (384-322) ق.م
فيلسوف يوناني.
163.

- **أركاديفيتش كليمنت تيميرياسف** Arkadyvich Kliment Timiryazev (1843-1920)
فيزيائي و فيلسوف روسي.
47

- **أرفين شرودنجر** Erwin Schrödinger (1887-1961)

فيزيائي نمساوي، صاحب المعادلة الموجية و نال جائزة نوبل للفيزياء سنة 1933.
77، 78، 79، 80، 82، 97، 100، 116، 117.

- **أرنست ماخ** Ernst Mach (1838-1961)
فيلسوف و فيزيائي نمساوي ، له دراسة في الميكانيكا في تطورها التاريخي النقدي.
46.

- **أرنست ماسن** Ernst Massen
فيزيائي نمساوي
48.

- **أرنست رذرفورد** Ernst Rutherford (1871-1937)
فيزيائي نيوزيلندي، و هو مكتشف أشعة ألفا و أشعة بيتا.
68

- **أرنولد سومرفيلد** Arnold Sommerfeld (1868-1951)
رياضي و فيزيائي ألماني، وضع سنة 1894 النظرية التامة للانتشار الضوئي، و أتم سنة 1915 النموذج المقترح من قبل رذرفورد.
69، 70

- **إسحاق نيوتن** Isaac Newton (1642-1727)
فيلسوف، رياضي، فيزيائي و فلكي إنجليزي و هو مكتشف الجاذبية.
2، 3، 8، 9، 24، 25، 31، 32، 33، 36، 38، 52، 53، 61، 62، 64، 103، 124، 162.

- **أوجيستين فرينل** Augustain Frennel (1788-1827)
فيزيائي فرنسي.
63، 64.

- **أوجين فيجنر** Eugène Wigner (1902-1995)
فيزيائي و رياضي أمريكي من أصل مجري، تخصص في الفيزياء النووية، و نال جائزة نوبل للفيزياء سنة 1963 مع كل من ماري جويرت ماير و جنسن.
102، 107.

- **أوجينيو كالابي** Euginio Calabi (-1923)
رياضي أمريكي من أصل إيطالي، تخصص في الهندسات المختلفة خاصة المعادلات و تطبيقاتها.
149، 159

- **أوسكار كلاين** Oscar Klein (1894-1977)
فيزيائي سويدي.
126، 127، 141، 147

- **أفلاطون** Platon (427-347) ق.م
فيلسوف يوناني و هو تلميذ سقراط.
.163
- **إقليدس** Euclide القرن 3 ق.م
رياضي يوناني، واضع مبادئ الهندسة المسطحة.
.26

- **ألبرت مايكلسون** Albert Michelson (1852-1931)
فيزيائي أمريكي، نال جائزة نوبل للفيزياء سنة 1907.
4، 6، 7، 8

- **ألبرت آينشتاين** Albert Einstein (1879-1955)
فيزيائي ألماني،
4، 7، 8، 9، 10، 13، 15، 18، 22، 25، 26، 27، 29، 30، 31، 33، 34، 36، 38، 39،
40، 41، 43، 44، 45، 46، 47، 48، 49، 52، 53، 64، 66، 71، 72، 92، 94، 105،123
125، 133، 143، 144، 162، 169.

- **ألفريد نورث وايتهيد** Alfred North Whitehead (1861-1947)
فيلسوف أمريكي من أصل إنجليزي، له مؤلف مع راسل مبادئ الرياضيات.
.49

- **ألفيس فينتزل** Alevis Winzel (1887- .)
.101

- **ألكسندر فريدمان** Alexander Friedmann (1888-1925)
فيزيائي و رياضي روسي .
38، 39.

- **أنريكو فيرمي** Enrico Fermi (1901-1954)
فيزيائي إيطالي، من أهم أعماله حضر مع ديراك في سنة 1927 الإحصاء الكوانتي مبني على أساس مبدأ باولي، و نال جائزة نوبل سنة 1938.

- **إزيدور راباي** Easy dor Rabbay
.111

ب
- **باروخ سبينوزا** Baroch Spinoza (1632-1677)
فيلسوف هولندي.

.44

- **باول تاوسند** Paul Tawssend
فيزيائي إنجليزي.
.150

- **باولي فولفجانج** Pauli Wolfgang (1900-1958)
فيزيائي نمساوي، مكتشف مبدأ الانتفاء، و نال جائزة نوبل للفيزياء سنة 1945.
91، 116، 120، 121.

- **بيتر جاليزون** Peter Galison
أستاذ تاريخ العلوم في جامعة هارفارد بأمريكا، و مختص في تاريخ الفيزياء.
.165

- **بتريم سوروكين** Pitrim Sorokin (1884-1968)
سوسيولوجي أمريكي من أصل روسي.
.44

- **برتراند راسل** Bertrand Russell (1872-1970)
فيلسوف و منطيقي إنجليزي.
.46

- **برنارد بافنك** Bernard Pavnac
.104

- **بوردان** Bordain
.91

- **برايان جرين** Brian Green(1963-)
فيزيائي أمريكي، أحدث ضجة بإصدار كتابه، الكون الأنيق، الذي يدور محتواه حول نظرية الأوتار.
.139

- **بول ديراك** Paul Dirac (1902-1984)
فيزيائي إنجليزي، و أحد مؤسسي الفيزياء الكوانتية، و هو الذي تنبأ بوجود البوزيترونات.
116، 118، 119، 120، 121، 122.

- **بول ديفس** Paul Davies (1914-2007)
.163

- **بول موي** Paul Moy
.20

- بلونشار Blanchard
.87

ت

- **توماس يونج** Thomas Young (1773-1829)
عالم فسيولوجيا و بصريات إنجليزي، قام بتحديد الطول الموجي للضوء أحادي الألوان.
62، 75.

- **تيودور كالوزا** Theodor Kaluza (1885-1954)
فيزيائي و رياضي ألماني، أول الفيزيائيين الذي تصور نظرية بأبعادها الإضافية في الكون و المعروفة بنظرية الأوتار.
125، 126، 127، 141، 147.

ج

- **جابريال فينيزيانو** Gabrielle Veneziano (-1942)
فيزيائي إيطالي، مكتشف نظرية الأوتار، واضع الأطر الأساسية للجسيمات الجاذبية و الكسمولوجية.
.135

- **جاليلي** Galilée
36، 52، 53.

- **جان بياجي** Jean Piaget (1896-1980)
عالم نفساني، منطقي و إبستمولوجي سويسري.
.96

- **جوساف بول شينسكي** Joseph Polchinski (-1954)
فيزيائي أمريكي، و يعتبر من أحد الباحثين في نظرية الأوتار.
.161

- **جون بارو** John Barrow (-1952)
فيزيائي نظري و رياضي إنجليزي.
162، 163.

- **جون سوليفان** John Solivain
.102

- **جون شوارتز** John Schwarz (1941-)
فيزيائي ألماني، يعتبر من أحد رواد نظرية الأوتار.
136، 137.

- **جون ويلر** John Wheeler (1911-)
فيزيائي أمريكي، و هو مكتشف الثقب الأسود، و كان من الذين اشتركوا في مشروع مانهاتن لإنتاج القنبلة الذرية.
41، 93.

- **جيمس جينز** James Jeans (1877-1946)
فلكي إنجليزي، و من البارزين في الطبيعة الرياضية، الموصوف بفيثاغورس معاصر.
97.

- **جيمس ماكسويل** James Maxwell (1831-1879)
فيزيائي اسكتلندي.
3، 60، 64، 124، 125، 162.

- **جويل شيرك** Joël Scherk
فيزيائي انتحر سنة 1979، و كان له عمل مع جون شوارتز حول نظرية الأوتار.
136.

ر

- **ريتشارد فاينمان** Richard Feynman (1818-1988)
فيزيائي أمريكي، نال جائزة نوبل سنة 1965 حول النظرية الكوانتية للمجال.
65، 116، 161، 164.

- **رفائيل بوسو** Raphaël Busso
161.

- **رامان** Ramann
67.

- **ريمان** Riemann (1826-1866)
رياضي ألماني، صاحب مسلمة المكان الهندسي كروي.
143، 144.

- **رونيه** ديكارت René Descartes (1570-1650)
فيلسوف و رياضي فرنسي.
44، 163.

س

- **ستيفن هاوكينج** Stephen Hawking (1942-)
فيزيائي نظري و كسمولوجي إنجليزي.
.163

- **ستيفن واينبرج** Steven Weinberg (1933-)
فيزيائي أمريكي، من أهم أعماله حضر نظرية جديدة للسعة هدفها توحيد وصف المداخلات الإلكترومغناطيسية الضعيفة، و على إثرها نال جائزة نوبل للفيزياء سنة 1974 مع محمد عبد السلام.
.117، 118، 127

- **سيرجي إيفانوفيتش فافيلوف** Sergy Ivanoviech Pavlov
فيزيائي روسي.
.48

- **سيمون** Simon
.72

ش

- **شارل ويلسون** Charles Wilson (1869-1959)
فيزيائي اسكتلندي، مخترع الغرفة السحابية و التي تعرف بغرفة ويلسون.
.79

- **شلدون جلاشو** Sheldon Glashow (1932-)
فيزيائي أمريكي.
.110، 117، 118، 127، 160

ف

- **فافا كومرون** Vafa Cumrun (1960-)
فيزيائي أمريكي من أصل إيراني، يعتبر من رواد منظري الأوتار في جامعة هارفارد بأمريكا.
.169

- **فريدريك بيسل** Friedrich Bessel (1784-1846)
فلكي و رياضي ألماني.
.165

- **فيتزجيرالد** Fitzgerald
.8، 21

- **فيثاغورس** Pythagore (70)ق.م
رياضي يوناني، استخدم العنصر الرياضي في الفكر، لأنه يقع في الوسط بين المحسوس و الفكر.
.162

- **فرنر هايزنبرج** Werner Heisenberg (1901-1976)
فيزيائي ألماني، و هو أحد مؤسسي الميكانيكا الكوانتية، و نال جائزة نوبل للفيزياء سنة 1932.
56، 81، 82، 83، 84، 85، 87، 91، 92، 94، 97.

- **فوكولت** Faucoult
.64

- **فيليب لينارد** Philipp (1862-1947)
فيزيائي مجري، نال جائزة نوبل بفضل أبحاثه في الأشعة المهبطية سنة 1901.
.64

ك
- **كارل أندرسون** Karl Anderson
.122

- **كريستيان هويجينز** Christian Huygens (1629-1695)
فلكي و رياضي و فيزيائي هولندي، و هو الذي فسر قوانين الانعكاس و الانكسار.
61، 62.

- **كريس هول** Chris Hull
.150

- **كانط** Kant (1720-1804)
فيلسوف ألماني.
10، 44، 100، 124.

- **كلينتون دافيسون** Clinton Davisson (1881-1958)
مهندس و فيزيائي أمريكي، نال جائزة نوبل للفيزياء سنة 1937 مع طومسون.
73، 76، 77.

ل
- **لستر جيرمر** Lester Germer (1846-1971)
فيزيائي أمريكي.
73، 76، 77.

- **لينكولن بارنيت** Lincoln Bernitt
46، 52.

- **لويس دي بروجلي** Louis de Broglie (1892-1982)
فيزيائي فرنسي.
70، 72، 73، 76، 77، 78، 80، 82.

- **لويس لاجرانج** Louis Lagrange (1836-1913)
رياضي و فيزيائي فرنسي، أعطى دفعا لتقدم العلوم، و أظهر ميكانيكا نيوتن بمفاهيم رياضية صرفة.
28.

- **لي سمولن** Lee Smolin (1955-)
فيزيائي أمريكي، و صاحب كتاب "لا شيء يدرك في الفيزياء " (2007).
161.

- **ليونار أويلر** Leonard Euler (1707-1783)
رياضي سويسري، تناولت أبحاثه في الرياضيات و الجسيمات المتناهية الصغر- الهندسة التحليلية.
135، 136.

م
- **محمد عبد السلام** Mohamed Abdussalam (1926-1996)
فيزيائي و فلكي باكستاني ، نال جائزة نوبل للفيزياء مع شلدون و واينبرج على نظرية الكهروضعيفة.
117، 118، 127.

- **ماكس بورن** Max Born (1882-1970)
فيزيائي و رياضي ألماني، نال جائزة نوبل للفيزياء سنة 1954 حول أبحاثه عن ميكانيكا الكوانتم .
78، 79، 80، 81، 82، 91، 92، 100.

- **ماكس بلانك** Max Planck (1858-1947)
فيزيائي ألماني، فهو مشهور بنظريته عن الكوانتم، و نال جائزة نوبل سنة 1918.
2، 59، 60، 71، 76، 97، 124، 141، 143، 145.

- **مايكل جرين** Michael Green (1946-)
فيزيائي و أستاذ في قسم الفيزياء بمعهد الملكة ماري في لندن، و يعتبر من رواد النظرية الوترية.
137.

- **موري جيل مان** Murray Gell-Mann (-1929)
فيزيائي أمريكي، صاحب نموذج الكوارك، و نال جائزة نوبل للفيزياء سنة 1969.
108.

ن
- **نيلز بور** Niels Bohr (1885-1962)
فيزيائي دنمركي.
68، 69، 70، 77، 79، 81، 86، 87، 88، 89، 90، 91، 92، 105.

هـ
- **هربرت ولدون كار**
فيلسوف أنجليزي.
47.

- **هيرمان منكوفسكي** Hermann Minkowski (1864-1909)
رياضي و فيزيائي روسي.
27، 28، 29، 44، 49.

- **هندريك لورنتز** Hendrik Lorentz (1853-1929)
فيزيائي هولندي، نشر بحثا يتضمن الخصائص المشتركة بين الضوء و الموجات الكهرومغناطيسية.
8، 10، 16، 17، 20، 21، 22.

- **هنري برجسون** Henri Bergson (1859-1841)
فيلسوف فرنسي.
44.

- **هانس جيجر** Hans Geiger
فيزيائي ألماني، اخترع في سنة 1912 جهاز يسمح برؤية الذرات و هو يعرف بعداد جيجر.
79.

- **هانس يسن هيرتز** Hans Jessen Hirtz

ي
- **يوهانس شتارك** Johannes Stark (1874-1957)
فيزيائي ألماني، نال جائزة نوبل للفيزياء سنة 1919 .
52، 53.

- **يوهانس كيبلر** Johannes Kepler (1571-1630)
فلكي ألماني، الذي قال بأن الأرض تدور حول الشمس.
70.

- **ياو شونج تونج** Yau Shing Tung (1949-)
رياضي صيني، مختص في الهندسات المختلفة.
149، 159.

فهرس الفهارس

مـــــقـــدمـــــة ..... -أ-

الفـــصـــل الأول: النظرية النسبية 1

المبـــحـــث الأول: أزمة الفيزياء الكلاسيكية و أسباب ظهور مفهوم النسبية 2

1- انهيار الفيزياء الكلاسيكية 2

2- تجربة مايكلسون-مورلي و فشل فرضية الأثير 2

3- بدايات النظرية النسبية 2

المبـــحـــث الثـــانـــي: المفاهيم الأساسية للنظرية النسبية الخاصة 10

1- تمهيد 10

2- نسبية التزامن 11

3- تحويل لورنتز و نتائجه 16

4- نسبية الزمكان 18

5- علاقة الكتلة بالطاقة 24

المبـــحـــث الثـــالـــث: المفاهيم الأساسية للنظرية النسبية العامة 25

1- تمهيد 25

2- المتصل الرباعي الأبعاد 26

3- المتصل منحنى مقفل محدود 29

4- نظرية الجاذبية 31

5- الكون المتمدد و المنكمش 38

المبـــحـــث الـــرابـــع: تفسيرات ميتافيزيائية للنظرية النسبية 41

1- مضامين ميتافيزيائية لنظرية النسبية 41

2- نظرية النسبية في مواجهة المذهب المادي 48

3- هل نظرية النسبية نظرية عقائدية؟ 52

الفـــصـــل الثـــانـــي: النظرية الكوانتية 55

المبـــحـــث الأول: نظرة تمهيدية لنظرية الكوانتم 56

1- تمهيد 56

2- مفاهيم أولية لنظرية الكوانتم 57

3- نظرية بلانك للكوانتم 59

4- طبيعة الضوء 60

المبـــحـــث الثـــانـــي: نظرية الكوانتم الحديثة 65

1- بداية كوانتم حديثة 65

2- الظاهرة الكهروضوئية 66

3- نظرية نيلز بور عن الأطياف الذرية 68

4- ميكانيكا الكوانتم 70
المبـــحـــث الثـــالـــث: اللغة الجديدة للكون الذري 81
1- علاقة اللامحققية لهايزنبرج 81
2- تتامية بور 87
3- مدرسة كوبنهاجن 91
4- أبرز آراء مدرسة كوبنهاجن 93
المبـــحـــث الرابـــع: تفسيرات ميتافيزيائية للنظرية الكوانتم 94
1- موقف نظرية الكوانتم من مشكل الذات و الموضوع 94
2- مثالية علماء نظرية الكوانتم 96
3- الفيزياء و حرية الإرادة 103
الفـــصـــل الثـــالـــث: النظرية الوترية 106
المبـــحـــث الأول: الحاجة إلى نظرية جديدة 107
1- أساسيات دنيا الجسيمات دون الذرية 107
2- نظرية مجال الكوانتم 116
3- النسبية العامة في مواجهة ميكانيكا الكوانتم 118
المبـــحـــث الثـــانـــي: ما قبل الأوتار 124
1- توحيد القوى 124
2- التناظر و التناظر الفائق 128
3- الجاذبية الفائقة 132
المبـــحـــث الثـــالـــث: أساسيات نظرية الأوتار الفائقة 133
1- موجز تاريخ نظرية الأوتار 135
2- الجاذبية وميكانيكا الكوانتم في نظرية الأوتار 137
3- أبعاد أكثر و نظرية الأوتار 141
المبـــحـــث الرابـــع: نظرية الأوتار و نسيج الزمكان 143
1- الهندسة الكمية 143
2- فيزياء الأوتار الملتوية 145
المبـــحـــث الخـــامـــس: ما بعد الأوتار في البحث عن نظرية-M 148
1- موجز الثورة الثانية للأوتار الفائقة 150
2- نظرية -M 156
3- نظرية -M و اندماج كل القوى 158
المبـــحـــث الســـادس: هل نظرية الأوتار نظرية فلسفية؟ 160
1- هل نظرية الأوتار صحيحة؟ 160
2- الجانب الميتافيزيائي لنظرية الأوتار 162
خـــاتـــمـــة 167

قائمة المراجع 171
ثبت المصطلحات 177
فهرس الأعلام 183
فهرس الفهارس 195