جمهورية العراق

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة بابل /كلية التربية للعلوم الصرفة

قسم / الفيزياء

مفاهيم فيزياء الكم وتفسيراتها

مشروع بحث مقدم إلى رئاسة قسم الفيزياء /كلية التربية للعلوم الصرفة

كجزء من متطلبات نيل شهادة البكالوريوس في الفيزياء

من قبل الطالب :

حسين علي شحاتة

بإشراف

أ.د. مهند حسين عليوي

1444هـ بابل 2024م

بسم الله الرحمن الرحيم

(نٓ وَالْقَلَمِ وَمَا يَسْطُرُونَ)

القلم: ١

الاهداء

قد عانيت كثيرًا من أجل هذه اللحظة، ومررتُ بالعديد من الصِعاب والعراقيل ومع كل هذا فقد كنت أصمم على أن أتجاوز كل هذه العقبات بثبات وثقة في الله تعالى

فإلى أمي وابي وأخواني ، وجميع أصدقائي ولن أنسى أساتذتي الذين نصحوني ولم يبخلوا بعلمهم ووقتهم.

الى رفيق روحي: أهدي هذا البحث إلى من أخذ بيدي نحو ما أريد، وأعاد إليّ ثقتي بقدرتي على التقدّم

إليكم هذا البحث الخاص بتخرجي إهداء خاص لكم تعبيرًا عن فائق احترامي وتقديري لكم.

الشكر والتقدير

شكري وتقديري لأستاذي رئيس قسم كلية العلوم ، شكري وامتناني للمشرف الدكتور (د.مهند) لرعايته العلمية والتربوية المتواصلة في أثناء كتابة البحث .

شكري وتقديري إلى بقية الأساتذة المبجلين لما قدموه من مساعدة ومشورة للباحث ، من جهد في تقويم البحث لغوياً .

شكري لكل القائمين على مكتبة كلية العلوم والمكتبة والمكتبة المركزية في جامعة بابل والى جميع من مد يد العون والمساعدة ، والى الأخوة والزملاء في الكلية العلوم قسم الفيزياء، لإخراجهم البحث ليظهر بحلّته هذه .

ومن الله التوفيق

الباحث

ملخص البحث :

ان فيزياء الكم يعود إلى أهميّة الكم في بنائها)وهو مصطلح فيزيائي يستخدم لوصف أصغر كمّية من الطاقة يمكن تبادلها بين الجسيمات، ويستخدم للإشارة إلى كميات الطاقة المحددة التي تنبعث بشكل متقطع، وليس بشكل مستمر .(كثيرا ما يستخدم مصطلحي فيزياء الكم والنظرية الكمية كمرادفات لميكانيكا الكم .وبعض الكتّاب يستخدمون مصطلح ميكانيكا الكم للإشارة إلى ميكانيكا الكم غير النسبية.

أتت نظرية الكم في بدايات القرن العشرين مثل النظرية النسبية لحل إشكاليات لم تستطع الفيزياء الكلاسيكية في تفسيرها، هي عدم التناسق بين التصور الموضوع حينها لشكل الذرة، حيث كان يتم إعتبارها كمجموعتنا الشمسية بتمركز النواة في الوسط ودوران الإلكترونات حولها. غير أنه وبإغفال الشحنات الكهربائية التي تتحول نتيجة الدوران السريع للإلكترونات إلى طاقة كهرومغناطيسية تبدد طاقة الإلكترونات مما يجعلها تصطدم بالنواة في جزء من الثانية لنفاذ طاقتها مما يؤدي إلى إنهيار الذرة، وهذا غير واقعي لذا جاءت الحاجه لنظرية جديدة تعطي نمودجا آخر لتكوين الذرة.

تعتبر النظرية الكلاسيكية أيضاً أن ألوان الطيف الذري يجب أن تغطي جميع الأطوال الموجية بنفس الشدة، لكن لاحظ الفيزيائيين أن النتائج التجريبية تناقض ذلك بشدة حيث تصدر الذرات المختلفة أطيافاً(موجات ضوئية)لها أطوال موجية خاصة ومحددة جداً.

تنشأ مشكلة أخرى عندما نتأمل إشكالية الجسم الأسود" وهو جسم يمتص كامل الإشعاع الساقط عليه ليعيد إصداره بالكامل مرة آخرى" حيث فشلت كل المحاولات المستندة إلى الفيزياء الإحصائية التقليدية في تفسير منحنى إشعاع الجسم الأسود خصوصاً عند الترددات العالية وهذا ما عرف لاحقاً باسم الكارثة فوق البنفسجية وبهذا ظهر للعلماء أن قوانينالديناميكا الحرارية أصبحت عاجزة عن تفسير هذه الظاهره.

تقوم معادلة شرودنجر بوصف تطور دالة الموجة مع الزمن وبهذا فهي تقوم بالتنبؤ الدقيق للحالات الكمية للجسيم في أي لحظة وبهذا تقدم لنا قانونا ثابتاً يشرح تطور الدالات الموجية بكل دقة، هذه الدالات التي تكون في داخلها جميع قيم الموضع وكمية الحركة المحتملة، فدالة الموجة التابعة للجسيم حر الحركة تتنبأ بأن مركز الحزمة الموجية سيتحرك مع الزمن بسرعة ثابتة و في نفس الوقت سيزداد إمتداد الموجة ليصبح الموضع أكثر فأكثر غير محدد، توجد أيضاً بعض الأنظمة

الكمية المستقرة التي لا تبدي تغيراً مع الزمن كحالة الإلكترون في ذرة الهيدروجين والذي يصور في ميكانيكا الكم كموجة إحتمالية مستقرة دائرية يكون تواجد الإلكترون كبيراً ضمن بعد معين من النواة في حين يقل الإحتمال تدريجياً كلما إبتعدنا عن النواة لا تعطينا ميكانيك الكم تنبؤاً دقيقاً، بنتيجة رصد أو قياس جملة كمومية أو جسيم كمومي إنما تكتفي بإعطاء مجموعة من النتائج الممكنة والمختلفة لكل منها احتمال وجود معين. كما لا يستطيع تحديد طبيعة الجسيم ان كانت جسيمية أو موجية فهو يعتبر هذه الطبيعة نتيجة الرصد والقياس فعندما توجه اهتمامك للخاصية الموجية للجملة ترصد تلك الخواص وعندما تهتم بالخواص الجسيمية تبدو الجملة بشكل جسيم.فقد تضمن البحث ثلاث فصول تضمنت الكلاسيكية وانواعها وقوانينها وتعريف فيزياء الكم بمعناها الفيزيائي وانتهى البحث بالمصادر .

المحتويات

الموضوع	رقم الصفحة
الفصل الأول – الفيزياء الكلاسيكية	–
مقدمة	٩
قوانين نيوتن	٩
قوانين نيوتن	١٠
قوانين ماكسويل في الكهرومغناطيسية	١١
قوانين غاوس	١٢
قانون فاراداي	١٣
قوانين الثرموديمنك	١٥
الفصل الثاني – فيزياء الكم	–
اشعاع الجسم الاسود	١٦
الدالة الموجية	١٧
معادلة شرادنجر	١٩
القفزة الكمية لبور	٢٣
موجة الاحتمالية لماكسويل	٢٤
الفصل الثالث – المعنى الفيزيائي لميكانيك الكم	–

الموضوع	رقم الصفحة
المقدمة	٢٦
المتصل والمنفصل	٢٨
الاحتمالية والحتمية	٢٩
تفسير العوامل المتعددة	٣٣
المصادر	٣٤-٣٥

الفصل الأول: الفيزياء الكلاسيكية

١ .١ المقدمة

الفيزياء الكلاسيكية هي إحدى فروع علم الفيزياء الذي يهتم بدراسة الظواهر الحركية للأجسام والقوى المسببة لحركتها، وتعتمد في دراساتها هذه على قوانين الحركة الخطية لنيوتن وقانون الجذب العام والتحليل الضوئي، ونظريات الاشعاع الكهرومغناطيسي لجيمس كلارك ماكسويل وقانسون التعجيل المنتظم لجاليليو جاليلي وقانون حفظ المادة وقانون حفظ الطاقة وقوانين أخرى معاصرة لها نتج عنها ظهور أو تطور فروع الفيزياء الكلاسيكية، كالديناميكا والهيدرودينمك وعلم توازن القوى والبصريات والديناميكا الحرارية وعلم الصوت والمغناطيسية والكهربائية(١)

الفيزياء الكلاسيكية هي النظريات الفيزيائية التي تسبق النظريات الحديثة وغالبًا ما تكون أكثر اكتمالًا، وتغطي نطاقًا أوسع. إذا تم اعتبار نظرية مقبولة حديثًا من الناحية النظرية، يتم اعتبار النظريات السابقة لها جزءًا من الفيزياء الكلاسيكية. على هذا النحو، يتم استخدام النظرية الكلاسيكية عندما تكون النظريات الحديثة معقدة أكثر من اللازم.

تمتلك النظرية الكلاسيكية على الأقل أكثر من اتجاهين في الفيزياء. ففي سياق ميكانيكا الكم، تشير النظرية الكلاسيكية إلى النظريات الفيزيائية التي لا تستخدم النموذج الكمي، نموذج الإمازة، مثل الميكانيكا الكلاسيكية والنظرية النسبية .فالنظريات الكلاسيكية لا تستخدم النسبية الخاصة وتستخدم جاذبية جاليليو.(٢)

١.٢قوانين نيوتن

وضع نيوتن ثلاثة قوانين مشهورة جداً وأساسية في دراسة الفيزياء تُعرف بقوانين نيوتن في الحركة، وتعتبر هذه القوانين الثلاثة القاعدة الأساسية للميكانيكا الكلاسيكية. أمّا الفكرة العامة لهذه القوانين فهي وصف الأجسام والقوى التي تؤثر عليها، وطريقة استجابة الأجسام لهذه القوة من ناحية حركتها.

١- قانون نيوتن الأول ينصّ قانون نيوتن الأول على أنّ الجسم الساكن يبقى ساكناً، والجسم المتحرك يبقى متحركاً ما لم تؤثر به قوة محصلة ما وهو المعروف بقانون القصور الذاتي للأجسام.

يصف هذا القانون ميل الأجسام للمحافظة على حالتها الحركية، وممانعة تغييرها، وهذا ما يعرف بخاصية القصور الذاتي للأجسام، لذا يسمى قانون نيوتن الأول قانون القصور الذاتي، وتعتمد هذه الخاصية على كتلة القصور للجسم وتزداد بازديادها، وهذا يعني أن تغيّر الحالة الحركية للجسم تكون أصعب كلّما كانت كتلة القصور له أكبر، وبكلمات أخرى يمكننا تعريف كتلة القصور على أنّها مقدار الممانعة التي يبديها الجسم ضد القوة التي تحاول تغيير حالته الحركية.(٣)

٢-قانون نيوتن الثاني ينصّ قانون نيوتن الثاني على أنّه: إذا أثّرنا على جسم بقوة ما أدت إلى تغير حالته الحركية، فإن هذه القوة تكون مساوية لمقدار التغيّر الحاصل في الزخم نسبةً إلى الزمن. ويعبَّر عن هذا القانون رياضياً كالآتي: قالمحصلة= ك × ت، حيث إن: قالمحصلة: هي مجموع القوى المؤثرة على جسمٍ ما. ك: هي كتلة هذا الجسم. ت: هو التسارع الذي سوف يكتسبه هذا الجسم نتيجةً لتأثير هذه القوى عليه. ومن الجدير بالذكر أن القانون الثاني لنيوتن يزودنا بكمية القوة، حيث يمكن ملاحظة هذه القوة من التغير الحاصل في الحالة الحركية للجسم، بحيث انه كلما كانت القوة أكبر كلما كان التسارع أكبر (وبالتالي التغير في الطاقة الحركية أكبر). أيضاً كلما زادت كتلة الجسم تطلب هذا الأمر قوةً أكبر لإكسابها نفس التسارع الخاص بجسم أقل كتلةً.

٣-قانون نيوتن الثالث ينصّ قانون نيوتن الثالث على أنّه: (إذا أثر جسمان بقوة متبادلة على بعضهما البعض، فإن هذه القوة ستكون متساوية في المقدار، ومتعاكسة في الاتجاه). هذا القانون هو المعروف بقانون الفعل ورد الفعل، وهو يخبرنا بأنّه لا وجود لقوة منفردة معزولة بشكل كامل، ومثال على ذلك أي جسم موضوع على الأرض أو أي سطح ما، ولنقل إن النظام الذي لدينا هو كتاب موضوع على طاولة، فبما أنه توجد للكتاب كتلة فهذا يعني أنه سيمتلك وزناً، والوزن هو قوة سحب الجاذبية الأرضية للكتاب، وسيكون اتجاه هذه القوة للأسفل، فمثلاً إذا رمينا كتاباً على الطاولة فإنه سوف يتسارع حتى يصل إلى سطح الطاولة ويستقر، وسبب استقراره رغم استمرار وجود قوة الجاذبية هو رد الفعل الذي تقوم به الطاولة على الكتاب عندما يكون على سطحها، وتسمى هذه القوة بالقوة العمودية، وتكون دائماً عمودية على السطح؛ و(الفعل في هذه الحالة هو قوة جذب الأرض للكتاب، ورد الفعل هو القوة العمودية التي تؤثر بها الطاولة على الكتاب). من الجدير بالذكر أيضاً أنه كما يُخبرنا نص القانون، فإنّ قوة رد الفعل تكون مساوية لقوة الفعل

ومعاكسة لها في الاتجاه، ويتم التعبير عن هذا الاتجاه المعاكس رياضياً بإشارة سالبة.

٣.١قوانين ماكسويل في الكهرومغناطيسية

معادلات ماكسويل هي مجموعة من المعادلات التفاضلية الجزئية المقترنة التي تشكل، إلى جانب قانون قوة لورنتس، أساس الكهرومغناطيسية التقليدية والبصريات التقليدية والدوائر الكهربائية .توفر المعادلات نموذجًا رياضيًا للتكنولوجيات الكهربائية والبصرية وتكنولوجيا الراديو، مثل توليد القدرة الكهربائية والمحركات الكهربائية والاتصالات اللاسلكية والعدسات والرادار وما إلى ذلك. تصف معادلات ماكسويل آلية توليد الحقول الكهربائية والمغناطيسية بواسطة الشحنات والتيارات والتغييرات في الحقول. إحدى النتائج المهمة للمعادلات هي إثبات أن الحقول الكهربائية والمغناطيسية المتذبذبة تنتشر بسرعة ثابتة) سرعة الضوء (c) في الفراغ. يمكن لهذه الموجات المعروفة باسم الإشعاع الكهرومغناطيسي امتلاك أطوال موجية مختلفة لإنتاج طيف كهرومغناطيسي يتراوح بين الموجات الراديوية إلى أشعة غاما .سميت المعادلات نسبةً لعالم الفيزياء والرياضيات جيمس كليرك ماكسويل، الذي نشر شكلًا مبكرًا من المعادلات التي تضمنت قانون قوة لورنتس بين عامي ١٨٦١ و١٨٦٢. استخدم ماكسويل المعادلات أولًا لاقتراح أن الضوء هو ظاهرة كهرومغناطيسية.(٤)

تمتلك المعادلات شكلين رئيسيين. تتمتع معادلات ماكسويل المجهرية بقابلية شاملة للتطبيق ولكنها غير عملية للحسابات العادية. تربط هذا المعادلات الحقلين الكهربائي والمغناطيسي بالشحنة والتيار الكليين، بما في ذلك الشحنات والتيارات المعقدة في المواد على المقياس الذري .تُعرّف معادلات ماكسويل الجاهرية حقلين إضافيين جديدين يصفان سلوك المادة على نطاق كبير دون الحاجة للأخذ بعين الاعتبار شحنات المقياس الذري والظواهر الكمومية مثل اللف المغزلي. ومع ذلك، يتطلب استخدامها معاملات محددة تجريبيًا لوصف ظواهر استجابة المواد للمؤثرات الكهرومغناطيسية.

غالبًا ما يُستخدم مصطلح معادلات ماكسويل في صياغات بديلة مماثلة. من المُفضل استخدام أشكال معادلات ماكسويل المرتكزة على الكمون الكهربائي والكمون المغناطيسي في حل المعادلات

بشكل صريح باعتبارها» مسألة قيمة حدية «أو «ميكانيكا تحليلية» أو للاستخدام في ميكانيكا الكم .تؤدي «صياغة موافق التغير» (في الزمكان بدلًا من المكان والزمان بشكل منفصل) إلى ظهور التوافق بين معادلات ماكسويل والنسبية الخاصة .تتوافق «معادلات ماكسويل في الزمكان المنحني»، والتي تُستخدم عادة في فيزياء الطاقة العالية وفيزياء الجاذبية، مع النسبية العامة .في الواقع، طور آينشتاين النسبية الخاصة والعامة للجمع بين سرعة الضوء الثابتة، التي تُعد إحدى نتائج معادلات ماكسويل، ومبدأ أن الحركة النسبية لها أهمية فيزيائية فقط.(٥)

مثّل نشر المعادلات توحيد الظواهر الموصوفة سابقًا: المغناطيسية والكهرباء والضوء والإشعاع المصاحب له. منذ منتصف القرن العشرين، يعلم العلماء أن معادلات ماكسويل ليست دقيقة تمامًا، بل تمثل الحد التقليدي لنظرية الكهروديناميكا الكمية الأساسية.

١.٤قانون غاوس:

يصف قانون غاوس العلاقة بين الحقل الكهربائي الساكن والشحنات الكهربائية التي تولده: يتجه الحقل الكهربائي الساكن بعيدًا عن الشحنات الموجبة ونحو الشحنات السالبة، ويتناسب التدفق الكهربائي الخارجي للحقل الكهربائي عبر أي سطح مغلق مع الشحنة التي يحيطها السطح. عن طريق تصور الحقل الكهربائي بخطوط حقله، هذا يعني أن خطوط الحقل تبدأ من الشحنات الكهربائية الموجبة وتنتهي إلى الشحنات الكهربائية السالبة. يقود «حساب» عدد خطوط الحقل التي تمر عبر سطح مغلق إلى معرفة الشحن الكلية (بما في ذلك «الشحنة المُقيدة» الناتجة عن «استقطاب المواد») المُحاطة بالسطح، مقسومًا عليها» سماحية الفراغ.«(٦)

١.٥قانون غاوس للمغناطيسية:

ينص قانون غاوس للمغناطيسية على عدم وجود «شحنات مغناطيسية» (التي تُسمى أيضًا »أحاديات القطب المغناطيسي («مشابهةً للشحنات الكهربائية. بدلًا من ذلك، ينتج الحقل المغناطيسي عن المواد بفعل تكوين يسمى» ثنائي القطب«، ويكون التدفق المغناطيسي الخارجي للحقل المغناطيسي عبر أي سطح مغلق صفرًا. تُمثل ثنائيات القطب المغناطيسية بواسطة حلقات من التيار الكهربائي لكنها تشبه «الشحنات المغناطيسية» الموجبة والسالبة، اللتين ترتبطان مع بعضهما دون إمكانية فصلهما، وبالتالي لا ينتج عن ذلك «شحنة مغناطيسية» كلية. من ناحية

خطوط الحقل، تنص هذه المعادلة على أن خطوط الحقول المغناطيسي لا تبدأ ولا تنتهي ولكنها تشكل حلقات أو تمتد إلى ما لا نهاية وتعود. بمعنى آخر، يجب أن يخرج أي خط حقل مغناطيسي من أي حجم بعد دخوله. بعبارات تقنية مكافئة، فإن التدفق المغناطيسي الكلي عبر أي «سطح غاوسي» هو صفر، أو إن الحقل المغناطيسي هو «حقل شعاعي غير تباعدي.

١.٦قانون فاراداي:

تصف نسخة ماكسويل–فاراداي من» قانون فاراداي للحث «كيف ينتج (يحث (الحقل المغناطيسي المتغير بمرور الوقت حقلًا كهربائيًا. في شكله التكاملي، ينص القانون على أن الشغل المطلوب لكل وحدة شحنة لتحريك الشحنات حول حلقة مغلقة يساوي معدل التغير في التدفق المغناطيسي عبر السطح المغلق.

يتمتع الحقل الكهربائي المُستحث ديناميكيًا بخطوط حقل مغلقة على غرار تلك الخاصة بالحقل المغناطيسي، ما لم تتراكب بواسطة حقل كهربائي ساكن (مُستحث بفعل شحنة كهربائية). يعتبر هذا الجانب من الحث الكهرومغناطيسي مبدأ تشغيل العديد من المولدات الكهربائية :على سبيل المثال، يولد القضيب المغناطيسي الدوار حقلًا مغناطيسي متغيرًا، الذي يولد بدوره حقلًا كهربائيًا في سلك قريب.(٤)

١.٧قانون أمبير مع إضافة ماكسويل:

ينص» قانون أمبير «مع «إضافة ماكسويل» على إمكانية توليد الحقول المغناطيسية بطريقتين: عبر التيار الكهربائي) قانون أمبير الأصلي) وعبر الحقول الكهربائية المتغيرة (إضافة ماكسويل، الذي أطلق عليها اسم» تيار الإزاحة .(«في شكله التكاملي، يتناسب الحقل المغناطيسي المُستحث حول أي حلقة مغلقة مع التيار الكهربائي وتيار الإزاحة (الذي يتناسب مع معدل تغير التدفق الكهربائي) اللذين يمران عبر السطح المغلق.

تُعد إضافة ماكسويل لقانون أمبير مهمة بشكل خاص: فهي تجعل مجموعة المعادلات متسقة رياضيًا للحقول غير الساكنة، دون تغيير قانوني أمبير وغاوس للحقول الساكنة. ونتيجة لذلك، فهي تتنبأ بأن الحقل المغناطيسي المتغير يستحث حقلًا كهربائيًا والعكس صحيح. لذلك، تسمح هذه المعادلات لـ» الموجات الكهرومغناطيسية «ذاتية الاستدامة بالانتقال عبر فراغ الفضاء.

تتطابق السرعة المحسوبة للموجات الكهرومغناطيسية، والتي يمكن التنبؤ بها عبر التجارب على الشحنات والتيارات الكهربائية، مع سرعة الضوء؛ وبالفعل، يُعد الضوء أحد أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي) وكذلك الأشعة السينية والموجات الراديوية وغيرها). فهم ماكسويل العلاقة بين الموجات الكهرومغناطيسية والضوء في عام ١٨٦١، وبالتالي وحد نظريات الكهرومغناطيسية والبصريات.(٧)

كانت هذه المعادلات معروفة من قبل لكن بصيغة مختلفة:

$$1.1 \qquad \Delta \cdot \mathfrak{D} = \rho$$

$$1.2 \qquad \Delta \cdot \beta = O$$

$$1.3 \qquad \Delta \times E = -\frac{\partial \beta}{\partial \tau}$$

$$1.4 \qquad \Delta \times H = -\frac{\partial D}{\partial \tau}$$

- الدافع وراء نسبة هذه المعادلات إلى ماكسويل رغم أنه ليس هو من وضعها هو اكتشافه وبرهنته على أنها سليمة فقط في حال كان المجال الكهربائي **E** ساكنا.

قام ماكسويل بافتراض تصحيحات لهذه المعادلات ولم يثبتها في التجربة وقام بتعميمها لتشمل المجالات الكهربية المتغيرة زمنيا مما مهد الطريق لاكتشاف الموجات الكهرومغناطيسية ومعادلتها كما فرض أن الضوء عبارة عن موجة كهرومغناطيسية إضافة إلى أهم ما قام به وهو افتراض وجود تيار يسري في العوازل أطلق عليه مسمى تيار الإزاحة.

١.٨قوانين الثرمودايمنك

٢ القانون الأول للثرمودايمنك (The First Law of Thermodynamics)

لكل نظام في حالة معينة كمية محدّدة من الطاقة الداخلية (U) ويمكن أن تتغيّر هذه الطاقة للنظام بإحدى الطريقتين : (١٠)

٢- بإنتقال الطاقة الحرارية إلى النظام أو منه .

٢- بأن يبذل النظام شغلا ضد بعض أنواع القوى الخارجية أو تبذل عليه .

ويمكن تلخيص ذلك بالصيغة الرياضية الآتية والتي هي صيغة القانون الأول للثرموداينمك :

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta W ...(1-7)$$

حيث أن :

ΔU : مقدار التغيّر في الطاقة الداخلية للنظام .

ΔQ : كمية الحرارة التي يكتسبها النظام (+) من المحيط ، أو يفقدها النظام (-) إلى المحيط .

ΔW : مقدار الشغل المبذول من المحيط على النظام (-) ، أو من قبل النظام على المحيط (+) .

الفصل الثاني:فيزياء الكم

٢.١ اشعاع الجسم الاسود

يقصـــد بالإشـــعاع الانبعاث المســـتمر للطاقة من ســـطوح الاجســـام المختلفة باموا ج كهرومغناطيســـية و تتمثل الامواج الكهرومغناطيســـية باموا ج الراديو, الامواج تحت الحمراء, الضوء المرئي, الامواج فوق البنفسجية, الأشعة السينية,.....

وهي تختلف عن بعضها البعض بطول الموجة ولكنها تسير بسرعة واحدة هي سرعة الضوء و عند سـقوطها على الاجسـام المعتمة ينعكس جزء منها ويمتص الباقي و يتحول إلى حرارة و تعتمد شدة الإشعاع بصورة رئيسية على حرارة الجسم المشع.

لقد اثبتت التجارب ان معدل طاقة الإشـعاع من السـطح تعتمد على القوة الرابعة لدرجة حرارة الجسم و على المساحة السطحية A بالاضـافة على انها تعتمد على طبيعة السـطح (خشن أو املس) و هذا الاعتماد يوصـف بالمقدار e الاشـعاعية وتتراوح قيمة e مابين الصـفر و الواحد.(٣)

اذن التيار الحراري المشـع من سـطح مسـاحته A و اشـعاعيته e في درجة حرارة مطلقة T يعطى بالعلاقة:-

$$H=Ae\delta T^4 \qquad 2.1$$

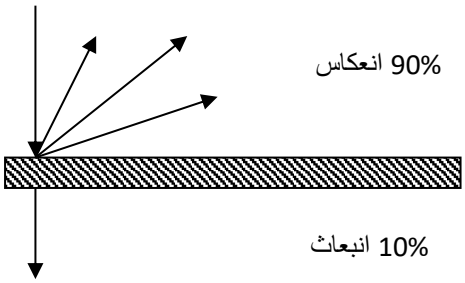
حيث δ تمثل ثابت ستيفان بولتزمان

وهذه العلاقة تدعى بقانون ستيفان بولتزمان (كمية الحرارة المنبعثة أو المشعة تعتمد كليا على الاس الرابع لدرجة الحرارة المطلقة)

٢.٢المشع الكامل (الجسم الاسود)

الطاقة المنبعثة من الاجسام الصلبة أو السائلة ليست واحدة لجميع المواد التي درجة حرارتها واحدة رغم ان الاامواج التي بداخلها واحدة وذلك لان الطاقة المشعة تعتمد على طبيعة السطح

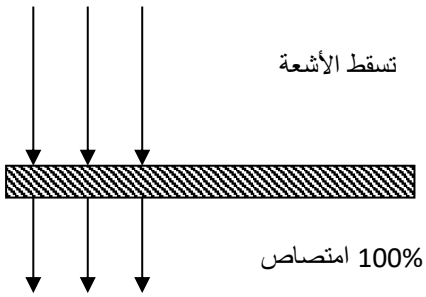
أ- سطح عاكس جيد لذا فهو رديء الامتصاص و رديء الإشعاع (الانبعاث)



شكل (٢.١) يشمل سطح عاكس جيد رديء الامتصاص

ب-سطح رديء العكس جيد الامتصاص وجيد الانبعاث

ت-السطح الاسود الكامل كل الطاقة الاشعاعية الساقطة علية من الخارج تمر خلاله رغم ان الجسم الاسود لا يعكس طاقة لكنة يشع ضوءا مرئيا عندما تصبح درجة حرارته عالية و يظهر بشكل احمر ساخن أو ابيض ساخن.(٤)

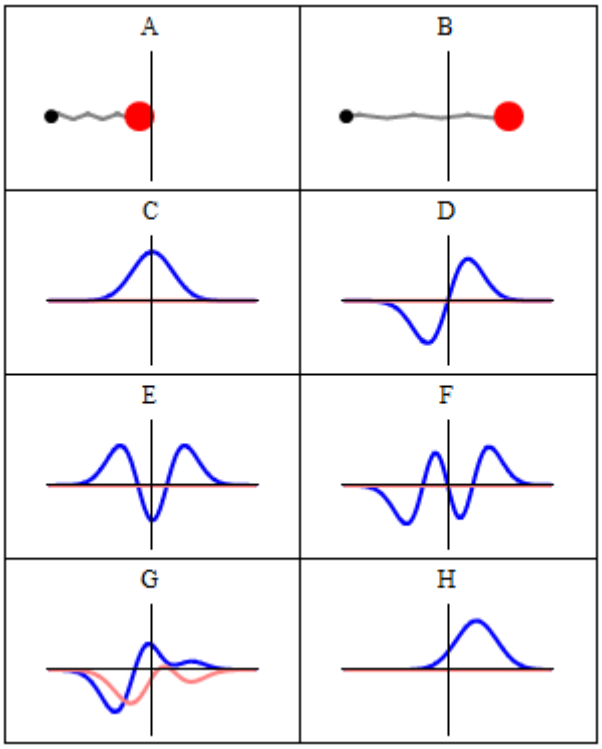


شكل (٢.٢) يمثل سطح رديء العكس جيد الامتصاص

٢.٣الدالة الموجية

تحتل **الدالة الموجية** أو **دالة الموجة** مكانة مهمة في ميكانيكا الكم، حيث ينص مبدأ الارتياب على عدم قدرتنا على تحديد موضع وسرعة جسيم ما بدقة، لكن نعمد إلى **دالة موجية** مرافقة لكل جسيم حسب التصور الموجي الذي قدمه شرودنغر، وتقوم هذه الدالة الموجية

بتحديد احتمال وجود الجسيم في أي نقطة من الفراغ التي يمكن للجسيم التواجد فيها. دالة الموجة هي أداة لوصف الجسيمات وحركتها وتآثرها مع جسيمات أخرى مثل الذرة أو نواة الذرة.



شكل (٢.٣) الدالة الموجية

تصف الدالة الموجية في ميكانيكا الكم الحالة الكمومية إما لأحد الجسيمات الأولية أو لمجموعة من الجسيمات الأولية في الفراغ، وتعين احتمال تواجده أو تواجدها في مكان معين. (احتمال تواجد جسيم في مكان معين يُعبر عنه في ميكانيكا الكم بعدد بين ١ (موجود ١٠٠٪) وصفر (غير موجود ٠ %). وطبقا لتفسير كوبنهاغن لميكانيكا الكم تحتوي الدالة الموجية على جميع المعلومات المتعلقة بالجسيم أو مجموعة الجسيمات. والدالة الموجية تكون حلا لإحدى معادلات شرودنجر التي يمكن صياغتها لوصف النظام المطلوب دراسته، مثل الإلكترون في غلاف ذرة أو تشتت البرتونات على نواة الذرة ، وغيرها. ويمكن للمعادلة الموجية أن تصف الحالة الكمومية لجسيم أولى، واقع تحت تأثير خارجي (مثل حركة الإلكترون حول النواة في الذرة) أو حالة الإلكترون الحر.(١٣)

٢.٤تمثيل الجسم بموجة :

كثافة احتمال وجود الإلكترون في المدارات الأولى لذرة الهيدروجين مبينة كمقاطع مستوية ؟ أحجام المدارات ممثلة هنا بمقاييس رسم مختلفة.

بينما تعطي فيزياء الموجة الوصف العام للمعادلة الموجية، نقتصر هنا على وصف الدالة الموجية لجسيم. ونظرا لأن الدالة الموجية المستخدمة في هذا الغرض مركبة وليست حقيقية، يرجع إلى أن الدالة الموجية ليس لها المعنى عند وصف شدة المجال الكهربائي لموجة ضوئية طبقا للميكانيكا التقليدية أو في الديناميكا الكهرومغناطيسية.(٩)

تستخدم الدالة الموجية في ميكانيكا الكم لوصف الحالة الكمومية لنظام فيزيائي. ويمكن أن تتخذ الدالة الموجية لجسيم كمومي صيغة موجة مستوية (لجسيم حر) ، على هيئة:

- متجه الوضع,
- مطال مركب,
- متجه الموجة ،
- التردد الزاوي.

٢.٥معادلة شرودنجر

في ميكانيكا الكم، **معادلة شرودنغر** عبارة عن معادلة تفاضلية جزئية تصف كيفية تغير الحالة الكمية لنظام فيزيائي مع الزمن، وقد صاغها عالم الفيزياء النمساوي إرفين شرودنغر في أواخر عام ١٩٢٥ ونشرها عام .1926 تصف هذه المعادلة حالات النظم الكمومية المعتمدة على الزمن. وتحتل هذه المعادلة أهمية خاصة في ميكانيكا الكم حيث تعتبر بمثابة قانون التحريك الثاني لنيوتن الذي يعتبر أساسيا في الفيزياء الكلاسيكية.

حسب التعبير الرياضي لميكانيكا الكم، تترافق كل جملة فيزيائية مع فضاء هلبرت المركب) المعقد) (وهو عبارة عن فضاء شعاعي (حيث توصف كل حالة لحظية للجملة بشعاع وحدة في هذا الفضاء الشعاعي، وبالتالي يكون شعاع الحالة بمثابة ترميز لاحتمالات النتائج الممكنة من عمليات القياس بكافة أشكالها على هذه الجملة. عندما تتغير هذه الجملة مع الزمن، يصبح شعاع الحالة (دالة زمنية).(٢)

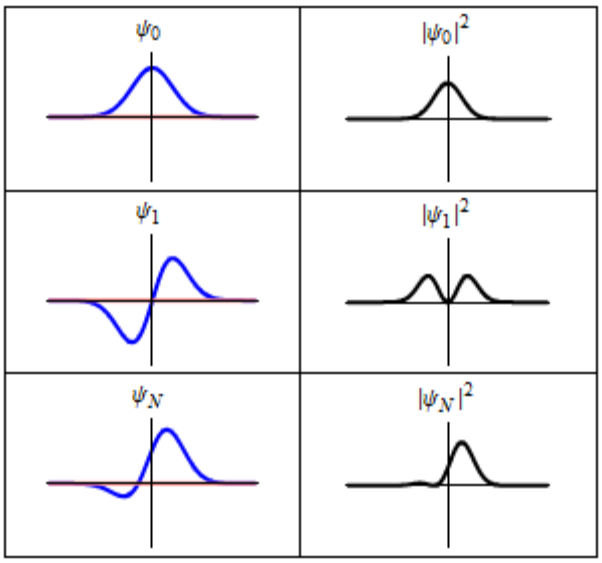
المعادلة المعتمدة على الزمن:

دالة موجية تحقق معادلة شرودنغر غير النسبية حيث .0= بتعبير آخر، هذا يوافق جسيما يتحرك بشكل حر في فضاء فارغ. بُين الجزء الحقيقي للدالة الموجية للجسيم في هذا الشكل.

فيما يلي **معادلة شرودنغر المعتمدة على الزمن)** في شكلها العام

في هذه المعادلة تعني دالة موجية تصف النظام الكمومي (نظام صغري مثل حجم الذرة)، و وحدة تخيلية، و ثابت بلانك المخفض، و معامل هاميلتوني يصف الطاقة الكلية لكل دالة موجية معتبرة وهو يتخذ عدة صور تعتمد على المسألة الفيزيائية المراد حلها.

تتكون المعالة إلى اليمين من جزئين: الجزء الأول :وهو يمثل مؤثر طاقة الحركة للجسيم، والجزء الثاني وهو يمثل مؤثر الطاقة الكامنة للجسيم في المجال التوافقي (مثل مجال نواة الذرة .(المجال التوافقي موصوف بالدالة التي تعتمد على الزمن والمكان. (٧)



شكل (2.4) يمثل دالة موجية لمعادلة شرودنغر

تمثل كل من هاته الصفوف الثلاثة دالة موجية تحقق معادلة شرودنغر المعتمدة على الزمن لهزاز توافقي كمومي .في اليسار: الجزء الحقيقي (أزرق) والجزء التخيلي (أحمر) للدالة الموجية لجسيم. في اليمين :توزيع احتمال وجود الجسيم الموصوف بتلك الدالة الموجية في مكان معين. الصفان الأول والثاني هما مثالان **لحالة مستقرة** التي توافق موجات راكدة .الصف الثالث هو مثال لحالة غير مستقرة. العمود في اليمين يوضح لماذا تسمى الحالات المستقرة مستقرة.

وتتعامل معاملة شرودنجر مع الجسيم) إلكترون مثلا) الذي يتحرك في مجال نواة (مشحونة) على أنه في هيئة دالة موجية.

معتمدة على الزمن والموقع ، حيث يعطي حل المعادلة صفات الجسيم وما يمكن له أن يمتلكه من طاقة.

أي أن معادلة شرودنجر تماثل معادلة هاميلتون التي تعطي الطاقة الكلية لجسيم في هزاز توافقي في الحالة الكلاسيكية (ميكانيكا نيوتن ومعادلات ماكسويل)، وأما معادلة شرودنجر فهي تعطي الطاقة الكلية للجسيم الذي يتحرك في مجال توافقي كمومي.(٦)

لم تنجح معادلة هاميلتون في التعامل مع جسيمات صغرية على المستوى الذري فلم تأتي بحلول صحيحة لحركة الإلكترون في مجال شحنة النواة، وكان ذلك عند دراسة الطيف الضوئي

من الهيدروجين .فكانت الحلول لا تتفق مع القياسات التي نحصل عليها عمليا. ذلك بعكس ميكانيكا الكم والممثلة هنا بمعادلة شرودنجر فقد استطاعت إعطاء الحلول المتفقة مع القياسات المعملية وذلك باعتبار أن الجسيم يكون في هيئة موجة مادية وليس جسما ماديا.(٧)

هذا هو عالم الذرات وتآثرها ببعضها البعض وهو عالم غريب عن العالم الذي اعتدنا عليه عند التعامل مع أجسام ذات أبعاد كبيرة ككرة الجولف أو كرة البلياردو أو عالم الكواكب والأجرام السماوية. مع تلك الأبعاد الكبيرة تصلح ميكانيكا نيوتن في إعطاء الحلول السليمة لتلك الأنظمة الكبيرة، أما عند التعامل مع عالم الذرات والجسيمات الأولية فلا بد من استخدام معادلات ميكانيكا الكم فهي وحدها (حتى الآن) التي تعطي حلولا سليمة لتلك الأنظمة الصغرية.

٢.٦المعادلة التي لا تعتمد على الزمن

تعتبر معادلة شرودنجر المعتمدة على الزمن أن الدوال الموجية يمكن أن تكوّن موجات راكدة تسمى «حالات مستقرة» (أي تسمى «أوربيتال» كما هو الحال في حالة مدارات الإلكترونات حول نواة الذرة أو في مدارات الجزيئات، هذه الحالات تلعب دوراً هاماً في التركيب الذري والجزيئي)، وعلاوة على ذلك تصنف الحالات المستقرة وتفهم، ويصبح من السهل حل معادلة شرودنجر المعتمدة على الزمن لأي حالة أخرى.(٥)

ومعادلة شرودنجر غير المعتمدة على الزمن هي التي تصف الحالات المستقرة. وتستعمل عندما يكون الهاميلتوني نفسه غير معتمداً على الزمن، وأنما تكون معتمدة على المكان فقط.

٢.٦معادلة شرودنجر غير المعتمدة على الزمن) الحالة العامة

2.2 $$E \Psi(\mathbf{r}) = \frac{-\hbar^2}{2m}\nabla^2 \Psi(\mathbf{r}) + V(\mathbf{r}) \Psi(\mathbf{r})$$

نقرأ هذه المعادلة

عندما يؤثر معامل هاميلتون على الدالة الموجية فربما تكون النتيجة متناسبة طردياً مع نفس الدالة الموجية ، فإذا كانت كذلك فتكون حالة مستقرة، ويعطي ثابت التناسب طاقة الحالة" .

وتتميز تلك المعادلة رياضياً بأنها تعطي معادلة قيم ذاتية Eigenvalue Equation عن النظام.

ومن أهم معادلات شرودنجر التي تصف جسيماً يتحرك في مجال كهربائي) وليس في مجال مغناطيسي) هي:(٥)

معادلة شرودنجر غير المعتمدة على الزمن، فهي تعتمد على المكان فقط (لجسيم يوجد في مجال نواة ذرية أو غير ذلك مثلما في حالة جسيم حر، ولا تأخذ في الاعتبار تأثيرات النظرية النسبية.

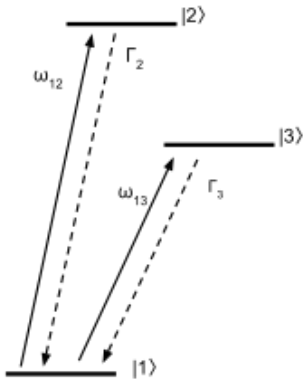
٢.٧القفزة الكمية لبور :

القفزة الكمومية هي الانتقال الفجائي لأي نظام كمومي سواء كان ذرة أو جزيء، أو نواة ذرية، والانتقال من حالة كمومية إلى أخرى، ومن مستوى طاقة إلى آخر، حيث يحدث ذلك اثناء امتصاص النظام الطاقة والانتقال إلى مستوى طاقة أعلى الإثارة، ويحدث أيضا عندما يفقد النظام الطاقة حيث يكون هناك انتقال إلى مستوى طاقة أقل، وتم تقديم هذا المفهوم من قبل نيلز بور في نموذج بور لعام ١٩١٣.

القفزة الكمومية هي خاصية تتميز بها النظم الكمومية، حيث بها تكون فريدة عن باقي الأنظمة الأخرى غير الكمية، حيث يتم تنفيذ أي انتقالات تدريجية، في ميكانيكا الكم، إذ تحدث هذه القفزات مع التطور غير الوحدوي لنظام ميكانيكي الكم في مرحلة القياس.

ويمكن أن يصاحب القفزة الكمية انبعاث أو امتصاص فوتونات، ويمكن أن يحدث نقل الطاقة في مرحلة القفزة الكمية أيضًا بواسطة نقل طاقة الرنين غير الإشعاعي أو أثناء الالتقاء مع الجسيمات الأخرى، ونادرًا ما يستعمل مفهوم القفزة الكمية في الفيزياء الحديثة، وكقاعدة عامة يتحدث العلماء عن انتقالات بين الحالات الكمية أو مستويات الطاقة.

انتقال الإلكترون الذري

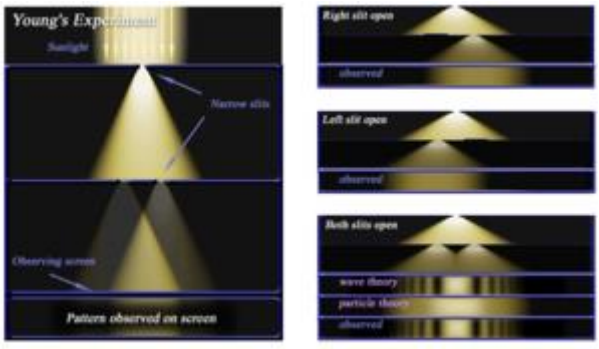


في الصورة مخطط جروتري لنظام كمي ثلاثي المستويات مع ترددات انتقالية مميزة)

٢.٨موجة الاحتمالية لماكسبور

سعة الاحتمال في ميكانيكا الكم هو عدد مركب يعطى مربع قيمته المطلقة احتمال وجود جسيم في نقطة ما في الفراغ طبقاً لأحد حلول دالة موجية. وعلى سبيل المثال فقيم دالة موجية موحدة تمثل بعدد من السعات) مطالات) حيث أن تعطي كثافة احتمال التواجد في النقطة .{x} وقد تؤدي سعة الاحتمال أيضا إلى حلول ذات قيم متقطعة للدالة الموجية.(٦)

بافتراض حالة جسيم كمومي، وطبقا لتفسير كوبنهاغن فإن قيم الدالة الموجية تمثل مطالات احتمال التواجد في نقطة معينة. فعند تعيين مكان تواجد جسيم فيكون احتمال وجود الجسيم في الحجم مساويا:



أي أن يمثل كثافة احتمال وجود الجسيم فيه.

يرجع استخدام مطال الاحتمال كتفسير فيزيائي للدالة الموجية إلى ماكس بورن وهو تفسير يعتمد أيضا على تفسير كوبنهاغن لميكانيكا الكم. فقد استخدمت خواص الدالة الموجية في تقدير بعض الظواهر الطبيعية (مثل إصدار الذرات لأشعة ذات ترددات محددة منفصلة) قبل التوصل إلى تفسير فيزيائي لها. وقد حاز ماكس بورن على جائزة نوبل للفيزياء عام ١٩٥٤ بسبب صياغته ذلك التفسير، رغم أن هذا التفهم كان موجودا من قبل واقترحه الفيزيائيون العاملين بالفعل في ميكانيكا الكم مثل شرودنجر .ولذلك يسمى الاحتمال المحسوب رياضيا «باحتمال بورن»، كما أن الشروط المستخدمة لحسابات الاحتمال عن طريق استخدام الدالة الموجية تسمى أحيانا «قاعدة بورن.«ويكتسب مطال الاحتمال تلك الأهمية بسبب انطباق قوانين مماثلة علية في ميكانيكا الكم كما في حسابات الاحتمالات التقليدية. ويوضح ذلك تجربة الثقبين.(١١)

الفصل الثالث: المعنى الفيزيائي لميكانيك الكم

٣.١مقدمة :

نظرية الكم (أو فيزياء الكم) أو ما يُشار إليه عادةً بميكانيكا الكم هي جزء من الفيزياء، وتحديداً الفيزياء الحديثة، وهي النظرية التي تهتم بدراسة سلوك المادة والضوء في المستوى الذري والدون ذري (أي بأبعاد تُقاس بالنانومتر على الأكثر، حيث إن النانومتر الواحد يساوي ١×١٠−٩ متر). تحاول ميكانيكا الكم تفسير سلوك الذرة ومكوّناتها الأساسية (مثل البروتونات، والنيوترونات، والإلكترونات) ومكونات مكوناتها الأساسية (مثل الكواركات (بالإنجليزية ((Quarks :مجتمعة أو كلٌ على حدة. الفيزياء الكلاسيكية تهتم بدراسة العديد من الأمور منها الميكانيكا، وفي الميكانيكا تهتم الفيزياء في تحديد موقع الجسم بدقة، بالإضافة إلى تحديد زخمه، والزخم هو تعبير عن مقدار الحركة، وهو خاصيّة خاصة بالأجسام فقط (أي إنه لا يمكن للموجات أن تمتلك زخماً) وهذا الأمر ممكنٌ في الفيزياء الكلاسيكية، وهو يزودنا بمعلومات عن الأنظمة الفيزيائية في الحاضر والمستقبل وحتى في الماضي (مثل معرفتنا لموعد اقتراب مذنب هالي من كوكب الأرض). هذا الأمر غير ممكن في ميكانيكا الكم لأنه ليس من الممكن تحديد موقع الجسيمات الذرية ودون الذرية بدقة عالية مع زخمها بالوقت نفسه؛ الأمر الذي سوف يمنع التنبؤ بسلوك الجسم. عدم القدرة على تحديد خصائص النظام الكمي بدقة هو ليس إلا بسبب طبيعة السلوك الغريب الموجود في العالم الكمي.
يوجد العديد من الأفكار المهمة والأساسية جداً في ميكانيكا الكم، والتي يقوم عليها هذا العلم، وفي هذا المقال سوف نذكر بعض هذه الأفكار: الطاقة تأتي على شكل حزم منفصلة تُعرف بالكمّات ولا يمكن أن تأتي على شكل حزمة متّصلة.(١٢)

هذا الأمر هو الذي توصل إليه العالم ماكس بلانك عندما قام بحل مشكلة الكارثة فوق البنفسجية المتعلقة بتفسير منحنى الطيف الكهرومغناطيسي المنبعث من الجسم الأسود، حيث كان حل هذه المشكلة في فكرة ماكس بلانك في تكميم الطاقة. في المستوى الذري ودون الذري لا يمكن تطبيق الفيزياء الكلاسيكية على الظواهر الطبيعية (مثل قوانين نيوتن) فهي ستفشل في تفسير الظاهرة.
(مبدأ عدم التحديد): (بالإنجليزية The Uncertainty Principle) :وهو المبدأ الذي يخبرنا بعدم مقدرتنا على تحديد موقع الجسيم وزخمه بدقة عالية بشكلٍ متزامن (أيضاً يمكن تطبيقه على الطاقة

وعلى الزمن، إذ إنه لا يمكن تحديد طاقة النظام بدقة وكم من الوقت سوف يبقى محتفظاً بهذه الطاقة). لا يمكن معاملة النظام الفيزيائي (الضوء، أو الجسيمات المقاسة أبعدها بالنانومتر) كجسيمات أو موجات إلا بعد إجراء تجربة، وهذا هو ما يُعرف بالخاصية الجسيمية–الموجية للأنظمة الدون ذرية.

أسس ومبادئ فيزياء الكم

فما يأتي ذكر لأهم الأسس والمبادئ التي تقوم عليها فيزياء الكم:

ازدواجية الجسيم الموجي: وهو مبدأ يصف نتائج التجارب التي أظهرت أن للضوء والمادة خصائص جسيمية أو خصائص موجية، اعتمادًا على كيفية قياسها.

مبدأ التراكب: يستخدم هذا المبدأ للوصف الكائن الذي يمتلك حالات متعددة محتملة في نفس الوقت، كوجود تموج على سطح بركة يتكون من موجتين متداخلتين، وتجدر الإشارة إلى إمكانية تمثيل الكائن وفق مبدأ التراكب رياضيًا بمعادلة لها أكثر من حل.(٤)

مبدأ عدم اليقين أو مبدأ الريبة: وهو مبدأ يصف عدم إمكانية معرفة خاصيتين لكائن ما، مثل مكانه بالتحديد وسرعته، بشكل دقيق وفي نفس الوقت، على سبيل المثال، إذا تم تحديد موضع الإلكترون بدقة، فهذا سيؤثر على دقة تحديد سرعة الإلكترون في تلك اللحظة، أي أن تحديد إحدى الخاصيتين بدقة يعني تحديد الخاصية الأخرى بريبة أو بعدم تأكد.

مبدأ التشابك الكمومي: وهي ظاهرة تحدث عندما يرتبط جسمان أو أكثر بطريقة يمكن اعتبارها نظامًا واحدًا، حتى لو كانا متباعدين جدًا، وفيها لا يمكن وصف حالة أحد العناصر في هذا النظام بالكامل بدون معلومات عن حالة العنصر الآخر، وبالمثل، فإن معرفة معلومات حول عنصر واحد يعطي معلومات عن الآخر.

٣.٢المتصل والمنفصل

أحدها : أنّ الكمّ المنفصل . وهو العدد . يوجد في المادّيات والمجرّدات جميعا. وأمّا المتّصل غير القارّ منه . وهو الزمان . فلا يوجد إلّا في المادّيات. وأمّا المتّصل القارّ . وهو الجسم التعليميّ والسطح والخطّ . فلا يوجد في المجرّدات إلّا عند من يثبت عالما مقداريّا مجرّدا له آثار المادّة دون نفس المادّة.

الثاني : أنّ العدد لا تضادّ فيه ، لأنّ من شروط التضادّ غاية الخلاف بين المتضادّين ، وليست بين عددين غاية الخلاف ، إذ كلّ مرتبتين مفروضتين من العدد فإنّ الأكثر منهما يزيد بعدا من الأقلّ بإضافة واحد عليه.

وأمّا الاحتجاج عليه بأنّ كلّ مرتبة من العدد متقوّم بما هو دونه والضدّ لا يتقوّم بالضدّ.

ففيه) أنّ المرتبة من العدد لو تركّبت ممّا دونها من المراتب كانت المراتب الّتي تحتها في جواز تقويمها على السواء ، كالعشرة مثلا يجوز فرض تركّبها من تسعة وواحدة ، وثمانية واثنين ، وسبعة وثلاثة ، وستّة وأربعة ، وخمسة وخمسة ، وتعيّن بعضها للجزئيّة ترجّح بلا مرجّح ، وهو محال . وقول الرياضيّين » :إنّ العشرة مجموع الثمانية والاثنين «معناه مساواة مرتبة من العدد لمرتبتين ، لا كون المرتبة)وهي نوع واحد (عين المرتبتين)وهما نوعان اثنان.

ونظير الكلام يجري في الكمّ المتّصل مطلقا. (٨)

وكذا لا يضادّ الجسم التعليميّ سطحا ولا خطّا ، ولا سطح خطّا ، إذ لا موضوع واحدا هناك يتعاقبان عليه ، ولا يتصوّر هناك غاية الخلاف.

الثالث : أنّ الكمّ لا يوجد فيه التشكيك بالشدّة والضعف ، وهو ضروريّ أو قريب منه ، نعم يوجد فيه التشكيك بالزيادة والنقص ، كأن يكون خطّ أزيد من خطّ في الطول إذا قيس إليه وجودا ، لا في أنّ له ماهيّة الخطّ ، وكذا السطح يزيد وينقص من سطح آخر من نوعه ، وكذا الجسم التعليميّ.

الرابع : قالوا : «إنّ الأبعاد متناهية«، واستدلّوا عليه بوجوه ، من أوضحها : أنّا نفرض خطّا غير متناه وكرة خرج من مركزها خطّ مواز لذلك الخطّ غير المتناهي ، فإذا تحرّكت الكرة تلاقى الخطان بمصادرة اقليدس ، فصار الخطّ الخارج من المركز مسامتا للخطّ غير المتناهي المفروض

بعد ما كان موازيا له. ففي الخطّ غير المتناهي نقطة بالضرورة هي أوّل نقط المسامتة ، لكن ذلك محال ، إذ لا يمكن أن يفرض على الخطّ نقطة مسامتة إلّا وفوقها نقطة يسامتها الخطّ قبلها.

وقد اقيم على استحالة وجود بعد غير متناه براهين اخر ، كبرهان التطبيق والبرهان السلّميّ وغير ذلك

الخامس : أنّ الخلاء . ولازمه قيام البعد بنفسه من دون معروض يقوم به .

٣.٣الاحتمالية والحتمية

أنّ ميكانيكا الكم هي نظريّة لا حتميّة، ويشيع الاعتقاد (حتى بين معظم الفيزيائيين) أنّ ظوهر مثل التّحلل الإشعاعيّ وانبعاث الفوتونات وامتصاصها وغيرها الكثير من الظّواهر يمكن إعطائها وصفًا احتماليًا فقط، لأنّ النّظريّة لا تقول ماذا يحدث في حالة معينة ولكنّها فقط تعطي احتمالات مختلفة للنّتائج الممكنة.(٣)

لذلك وعلى سبيل المثال، وفقًا لميكانيكا الكمّ فإنّ الوصف الأشمل والأكثر احتمالًا لذرّة الراديوم (أو قطعة من الرّاديوم لهذه المسألة) لا يكفي لتحديد موعد تحلّل ذرة معيّنة ولا حتّى لمعرفة عدد الذرّات التي سوف تتحلّل من قطعة المادة في وقت من الأوقات، لكنّ النّظرية تعطينا فقط احتمالات التحّلل (أو عددها) التي سوف تحدث خلال فترة زمنيّة معيّنة.

ربما يعتقد آينشتاين والفيزيائيون الآخرون أنّ هذا خلل في النّظرية ويجب إزالتها في نهاية المطاف واستعاضتها بنظرية مخفيّة متغيّرة بديلة عنها لتستعيد حتميتها، لكنّ بعض الأعمال اللّاحقة أظهرت عدم وجود حسابات كهذه متغيرة مخفية، وعلى المستوى المجهريّ يُعتبر العالم ذا أساس غامض محفوف بالمخاطر.

وهذا ما آلت إليه الحكاية، لكن وكما الكثير من الروايات الشعبية، فإنّها خاطئة جزئيًا ومضلّلة، ولسخرية الموضوع فإن ميكانيكا الكمّ تعتبر واحدة من أهمّ الاحتمالات النّظريّة الحتميّة الأصيلة في العصر الحديث، وكل شيء متوقف على القرارات التّفسيريّة والفلسفيّة التي يتبنّاها الشّخص.

تعتبر معادلة شرودنغر (**Schrödinger**) القانون الجوهريّ والأساسيّ في قلب ميكانيكا الكم اللانسبيّة، وتطوّرات التوابع الموجية تصف النظام الفيزيائي تحت هذه المعادلة باعتباره وبشكل اعتيادي تامّ الحتميّة.

إذا تبنّى الشخص تفسير ميكانيكا الكم وفقًا لما هي عليه (مثلًا: لا شيء أبدًا يقطع تطور معادلة شرودنغر، والتوّابع الموجيّة المحكومة بالمعادلة تروي لنا القصّة الفيزيائيّة كاملة) وحينها تكون ميكانيكا الكمّ نظريّة حتمية تمامًا، وهناك العديد من التّفسيرات التي وضعها فيزيائيون وفلاسفة حول ميكانيكا الكم والتي تذهب جميعها في هذا الاتّجاه.(٩)

والأكثر شيوعًا (وهو جزء من أساسيّات الرّوايات الشّعبيّة) هو أنّ الفيزيائيّين توصّلوا إلى حلّ مشكلة القياس الكموميّة بافتراض بعض عمليات (انهيار تابع الموجة) تحدث أثناء القياسات أو الملاحظات التي تقطع تطوّر شرودنغر، وعملية الانهيار عادة ما تفترض أنّها لا حتميّة مع احتماليات لنتائج مختلفة قابلة للحساب على أساس نظام تابع الموجة، وذلك عن طريق قاعدة بورن (Born's rule)، والمعيار الأوليّ لتفسيرات كوبنهاغن في ميكانيكا الكمّ يفترض مثل هذا الانهيار، والذي لديه الفضل في حلّ مشاكل معيّنة مثل مفارقة قطّة شرودنغر سيئة السّمعة.

ولكن عددًا قليلًا من الفيزيائيّين أو الفلاسفة يمكنهم أخذ الموضوع على محمل الجدّ باستثناء العازفين عن النّظرية منهم، والسّبب بسيط، فعملية الانهيار غير معرفة فيزيائيًا بشكل جيّد وموسومة بشروط نظريّات التّشكل البشريّ الغامضة، إضافة إلى أنّها تبدو مخصّصة لتكون جزءًا أساسيّا من قوانين الطّبيعة.

في عام ١٩٥٢ أنشأ (ديفيد بوهم David Bohm) – تفسيرًا بديلًا لميكانيكا الكم اللانسبيّة (وربما يفضّل التّفكير بها باعتبارها نظرية بديلة) والتي أدركت حلم آينشتاين بنظرية خفيّة متغيّرة وباستعادة الحتميّة والوضوح للواقعيّة المكرويّة.(١٠)

في ميكانيكا الكم البوهميّة وخلافًا لجميع التّفسيرات الأخرى فإنّ من المفترض امتلاك كلّ الجسميات وفي كل الأوقات مواقعَ وسرعاتٍ محدّدة، وبالإضافة إلى معادلة شرودنغر، طرح بوهم معادلة

توجيهيّة تُحدد (على أساس نظام تابع الموجة والمواقع الدّاخليّة للجسيمات وسرعاتها) ماذا سوف يكون موقعها المستقبلي وسرعتها، وتُعتبر نظريّة بوهم نظريّة حتميّة بمقدار أيّ نظرية كلاسيكيّة تشرح حركة الجزيئات في حقول الطّاقة.

والمثير للدهشة أنّه كان قادرًا على إظهار ذلك طالما أنّ التّوزيع الإحصائيّ للمواقع والسّرعات الدّاخليّة للجزيئات تلبّي شروط التّوازن الكمومي، و تعتبر نظريته نظيرًا تجريبيًا لميكانيكا الكمّ المقياسيّة لكوبنهاغن.

من جهة، يمكننا القول إنها كابوس الفلاسفة: بوجود نظريّة تجريبيّة حقيقيّة بالقوّة التي حصل عليها بوهم يبدو أن الدلائل التجريبية لا يمكنها إخبارنا أيّ من تفسيرات الواقع هو الصّحيح، لحسن الحظ يمكننا أن نفترض بأمان أنها جميعًا غير صحيحة بشكل كامل ونأمل أن تكون نظريتنا النهائية ليس لها ندّ بين النّظريّات التّجريبيّة البديلة. (١١)

ومن جهة أخرى فإنّ نظرية بوهم هي حلم الفلاسفة الذي تحقّق بإزالة الكثير (وليس الكلّ) من غموض ميكانيكا الكمّ المعياريّة، وإعادة الحتميّة إلى فيزياء الذّرّات والفوتونات.

هذه الدّراسة العامّة لحالات الحتميّة في بعض النّظريّات الفيزيائيّة الشّهيرة، كما هو مبين أعلاه، لا تخبرنا حقيقة أيّ شيء حول ما إذا كانت الحتميّة صحيحة في عالمنا، وبدلًا عن ذلك فقد أظهرت احتمالات أخرى مثيرة للقلق الوقت الذي سوف نحصل فيه على نظريّتنا النّهائية (إذا جاء وقت مثل هذا)، وعند قدوم ذلك الوقت فإننا: أولًا من الممكن أن نواجه صعوبة في تعيين ما إذا كانت نظريّتنا النّهائيّة حتميّة أم لا.

وهذا يعتمد على ما إذا كانت النّظريّة مصحوبة بتفسيرات غير محلولة أو معضلات رياضيّة، وثانيًا من الممكن أن يكون لدينا أسبابنا للقلق من النّظريّة النّهائية، إذا كانت لا حتميّة، وليس لها نظريّة حتميّة تجريبيّة منافسة لها كما هو الحال في ميكانيكا الكمّ البوهميّة.

فالاحتمالية : أحد أكثر الجوانب المفاجئة والمثيرة للجدل (تاريخياً على الأقل) في فيزياء الكم أنه من المستحيل التنبؤ بنتائج تجربة واحدة بشكل لا ريب فيه في نظام كمومي. لدى قيام الفيزيائيين بالتنبؤ بنتائج بعض التجارب، فإن التنبؤ يأخذ دوماً صيغة العثور على كل من النتائج المحتملة خصوصاً، وتتضمن المقارنات بين التجربة والنظرية دلائل تصنيفات احتمالية للعديد من التجارب المكررة. عادة ما يأخذ الوصف الرياضي لنظام احتمالي صيغة دالة موجيةwavefunction ، يتم تمثيله عادة في المعادلات بالحرف اليوناني Psi ، هناك العديد من المناقشات حول ما تمثله بالضبط هذه الدالة الموجية، مؤدية إلى ظهور معسكرين أساسيين: أولائك الذين يفكرون بالدالة الموجية كشيء فيزيائي حقيقي، العبارة الاصطلاحية لذلك هي نظريات (أونتيك) ontic (وتعني النظرية الوجودية) ما دفع بعض الأشخاص ذوي الحس الفكاهي لتسمية مؤيديها بساي أونتولوجيست) (Ontology (psi–ontologists هي دراسة فلسفية تتناول الوجود والعلاقة بين مكوناته). وأولئك الذين يفكرون بالدالة الموجية كتعبير فقط عن معرفتنا (أو عدمها) فيما يتعلق بالحالة الكامنة لجسم كمومي معين (نظريات المعرفة (epistemic " theories" على أي مستوى من النماذج الأساسية، لا يُعطى احتمال إيجاد نتيجة على الفور باستخدام الدالة الموجية. ولكن باستخدام مربع الدالة الموجية (كلام مفكك، أياً يكن، الدالة الموجية هي تكوين عقدي رياضياً (بمعنى أنه يتضمن أعداداً تخيلية كالجذر التربيعي لعدد سالب) وعملية الحصول على الاحتمالية أكثر أهمية بقليل، ولكن مربع الدالة الموجية كافٍ للحصول على الفكرة الأساسية. يدعى ذلك بـ (قاعدة بورن ("Born Rule"بعد أن كان الفيزيائي الألماني ماكس بورن Max Born أول من اقترح ذلك،(في حاشية ورقة تعود للعام ١٩٢٦) ويهاجم بعض الناس بأنهم إضافات خاصة بشعة. (٢)

هناك جهود فعالة في بعض الأجزاء من جماهير مؤسسات الكوانتم لإيجاد طريقة لاشتقاق قاعدة بورن من مبادئ أكثر أساسية؛ حتى تاريخه، لم تُصب أي منها نجاحاً تاماً، لكنها تخلق المزيد من العلوم المثيرة للاهتمام. هذا الجزء من النظرية يقود أيضا إلى الأشياء التي تشبه الجزيئات متعددة الحالات في الوقت نفسه. كل ما يمكن التنبؤ به هو احتمالي، وقبل القياس الذي يحدد نتيجة معينة يكون النظام الذي يتم قياسه في حالة غير معروفة تعين رياضياً لتطابق كل الاحتمالات مع احتمالات مختلفة، اعتبارك ذلك النظام موجود فعلياً في جميع الحالات بنفس الوقت، أو مجرد

كونه في حالة غير معروفة يعتمد بشكل كبير على موقفك تجاه كل من النموذجين الأونتيكي (الوجودي) والإيستيميك (المعرفي)، على الرغم من ذلك فإنهما يخضعان لأحد هذين النموذجين.

٣.٤تفسير العوالم المتعددة

تفسير العوالم المتعددة هو أحد تفسيرات ميكانيكا الكم التي تتضمن دالة موجية كونية تخضع إلى نفس القوانين الحتمية القابلة للعكس في جميع الأوقات، وبصفة خاصة تقول تلك النظرية إنه لا وجود لانهيار دالة موجية مقترن بإجراء عملية القياس .وتزعم النظرية أن الظواهر المقترنة بالقياس يمكن تفسيرها عن طريق ظاهرة التفكك الكمي التي تحدث عندما تتفاعل الحالات مع البيئة المحيطة ما يؤدي إلى التشابك الكمي، ويترتب على ذلك» انقسام «الكون بصفة متكررة إلى عدة خطوط زمنية بديلة غير قابلة للرصد، أو بعبارة أخرى، انقسام الكون إلى عدة أكوان متميزة عن بعضها.(٨)

المصادر :

[1] مجمع اللغة العربية بالقاهرة(1986) ، معجم الفيزيقا الحديثة) بالعربية والإنجليزية)، القاهرة :مجمع اللغة العربية بالقاهرة، ج. ٢، ص. ٢٤٨،

[2]المعجم الموحد لمصطلحات الفيزياء العامة والنووية: (إنجليزي – فرنسي – عربي(، قائمة إصدارات سلسلة المعاجم الموحدة) (2) بالعربية والإنجليزية والفرنسية)، تونس العاصمة :مكتب تنسيق التعريب، 1989، ص. ٢٣٦، QID:Q113987323، OCLC:1044610077

[3]معجم مصطلحات الفيزياء) بالعربية والإنجليزية والفرنسية)، دمشق :مجمع اللغة العربية بدمشق، 2015، ص. ٣٧٨،

[4] Born, M. (1926). "Zur Quantenmechanik der Stoßvorgänge" [On the Quantum Mechanics of Collision Processes]. Zeitschrift für Physik (**37** –.

[5]Feynman, Richard; Leighton, Robert; Sands, Matthew (1964). The Feynman Lectures on Physics . California Institute of Technology. Vol. 3. p. 1.1. .

[6] Jaeger, Gregg (2014). "What in the (quantum) world is macroscopic?". American Journal of Physics **82**

[7] Yaakov Y. Fein؛ Philipp Geyer؛ Patrick Zwick؛ Filip Kiałka؛ Sebastian Pedalino؛ Marcel Mayor؛ Stefan Gerlich؛ Markus Arndt (2019). "Quantum superposition of molecules beyond 25 kDa". Nature Physics. –١٢٤٢ :١٢ ع. ١٥ ج.

[8] Bojowald, Martin (2015). "Quantum cosmology: a review". Reports on Progress in Physics . **78**

[9]Lederman, Leon M.; Hill, Christopher T. (2011). Quantum Physics for Poets US: Prometheus Books. ISBN:

[10] Müller-Kirsten, H. J. W. (2006). Introduction to Quantum Mechanics: Schrödinger Equation and Path Integral US: World Scientific. p. 14

[11] Plotnitsky, Arkady (2012). Niels Bohr and Complementarity: An Introduction US: Springer. pp. 75–76.

[12] Griffiths, David J. (1995). Introduction to Quantum Mechanics Prentice Hall

[13]منظمة الصحة العالمية، "Hypersensitivity Electromagnetic"، "وقائع مؤتمر، جمهورية الجيك، ٢٠٠٤