النظرية الكمية - ميكانيك الكم ((Quantum Theory)) :

نظریهء کوانتوم - مکانیک کوانتومی (Quantum Theory) :

في بداية القرن العشرين ظهرت نظرية الكم على يد ماكس بلانك[2] أثناء بحثه في تفسير إشعاع الجسم الأسود حيث فسر ماكس بلانك الطاقة الكهرومغناطيسية على أنها كموم منفصلة تبعث أو تمتص وليس موجة مستمرة كما كان يتصور، وهكذا أصبحت بحسب نظرية بلانك الطاقة تمتص أو تشع من الذرة بأحجام معينة هي الكموم (quantum).

2. ماكس بلانك عالم فيزياء ألماني (23 أبريل 1858 - 4 أكتوبر 1947) يعتبر مؤسس نظرية الكم، وأحد أهم فيزيائيّ القرن العشرين.

در ابتدای قرن بیستم ماکس پلانک[۲] به هنگام جستو جوی روشی برای توضیح پدیدهء تابش جسم سیاه، نظریهء کوانتوم را ابداع نمود. ماکس پلانک نیروی الکترومغناطیسی را کوانتوهای جداگانهای دانست که جذب یا ساطع میشود و بر خلاف تصور رایج آن زمان، به صورت موج پیوسته نمیباشد. به این ترتیب طبق نظریهء کوانتوم پلانک، انرژی به صورت ذراتی با اندازههای مشخص که کوانتوم نام دارد، جذب یا ساطع میشود.

(۲)- ماکس پلانک (Max Planck) (۲۳ آوریل ۱۸۵۸ تا ۴ اکتبر ۱۹۴۷) فیزیکدان آلمانی و پدر نظریهء کوانتوم است. او یکی از مهمترین فیزیکدانان قرن بیستم بهشمار میرود.

وطاقة كل جسيم تعتمد على التردد بحسب معادلة بلانك:

$$E = vh$$

E : الطاقة

v : التردد

h : ثابت بلانك وهو يستخدم لوصف الكم (quantum)

$$h = 6.62606896 \times 10^{-34}\ j.\ s$$

أو

$$h = 4.135667516(91) \times 10^{-15}\ eV.\ s$$

طبق فرمول پلانک، انرژی هر ذره به بسامد آن بستگی دارد:

$$E = vh$$

E : انرژی ذره

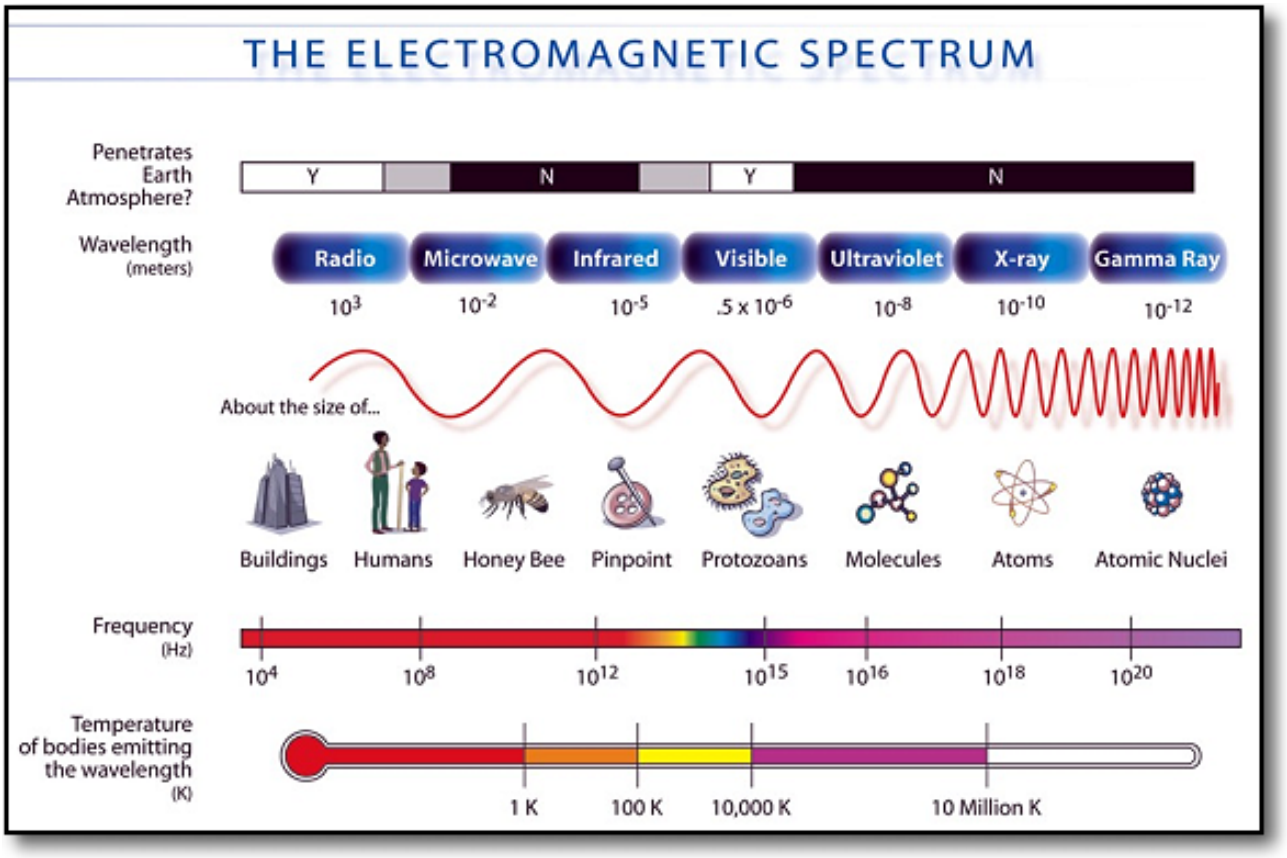
v : بسامد ذره

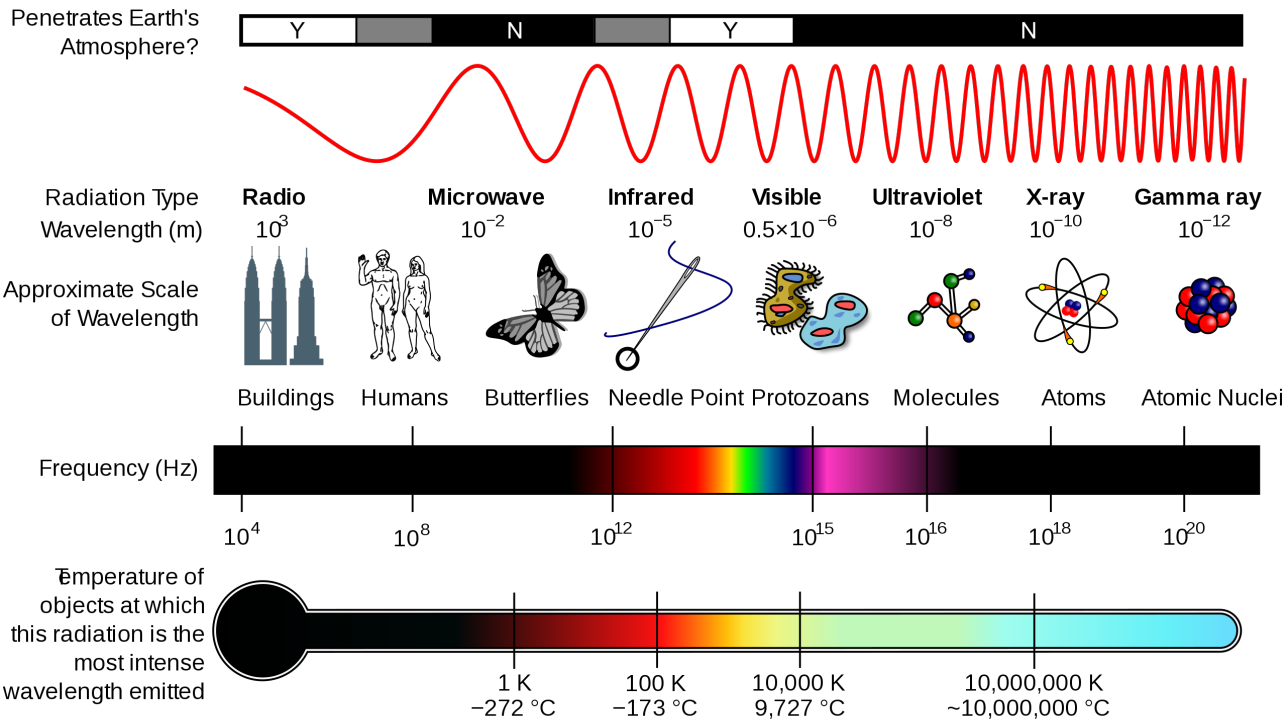
h : ثابت پلانک که برای بیان کوانتوم (quantum) به کار می‌رود:

$$h = 6.62606896 \times 10^{-34}\ J.\ s$$

یا:

$$h = 4.135667516(91) \times 10^{-15}\ eV.\ s$$





شكل21: الموجات الكهرومغناطيسية مجالها وترددها والعلاقة بين التردد والطاقة (أو الحرارة)

المصدر(1): وكالة ناسا الفضائية

1. متاح على:

http://mynasadata.larc.nasa.gov/science-processes/electromagnetic/diagram/

شکل ۲۱: میدانها و بسامدهای امواج الکترومغناطیسی، و رابطهء بین بسامد و انرژی (یا گرما) منبع۱: آژانس فضایی ناسا

۱- قابل دسترس در نشانی:

http://mynasadata.larc.nasa.gov/science-processese/electromagnetic-diagram

ثم أضاف اينشتاين[٣] عام 1905 في أحد بحوثه تطبيقاً لهذه النظرية على الضوء وفسّره على أنه كموم (فوتونات) وليس موجة مستمرة كما كان يعتقد، وكان لهذا البحث أثر بالغ فيما بعد في ثورة ميكانيك الكم واعتبار نظريتي الجسيمات والموجات تكمل أحدهما الأخرى في وصف الكم حيث أرسى ما طرحه اينشتاين فيما بعد الطبيعة الازدواجية للضوء (الفوتونات) موجة - جسيم، ثم بعد ذلك الطبيعة الازدواجية للمادة (كالالكترونات) جسيم - موجة.

٣. ألبرت أينشتاين (14 مارس 1879 - 18 أبريل 1955) ألماني - أمريكي الجنسية، أحد أهم العلماء في الفيزياء يشتهر بوضعه النظرية النسبية الخاصة والنظرية النسبية العامة حاز في العام 1921 على جائزة نوبل في الفيزياء.

سپس در سال ۱۹۰۵ اینشتین[۳] در یکی از پژوهشهای خود، این نظریه را بر نور تطبیق داد و آن را بر خلاف اعتقاد آن روز به ذرات کوانتومی نور یا فوتون تفسیر کرد، نه یک موج پیوسته. این پژوهش اثر عمیقی در هر آنچه که پس از مکانیک کوانتوم پدیدار شد، بر جای گذاشت و تاثیر بسزایی بر اعتبار هر دو نظریهء ذرهای و موجی بودن نور داشت؛ دو نظریهای که هر یک دیگری را در تفسیر رخدادهای کوانتومی تکمیل میکرد؛ چیزی که پس از طرح اینشتین (فوتونها) به ماهیت دوگانهء نور یعنی ماهیت موجی-ذرهای معروف شد؛ و پس از آن ماهیت دوگانهء موجی-ذرهای برای ماده (مانند الکترونها) نیز مطرح گردید.

(۳)- آلبرت اینشتین (Albert Einstein) (۱۴ مارس ۱۸۷۹ تا ۱۸ آوریل ۱۹۵۵) با تابعیت آلمانی - آمریکایی یکی از برجسته‌ترین فیزیکدان‌ها بشمار می‌رود که بدلیل ارائهء نظریهء نسبیت خاص و نظریهء نسبیت عام شهرتی فراگیر یافته است. وی در سال ۱۹۲۱ جایزهء نوبل فیزیک را دریافت کرد.

النظرية الكلاسيكية التقليدية لتفسير الذرة تفشل في مواضع كثيرة، منها:

نظریهء رایج کلاسیک در توجیه اتمها، در بسیاری موارد با ناکامی روبرو می‌شود، از جمله:

إنّ نموذج رذرفورد للذرة يؤدي إلى انهيار الذرة بسقوط الالكترون على نواتها؛ حيث إنّ الالكترون ذو الشحنة السالبة لو فرض أنه مستقر فستجذبه النواة ذات الشحنة الموجبة ويسقط وتنهار الذرة، ولو فرض أنه متحرك بمدار دائري فلابد أن يفقد طاقة وبالنتيجة يسير بمدار حلزوني حتى يسقط في النهاية إلى النواة وتنهار الذرة.

در مدل اتمی رادرفورد(*)، در صورت تاباندن الکترون به هستهء اتم، فروپاشی اتم رقم خواهد خورد، زیرا الکترون دارای بار منفی است. اگر فرض شود که الکترون ثابت و پایدار باشد، هسته‌های دارای بار مثبت آن را جذب خواهند کرد و بنابراین اتم از هم فرو خواهد پاشید. اگر هم فرض شود که الکترون در یک مدار دایره‌ای‌شکل در حرکت است، الزاماً باید ضمن تابش، انرژی خود را از دست بدهد و در یک مدار مارپیچی حرکت کند، تا در نهایت بر روی هسته افتاده، اتم متلاشی گردد.

(*)- ارنست رادرفورد (Ernest Rutherford)(۱۸۷۱ تا ۱۹۳۷) فیزیکدان اهل نیوزیلند برندهء جایزهء نوبل شیمی در سال ۱۹۰۷. بزرگترین دست آورد رادرفورد کشف ساختار هستهء اتم بود. (مترجم)

ولا تفسر النظرية الكلاسيكية انتقال الالكترون لمستوى آخر أو من مدار إلى لآخر، أو الانتقال في لحظة معينة دون غيرها.

نظریهء کلاسیک اتمی نمیتواند جابهجایی الکترون از ترازی به تراز دیگر یا از مداری به مدار دیگر را توجیه کند. این نظریه همچنین از توضیح جابهجا شدن الکترون در یک لحظهء معین -و نه زمانی دیگر- ناتوان است.

أيضاً: التحلل الاشعاعي أو انشطار أنوية الذرات وإطلاقها لجسيم مثل الفا (وهو بروتونين ونيوترونيين أي نواة هليوم تبعثها نواة غير مستقرة)، أو بيتا (حيث يطلق الكترون أثناء تحلل نيوترون) خارج نطاق النواة في لحظة معينة دون أخرى.

همچنین، پرتوزایی یا شکافت هستهء اتمها و آزاد کردن ذراتی مانند آلفا (شامل پروتون و نوترون یعنی هستههای هلیوم که هستههای ناپایدار آن را ساطع میکنند) یا بتا (که الکترونی است که به هنگام واپاشی نوترون حاصل میشود) به خارج از حوزهء هسته در یک لحظهء معین نیز با نظریات کلاسیک سازگاری ندارد.

وبدأ حل هذه المعضلات بأن أدخل بور النظرية الكمية في تفسير ما يحدث في الذرة، فقد فسر بور الذرة في بداية الأمر - جزئياً - على أساس كمي فافترض أنّ الالكترون يطلق أو يمتص كماً معيناً من الطاقة فينتقل إلى مستوى أدنى أو أعلى.

حل این اشکالات زمانی آغاز شد که بور در تفسیر آنچه در درون اتم روی میدهد، نظریهء کوانتومی را ارائه نمود. بور در ابتدا به صورت جزئی، مدلی کوانتومی برای اتم ارائه داد؛ به این صورت که الکترون قادر به دریافت یا از

دست دادن مقدار معینی از کوانتوم انرژی می‌باشد و به این ترتیب از مداری به مدار دیگری با سطح انرژی بالاتر یا پایین‌تر منتقل می‌شود.

وبعدها جاءت خطوات متتالية على نفس الطريق، فالميكانيك الكلاسيكي لا يصلح ليفسر ما في الذرة بصورة صحيحة ولم يكن يصلح ليكون شريكاً مع ميكانيك الكم لتفسير الذرة بصورة تامة، ولهذا استمرت عملية كنتمة الذرة وكما سنرى لم يبقَ شيء من الصورة الكلاسيكية للذرة أي كنواة تدور حولها الكترونات.

بعدها گامهای دیگری به تناوب در همین جهت برداشته شد؛ زیرا مکانیک کلاسیک به طور صحیح قادر به تفسیر آنچه در اتم رخ می‌دهد و همچنین قادر به همراهی با مکانیک کوانتوم در ارائهء تفسیر کاملی از اتم نمی‌باشد. بنابراین مکانیک کوانتومیِ ذره، راه خود را ادامه داد و چنانچه شاهد هستیم، دیگر اثری از مدلِ کلاسیکی اتم یا هسته‌هایی که الکترون‌ها دور آن در حال گردش هستند، دیده نمی‌شود.

وإن كان نموذج بور للذرة الذي أدخل فيه ميكانيك الكم وبنى عليه الجدول الدوري مفيداً في فهم الكيمياء؛ لأنها لا تهتم لأكثر من معرفة حال الالكترونات في الذرة التي تتقاسمها أو تقايضها مع ذرة أخرى لأجل الحصول على الاستقرار الذي يتمثل بأن تكون هناك صورة ممتلئة للأغلفة الخارجية المفترضة، ولهذا تدرس ذرة بور عادة مع أنها لا تعبر عن حقيقة الذرة وكيف تكوّن الالكترونات فيها.

مدل اتمی بور که با در نظر گرفتن مکانیک کوانتوم به دست آمده و جدول تناوبی عناصر بر اساس آن بنا گردیده است، برای درک بهتر علم شیمی مفید است؛ زیرا نهایتاً به شناخت رفتار الکترون‌ها در اتم به عبارتی مبادله و یا اشتراک آنها با اتم دیگر که برای رسیدن به حالت پایدار و پر شدن ظرفیت

لایه‌های خارجی اتم می‌باشد، می‌پردازد و نه بیشتر. بنابراین با وجود اینکه این مدل چیزی در مورد حقیقت اتم‌ها و چگونگی تشکیل الکترون‌ها در آن بیان نمی‌کند، مورد تدریس قرار می‌گیرد.

ثم جاء وصف لويس دي برويل للالكترونات والجسيمات المادية على أنها تسلك سلوكاً موجياً كما أن الفوتونات وموجات الطاقة تسلك سلوكاً جسيمياً، وهنا يظهر جلياً أن الفيزياء الكلاسيكية لم تعد قادرة على تفسير أن كل الجسيمات تسلك سلوكاً موجياً، وواضح من هذا أن مدارات الالكترونات في ذرة بور ليست وصفاً حقيقياً لما هو موجود فعلاً في الذرة.

سپس مدل لویی دوبروی(**) ارائه شد، که معتقد بود الکترون‌ها و ذرات مادی دارای رفتارهای موجی هستند و فوتون‌ها و امواج انرژی دارای رفتارهای ذره‌ای. در اینجا به روشنی مشخص می‌گردد که فیزیک کلاسیک قادر به توضیح این مسئله که همهٔ ذرات، رفتار موجی دارند نمی‌باشد. از سوی دیگر بر این اساس واضح می‌گردد که مدارهای الکترونی در اتم بور، توصیفی واقعی برای آنچه حقیقتاً در اتم می‌گذرد، نمی‌باشند.

(**)- لویی دوبروی (Louis-Victor-Pierre-Raymond, 7th duc de Broglie) (۱۸۹۲ تا ۱۹۸۷) فیزیکدان فرانسوی و برندهٔ جایزهٔ نوبل فیزیک. نظریهٔ دوگانهٔ ماده-موج وی معروف است. (مترجم)

«وقد لخص سير آرثر إدنجتون Arther Eddington الموقف بطريقة رائعة في كتاب طبيعة العالم الفيزيائي The Nature of the Physical World المنشور سنة 1929 فقد قال: لا يوجد تصور يمكن نسجه حول الالكترون أما أفضل ما يمكن ان توصف به الذرة فيوجز في شيء ما مجهول يعمل ما نجهله..... غير ان الموضوع هو مع أننا لا نعلم مالذي تفعله الالكترونات في الذرات، ولكننا نعرف أن عدد الالكترونات هام فبإضافة بضعة أعداد يمكن ان تثار الثرثرة العلمية ثمانية من تلك التي تلف وتنزلق وتدور في الاكسجين فإذا هرب أحد هذه الثمانية فإن الاكسجين سيتخفى في زي النيتروجين. هذه الملحوظة ليست طرفة وإذا عرف العدد وكان ثابتا لا يتغير، كما أشار

إدنجتون منذ أكثر من خمسين سنة، فإن كل أساسيات الفيزياء يمكن ترجمتها إلى مجرد ثرثرة»[1].

1. المصدر (جريبين - البحث عن قطة شرودنغر): ص109.

«سر آرتور ادینگتون(***) به طور واضح و خلاصه، این وضعیت را در کتاب خود "طبیعت جهان فیزیکی" (The Nature of Physical World) چاپ ۱۹۲۹ به این صورت بیان کرده است: هیچ توصیف واضحی دربارهء الکترون وجود ندارد و بهترین توصیف ما از اتم، توصیف بسیار ناقصی شبیه چیزی ناشناس که کاری ناشناس انجام می‌دهد می‌باشد..... اما نکته این است که اگرچه ما نمی‌دانیم الکترونها چه عملی انجام می‌دهند، اما می‌دانیم که تعداد الکترونها مهم می‌باشد؛ با اضافه کردن تعداد کمی الکترون، گویی یک شعر درهم و نامفهوم علمی سروده‌ایم: "هشت تا توی اکسیژنند، هفت تا توی نیتروژن ..... اگه یکی از هشت تا فرار کنه، شاید اکسیژن بپره تو دستهء نیتروژن". چیزی که اشاره شد، فکاهی نیست. همان طور که ادینگتون بیش از پنجاه سال پیش اشاره کرده بود، با در نظر گرفتن اینکه تعداد الکترونها نامتغیر می‌باشد، تمام اصول علم فیزیک می‌تواند در قالب یک شعر نامفهوم ترجمه شود».(۱)

(۱)- جان گریبین، تحقیق در مورد گربهء شرودینگر، ص ۱۰۹.

(***)- آرتور استنلی ادینگتون (Arthur Stanley Eddington) (۱۸۸۲ تا ۱۹۴۴) اخترفیزیکدان انگلیسی. توان درخشش ادینگتون یعنی اندازهء طبیعی درخشش ستارگان به افتخار این دانشمند، به نام او نام گذاشته شده است. (مترجم)

بعد هذا جاء وصف دقيق للذرة أو لسلوك جسيمات الذرة على يد هايزنبرك والذي سمي ميكانيك المصفوفات بعد أن ركز على الرياضيات وما يمكن مشاهدته كخطوط الطيف ونحى جانباً وصف الذرة التقليدي.

پس از آن نوبت به هایزنبرگ(****) رسید که با تمرکز بر فرمولهای ریاضی و موارد قابل مشاهده از قبیل خطوط طیفی، و نیز با کنار گذاشتن تعریف سنتی (و رایج) اتم، تعریف دقیقی از اتم و نحوهء رفتار ذرات اتمی ارائه دهد که آن را به نام مکانیک ماتریسی می‌شناسند.

(****)- ورنر هایزنبرگ (Werner Karl Heisenberg) (۱۹۰۱ تا ۱۹۷۶) فیزیکدان آلمانی برندهء جایزهء نوبل فیزیک در سال ۱۹۳۲. از بنیانگذاران فیزیک کوانتومی است و اصل عدم قطعیت وی معروف می‌باشد. (مترجم)

ثم وضع بول ديراك[1] الجبر الكمي وهو أكثر شمولية.

1. د. بول ديراك فيزيائي بريطاني (1902 – 1984) وأحد مؤسسي ميكانيكا الكم، نال مع شرودنغر جائزة نوبل للفيزياء عام 1933

سپس پل دیراک[۱] جبر کوانتومی را که عامتر بود، وضع نمود.

(۱)- دکتر پل دیراک(Paul Dirac)(۱۹۰۲ تا ۱۹۸۴) فیزیکدان انگلیسی و یکی از پایه‌ریزان مکانیک کوانتومی بود. در سال ۱۹۳۳ وی به همراه شرودینگر جایزهء نوبل فیزیک را به دست آورد.

مرَّ أنّ الالكترون يتصرف كموجة أيضاً كما أوضح دي برويل وهذا سمح لشرودنغر[2] أن يصف ميكانيك الكم بالموجات ووضع الميكانيك الموجي في محاولة ربما لتوفير حل شبه كلاسيكي للكم.

2. د. إرفين شرودنغر 1887- 1961 هو فيزيائي نمساوي معروف بإسهاماته في ميكانيكا الكم وخصوصاً معادلات شرودنجر والتي حاز من أجلها على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1933م.

همان طور که پیشتر اشاره شد، الکترون مانند موج نیز عمل می‌کند. دوبروی این مطلب را شرح داد و شرودینگر[۲] بر اساس آن توانست مکانیک کوانتوم را با امواج توصیف کند، و شاید در تلاش برای ارائهء راه‌حلی شبه‌کلاسیک برای مکانیک کوانتوم، مکانیک موجی را بنیان نهد.

(۲)- دکتر اروین شرودینگر (Erwin Schrödinger)(۱۸۸۷ تا ۱۹۶۱) فیزیکدان اتریشی است که بدلیل مشارکت در رشد مکانیک کوانتوم و به ویژه ارائهء معادلات شرودینگر که باعث شد در سال ۱۹۳۳ جایزهء نوبل فیزیک را به دست آورد، مشهور می‌باشد.

وهكذا توفرت معادلات من نوعين مختلفين أحدهما باعتبار الالكترونات جسيمات والأخرى باعتبارها موجات وكلاهما لوصف ما يمكن أن يقاس في ميكانيك الكم، وما يستعمل ويدرس عادة هو الميكانيك الموجي أو حل شرودنغر؛ لأنه أقرب للفهم وللصورة التقليدية من ميكانيك المصفوفات لهايزنبرغ، عموماً بعد ذلك اكتشف أن الحلين متكافئين وأن حل شرودنغر الموجي لم يحل مشكلة القفز الموجي بحل كلاسيكي كما كان يرجو.

به این ترتیب دو نوع معادلهء متفاوت ارائه شد که یکی از آنها الکترونها را ذرات بنیادی میداند و دیگری آنها را امواج بهشمار میآورد. هر دو برای توصیف آنچه میتوان در مکانیک کوانتوم مورد سنجش و اندازهگیری قرار داد به کار میرود. آنچه معمولاً مورد استفاده و استناد قرار میگیرد و تدریس میشود، همان مکانیک موجی یا راه حل شرودینگر است؛ چرا که فهم آن آسانتر است و تصویر کلاسیکتری از مکانیک ماتریسی هایزنبرگ ارائه میکند؛ به ویژه پس از آنکه مشخص شد این دو راهحل با یکدیگر همخوانی دارند و راهحل موجی شرودینگر بر خلاف آنچه انتظار میرفت، نتوانست مشکل جهش موج را به طور کلاسیک حلوفصل نماید.

«تبين أن الموجات نفسها - عند فحصها عن قرب - شيء تجريدي مثل أعداد q لديراك، وقد أظهرت الرياضيات انها لا يمكن أن تكون موجات حقيقية في الفراغ، مثل الرقرقات على سطح البركة، لكنها كانت تمثل صورة معقدة من الذبذبات في فراغ رياضي تخيلي يدعى الفراغ الشكلي، وما هو أسوأ من ذلك ان كل جسيم (كل الكترون مثلا) يحتاج أبعادا ثلاثة خاصة به. فإلكترون وحيد يمكن وصفه بواسطة معادلة موجة في فراغ شكلي ثلاثي الابعاد ولوصف إلكترونين يتطلب الامر فراغا شكليا سداسي الابعاد، وتتطلب ثلاثة الكترونات تسعة ابعاد وهكذا، اما إشعاع الجسم الاسود، فحتى عندما يتحول كل شيء إلى لغة ميكانيكا الموجات، فإن الحاجة إلى كوانتا منفصلة، والقفزات الكمية ستظل قائمة. كان شرودنجر مشمئزا وقال ملحوظته التي اقتبست غالبا مع تنويعات طفيفة في الترجمة: (لو كنت أعلم اننا لن نتخلص من عملية القفز الكمية اللعينة، لما أقحمت نفسي في هذا العمل) وكما وضح هايزنبرج في كتابه

الفيزياء والفلسفة،.... لم تحل تناقضات الازدواجية من صورة الموجة وصورة الجسيمة، ولكنهما تخفيا بشكل او بآخر في المخطط الرياضي.
وبلا شك فإن اغراء صورة الموجات الفيزيائية الحقيقية التي تدور حول انوية الذرات التي أدت الى اكتشاف شرودنجر للمعادلات الموجية التي تحمل اسمه، كان خطأ. ولم تعد ميكانيكا الموجات هي المرشد (الدليل) إلى واقعية عالم الذرة أكثر من ميكانيكا المصفوفات. ولكن ميكانيكا الموجات، على عكس ميكانيكا المصفوفات تمنحنا الخداع بوجود شيء مألوف ومريح. إنه الخداع الحميم والمالوف الذي صمد حتى يومنا هذا، والذي أخفى حقيقة ان عالم الذرة مختلف كلية عن عالمنا اليومي. وقد كبرت أجيال من الطلاب وأصبحوا الان اساتذة، وكان من الممكن ان يتوصلوا إلى فهم أعمق كثيرا لنظرية الكم لو كانوا قد اجبروا على التمسك بأحكام بالطبيعة التجريدية لمدخل ديراك، بدلا من قدرتهم على تصور ان ما عرفوه عن سلوك الموجات في حياتنا اليومية هو الذي يقدم صورة لسلوك الذرة»[1].

1. المصدر (جريبين - البحث عن قطة شرودنغر): ص135 ـ 136.

د. جون جريبين عالم فيزياء وكاتب ومؤلف لعدة كتب، حاصل على الدكتوراه في الفلك من جامعة كامبرج.

«در بررسی دقیقتر، خود امواج تمایل دارند که مثل اعداد کوانتومی دیراک (Dirac's q-numbers) مجرد باشند. مدل ریاضی نشان میدهد این امواج برخلاف امواج کوتاهی که روی سطح یک حوض دیده میشوند، نمیتوانند واقعاً در فضا وجود داشته باشند، اما این مدل شکل پیچیدهای از ارتعاش را در یک فضای ریاضی موهومی (مختلط) که فضای فاز نامیده میشود، نشان میدهد. بدتر از این، هر ذره (مثلاً هر الکترون) به سه بُعد مخصوص خودش نیاز دارد. یک الکترون به تنهایی توسط یک معادلهء موج سهبُعدی در فضای فاز توصیف میشود؛ دو الکترون به فضای ششبُعدی احتیاج دارد، سه الکترون به فضای نهبُعدی و همین طور الی آخر. همین طور در مورد تابش جسم سیاه اگر همه چیز به زبان مکانیک موجی برگردانیده شود، باز هم نیاز به کوانتاهای (Quanta) گسسته و پرشهای کوانتومی (Quantum Jumps) باقی میماند. شرودینگر درمانده شده بود و نکتهای را بارها با تغییرات کوچکی به این صورت بیان کرده بود: "اگر میدانستم قرار نیست از دست این پرشهای کوانتومی لعنتی خلاص شویم، هیچ وقت خودم را درگیر این قضیه نمیکردم". هایزنبرگ نیز در کتاب (فیزیک و فلسفه) آورده است: "..... پارادوکس دوگانهء ماهیت موجی و ماهیت ذرهای حل نشده و فقط به نوعی در مدل ریاضی (Mathematical Scheme) مخفی شده بود".

بدون شک، نیاز مبرمی به تصویر فیزیکی امواج حقیقی که به دور هستهء اتم می‌چرخیدند، وجود داشت که شرودینگر را وادار به یافتن معادلهء موج کرد و حالا ما می‌دانیم که این نام (امواج حقیقی) غلط می‌باشد. مکانیک موجی هرگز راهنمای بهتری نسبت به مکانیک ماتریسی برای کشف حقیقت دنیای اتمی نیست، اما برخلاف مکانیک ماتریسی، تصویر راحت و آشنایی را ارائه می‌دهد. این تصویر چنان آشنا و دوست داشتنی بوده که تاکنون دوام آورده و بیان می‌کند که دنیای اتمی، کاملاً با دنیای روزمره متفاوت می‌باشد. گروههای متعددی از دانشجویان که حالا برای خودشان استاد شده‌اند، شاید به آنچنان درک عمیقتری از تئوری کوانتوم رسیده باشند، که مجبور به جدال با طبیعت مجرد یافته‌های دیراک شوند و با آن با جدیت برخورد کنند، به جای اینکه فکر کنند که رفتار امواج در دنیای روزمره می‌تواند تصویری از رفتار اتمها را ارائه نماید »[1].

1. المصدر : جان گریبین، تحقیق در مورد گربهء شرودینگر، ص ۱۳۵ و ۱۳۶.

دکتر جان گریبین (John Gribbin) (متولد ۱۹۴۶) فیزیکدان و نویسندهء اهل بریتانیا است که کتابهای زیادی به رشته تحریر درآورده است. وی دکتری اخترشناسی خود را از دانشگاه کمبریج دریافت نموده است.

كانت النتيجة التي استخلصها بور في النهاية هو أنّ الجسيم الكمومي مثل الالكترون له طبيعة مزدوجة، أي إنه يتصرف في ظروف كموجة وفي أخرى كجسيم وحقيقته غير محددة لا جسيم ولا موجة، ولا يمكن إيجاد تجربة يتصرف فيها بطبيعة مزدوجة أي كجسيم وموجة في آن واحد، فطبيعة الجسيم والموجة تكملان بعضهما بعضاً أي تتامية (complementarity)

نتیجه‌ای که بور در پایان بدست آورد، این بود که یک ذرهء کوانتومی مانند الکترون دارای رفتار دوگانه است؛ یعنی در برخی شرایط مانند موج رفتار می‌کند و برخی اوقات به صورت ذره. در ضمن ماهیت آن نیز نامشخص است، یعنی نه ذره است و نه موج. همچنین نمی‌توان آزمایشی انجام داد که در آن الکترون با هر دو رفتارش ظاهر شود، یعنی در آنِ واحد هم ذره باشد و هم موج. طبیعت ذره‌ای یا موجی آن، هر یک مکمل و متمم دیگری است که این را «اصل مکمل»(Complementarity) می‌نامند.

وواضح في تجربة الشقين المشهورة أنّ الالكترون المفرد عندما يطلق من المصدر باتجاه الصفيحة التي تحتوي الشقين ويعبر منها إلى الشاشة، فإنه في حال تمت مراقبة الشقين فإنه يتصرف كجسيم متشخص يعبر من أحد الشقين، ولكن في حالة عدم مراقبة ومشاهدة الشقين فإنه يسجل على الشاشة الخلفية صورة تداخل أي أنه عبر من الشقين، أي إنّ الالكترون مرة تصرف كجسيم مفرد ومرة كموجة أو مجموعة الكترونات شبحية أي كأن الالكترون عندما انطلق من المصدر تحول مباشرة إلى سحابة من الالكترونات الشبحية كل واحد منها مؤهل أن يكون هو ألكتروننا الحقيقي وعندما نتوجه إليه بالمشاهدة فإنّ أحد هذه الالكترونات الشبحية أو صور الالكترون هو الذي نشاهده ويتشخص لنا على أنه الالكترون الحقيقي وتختفي الأخرى، وسيأتي النقاش أين تختفي بقية الصور.

در آزمایش مشهور دو شکاف هنگامی که تکالکترون از منبع به سوی صفحه‌ای با دو شکاف فرستاده شود و از آنجا به سمت صفحهء آشکارساز عبور کند، اگر ما به دو شکاف چشم بدوزیم، الکترون مانند ذره‌ای مشخص عمل می‌کند و از یکی از شکاف‌ها می‌گذرد ولی اگر ما دو شکاف را رصد نکنیم، بر صفحه آشکارساز پشتی، یک الگوی تداخلی ثبت می‌شود؛ یعنی گویا الکترون از هر دو شکاف عبور کرده است. این به آن معنا است که الکترون یک بار به صورت تکذره عمل کرده است و یک بار به صورت موج یا مجموعه‌ای از اشباح الکترونی. به عبارت دیگر گویی الکترون هنگامی که از منبع، ساطع شده، بلافاصله به ابری از اشباح الکترونی تبدیل گشته که هر یک از آنها می‌تواند همان الکترون واقعی ما باشد. وقتی ما به این مجموعه نگاه می‌کنیم، یکی از این اشباح الکترونی یا تصاویر الکترونی همانی خواهد بود که آن را مشاهده می‌کنیم و تشخیص می‌دهیم که این همان

الکترون واقعی خودمان است و باقی الکترونها محو می‌گردند. در مورد اینکه باقی تصاویر به کجا می‌روند، در بخش‌های بعدی بحث خواهیم کرد.

ثم وضع ماكس بورن[1] طريقة لفهم موجات شرودنغر بما يسمى دالة (أو تابع) الموجة وهي حل لمعرفة احتمال وجود الجسيم (كالالكترون) في موضع معين، وهكذا فإن الالكترون أو الجسيم أصبح من المحتمل أن يوجد في أي مكان وما تفعله دالة الموجة هو فقط حساب احتمال وجوده في مكان دون آخر.

1. د. ماكس بورن (1882 - 1970) عالم فيزياء ورياضيات ألماني حصل على جائزة نوبل في الفيزاء عام 1954 على بحوثه في ميكانيكا الكم.

سپس ماکس بورن[۱] روشی برای فهم امواج شرودینگر که تابع موج نامیده می‌شود، ارائه نمود که عبارت است از شیوه‌ای برای شناسایی احتمال وجود ذره (مانند الکترون) در مکانی خاص. به این ترتیب احتمال دارد که الکترون یا ذره در هر مکانی یافت شود و آنچه تابع موج انجام می‌دهد، فقط محاسبهء احتمال وجود آن الکترون در یک مکان خاص می‌باشد.

(۱)- دکتر ماکس بورن (Max Born)(۱۸۸۲ تا ۱۹۷۰) فیزیکدان و ریاضی‌دان آلمانی بود. وی در سال ۱۹۵۴ بدنبال تحقیقاتی که در حوزهء میکانیک کوانتوم به عمل آورد، جایزهء فیزیک نوبل را از آنِ خود کرد.

ثم جاء أهم اكتشاف في ميكانيك الكم وهو مبدأ اللايقين أو مبدأ الريبة لهايزنبرغ.

سپس مهمترین اکتشاف مکانیک کوانتوم که "اصل عدم قطعیت هایزنبرگ" بود پا به میدان گذاشت.

وهكذا فقد طور بعض علماء الفيزياء مثل اينشتاين وبور وماكس بورن وشرودنغر وباولي وهايزنبرغ وديراك نظرية الكم لبلانك لتصبح نظرية شاملة

لتفسير ميكانيك الجسيمات (المستوى الذري وما دون الذري)، حيث أصبح الالكترون بحسب ميكانيك الكم يمكن أن يتواجد في أي موضع في الذرة فهو أقرب للسحاب أو الضباب المنتشر في الذرة منه إلى الجسيم أو حتى الموجة.

به این ترتیب برخی فیزیکدانان از قبیل اینشتین، بور، ماکس بورن، شرودینگر، پائولی(*)، هایزنبرگ و دیراک نظریهء کوانتومی پلانک را به گونهای توسعه دادند که به نظریهای فراگیر برای تفسیر مکانیک ذرات (در سطح ذرات زیراتمی و پایینتر از آن) تبدیل شد. بر این اساس از دید مکانیک کوانتوم، الکترون میتواند در هر جای ذره قرار داشته باشد؛ چرا که الکترون به ابر یا مِهِ منتشر شده در اتم نزدیکتر است، تا به یک ذره یا حتی موج.

(*)- ولفگانگ ارنست پائولی (Wolfgang Ernst Pauli) (۱۹۰۰ تا ۱۹۵۸) فیزیکدان بلندپایهء اتریشی - سوئیسی بود. مهمترین کار وی کشف اصل طرد پائولی میباشد. پائولی سال ۱۹۴۵ جایزهء نوبل فیزیک را به دست آورد.

كان الحل والجواب على الأسئلة التي تدور حول الذرة وسلوك الالكترونات والنواة لدى ميكانيك الكم، ولكن كان الجواب في بعض الأحيان هو أنه لا يوجد جواب محدد على بعض الأسئلة أو أنّ هناك أكثر من احتمال أو أنه يحدث هكذا بدون سبب، فقاعدة السببية التي تبنى عليها كثير من الأسئلة في الميكانيك الكلاسيكي لم يعد لها نفس الوجود في ميكانيك الكم الذي تبنّاه بور وجماعته في حينها، فالأحداث الكمومية يمكن أن تحدث بدون سبب ويمكن أن تحدث في وقت دون آخر دون سبب أيضاً.

پرسش و پاسخ دربارهء ذرات، نحوهء رفتار الکترونها و هستهها در مکانیک کوانتوم مطرح بود، ولی گاهی اوقات جواب این بود که اصولاً پاسخ یگانهای برای برخی سؤالات وجود ندارد، یا بیش از یک احتمال برای آنها وجود دارد، و یا این رویدادها بدون علت و سبب رخ میدهد. اصل علیت که بسیاری از سؤالات مطرح شده در مکانیک کلاسیک بر اساس آن پاسخ داده میشود،

در مکانیک کوانتوم - که بور و همفکران او در آن زمان به آن پر و بال دادند - جایگاه تعریف شده‌ای نداشت. رویدادهای کوانتومی ممکن است بدون هیچ سببی به وقوع بپیوندند و نیز ممکن است بدون علت، در زمانی خاص رخ دهد.

«كان أينشتاين مثله مثل الذين كانوا يدرسون النشاط الاشعاعي يعتقد أن الجداول التأمينية الإكتوارية ليست نهاية المطاف، وأن الابحاث القادمة ستحدد السبب وراء حدوث انتقالات معينة في اللحظة التي تحدث فيها بالضبط، وليس في أي وقت آخر. غير أنه عند هذه النقطة بدأت النظرية الكمية في الحقيقة الانفصام عن الافكار الكلاسيكية، ولم يكتشف أي (سبب) وراء حدوث التحلل الاشعاعي أو انتقالات الطاقة الذرية عندما تحدث أبدا. ويبدو في الواقع أن هذه التغيرات تحدث كليا بالصدفة، على أساس إحصائي، وقد بدا ذلك في إثارة تساؤلات فلسفية أساسية. ففي العالم الكلاسيكي لكل شيء سبب، ويمكنك تتبع سبب أي حدث في زمن وقوعه ثم لتجد سبب وقوع السبب، والسبب في هذا السبب، وهكذا حتى تصل الى الانفجار العظيم (Big Bang) (إذا كنت من علماء الكون)، أو حتى لحظة الخلق في السياق الديني، إذا كان ذلك ما تؤمن به. لكن في عالم الكم تبدأ مثل هذه السببية في الاختفاء بمجرد ان نفحص التحلل الإشعاعي والانتقات الذرية. فالإلكترون لا ينتقل من مستوى معين للطاقة إلى مستوى آخر في زمن معين لأي سبب محدد. وتفضل الذرة أكثر مستويات الطاقة انخفاضا بالمعنى الاحصائي، ولذا فمن المرجح (كمية الأرجحية من الممكن كنتمتها Quantified) أن يقوم الإلكترون بهذه الحركة إن آجلا او عاجلا (العودة الى المستوى الأكثر انخفاضا). ولا توجد وسيلة تخبرنا متى سيحدث هذا الانتقال، فلا يوجد عامل خارجي يدفع الإلكترون، ولا توقيت داخلي يفرض على الإلكترون القفز في توقيت محدد، إنما يحدث ذلك فحسب، لي لسبب محدد يحدث الآن وليس عندئذ»[1].

1. المصدر (جريبين - البحث عن قطة شرودنغر): ص82.

«اینشتین مانند سایر افرادی که در آن روزها رادیواکتیویته را مطالعه می‌کردند، اعتقاد داشت که جدولهای آماری (Actuarial Tables) حرف آخر را نمی‌زند و تحقیقات بعدی باید مشخص کند که چرا یک انتقال، دقیقاً باید در زمانی که انجام شود، انجام می‌شود و نه در هیچ زمان دیگری. اما در این مورد به خصوص، نظریهء

کوانتوم شروع به جدایی از ایدهای کلاسیک می‌نماید، (از دید کوانتومی) هیچ دلیل بنیادینی برای توضیح علت واپاشی رادیوکتیویته یا نحوهء انتقال انرژی اتمی، وجود ندارد. واقعاً به نظر می‌رسد که تمام این تغییرات به صورت کاملاً تصادفی و صرفاً بر اساس مدلهای آماری انجام می‌شود که این خود منجر به بروز پرسشهای بنیادین فلسفی در این زمینه شده است. در جهان کلاسیک، هر چیزی علتی دارد. با دنبال کردن علت هر رخدادی در طول زمان می‌توان علت آن را یافت و اینکه چه چیزی باعث آن علت شده و همین طور اگر به کیهانشناسی علاقمند باشید تا جایی که به انفجار بزرگ و یا به لحظهء پدید آمدن خلقت براساس متون دینی خواهید رسید؛ البته اگر این مدلی باشد که شما به آن ایمان داشته باشید. اما در جهان کوانتومی، به محض اینکه ما به مسئلهء واپاشی رادیواکتیویته یا انتقالهای اتمی می‌رسیم، این سلسلهء علتها محو می‌شود. یک الکترون در یک زمان خاص و به دلیلی خاص از یک سطح انرژی به سطح دیگر منتقل نمی‌شود. از دید آماری، برای اتم، سطح انرژی پایین‌تر مطلوبتر است و بنابراین کاملا مورد انتظار و حتی میزان احتمال آن نیز قابل محاسبه است، که دیر یا زود، الکترون در این جهت حرکتی انجام دهد. اما هیچ راهی برای بیان زمان این انتقال وجود ندارد. هیچ عامل خارجی بر الکترون فشار وارد نمی‌کند و هیچ ساعت داخلی نیز زمان جهش را تعیین نمی‌کند. بدون هیچ دلیلی، فقط رخ می‌دهد، حالا یا در هر زمان دیگری »[1].

1. مصدر : گریبین، تحقیق در مورد گربهء شرودینگر، ص ۸۲.

لقد طرح هايزنبرغ - ربما - أهم مبدأ في ميكانيك الكم، وهو مبدأ الريبة أو مبدأ اللايقين والذي يقول: إنه لا يمكن قياس زوج من خصائص الكموم بدقة كتحديد موضع وسرعة الجسيمات الكمومية في نفس الوقت وبدقة، فكلما زاد اليقين في معرفة موضع كم معين قل اليقين في معرفة سرعته أو كمية حركته في نفس تلك اللحظة، ويمكن أن نقول أيضاً: إنه لا يمكن معرفة قيمة المجال ومعدل تغيره معاً بدقة بنفس اللحظة، وهذه خاصية أصيلة في ميكانيك الكم وهي نتيجة رياضية وتؤكدها التجربة.

چه بسا هایزنبرگ مهمترین اصل مکانیک کوانتوم را که همان اصل عدم قطعیت می‌باشد، مطرح نمود. این اصل می‌گوید: نمی‌توان جفتهای

مشخصی از خواص فیزیکی ذرات کوانتومی را همزمان و با دقت تعیین کرد، مثلاً امکان تعیین مکان و سرعت ذرات کوانتومی به طور همزمان و با دقت بالا امکان‌پذیر نیست. هر چه یقین ما به محل استقرار یک ذرهء خاص بیشتر باشد، اطمینان ما نسبت به سرعت یا اندازه حرکت ذره در همان لحظه کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، ناشدنی است که همزمان مکان و میانگین تغییرات مکان (در واحد زمان) را با دقت در آنِ واحد معیّن نمود. این یکی از خواص اصلی مکانیک کوانتوم بشمار می‌رود که یک نتیجهء ریاضی است و آزمایش نیز آن را تأیید و اثبات می‌کند.

«ويشار الى هذا التجمع من الافكار معا (عدم التيقن، والتكميلية، والاحتمال، واضطراب المنظومة التي نشاهدها بواسطة المشاهد) بتفسير كوبنهاجن Copenhagen Interpretation لميكانيكا الكم، ومع انه لا احد في كوبنهاجن (أو في أي مكان آخر) قد صاغ بكل هذه الكلمات المقولات المحددة التي تحمل أسم تفسير كوبنهاجن، وقد جاء في الواقع أحد المكونات الاساسية من ماكس بورن في جوتنجن، وهو التفسير الاحصائي لدالة الموجة. وما تفسير كوبنهاجن إلا أشياء كثيرة لأناس كثيرين، إذا لم يكن كل الاشياء لكل الرجال، وهو نفسه زلق بما يناسب عالم ميكانيكا الكم الزلق. قدم بور المفهوم ألاول مرة علنا في مؤتمر في تومو بايطاليا في سبتمبر ايليول 1927، وقد كان ذلك علامة على استكمال تماسك نظرية ميكانيكا الكم في الصورة التي يمكن بها ان يستخدمها أي فيزيائي كفء لحل مشكلات الذرات والجزيئات، دون الحاجة الشديدة الى التفكير في الاساسيات، فقط اتباع الوصفات بإرادة بسيطة والتوصل الى النتائج»[1].

1. المصدر (جريبين - البحث عن قطة شرودنغر): ص139.

«این مجموعه از تفکرات (عدم قطعیت، اصل مکمل، احتمالات و آشفتگی سیستمی که به‌وسیلهء ناظر ایجاد می‌شود) جملگی به عنوان تفسیر کپنهاگن (Copenhagen Interpretation) از مکانیک کوانتومی شناخته می‌شود، هیچ کس در کپنهاگ (یا هر مکان دیگری) تا به حال هیچ تعریفی از تفسیر کپنهاگن ارائه نکرده و در واقع یکی از اجزای کلیدی آن به نام «توصیف آماری تابع موج» توسط ماکس بورن در گوتینگن ارائه شد. تفسیر کپنهاگن، ملغمه‌ای از خیلی چیزها برای خیلی از افراد است، اگر

نگوییم همه چیز برای همه کس و در واقع یک رویکرد لغزنده برای دنیای لغزندهء مکانیک کوانتوم می‌باشد. بور اولین بار مفهومی را در سپتامبر ۱۹۲۷ در یک کنفرانس عمومی در تومور ایتالیا ارائه نمود؛ به این صورت که مکملی بر تئوری سازگار با مکانیک کوانتومی ارائه نمود به طوری که توسط هر فیزیکدانی برای حل مسائل مربوط به اتمها و مولکولها بتواند مورد استفاده قرار گیرد، بدون اینکه نیازی به درک دقیق اصول باشد و بتوانند به طور ساده با دنبال‌کردن دستورالعملهایی به پاسخ برسند »[1].

1. مصدر : گریبین، تحقیق در مورد گربهء شرودینگر، ص ۱۳۹.

في ميكانيك الكم الفوتون عديم الكتلة - الذي يعبر عن الطاقة - لم يعد موجة بل جسيماً أيضاً والالكترون الذي له كتلة لم يعد جسيماً فقط بل يتصرف كموجة أيضاً وحتى الموجة لم تعد موجة حقيقية بل مجرد مفهوم يعبر عنه بدالة الموجة وسيأتي الكلام حتى في واقعية دالة الموجة، والالكترون الذي يرسل باتجاه صفحة فيها فتحتان أو شقان مثلاً يمكن أن يدخل منهما معاً في نفس الوقت ولا يمكن تحديد دخوله من أحدهما إلا بمشاهدته من خلال رصد الشقين، وبحسب تفسير كوبنهاغن أو مجموعة بور فإنّ للمشاهد أثراً في المنظومة وجعلها تحدد موضعاً للالكترون.

در مکانیک کوانتوم، فوتونِ فاقد جرم - که از آن به انرژی تعبیر می‌شود - موج محسوب نمی‌گردد؛ بلکه فوتون نیز ذره نامیده می‌شود. همچنین الکترون که دارای جرم است، فقط ذره محسوب نمی‌شود بلکه الکترون نیز رفتار موج‌گونه دارد. حتی خود موج نیز موج واقعی نیست بلکه صرفاً مفهومی است که از آن به تابع موج تعبیر می‌شود. در ادامه به واقعیت تابع موج نیز اشاره خواهد شد. به عنوان مثال الکترونی که به سوی یک صفحهء خاص دارای دو منفذ یا دو شکاف فرستاده می‌شود، می‌تواند در یک آن وارد هر دو شکاف شود ولی نمی‌توان مشخص کرد که الکترون از کدام یک وارد شده است، مگر اینکه ما با زیر نظر گرفتن این دو شکاف، الکترون را رصد کنیم.

طبق تفسیر کپنهاگن یا مدل بور، ناظر، بر سیستم تأثیرگذار است و می‌تواند مکان الکترون را تعیین و تعریف نماید.

وإذا أردت أن أضرب مثلاً لتقريب الأمر للفهم:

جهت روشن شدن موضوع و فهم بیشتر مسئله مثالی می‌آورم:

فلنفرض أنّ لدينا مصدراً يطلق جسيمات ولتكن الكترونات مثلاً، فالآن الالكترون عندما يخرج من المصدر يصبح عبارة عن مجموعة من الالكترونات الشبحية وأحدها هو ألكتروننا الحقيقي، وكلمة حقيقي على نحو المسامحة، وهذا الالكترون الحقيقي لا يتشخص إلا عندما ننظر إليه أي أنه يكون حقيقياً عندما نشاهده أي لو تخيلت أنك تدير ظهرك للالكترون فما خلف ظهرك سيكون مجموعة الكترونات شبحية أحدها هو الحقيقي ولكنه غير مشخص أي بمعنى أي واحد منها يصلح أن يكون هو الحقيقي، فالآن تصور أنك استدرت لتنظر لهذه المجموعة عندها ستنهار دالة الموجة ولن ترى المجموعة وسترى ألكتروننا الحقيقي فقط وما حصل أنهم جميعاً اختفوا إلا واحداً وهو الذي تشاهده، أما لماذا اختفوا فهذا السؤال ليس له جواب محدد.

فرض بگیریم ما منبعی داریم که از آن ذرات کوانتومی، مثلاً الکترون، صادر می‌شود. الکترونی که از این منبع ساطع می‌گردد، در واقع عبارت است از مجموعه‌ای از اشباح الکترونی که یکی از آنها الکترون واقعی ما می‌باشد؛ البته کلمهء واقعی از باب مسامحه است. این الکترون واقعی فقط هنگامی تشخّص می‌یابد که ما به آن نگاه کنیم. به عبارت دیگر هنگامی واقعی خواهد بود که ما آن را مشاهده کنیم؛ یعنی اگر فرض کنید شما پشت خود را به الکترون کنید، آنچه در پشت سر شما وجود دارد عبارت است از تعدادی اشباح الکترونی که یکی از آنها واقعی می‌باشد، ولی معلوم نیست کدام یک واقعی است؛ یعنی هر کدام از آنها می‌تواند همان الکترون واقعی باشد.

اکنون تصور کنید رو به سمت این مجموعه کرده‌اید. در این هنگام تابع موج فرو می‌پاشد و دیگر آن اشباح الکترونی را شاهد نخواهید بود؛ بلکه فقط الکترون واقعی را خواهید دید. آنچه روی داده، این است که همگی آنها به جز یکی مخفی و نابود شده‌اند و آن یکی همان است که در حال مشاهده‌اش می‌باشید. اما این پرسش که «چرا سایر الکترون‌ها پنهان و نابود شده‌اند؟» جواب روشنی ندارد.

في ميكانيك الكم هناك أكثر من جواب، أحدها: إنّ المشاهد يؤثر في المنظومة بطريقة ما بحيث يشخص الجسيم في موضع ما أي إنّ المشاهد يؤثر فيما يشاهد.

مکانیک کوانتوم به این سؤال بیش از یک پاسخ ارائه می‌نماید. یکی این است که: فرد مشاهده‌گر به‌نحوی از آنجا بر سیستم اثرگذار است، به طوری که در مکانی خاص به ذره شخصیت می‌دهد، یعنی ناظر بر روی آنچه مشاهده می‌کند، از خود تأثیر باقی می‌گذارد.

وهناك جواب آخر: وهو أنّ مجموعة الجسيمات الشبحية تلك التي رافقت جسيمنا الذي رصدناه موجودة في أكوان مختلفة وما يحصل أننا عندما ننظر إليها فإننا نرى أحدها في أحد هذه الأكوان وهذه الرؤية تحجب عنا البقية ولهذا لا نراها ولا نرى أثرها على شاشة التجربة.

پاسخ دیگری هم وجود دارد؛ به این صورت که تعدادی از اشباح ذرات که همراه ذرهٔ ما بوده‌اند و ما آنها را مشاهده و رصد کرده‌ایم، در جهان‌های دیگری وجود داشته‌اند و آنچه روی می‌دهد، این است که وقتی ما به آن نگاه می‌کنیم، فقط یکی از این الکترون‌ها را، در یکی از این جهان‌ها، می‌بینیم و این مشاهده باعث می‌شود دیگر الکترون‌ها از دید ما پنهان شوند. بنابراین

ما آنها را نمی‌بینیم و اثری از آنها بر صفحهء آزمایشگاهی مشاهده نمی‌کنیم.

«ویبدو أن العالم يحتفظ بكل خياراته وكل احتمالاته متاحة لفترة طويلة بقدر الامكان.
واغرب شيء حول تفسير كوبنهاجن القياسي عن عالم الكم هو ان فعل مشاهدة منظومة ترغمها على اختيار احد الخيارات فقط، ويصبح هذا الخيار واقعا.
إن تداخل الاحتمالات في أبسط تجارب الثقبين يمكن تفسيرها على ان الالكترون عند تركه لمصدر القذف يتلاشى ويحل محله مجموعة من الالكترونات الاشباح يسلك كل منها مسارا مختلفا حتى تصل إلى شاشة الكشاف، تتداخل تلك الاشباح بعضها مع بعض، وعند النظر إلى الطريقة التي تكتشف بها هذه الالكترونات على الشاشة نجد حينئذ آثار هذا التداخل حتى لو كنا نتعامل مع الكترون حقيقي واحد كل مرة، وعلى كل فإن وفرة الالكترونات الاشباح هذه تصف الموقف فقط عندما لا ننظر إلى ما يحدث، اما عندما ننظر فتختفي كل الاشباح ماعدا واحدا فقط، وهذا الواحد من الاشباح يتجسد كالكترون حقيقي. وبمدلول معادلة شرودنجر للموجة فكل واحد من الاشباح يعبر عن موجة، او بالاحرى حزمة من الموجات التي اعتبرها بورن مقياسا للاحتمالية، ويماثل مشاهدة شبح واحد يتبلور من بين الكترونات عديدة - بمدلول تعبير الميكانيكا الموجية - اختفاء مجموعة موجات الاحتمالات ماعدا حزمة واحدة من الموجات التي تصف الكترونا حقيقيا واحدا ويسمى هذا انهيار دالة الموجة ومع غرابة ذلك فإنه يقع في صلب تفسير كوبنهاجن الذي هو نفسه أساس طهي الكم. وعلى كل فإن الامر يدعو للشك حيث إن العديد من الفيزيائيين ومهندسي الالكترونات وآخرين يستخدمون وهم سعداء كتاب طهي الكم مقدرين ان القواعد التي أثبتت انه يمكن الاعتماد عليها في تصميم الليزر والحاسوب ودراسة المادة الجينية تعتمد صراحة على افتراض أن عددا وافرا من الجسيمات الاشباح تتداخل مع بعضها طول الوقت وتندمج كلها في جسيمة وحيدة حقيقية كحالة انهيار دالة الموجة أثناء المشاهدة. وما هو أسوأ من ذلك، أنه في اللحظة التي نتوقف فيها عن مشاهدة الالكترون او أي جسيمة اخرى ننظر اليها فإنها تنشطر في الحال إلى عدد وافر من الجسيمات الاشباح، يسلك كل منها مساره من الاحتمالات خلال عالم الكم. لا شيء حقيقي إلا عندما ننظر إليه. ويتوقف هذا الشيء عن ان يكون حقيقيا في اللحظة التي نتوقف فيها عن النظر إليه.

وربما تعود سعادة الناس الذين يستخدمون كتاب طهي الكم إلى الراحة التي تاتيهم من تعودهم على المعادلات الرياضية، ويشرح فينمان الوصفة الاساسية ببساطة:
فالحدث في ميكانيكا الكم هو مجموعة من الظروف الاولية والنهائية لا اكثر ولا اقل، يترك الالكترون مصدر القذف من أحد طرفي الجهاز ثم يصل هذا الالكترون الى كشاف معين في الطرف الاخر من الثقوب، هذا حدث وفي الاساس فإن احتمال حدوث هذا الحدث هو مربع احد الاعداد التي هي في الاساس دالة شرودنجر الموجبة، Ψ ، فإذا كانت هناك اكثر من طريقة لحدوث هذا الحدث (كلا الثقبين مفتوح في التجربة) عندئذ تكون احتمالية كل حدث ممكن (احتمال وصول الالكترون لكل كشاف اختير) تساوي مربع مجموع قيم Ψ s ، وعليه هناك تداخل، ولكن إذا نظرنا لنشاهد أي الاحتمالات البديلة هو الذي يحدث بالفعل (النظر لنرى من أي ثقب يمر الالكترون) فهنا احتمال التوزيع هو حاصل جمع مربع قيم Ψ s ، ويعني اختفاء مصطلح التداخل، أي تنهار دالة الموجة.
الفيزياء مزعجة، ولكن الرياضيات نظيفة وبسيطة، ومعادلاتها مألوفة لأي فيزيائي، وما دمت تتجنب السؤال عما تعنيه فليس هناك اي مشكلة ولو سألت لماذا العالم على هذا الشكل فإن الجواب حتى من فينمان (ليس لدينا أي فكرة).ولو ظللت تصر على صورة فيزيائية لما يحدث فستجد كل الصور الفيزيائية تذوب في عالم من الاشباح تبدو فيه الجسيمات حقيقية فقط عندما ننظر اليها، وحتى خصائص مثل كمية الحركة والموقع هي اشياء من صنع المشاهدة. وليس من العجيب على الاطلاق أن نجد العديد من الفيزيائيين الاجلاء، ومن بينهم أينشتاين يقضون العقود في محاولة ايجاد طرق تدور حول هذا التفسير لميكانيكا الكم»[1].

1. المصدر (جريبين - البحث عن قطة شرودنغر): ص194 ـ 196.

«به نظر می‌رسد که جهان تا هر زمان که مقدور باشد، تمام انتخاب‌ها و تمام احتمالاتش را حفظ می‌کند. عجیب‌ترین چیز دربارهٔ تفسیر استاندارد کپنهاگن از دنیای کوانتومی، مشاهدهٔ یک سیستم می‌باشد که مجبورش می‌کند یکی از انتخاب‌هایش را برگزیند که در این صورت این انتخاب، واقعی می‌شود.
در سادهترین آزمایش با دو حفره، تداخل احتمالات می‌تواند به این صورت تفسیر شود که یک الکترون که از منبع تفنگ الکترونی رها شده، با آرایه‌ای از اشباح الکترونی که هر یک مسیر مستقلی در صفحهٔ آشکارگر طی می‌کند، جایگزین می‌شود. این اشباح با یکدیگر تداخل می‌کنند و زمانی که ما به آثاری که الکترون‌ها بر صفحهٔ آشکارگر بر جا گذاشته می‌نگریم، آثار این تداخل را مشاهده می‌کنیم

حتی اگر در هر لحظه تنها با یک الکترون واقعی سر و کار داشته باشیم. البته این آرایه از اشباح الکترونی فقط رخدادها را در زمانی توصیف می‌کنند که ما مشاهده نمی‌کنیم؛ وقتی ما آن را مشاهده می‌کنیم، همهء اشباح غیر از یکی از بین می‌روند و فقط یکی به عنوان الکترون واقعی باقی می‌ماند. از دید معادلهء شرودینگر، هر کدام از این اشباح معادل یک موج یا بستهای از امواج است، امواجی که بور به عنوان مقیاسی از احتمال تفسیر نمود. عمل مشاهده که یک شبح را از بین آرایهای از الکترونهای احتمالی بیرون می‌کشد در مدل مکانیک موجی، معادل از بین رفتن تمام آرایهء احتمالات امواج به غیر از یک بستهء موج که بیانگر الکترون واقعی است، می‌باشد. این عمل، فرو ریختن تابع موج نامیده می‌شود و نکتهء عجیب این است که این رخداد، قلب تفسیر کپنهاگن می‌باشد، که خود پایه‌گذار دستورالعملهای کوانتومی (Quantum Cookery) است. اگرچه این دیدگاه مبهم است، بسیاری از فیزیکدانها، مهندسان الکترونیک و افرادی که با خوشحالی از دستورالعملهای کوانتومی استفاده می‌کنند، مرهون این موضوع هستند که این قانونها که آشکارا مبتنی بر این فرض است که مجموعهء بی‌شماری از اشباح ذرات که همیشه با یکدیگر در حال تداخل هستند و فقط در زمان مشاهده به صورت یک ذرهء واقعی در قالب یک تابع موج، فرو می‌ریزد، در طراحی لیزرها، رایانه‌ها یا مطالعات مواد ژنتیکی، بسیار قابل اعتماد عمل می‌کنند. بدتر از این، به محض اینکه عمل مشاهدهء الکترون یا هر چیزی که مشاهده می‌کنیم را متوقف نماییم، الکترون به سرعت به آرایهء جدیدی از اشباح ذرات که هر یک مسیر احتمالی مخصوص خودش را در دنیای کوانتومی طی می‌کند، تبدیل می‌شود. هیچ چیز، واقعی نیست مگر اینکه ما مشاهده کنیم و به محض اینکه عمل مشاهده قطع شود، این واقعی بودن از بین می‌رود.

شاید کسانی که از دستورالعملهای کوانتومی استفاده می‌کنند، به دلیل شباهتهایی که این دستورالعملها با معادلات ریاضی دارند، بسیار راضی باشند. فاینمن(*) به طور ساده دستور پایه‌ای را توضیح می‌دهد: در دنیای کوانتومی، یک "رخداد" مجموعه‌ای از شرایط اولیه و شرایط نهایی است، نه کمتر و نه بیشتر. در وسیلهء مورد آزمایش ما، از یک طرف، الکترون از تفنگ رها می‌شود و در طرف دیگر حفره‌ها، به یک آشکارساز می‌رسد. این یک رخداد است. احتمال یک رخداد به وسیلهء مربع عددی که تابع موج شرودینگر (Ψ) نامیده می‌شود، بیان می‌شود. اگر بیش از یک مسیر برای وقوع یک رخداد وجود داشته باشد، (در آزمایش ما، چند حفرهء باز باشد) احتمال هر رخداد ممکن (احتمال رسیدن الکترون به هر یک از آشکارگرها) به وسیلهء مربع حاصل جمع تمام Ψ s ها به دست می‌آید و تداخل وجود خواهد داشت.

اما زمانی که ما مشاهده می‌کنیم که کدام یک از احتمالات به‌وقوع می‌پیوندد (می‌بینیم که الکترون از کدام حفره عبور می‌کند) توزیع احتمال، حاصل جمع مربعات Ψ s ها می‌باشد و همچنین مفهوم تداخل از بین می‌رود و تابع موج، فرو می‌ریزد.

(*)- ریچارد فاینمن (Richard Phillips Feynman) (۱۹۱۸ تا ۱۹۸۸) فیزیکدان آمریکایی است. وی در سال ۱۹۶۵ به‌دلیل پژوهش‌هایش در زمینهٔ الکترودینامیک کوانتومی، جایزهٔ نوبل فیزیک را به همراه جولیان شووینگر و سینایترو تومونوجا دریافت کرد. (مترجم)

از نظر فیزیکی غیرممکن است، اما مدل ریاضی ساده و واضح است و معادلات برای هر فیزیکدانی، آشنا می‌باشد. تا زمانی که شما از این جمله که "این چه معنایی می‌دهد" صرف نظر می‌کنید، مشکلی وجود ندارد. اگر بپرسید که چرا دنیا این گونه می‌باشد و فاینمن در پاسخ می‌گوید: "ما نمی‌دانیم". با اصرار برای فهمیدن یک تصویر فیزیکی از آنچه که اتفاق می‌افتد، خواهید دید که تمام تصاویر فیزیکی به دنیای اشباح منتهی می‌شود، جایی که ذرات تنها وقتی که ما آنها را مشاهده می‌کنیم، واقعی می‌شوند؛ جایی که خاصیت‌هایی مثل اندازه حرکت یا مکان، فقط به عنوان محصولاتی از مشاهده، معنی پیدا می‌کنند. جای تعجب ندارد که بسیاری از فیزیکدان‌های برجسته از جمله اینشتین به مدت چندین دهه تلاش‌های سختی صرف پیدا کردن راه‌هایی حول این توصیف از مکانیک کوانتومی نموده‌اند»[1].

1. مصدر : گریبین، تحقیق در مورد گربهٔ شرودینگر، ص ۱۹۴ تا ۱۹۶.

«ولكن ما هو الشيء الذي يتغير في موجة الالكترون؟
لقد جاء الجواب من دراسة نظرية لتصرف الالكترونات الحرة عندما تُرجم بها الذرات. فمن الطبيعي ان يوصف الإلكترون الذي يسير في الفضاء الخالي بأنه رزمة موجية، صُرَّة صغيرة من امواج تكتنف الإلكترون وتصاحبه سائرة معه، وكأنها نفثة موجات ضوئية صدرت عن مصباح جيب ولم تستغرق سوى لحظة خاطفة. تدل معادلة شرودنغر على ان هذه الرزمة تتفتت عندما تصيب ذرة ما، فتنقلب إلى مويجات تتناثر في كل الاتجاهات كما يتناثر رذاذ الماء الخارج من أنبوب سقاية الحديقة عندما يضرب صخرة صماء. كانت هذه الظاهرة محيِّرة، إذ أن الالكترونات التي تضرب الذرات ترتد عنها في هذا الاتجاه أو ذاك ولكنها لا تتفتت بل تظل إلكترونات سليمة. فكان ان اقترح ماكس بورن عام 1926 تفسيراً، لسلوك تابع الموجة بهذا الشكل، يستند إلى فكرة الاحتمالات. أي أن الإلكترون لا يتفتت، ولكن بمقدوره أن ينعطف في أي أتجاه،

واحتمال انعطافه في اتجاه معين يكون أعظميا في الاتجاهات التي تجعل تابع الموجة ياخذ قيما أعظمية. أي، وبتعبير آخر، أن موجات الإلكترون ليست موجات من أي شيء، ومغزى ذلك أن قيمة تابع الموجة في أية نقطة تخبرنا فقط عن احتمال ان يكون الإلكترون فيها أو في جوارها القريب.

لم يكن شرودنغر ولا دوبروي مرتاحين لفهم موجات الالكترون بهذا الشكل، مما قد يفسر ان أيا منهما لم يسهم إسهاما هاما في التطوير اللاحق لميكانيك الكم. لكن التفسير الاحتمالي لموجات الالكترون لقي دعما في تبيان قدمه هايزنبرغ في السنة التالية. كان هايزنبرغ يتفكر في المسائل التي يصادفها الفيزيائي حين يضطلع بقياس موضع الالكترون واندفاعه، فالقياس الدقيق لموضع الالكترون يستوجب استعمال ضوء ذي طول موجة قصير لأن انعراج الضوء يجعل صورة الشيء ضبابية إذا كان هذا الشيء أصغر كان اندفاع فوتوناته أكبر، وعندما تُستعمل لإنارة الالكترون فوتونات كبيرة الاندفاع، فإن الالكترون يعاني صدمة تحرفه عن موضعه آخذا قسطا من اندفاع الفوتون الصادم. ومعنى ذلك اننا كلما حاولنا الحصول على مزيد من الدقة في قياس موضع الالكترون ساءت دقة معرفتنا بعد هذا القياس باندفاع الالكترون. أن هذه القاعدة تسمى مبدأ الارتياب لهايزنبرغ. فموجة الالكترون، عندما تتخذ شكل قمة حادة في موضع ما، تمثل الكترونا له موضع معين جيدا، ولكن له اندفاع يمكن ان يملك أية قيمة تقريبا. وفي مقابل ذلك، فإن موجة الالكترون، عندما تتخذ شكل منحن املس تتوالى فيه ذرى وحضائض بفواصل متساوية ويمتد لمسافة تساوي عدة أطوال موجية، تمثل إلكترونا اندفاعه معين جيدا، ولكن موضعه مشوب بارتياب كبير. أما الالكترونات الموجودة في الذرات أو في الجزيئات فليس لها مواضع ولا اندفاعات محددة بكل دقة.

لقد استمر الفيزيائيون في التجادل حول تفسير ميكانيك الكم ولسنوات كثيرة بعد ان اكتسبوا خبرة في حل معادلة شرودنغر. كان أينشتاين وحيدا في استبعاد ميكانيك الكم في أعماله، ولكن معظم الفيزيائيين كانوا يحاولون فهمه فقط. كان كثير من هذا الجدل يدور في المعهد الجامعي للفيزياء النظرية في كوبنهاجن بقيادة نيلز بور[1]. كان بور يركز اهتمامه على سمة نوعية من سمات ميكانيك الكم أسماها تتامية (complementarity): إن معرفة أحد جوانب منظومة ما، تحول دون معرفة بعض جوانب أخرى من هذه المنظومة. ومبدأ هايزنبرغ الارتيابي مثال على التتامية: معرفة موضع الجسيم (أو اندفاعه) تحول دون معرفة اندفاعه أو موضعه.

1. د. نيلز بور فيزيائي دانماركي (1885- 1962) ولد في كوبنهاجن أسهم بشكل بارز في صياغة نماذج لفهم البنية الذرية إضافة إلى ميكانيكا الكم وخصوصاً تفسيره الذي ينادي بقبول الطبيعة الاحتمالية التي يطرحها ميكانيكا الكم، يعرف هذا التفسير بتفسير كوبنهاجن.

في حوالي عام 1930 أفضت المناقشات التي حصلت في معهد بور إلى صياغة أصولية لما يسمى اليوم تفسير كوبنهاكن لميكانيك الكم، وذلك في اطار أصبح اليوم اعم بكثير من الميكانيك الموجي للالكترونات الفردية إن حالة المنظومة في اي وقت، سواء كانت مؤلفة من جسيم واحد او من عدة جسيمات، تتمثل بقائمة اعداد معروفة باسم تابع الموجة وكل عدد من هذه القائمة يقابل وضعية ممكنة للمنظومة. ويمكن توصيف الحالة نفسها بإعطاء قيم تابع الموجة من اجل الوضعيات التي تتميز بخصائص مختلفة متنوعة - بمواضع كل جسيمات المنظومة مثلا، أو باندفاعات كل جسيمات المنظومة، او بخصائص أخرى متنوعة غير مواضع واندفاعات كل الجسيمات.
إن النقطة الجوهرية في تفسير كوبنهاغن هي الفصل القاطع بين المنظومة نفسها وبين الجهاز المستخدم لقياس وضعيتها. وهنا يلح ماكس بورن على ان قيم تابع الموجة تتطور، في الزمن الفاصل بين قياس وآخر، تطورا استمراريا وحتميا جدا تفرضه نسخة معممة من معادلة شرودنغر. وفي أثناء هذا التطور لا يمكن ان نقول إن المنظومة موجودة في وضعية محددة. فإذا قسنا وضعية المنظومة (بأن نقيس مثلا كل مواضع الجسيمات او كل اندفاعاتها، ولكن لا الاثنين معا) نجد أنها تقفز إلى حالة محددة بوضعية أو بأخرى، واحتمالات هذه الوضعيات معطاة بمربعات قيم تابع الموجة من اجل هذه الوضعيات في لحظة بدء عملية القياس»[1].

1. المصدر (واينبرغ - أحلام النظرية النهائية): ص66 ـ 68.

«اما چیزی که در یک موج الکترونی تغییر می‌کند، چیست؟
پاسخ این سؤال از طریق مطالعات نظری دربارهء چگونگی رفتار الکترون‌های آزاد هنگام پرتاب آن به درون اتم به دست آمد. طبیعی است که عبور یک الکترون در فضای خالی به شکل بستهای از امواج توصیف شود، دستهای کوچک از امواج الکترونی که با هم حرکت می‌کنند، مانند ضربان نوری که به وسیلهء یک فانوس دریایی پرقدرت تولید و فقط برای لحظهای روشن می‌شود. معادلهء شرودینگر نشان می‌دهد که هرگاه چنین بستهء موجی به اتمی برخورد کند، از هم گسسته می‌شود؛ موج‌های کوچک درست مثل هنگامی که قطرهای آب پس از خروج از شلنگ آب به سنگی برخورد کنند، در همهء جهات پراکنده می‌شوند. این مطلب گیج‌کننده بود؛ الکترونی که به اتم برخورد می‌کند در جهتهای گوناگون می‌رود اما هیچ‌وقت شکسته نمی‌شود و به شکل یک الکترون باقی می‌ماند. در سال ۱۹۲۶ ماکس بورن در گوتینگن، تفسیری از این رفتار عجیبِ تابع موج بر اساس احتمالات ارائه نمود. الکترون تکه‌تکه نمی‌شود، اما می‌تواند در هر جهتی پراکنده شود، و احتمال

پراکندگی‌اش در آن جهاتی زیادتر است که مقدار تابع موج بزرگترین حدّ خود را داشته باشد. به عبارت دیگر، امواج الکترونی موج‌هایی از چیزی خاص نیستند، به طور ساده، اهمیت آنها در این است که مقدار تابع موج در هر نقطه‌ای احتمال یافتن الکترون را در حوالی یا در آن نقطهء خاص، برای ما فراهم می‌کند.
شرودینگر و دوبروی، هیچکدام با چنین تعبیری از امواج الکترونی موافق نبودند، و احتمال می‌رود همین مطلب سبب شده باشد که هیچیک از آنها دیگر در پیش‌برد مکانیک کوانتوم چیزی پراهمیت عرضه نکرده باشند. اما تعبیر مبتنی بر احتمالات حالت موجی الکترون، در استدلالی که هایزنبرگ سال بعد عرضه کرد، مورد حمایت قرار گرفت. هایزنبرگ مسائلی را که یک فیزیکدان برای اندازه‌گیری مکان و اندازه حرکت الکترون با آنها روبه‌رو می‌شد، را در نظر گرفت. به منظور اندازه‌گیری دقیق مکان می‌بایست از پرتو نوری با طول موج بسیار کوتاه استفاده کرد، زیرا تفرّق، سبب تیرگی تصویری که کوچکتر از یک طول موج است، می‌شود. اما پرتو نوری با طول موج کوتاه از فوتون‌هایی با اندازه حرکت بالا تشکیل شده است، و هرگاه برای مشاهدهء یک الکترون، فوتون‌هایی با اندازه حرکت بالا به کار برده شود، به سبب برخورد، الکترون پس می‌جهد و کسری از اندازه حرکت فوتون را به‌همراه می‌برد. به این ترتیب هر قدر بکوشیم تا مکان الکترون را با دقت بیشتری تعیین کنیم، آگاهی ما از اندازه‌گیری مقدار اندازه حرکت آن ، کمتر خواهد شد. این قانون به اصل عدم قطعیت هایزنبرگ معروف است. یک موج الکترونی که در مکانی به طور دقیق مشخص شده باشد، بیانگر الکترونی است که مکانش به دقت معلوم است؛ ولی اندازه حرکتش تقریبا می‌تواند هر مقداری داشته باشد. در مقابل، یک موج الکترون که فرازها و فرودهای مرتبی در فواصل مساوی و روی بسیاری از طول موجها داشته باشد، معرف الکترونی است که اندازه حرکت دقیقی دارد، اما مکانش مورد تردید می‌باشد. بسیاری از الکترون‌هایی که در اتم یا ملکولها دیده می‌شوند، نه مکان معینی دارند و نه اندازه حرکت مشخصی.
فیزیکدانان دربارهء تفسیر مکانیک کوانتومی سالها پس از اینکه به حل معادلات شرودینگر عادت کرده بودند، مباحثه می‌کردند. زمانی که بیشتر فیزیکدانها برای درک آن می‌کوشیدند، اینشتین به طور غیرعادی، مکانیک کوانتوم را کاملاً مردود شناخت. بیشتر این مباحثه‌ها در مرکز فیزیک نظری در دانشگاه کپنهاگ، زیر نظر نیلز بور[۱] انجام می‌گرفت. بور به طور خاص در مورد یکی از مشخصات مکانیک کوانتوم که آن را اصل مکمل (Complementarity)می‌نامید، تمرکز کرده بود؛ معنی این اصل چنین است: دانستن یکی از ویژگی‌های یک سیستم مانع شناخت

سایر شاخصه‌های همان سیستم می‌شود. اصل عدم قطعیت هایزنبرگ یکی از مثال‌های اصل مکمل است: یعنی شناخت مکان (یا اندازه حرکت) یک ذره مانع شناخت اندازه حرکت (یا مکان) آن ذره می‌شود.

(۱)- دکتر نیلز بور (Niels Henrik David Bohr) (۱۸۸۵ تا ۱۹۶۲) فیزیکدان دانمارکی، در کپنهاگ دیده به‌جهان گشود. وی تلاش‌های بنیادی در زمینهٔ مدل‌سازی برای شناخت ساختار اتم بر اساس مکانیک کوانتوم داشت. تفسیر کپنهاگن که بیانگر قبول احتمالی است که مکانیک کوانتوم مطرح می‌سازد، از او است.

در حدود سال ۱۹۳۰ بحث‌ها در مرکز تحقیقاتی بور به تدوین یک فرمول‌بندی کپنهاگنی از مکانیک کوانتوم در قالب عباراتی بسیار عاطر از مکانیک موجی الکترون‌های منفرد کشیده شده بود. دستگاه ما چه از یک ذره و چه از چند ذره تشکیل شده باشد، در هر لحظه، حالت آن با فهرستی از اعداد به نام مقادیر تابع موج مشخص می‌شود، که هر یک از این اعداد برابر با یکی از ساختارهای ممکن دستگاه می‌باشد. همان حالت را میتوان با مقادیر تابع موج برای ساختارهایی که با روش‌های مختلف مشخص می‌شود، معین کرد؛ برای مثال می‌توان حالت دستگاه را با مکانِ همهٔ ذرات دستگاه، یا اندازه حرکت همهٔ ذرات درون دستگاه یا با روش‌های متفاوت دیگری، تعیین کرد؛ اما نه توأماً با مکان و اندازه حرکت همهٔ ذرات دستگاه. لازمهٔ تفسیر کپنهاگن، قائل شدن جدایی عمیق میان خود سیستم و ابزاری که برای اندازه‌گیری ساختارهای آن به کار برده می‌شود، می‌باشد. همچنان که ماکس بورن تأکید کرده بود، در فاصلهٔ زمانی میان اندازه‌گیری‌ها، مقادیر تابع موج به‌طور کاملاً یکنواخت و جبری بر پایهٔ نوعی از معادلات تعمیم‌یافته از معادلات شرودینگر، گسترش می‌یابند. در دورانی که این گسترش انجام می‌گیرد نمی‌توان گفت که سیستم در ساختاری مشخص قرار دارد. اگر ساختار سیستمی را اندازه بگیریم، (برای مثال، با اندازه‌گیری همهٔ مکان‌های ذرات یا اندازه حرکت آن‌ها، اما نه هر دو) سیستم به یک ساختار دیگر جهش می‌کند، که احتمال این جهش با توان دوم مقادیر تابع موج برای آن ساختار، درست پیش از اندازه‌گیری، معین می‌شود »[1].

1. مصدر : واینبرگ، رؤیاهای یک نظریهٔ نهایی، ص ۶۶ تا ۶۸.

استیون واینبرگ (Steven Weinberg) متولد ۳ می ۱۹۳۳ فیزیکدان مشهور آمریکایی است. او در سال ۱۹۷۹ به همراه عبدالسلام و شلدون لی گلاشو، جایزهٔ نوبل فیزیک را به خاطر ادغام نیروی الکترومغناطیسی با نیروی هسته‌ای ضعیف دریافت کرد. وی از حامیان بی‌خدایی به‌شمار می‌رود. (مترجم)

جاء من ميكانيك الكم ومن مبدأ الريبة أو اللايقين بالخصوص أهم ما يحتج به اليوم من يقولون: إنّ الكون جاء من لا شيء، فإنه على أساس مبدأ الريبة لا يمكن للفضاء الخالي أن يكون خال تماماً؛ لأن خلوّه يعني أنّ المجالات كمجال الكهرومغناطيسية يجب أن تكون صفراً تماماً، وهذا يناقض مبدأ الريبة؛ لأنه بحسب مبدأ الريبة لا يمكن معرفة قيمة المجال ومعدل تغيره في نفس الوقت.

مهمترین دلیلِ کسانی که می‌گویند: «هستی از هیچ پدید آمده» از مکانیک کوانتوم و به ویژه از اصل عدم قطعیت به دست آمده است. به این صورت که بر اساس اصل عدم قطعیت، فضای تهی نمی‌تواند کاملاً تهی (خلأ مطلق) باشد؛ زیرا تهی بودن یعنی میدان‌هایی همچون میدان الکترومغناطیسی باید کاملاً صفر باشد؛ و این با اصل عدم قطعیت ناسازگار است زیرا طبق این اصل، نمی‌توان مقدار میدان و میانگین نوسان را در آنِ واحد تشخیص داد.

*****