جامعة الانبار
كلية التربية الأساسية / حديثة
قسم العلوم العامة / فرع الفيزياء

اسم التدريسي: م.م. عبدالرحمن ظافر صباح

المرحلة الدراسية: الثالثة

الفصل الدراسي: الاول

اسم المادة باللغة العربية: ميكانيك الكم

اسم المادة باللغة الإنكليزية: Quantum Mechanics

اسم المحاضرة باللغة العربية: مقدمة تاريخية عن ميكانيك الكم

اسم المحاضرة باللغة الإنكليزية:

A Historical Introduction to Quantum Mechanics

1-1- مقدمة تاريخية

في نهاية القرن التاسع عشر ، كانت الفيزياء تتكون أساسًا من الميكانيكا الكلاسيكية (Classical mechanics) والنظرية الكهرومغناطيسية (The theory of electromagnetism) والديناميكا الحرارية (Thermodynamics). تم استخدام الميكانيكا الكلاسيكية للتنبؤ بديناميكيات الأجسام المادية ، وقدمت النظرية الكهرومغناطيسية لماكسويل الإطار المناسب لدراسة الإشعاع حيث قدم وصفا للمادة والإشعاع من حيث الجسيمات والموجات. أما بالنسبة للتفاعلات بين المادة والإشعاع ، فقد تم تفسيرها جيدًا بواسطة قوة لورنتز أو بالديناميكا الحرارية.

النجاح الساحق للفيزياء الكلاسيكية جعل الناس يعتقدون أن الوصف النهائي للطبيعة قد تحقق ومع ذلك ، في مطلع القرن العشرين ، واجهت الفيزياء تحديًا خطيرًا على جبهتين رئيسيتين:

1- **المجال النسبي (Relative domain):** أظهرت نظرية النسبية الخاصة لأينشتاين عام 1905 أن ميكانيكا نيوتن تتوقف عند سرعات عالية جدًا (أي عند السرعات القريبة لسرعة الضوء).

2- **المجال المجهري (Microscopic domain):** بمجرد أن تم تطوير تقنيات تجريبية جديدة إلى درجة التحقق من الهياكل الذرية (atomic structures) ودون الذرية (subatomic). [**الجسيمات دون الذرية** (subatomic) هي التي تكون ذات أحجام أصغر من **الذرّة** ومن هذه الجسيمات هي **البروتونات** **والإلكترونات** **والنيترونات** التي منها تتكون منها الذرة].

اتضح أن الفيزياء الكلاسيكية فشلت فشلاً ذريعًا في تقديم التفسير المناسب للعديد من الظواهر المكتشفة حديثًا. وهكذا أصبح من الواضح أن صحة الفيزياء الكلاسيكية تتوقف على المستوى المجهري وأنه كان لا بد من استدعاء مفاهيم جديدة لوصف ، على سبيل المثال ، بنية الذرات والجزيئات وكيف يتفاعل الضوء معها. وأدى كذلك فشل الفيزياء الكلاسيكية في تفسير العديد من الظواهر المجهرية - مثل إشعاع الجسم الأسود ، والتأثير الكهروضوئي ، والاستقرار الذري ، والتحليل الطيفي الذري - إلى تمهيد الطريق للبحث عن أفكار جديدة خارج نطاق اختصاصها. وبشكل عام تصف الميكانيكا الكلاسيكية القوى التي تؤثر على حالة الأجسام المادية وحركتها.

1-2- الظواهر الطبيعية التي تصف الفيزياء الكلاسيكية:

الفيزياء الكلاسيكية تعتمد على صيغتين لوصف الظواهر الطبيعية هما :

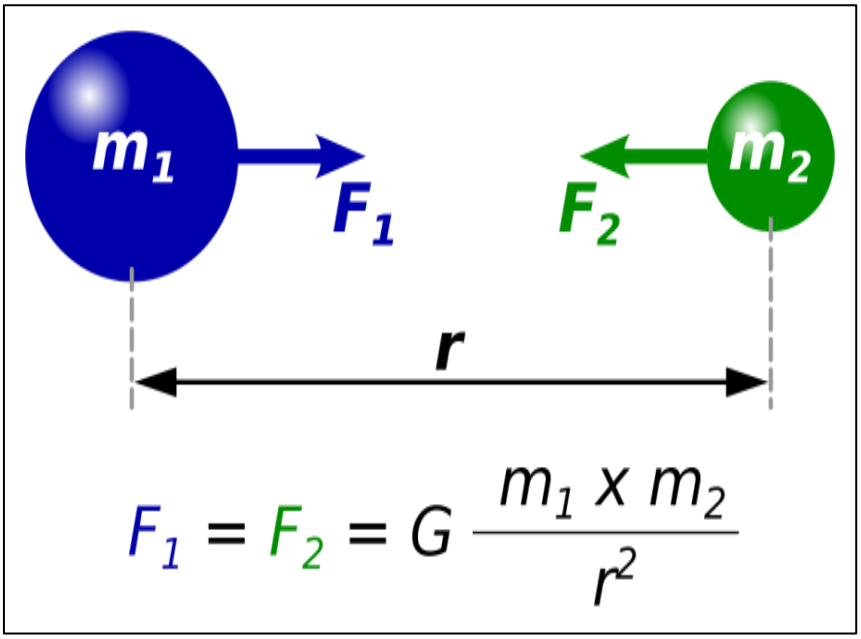
1- ميكانيكا نيوتن (Newtonian Mechanics):

ينظر الى المادة من الناحية الكلاسيكية على انها تتكون من جسيمات نقطية تتحرك تحت تأثير قوى التفاعل المتبادلة فيما بينها طبقاً لقوانين نيوتن ، واهم هذه القوانين هو قانون الحركة (قانون نيوتن الثاني) :

$$F = ma \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

والقانون الاخر هو قانون الجذب العام ، والذي ينص على أن قوتَيْ التجاذب بين جسمين ماديين تتناسب طردياً مع حاصل ضرب كتلتيهما، وعكسيا مع مربع المسافة بين مركزيهما .

وعادة يتم كتابته كالتالي:



شكل (1): يوضح قوة التجاذب بين جسمين ماديين

حيث (F) هي قوة الجاذبية، و (m_1 و m_2)هما كتلتا الجسمين و (r) هي المسافة بينهما

و (G) **ثابت الجذب العام** بين الكتل وقيمته تقريباً:

$$G=(6.67428 \pm 0.00067) \times 10^{-11}\ m^3\, kg^{-1}\, s^{-2}$$

نجحت هذه النظرية في وصف حركة الكواكب واعطتنا وصف مقنع لحركة الأنظمة المايكروسكوبية المتعادلة كهربائيا. أن جوهر ميكانيكا نيوتن يكمن في اننا نتعامل مع المادة

في صورة جسيمات بكتلة محددة ، كما ان حركة أي جسيم حر تعرف تعريفاً تاماً بدلالة طاقته E وكمية حركته P.

2- النظرية الكهرومغناطيسية (The Theory of Electromagnetism) :

يهتم الشق الثاني في الفيزياء الكلاسيكية بدراسة الظواهر الكهربائية والمغناطيسية ، حيث نجد ان افضل وصف لها يتم بدلالة المجالين الكهربائي والمغناطيسي ، ويرتبط هذا المجالان بكثافة الشحنة وكثافة التيار من خلال معادلات ماكسويل المعروفة :

$$1)\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$
$$2)\nabla . \vec{E} = zero$$
$$3)\nabla \times \vec{B} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$
$$4)\nabla . \vec{B} = zero$$

معادلات ماكسويل) .....

ومن معادلات ماكسويل (اعلاه) نجد ان كلاً من المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي يحقق المعادلتين :

$$\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = \nabla^2 \vec{E} \qquad \text{.....(2)}$$

$$\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} = \nabla^2 \vec{B} \qquad \text{.....(3)}$$

معادلة رقم (2) و (3) تنص على ان المجال الكهربائي (**E**) والمجال المغناطيسي (**B**) ينتشران في الفراغ على شكل موجات بسرعة ثابتة C وقد كان من تخمين ماكسويل ان هذه الموجات وبترددات مناسبة هي التي تميز الاشعاع او الضوء المرئي .

وان معادلة الموجة المستوية للمجال الكهربائي هي :

حيث ان:

ω : التردد الزاوي

K : متجه الانتشار

$$\overrightarrow{E}(\mathrm{r},\mathrm{t}) = e^{i(kr-\omega t)}$$

$$\overrightarrow{\mathrm{E}}(\mathrm{x},\mathrm{t}) = e^{i(kx-\omega t)}$$

$$\frac{d\,\overrightarrow{\mathrm{E}}(\mathrm{x},\mathrm{t})}{dx} = ike^{i(kx-\omega t)}$$

$$\frac{d^{2}\overrightarrow{\mathrm{E}}(\mathrm{x},\mathrm{t})}{dx^{2}} = -k^{2}e^{i(kx-\omega t)} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(a)$$

$$\frac{d\,\overrightarrow{\mathrm{E}}(\mathrm{x},\mathrm{t})}{dt} = -i\,\omega e^{i(kx-\omega t)} \Rightarrow \frac{d^{2}\overrightarrow{\mathrm{E}}(\mathrm{x},\mathrm{t})}{dt^{2}} = i^{2}\omega e^{i(kx-\omega t)}$$

$$\frac{d^{2}\overrightarrow{\mathrm{E}}(\mathrm{x},\mathrm{t})}{dt^{2}} = -\omega^{2}e^{i(kx-\omega t)} \ldots\ldots\ldots\ldots(b)$$

$$\frac{1}{c^{2}}\frac{\partial^{2}\overrightarrow{\mathrm{E}}(\mathrm{x},\mathrm{t})}{\partial t^{2}} = \nabla^{2}\overrightarrow{\mathrm{E}}(\mathrm{x},\mathrm{t}) \ldots\ldots\ldots\ldots(c) \therefore$$

نعوض معادلة (a) و معادلة (b) في معادلة (c) سنحصل على :

$$\Rightarrow \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \vec{E}(x,t)}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 \vec{E}(x,t)}{\partial x^2}$$

$$-\frac{1}{c^2}\omega^2 e^{i(kx-\omega t)} = -k^2 e^{i(kx-\omega t)}$$

$$\Rightarrow \frac{\omega^2}{c^2} = k^2 \Rightarrow k = \frac{\omega}{c} \Rightarrow k = \frac{2\pi\upsilon}{\lambda\upsilon}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$ **معادلة متجه أنتشار الموجة**

ويمكن الربط بين ميكانيك نيوتن و النظرية الكهرومغناطيسية من خلال قوة لورنز .[حيث ان

قوة لورنز:- هي القوة المسلطة على جسيم شحنته e يتحرك بسرعة v في كل من المجال الكهربائي والمغناطيسي].

$$\because \vec{F}_E = e\vec{E}$$

$$\because \vec{F}_B = e(\vec{v}\times\vec{B})$$

$$\therefore \vec{F} = \vec{F}_E + \vec{F}_B$$

$$\Rightarrow \vec{F} = e\left(\vec{E} + (\vec{v}\times\vec{B})\right) \ldots\ldots\ldots (5)$$ **قوة لورنز (Lorenz Force)**

حيث: $\vec{F}$:القوة المؤثرة على الجسم وتقاس بالنيوتن ، $\vec{F}_E$:القوة الكهربائية ، $\vec{F}_B$: القوة المغناطيسية ، $\vec{E}$: المجال الكهربائي ، $\vec{B}$: المجال المغناطيسي ويقاس ب(التسلا) ، e : شحنة الالكترون ، $\vec{v}$: سرعة الالكترون ، $\vec{F} = e(\vec{v}\times\vec{B}) = e\vec{v}\vec{B}\sin\theta$: الجزء المغناطيسي لقوة لورنز ،θ : الزاوية المحصورة بين اتجاه حركة الجسم، واتجاه المجال المغناطيسي، وتكون عادة 90 درجة.

من ناحية المبدأ استطاع هذا التصور الكلاسيكي اعتبار ان المادة تتكون من جسيمات نقطية والاشعاع يتكون من موجات ويمكن ان يمدنا بالصياغة الأساسية لوصف كل الظواهر الفيزيائية بكون الجسيمات النقطية هي البروتونات والالكترونات حيث كل منها يحمل شحنة كهربائية وكتلة معينة ويتم التفاعل بينها تبعاً للقوى الكهرومغناطيسية وقوى الجاذبية الأساسية . الا انه وحتى قبل اكتشاف البروتون برهنت التصورات الكلاسيكية على عدم كفايتها تماماً لوصف حركة الالكترون او كيفية تفاعله مع الاشعاع.