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: فشل الفيزياء الكلاسيكية ونجاح الفيزياء الكمية

اسم المحاضرة باللغة الإنكليزية:

The Failure of Classical Physics and The Success of Quantum Physics

1-4- الحاجة الى ميكانيك الكم (Necessity of Q.M):

أن ضرورة ميكانيك الكم ناشئة بسبب فشل الفيزياء الكلاسيكية (ميكانيك نيوتن والنظرية الكهرومغناطيسية القديمة) في تفسير العديد من الظواهر الفيزيائية مثل اشعاع الجسم الاسود (black-body radiation)، واستقرار الذرة (atom stability) والظاهرة الكهروضوئية (photo-electric effect)، وتأثير كومبتن (Compton effect)، وتوليد الزوج (pair production) وفناء المادة (matter annihilation)، وتوليد الخطوط الطيفية للأشعة السينية (x-ray linear spectral).

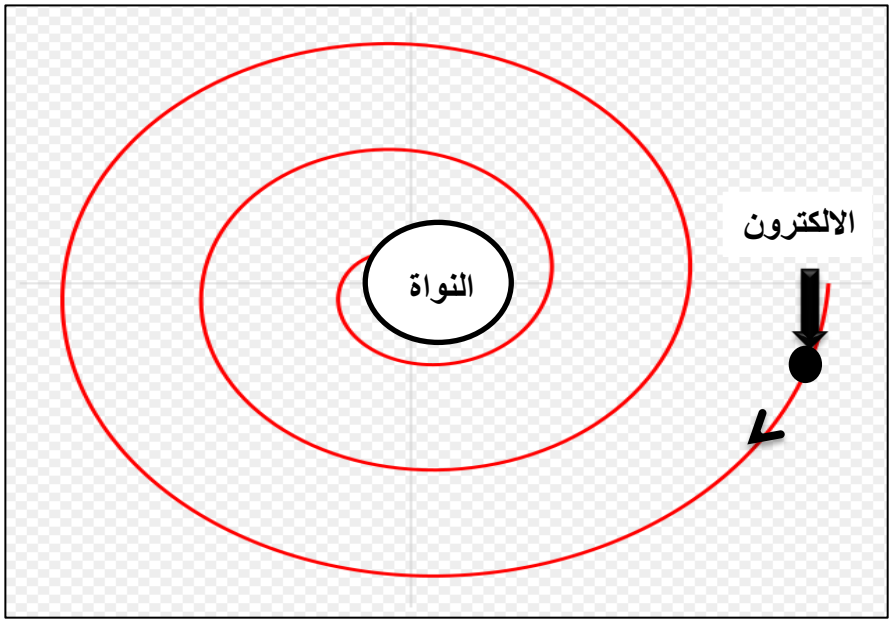
1-5- الظواهر التي لم تتمكن الفيزياء الكلاسيكية من تفسيرها :

أولاً: استقرار الذرة (Stability of atom):

فشل الميكانيك الكلاسيكي في تفسير استقرارية الذرة في الوقت الذي نجح فيه الميكانيك الكمي من تفسيرها.

الجانب الكلاسيكي :- وفقاً لمفاهيم الفيزياء الكلاسيكية، تعتبر الذرة نظاماً غير مستقراً. لان الالكترون يغير من أتجاه سرعته أثناء دورانه حول النواة ولذلك فهو شحنة معجلة. وتنص النظرية الكهرومغناطيسية القديمة على ان اي جسيم مشحون ومعجل يبعث طاقة كهرومغناطيسية. لذلك فأن الالكترون يخسر بعض من طاقته بسبب بعثه للطاقة وهذا يتطلب ان يقترب من النواة وبمسار حلزوني حتى يصطدم بالنواة كما في الشكل (1) وهذا يشير الى أن

الذرة نظام غير مستقر. لكن هذا هو خلاف الحقيقة لان النواة نظام مستقر لا يبعث اشعاعاً في الظروف الاعتيادية مالم يكون هناك محفزاً خارجياً كدرجة الحرارة مثلاً.



الشكل (1): المسار الحلزوني لحركة الالكترون باتجاه النواة

الجانب الكمي :- افترض العالم بور (Bohr) انه يستطيع الالكترون ان يدور في مدارات متميزة ومستقرة اذا كان زخمه الزاوي (L) يساوي حاصل ضرب عدد صحيح في مقدار ثابت وقيمته (ħ =1.054x10^{-34} joule. Sec) ويساوي $\left[\hbar = \frac{h}{2\pi}\right]$

$$L = n\hbar \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (a)$$

$$OR \qquad L = pr$$

يستطيع الالكترون ان ينتقل من مدار الى اخر اذا حصل تغير في الطاقة بسبب امتصاص او انبعاث في الاشعاع بحيث ان تردد الاشعاع يعطى بالمعادلة :

$$\boldsymbol{v} = \frac{\Delta \boldsymbol{E}}{\boldsymbol{h}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(b)$$

حيث افترض بور ان الالكترون يدور على مسار دائري مركزه النواة ونصف قطر (r)

وبسرعة زاوية :(ω) كما في الشكل (2):

$L = n\hbar$

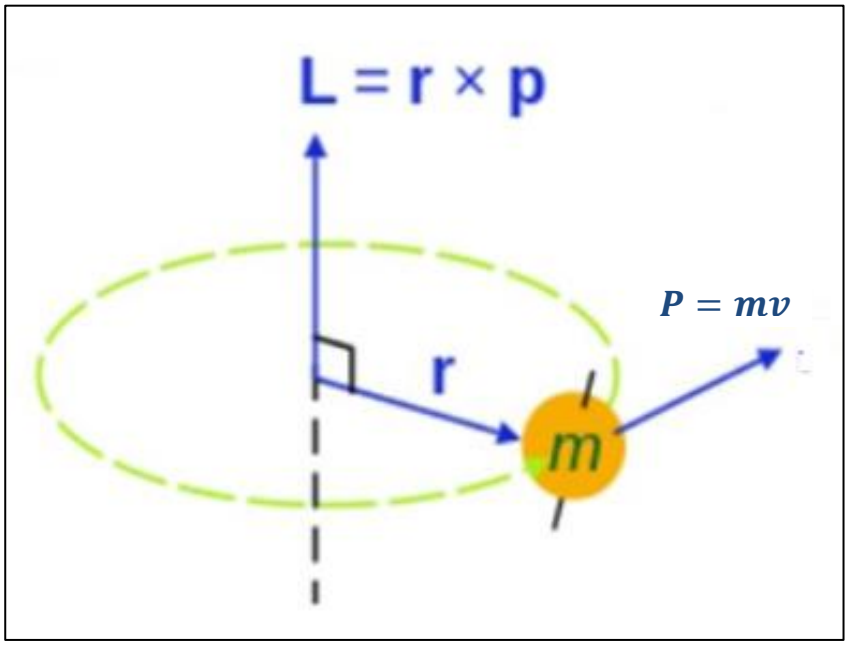
$pr = n\hbar$, $p = mv$ حيث

$mvr = n\hbar$

$m\omega rr = n\hbar \Rightarrow m\omega r^2 = n\hbar$

n=(1,2,3, ……) حيث

$\boldsymbol{n}$: عدد صحيح موجب يأخذ القيم



شكل (2):حركة الالكترون

ثانياً: إشعاع الجسم الأسود (Black body radiation):

نتيجة لظهور المصباح الكهربائي ، كانت هناك حاجة إلى تطوير قانون يصف الطريقة التي يمكننا من خلالها الحصول على أكبر شدة إضاءة للمصباح بأقل قدر من الطاقة المستهلكة. في البداية ، استندت المحاولات الرئيسية لحل هذه المشكلة على العلوم الأساسية التي كانت معروفة في ذلك الوقت ، وهي ميكانيكا نيوتن الكلاسيكية ، والميكانيكا الإحصائية ، ونظرية ماكسويل الكهرومغناطيسية ، بالإضافة إلى الديناميكا الحرارية. كانت بداية القوانين التجريبية هي قانون ستيفان بولتزمان ، الذي يربط بين درجة حرارة وخيوط المصباح وكثافة الطاقة المشعة المنبعثة لكل وحدة مساحة. ينص هذا القانون على:

[قانون ستيفان بولتزمان] $W = \sigma T^4$ .....(1)

حيث

W : كثافة الطاقة المشعة لكل وحدة مساحة

T : درجة الحرارة المطلقة في كلفن

σ : بولتزمان ستيفان ثابت $\left(56.7 \times 10^{-9} \frac{watt}{m^2 k^4}\right)$

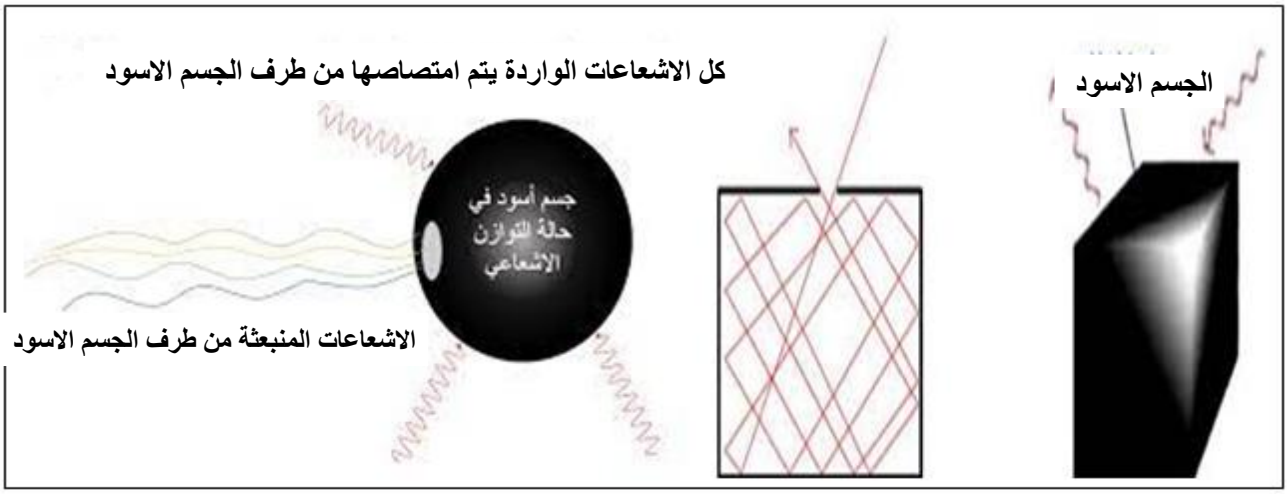
يصف هذا القانون الطاقة المشعة المنبعثة بشكل عام ، بغض النظر عن توزيعها الطيفي. (تشرح أهمية هذا الجانب أن العديد من الأطوال الموجية تعطي تأثيرًا حراريًا فقط وليس طاقة ضوئية لذلك ، من المهم معرفة توزيع طاقة الطيف على الأطوال الموجية أو ترددات الإشعاع المنبعث من الجسم الساخن).

H.W/ احسب كثافة الطاقة المشعة المنبعثة من جسم درجة حرارة (100°C) وفقًا لقانون ستيفان بولتزمان ؟

- بشكل عام تبعث الأجسام التي تعلو درجة حرارتها عن درجة حرارة الصفر المطلق الطاقة على شكل إشعاع كهرومغناطيسي.

يمكن ان نعرف **الجسم الأسود** بأنه جسم افتراضي يمتص الإشعاعات التي تسقط عليه دون أن يعكس أياً منها. لذلك هو جسم افتراضي مثالي الامتصاص ومثالي الانعكاس لجميع الإشعاعات وبجميع الأطوال الموجية. يعتمد التوزيع الطيفي للطاقة الحرارية المشعة بواسطة الجسم الأسود (نمط شدة إشعاع الجسم الأسود على نطاق من الأطوال الموجية والترددات) على درجة حرارته فقط.

ويمكن تشبيه الجسم الاسود بانه صندوق مجوف فيه فتحة صغيرة فعند دخل الضوء من خلال الفتحة فانه سيبقى ينعكس في داخل التجويف ويخرج منه جزء قليل من الضوء كما موضح في الشكل (3) :



شكل (3): اشعاع الجسم الاسود

انظر ملف التسخين الكهربائي الموضح أدناه.

شكل (4): ملف التسخين الكهربائي

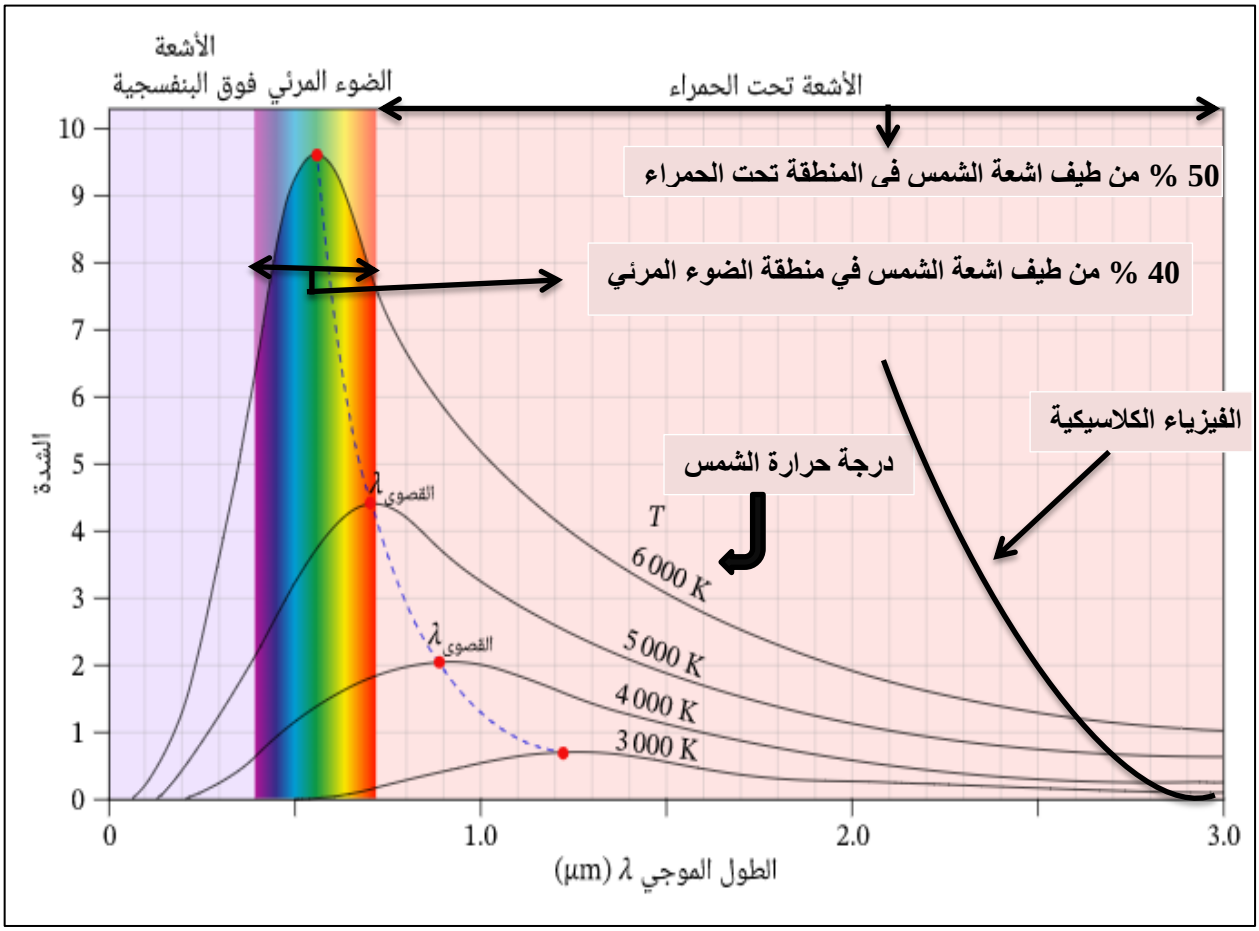
في الشكل **رقم (4)** يبعث ملف التسخين هذا إشعاعاً ونلاحظ أن هذا الجزء من الملف «متوهج» باللون الأحمر. بينما الأجزاء الأخرى من الملف ليست بهذا القدر من التوهج، ويبدو لونها أحمر باهتاً. عندما يسخن الملف، يتغير الطول الموجي (ومن ثَمَّ الطاقة) للضوء المنبعث. ملف التسخين هذا هو تقريب جيد لجسم أسود. لأن الأجسام السوداء تبعث الضوء أيضاً بناءً على درجة حرارتها.

لذا يمكننا ان نصنف الاجسام المشعة الى نوعين :

الاجسام المتوهجة: هي الاجسام التي يخرج منها ضوء وحرارة مثل المصباح والشمس .

الاجسام الغير متوهجة: هي الاجسام التي يكون فيها غالبية الاشعاع الصادر منها اشعاع حراري وان اي جسم درجة حرارته فوق الصفر كلفن سوف يبعث حرارة .

ولفهم طبيعة الاشعاع الخارج من الجسم يجب التعرف على منحني بلانك والذي من خلاله تمكن بلانك ان يوضح علاقة بين شدة الاشعاع الخارج من الجسم والطول الموجي للإشعاع لأجسام مختلفة كما في الشكل (5) :



شكل (5):انبعاث الضوء من الأجسام السوداء عند درجات حرارة مختلفة (منحني بلانك)

يوضح هذا التمثيل البياني شدة الضوء على المحور الرأسي (Y) والطول الموجي على المحور الأفقي (X). أما المنحنيات الأربعة المرسومة، فهي للأجسام السوداء التي تم تسخينها إلى درجات حرارة 3000، و4000، و5000، و 6000 كلفن على الترتيب و 6000 كلفن هي درجة الحرارة التقريبية لسطح الشمس.

وفيما يخص اللون الذي ستظهر به هذه الأجسام السوداء، نلاحظ أنه حتى درجة حرارة تبلغ تقريبًا 5000 K، يكون الطول الموجي للضوء المرئي المنبعث بأقصى شدة من الجسم الأسود هو للون الأحمر. عند درجات الحرارة الأعلى، يتغير اللون المرئي للجسم.

لاحظ العلماء ان الاشعاع الخارج من الجسم المتوهج متغير الشدة باختلاف درجة الحرارة .لماذا ؟ لان كل الاجسام لا تشع الاطوال الموجية بنفس المقدار ولكن شدة الاشعاع تختلف باختلاف الاطوال الموجية والطول الموجي المصاحب لأقصى شدة اشعاع يختلف باختلاف درجة الحرارة .

ان صيغة الطاقة والتردد والكمات (أعداد الكم) المنبعثة من الجسم الأسود:

$$E= nh\nu \quad \text{.....(2)}$$

حيث (n) هو عدد كمات الضوء في النظام الذي تردده (ν) و (h) هو ثابت يسمى ثابت بلانك، وقيمته التقريبية تساوي $6.626\times10^{-34}\ m^2\cdot kg/s^2$.

لاحظ أنه بالنسبة لموجات الضوء، تكون سرعة الموجة هي سرعة الضوء في الفراغ c وبما أن سرعة الموجة بصورة عامة تساوي تردد الموجة في طولها الموجي $c = h\nu$ يمكننا كتابة :

$$E_n= nh(c/\lambda) \quad \text{.....(3)}$$

تساعدنا هذه المعادلة في فهم السبب الذي يجعل افتراض تكميم الطاقة يكون منحنى إشعاع جسم أسود يتجه إلى الصفر عندما يأخذ الطول الموجي في التضاؤل.

فشل الفيزياء الكلاسيكية: الفيزياء الكلاسيكية تعتبر انه الاشعاع عبارة عن موجات كهرومغناطيسية وبالتالي فان شدة الاشعاع تزداد بزيادة التردد (أي بنقصان الطول الموجي) وكما موضح في الشكل (5).

- بينما نلاحظ من الشكل (5) ((شكل منحني بلانك)) انه بنقصان التردد (أي بزيادة الطول الموجي) فان الشدة تزداد ولهذا فشلت الفيزياء الكلاسيكية في تفسير اشعاع الجسم الاسود .
- من الناحية العملية ، يمكن ملاحظة الشكل السابق بوضوح عند تسخين قطعة من الحديد ، حيث يتحول لونها إلى اللون الأحمر بعد فترة قصيرة ثم يتحول إلى اللون الأبيض مع زيادة شدة الضوء المنبعث.

$$\lambda_{max}.T = constant = 2.898 \times 10^{-3}\ m.k \qquad \dots\dots\dots (2)$$

مثال/ اذا كانت درجة حرارة سطح الارض هي ($27\ C^0$) فما هو (λ_{max}) لطيف الإشعاع الشمسي ؟

الحل/

$$T = 27 + 273 = 300k$$

$$\lambda_{max}.T = constant = 2.898 \times 10^{-3}\ m.k$$

$$\Rightarrow \lambda_{max} = \frac{2.898 \times 10^{-3}\ m.\cancel{k}}{300\cancel{k}} = 9.66 \times 10^{-6}\ m$$

$$\lambda_{max} = 9.66 \times 10^{-6}\ \cancel{m} \times 10^{9}\ \frac{nm}{\cancel{m}} = 9660nm$$

H.W/ احسب درجة حرارة سطح الشمس إذا علمت أن (λ_{max}) لطيف الإشعاع الشمسي هو $(527\ nm)$؟