Quantum Mechanics

Chapter One: The Physical Foundations of Quantum Physics
الاسس الفيزيائية للميكانيك الكمي

Chapter Two: Elementary Properties of Quantum Mechanics

الصفات الاولية للميكانيك الكمي (اهم الفصول)

Chapter Three: Free Particle **الجسيم الحر**

Chapter Four: Linear Harmonic Oscillator **المتذبذب التوافقي الخطي**

Chapter Five: The One Electron Atoms **الذرات أحادية الإلكترون**

Chapter Six: Correction Atoms **طرق التصحيح**

References المصادر

الميكانيك الكمي ـ د. جاسم الحسيني ، د. عبد السلام عبد الامير

اساسيات ميكانيك الكم ـ د. سالم حسن الشماع ، د. أمجد عبد الرزاق كريجه

مقدمة في ميكانيك الكم ـ د. جاسم عبود ، د. ضياء احمد

Fundamental University Physics **Alonson and Fin** **الجزء الثالث**

Introduction to Quantum Mechanics **Matthews**

Quantum Mechanics **Powell and Grasmanu**

Chapter One

Physical Foundations of Quantum Mechanics

ماهو ميكانيك الكم او ماهو مفهوم ميكانيك الكم ؟

ذلك التخصص من الفيزياء الذي يتناول دراسة الانظمة المجهرية (الدقيقة) ووجد لفشل الميكانيك الكلاسيكي في حل بعض المشكلات مثل توليد زوج الالكترون ـ بوزترون ، او ظاهرة كومبتن

ان الفيزياء التي يطلق عليها غالبا في وقتنا الحاضر الفيزياء الكلاسيكيه (Classical physics) اشتملت حتى عام 1909 على ثلاث مواضيع رئيسيه هي ، الميكانيك وتتم فيه دراسة حركة الاجسام الظاهرية والثرموديناميك وهو متمم للميكانيك ويعني تناول العمليات التي تنطوي على تفاعلات حرارية بين الاجسام ووسطها المحيط والنظرية الكهرومغناطيسية وتعني بدراسة المجالات الكهربائية والمغناطيسية والعلاقة فيما بينهما وبين الشحنات والتيار.

Classical physics → **Classical Mechanics**

Classical physics → **Classical E.M.T**

+ Q.M

<u>الميكانيك الكلاسيكي</u> : يعالج الظواهر التي ترى بالعين المجرده

Macroscopic system (منضور) عياني

<u>الميكانيك الكمي</u> : يعالج الظواهر التي لاترى بالعين المجرده

Microscopic system (دقيق) مجرد

<u>Quantum Mechanics</u>: is the study of matter and radiation at an atomic level, i.e. study the theory of atomic and nuclear system.

Q/ why the needful of Q.M ? س / ماهية ضرورة ميكانيك الكم

The needful of Q.M come from the failure of classical physics to explain several physical phenomena Such as Black body Radiation, Stability of atoms, Photoelectric effect, Compton effect …….etc

الميكانيك الكمي ضروري لانه يعالج الظواهر التي عجز الميكانيك الكلاسيكي عن تفسيرها ومنها :-

1. استقرارية الذرة (Stability of Atoms)
2. الظاهره الكهروضوئيه (Photoelectric Effect)
3. ظاهرة كومبتن (Compton Effect)
4. توليد طول موجة الاشعة السينية الصغرى

Generation of The Minimum x-Ray Wave Length

5. تكوين الزوج (الكترون - بوزترون) (Pair Production)

1. **استقرار الذرة** **Stability of Atoms**

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

الجانب الكلاسيكي :- ان الالكترون في الذرة يدور حول النواة مغير اتجاه حركته باستمرار ولذلك فهو جسم معجل وطبقا للنظرية الكهرومغناطيسية الكلاسيكية ان اي شحنة كهربائية متحركه بتعجيل تبعث اشعاعا كهرومغناطيسيا ولذلك يجب ان يفقد الالكترون الدائر حول النواه داخل الذره جزءا من طاقته اثناء الدوران اي انه يخسر طاقته بصوره مستمره مادامت الحركة مستمرة وبالتالي فيجب ان ينتهي بحركة حلزونيه مقتربا من النواة . ان الذرة تحت الضروف الطبيعية تمثل تركيبا مستقرا لايبعث اي اشعاع.

الجانب الكمي ..... (بور)

1. يستطيع الالكترون ان يدور في مدارات متميزه ومستقره اذا كان زخمه الزاوي يساوي حاصل ضرب عدد صحيح في مقدار ثابت وقيمته $1.05\text{x}10^{-34}$ $\hbar$ joule sec

$$L = n\hbar = pr$$

2. يستطيع الالكترون ان ينتقل من مدار الى اخر اذا حصل تغير في الطاقه ΔE بسبب امتصاص او انبعاث في الاشعاع بحيث ان تردد الاشعاع υ يعطى بالمعادلة

$$\upsilon = \frac{\Delta E}{h}$$

حيث افترض بور ان الالكترون يدور على مسار دائري مركزه النواة ونصف قطره r وبسرعة زاوية ω

$$L = n\hbar$$

$$pr = n\hbar$$

$$mvr = n\hbar$$

$$m\omega r r = n\hbar \quad \Rightarrow \quad m\omega r^2 = n\hbar \qquad (1)$$

حيث n عدد صحيح موجب ويأخذ القيم $n = 1,2,3,\cdots\cdots\cdots$

ولما كانت قوة الجذب الاستاتيكي الكهربائي بين الالكترون والنواة هي $\frac{1}{4\pi\varepsilon_\circ}\frac{e^2}{r^2}$ هذه القوة تزودنا بالقوة الجاذبة نحو المركز والتي تساوي كتلة الالكترون m في تعجيله المركزي $\omega^2 r$ اي

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_\circ}\frac{e^2}{r^2} = m\omega^2 r \qquad (2)$$

وبحذف السرعة الزاوية ω من المعادلتين (1) , (2) وحل المعادلة الناتجة لـ r نحصل على

$$r_n = \frac{4\pi\varepsilon_\circ\hbar^2}{me^2}n^2 \qquad (3)$$

وبالتعويض عن قيمة r من المعادلة (3) وحل المعادلة الناتجة لـ ω نحصل على

$$\omega_n = \frac{me^4}{16\pi^2\varepsilon_\circ^2\hbar^3}\frac{1}{n^3} \qquad (4)$$

نلاحظ ان من المعادلة (3) , (4) هنالك مجموعة واسعة من المدارات المستقرة عددها لانهائي يتميز تعضها عن البعض بتميز قيم n الممكنة المتعددة $n = 1,2,3,\cdots\cdots\cdots$

ولحساب الترددات الممكنة للاشعاع المنبعث حسب فرضية بور الثانية فيجب ان نتعرف على طاقة الالكترون في المدار المستقر.

الطاقة الكامنة للالكترون تساوي

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_\circ}\frac{e^2}{r}$$

واذا عوضنا عن r من المعادلة (3) فالطاقة الكامنة تعطى بالمعادلة التالية

$$V = -\frac{me^4}{16\pi^2\ \varepsilon_\circ^2 \hbar^2}\ \frac{1}{n^2} \qquad (5)$$

اضافة للطاقة الكامنة الالكترون يمتلك طاقة حركية $\frac{1}{2}mv^2$ او $\frac{1}{2}m\omega^2 r^2$ وبالتعويض عن r , ω من المعادلتين (3) , (4)

$$\therefore T = \frac{me^4}{32\pi^2\ \varepsilon_\circ^2 \hbar^2}\ \frac{1}{n^2} \qquad (6)$$

والطاقة الكلية E_n

$$E_n = T + V = -\frac{me^4}{32\pi^2\ \varepsilon_\circ^2 \hbar^2}\ \frac{1}{n^2} \qquad (7)$$

والخسارة في الطاقة عندما ينتقل الالكترون في حالة مميزة $n = n_1$ الى حالة مميزة بالعدد $n = n_2$

$$\Delta E_{12} = \frac{me^4}{32\pi^2\ \varepsilon_\circ^2 \hbar^2}\ (\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2}) \qquad (8)$$

تردد الاشعاع المطابق لانتقال الالكترون من المدار n_1 الى المدار n_2

$$\upsilon = \frac{\Delta E_{12}}{h} = -\frac{me^4}{8\ \varepsilon_\circ^2 \hbar^3}\ (\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2}) \qquad (9)$$

العدد الموجي $\overline{\upsilon} = \frac{\upsilon}{c} = \frac{1}{\lambda}$ يعطي بالعلاقة التالية

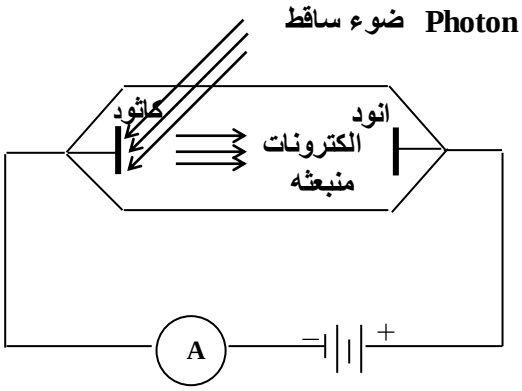
$$\overline{\upsilon} = \frac{me^4}{8\ \varepsilon_\circ^2 c\hbar^3}\ (\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2})$$

$$\therefore \qquad \overline{\upsilon} = R\ (\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2}) \qquad (10)$$

حيث $R = \frac{me^4}{8\ \varepsilon_\circ^2 c\hbar^3}$ يسمى ثابت ريدبرك Rydberg constant المعادلة (10) اعلاه تعتبر المقياس الرئيسي لنجاح نظرية بور لانها مماثله لمعادلة تجريبية سبق ان توصل اليها العالم بلمر 1885 .

2. **الظاهره الكهروضوئيه** **Photoelectric Effect**

هي ظاهرة انبعاث الالكترونات من سطح فلز نتيجة اضائته باشعاع كهرومغناطيسي ذي تردد مؤثر.



يمكن ملاحظة الخواص التالية لانبعاث الالكترونات

1. الالكترون لاينبعث عندما يكون تردد الفوتون اقل من تردد العتبه.
2. عندما يكون تردد الفوتون اكبر من تردد العتبه $\upsilon >> \upsilon_\circ$ كل فوتون يبعث الالكترون بطاقه حركيه تساوي

$$K.E = h\,(\upsilon - \upsilon_\circ)$$

تبعا للنظرية الكلاسيكيه:- الالكترون ينبعث نتيجة لامتصاصه طاقه من قبل الالكترونات في المعدن من الاشعاع الساقط وكل الالكترون يتطلب طاقة اضافيه $\omega_\circ$ (تعتمد على نوع المعدن) للهروب من المعدن ونتيجه لذلك سيكون من المتوقع انه عندما يمتص الالكترون هذه الطاقة سوف يغادر المعدن بطاقة حركيه مقدارها صفر

لايمكن تفسير الخصائص المذكورة للظاهرة الكهروضوئيه للاسباب التالية

1. ليس بالامكان التنبؤ بوجود التردد الحرج $\upsilon_\circ$ بحيث اذا كان تردد الشعاع الساقط على سطح الفلز اقل من $\upsilon_\circ$ انعدام الانبعاث الالكتروني .
2. لكل الترددات النظرية الكلاسيكية تتنبأ بان الالكترونات تغادر بطاقة حركية مقدارها صفر.

النظرية الكميه:- وضع العالم اينشتاين فرضيته بان الضوء ليس اشعاعا مستمرا من الامواج ولكنه يتكون من رذاذ من الدقائق اي ان الاشعاع يتألف من جسيمات تدعى بالفوتونات

$E = h\upsilon = \hbar\omega$ طاقة الفوتون الواحد

ان انبعاث الالكترون يحدث نتيجة اصطدام الالكترون بالفوتون ويمتص طاقته كليا، وهذه الطاقة تتمثل في عمليتين:-

1. الطاقة المطلوبة لازالة الالكترون من المعدن وهي $\omega_\circ$

2. الطاقة الحركية $\frac{1}{2}mv^2$

معادلة اينشتاين $h\upsilon = \omega_\circ + \frac{1}{2}mv^2$

اي ان الالكترون ينبعث فقط اذا كانت الطاقة التي امتصها اكثر من $\omega_\circ$ ويحصل ذلك عندما $\upsilon >> \upsilon_\circ$ اي اذا كان $\upsilon > \upsilon_\circ$ سيكون الالكترون منبعثا بطاقة حركيه

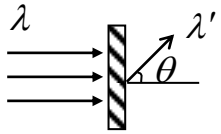
$$K.E = h\upsilon - \underset{\downarrow}{\omega_\circ} = h(\upsilon - \upsilon_\circ)$$

$h\upsilon_\circ$

3. **<u>تأثير كومبتن</u>** **<u>Compton effect</u>**

عند سقوط حزمة من الاشعة السينية على صفيحة معدنية فان جزءا من الاشعة سوف تتشتت وهذه الاشعة المتشتتة تخضع للتغير في الطول الموجي λ

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos\theta)$$



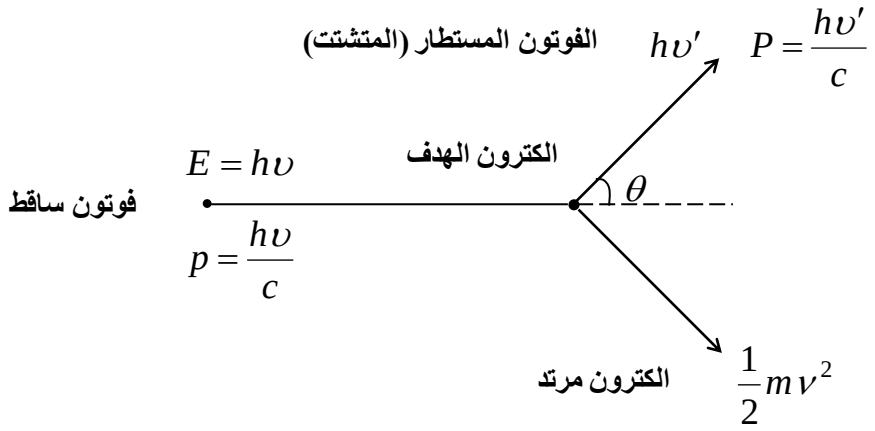
فشلت النظرية الكلاسيكية في تفسير المعادلة اعلاه في حين دعم تشتت كومبتن النظرية الكمية ..... حيث يفترض ان الاشعاع هو جسيمات ذات طاقه مكممه $h\upsilon$ يمكن ان تتفاعل مع الماده بدون امتصاص .

ومن تكافؤ الزخم والطاقة :

الفوتون يمتلك طاقه $h\upsilon$ تكافئ الزخم $\frac{h\upsilon}{c}$ حيث ان الفوتون يتحرك بسرعة الضوء ويمتلك زخم:

$$p = \frac{h\upsilon}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

ومن قانون حفظ الطاقة والزخم يمكن اشتقاق معادلة تشتت كومبتن حيث نفرض ان فوتون ساقط طاقته $h\upsilon$ وزخمه $\frac{h\upsilon}{c}$ تصادم تصادما مرنا مع الالكترون ساكن حر طلقته السكونيه $m_\circ c^2$ بعد التصادم يستطير الفوتون بزاوية مقدارها θ° فتصبح طاقته وزخمه بعد التصادم $h\upsilon'$, $\frac{h\upsilon'}{c}$



وباستخدام قانوني انحفاض الزخم والطاقة لعملية تصادم كومبتن

$$\frac{h\upsilon}{c}=\frac{h\upsilon'}{c}\cos\theta+p_e\cos\phi \qquad (1)$$

$$0=\frac{h\upsilon'}{c}\sin\theta-p_e\sin\phi \qquad (2)$$

$$h\upsilon+m_\circ c^2=h\upsilon'+w_e \qquad (3)$$

ويمكن حذف زاوية ارتداد الالكترون ϕ من المعادلتين (1) , (2)

$$\frac{h^2\upsilon^2}{c^2}-\frac{2h^2\upsilon\,\upsilon'}{c^2}\cos\theta+\frac{h^2\upsilon'^2}{c^2}=p_e$$

نضرب المعادلة اعلاه في c^2 واضافة وطرح الحد $2h^2\upsilon\,\upsilon'$ الى طرفها الايسر يمكن ان نكتب

$$h^2(\upsilon-\upsilon')^2+2h^2\upsilon\,\upsilon'(1-\cos\theta)=p_e^2c^2 \qquad (4)$$

اما حل المعادلة (3) لـ w_e وتربيع الناتج فيعطينا

$$h^2(\upsilon-\upsilon')^2+2h^2\upsilon\,\upsilon'm_\circ c^2+m_\circ^2c^4=w_e^2 \qquad (5)$$

وحيث ان طاقة الالكترون الكلية w_e , p_e يرتبطان تبعا لمبادئ النطرية النسبية

$$w_e^2=p_e^2c^2+m_\circ^2c^4 \qquad (6)$$

عندئذ يمكن حذف w_e , p_e وذلك بطرح المعادلة (4) من المعادلة (5) ومن ثم التعويض عن $w_e^2 - p_e^2c^2$ بالكمية $m_\circ^2c^4$ لنحصل على

$$2h(\upsilon - \upsilon') = m_\circ c^2 - 2h^2\upsilon\,\upsilon'(1-\cos\theta)$$

والتي بالامكان كتابتها على النحو التالي

$$\frac{(\upsilon - \upsilon')c}{\upsilon\upsilon'} = \frac{h}{m_\circ c}(1-\cos\theta)$$

يمكن بسهولة ان نبين ان المقدار في الطرف الايسر من المعادلة اعلاه يساوي $(\lambda' - \lambda)$ واخيرا نحصل على المعادلة الخاصة باستطارة كومبتن

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{mc}(1-\cos\theta)$$

4. توليد طول موجة الاشعة السينية الصغرى

Generation of the minimum x-ray wave length

من المعلوم ان الالكترونات ذات الطاقات العالية في انبوب الاشعة السينية تستطيع ان تولد فوتونات اشعة سينية بطاقة عظمى محدده، وهي ظاهرة لايمكن تفسيرها الا على اساس ان الاشعاع الكهرومغناطيسي يتصرف كفوتون عند تفاعله مع الماده

$$h\upsilon_{\max} = eV$$

$$\upsilon_{\max} = \frac{eV}{h}$$

$$\upsilon_{\max} = \frac{c}{\lambda_{\min}} \qquad , \quad c = \upsilon\lambda$$

$$\lambda_{\min} = \frac{ch}{eV} \qquad \Longrightarrow \qquad \lambda_{\min} = \frac{12396}{V} \ \text{Å}$$

5. تكوين الزوج (الالكترون – بوزترون) Pair Production

تعتبر ظاهرة تكوين الزوج (e^- ، e^+) دعم آخر للنظرية الكمية للاشعاع، يتولد الزوج في الهواء عندما تزيد طاقة الاشعة السينية على ضعف طاقة السكون للالكترون والبوزترون ... اي ان طاقة الاشعة السينية يجب ان تكون اكبر من $2m_\circ c^2$ وفقا للمتباينة $h\upsilon >> 2m_\circ c^2$ اما اقل طاقة فوتون للاشعة السينية لتوليد زوج فهي بطبيعة الحال يجب ان تساوي $2m_\circ c^2$ والتي تعادل 1.02MeV وتسمى الظاهرة العكسية لتكوين الزوج بفناء الزوج ( ) Annihilation وتتم بتكوين فوتونين طاقة كل منهما $h\upsilon$ بعد فناء الزوج.

ازدواجية الجسيم والموجة للاشعاع الكهرومغناطيسي
The Wave – Particle Duality of Electromagnetic Radiation

ان الاشعاع الكهرومغناطيسي مكون من جسيمات (دقائق) تسمى بالفوتونات ومن جانب آخر النتائج الخاصة بالتداخل والحيود لايمكن تفسيرها الا بافتراض الصفة الموجية للاشعاع الكهرومغناطيسي.

فكيف يمكن لهذين الرأيين المتناقضين ظاهريا ان يكونا متوافقين ؟

- ان تجارب التداخل والحيود تحتاج الى التفسير الموجي وهي تجارب تتحرى فيها كيف واين يسير الضوء.
- بينما تجارب الظاهرة الكهروضوئية وتاثير كومبتن وتوليد الاشعة السينية الصغرى وتوليد وفناء الزوج .... تحتاج الى التفسير الجسيمي فتحرى فيها تفاعل الاشعاع الكهرومغناطيسي مع المادة
- لذلك نفترض ان الاشعاع الكهرومغناطيسي يتكون اساسا من فوتونات لاتسير بخطوط مستقيمة وهو افتراض يختلف عن نظرية نيوتن للدقائق .
- من ناحية اخرى نتعامل مع الفوتونات الساقطة على نقطة من خلال محزز الحيود
- بناء على هذا التفسير يمكن اعتبار تموجات الضوء: عبارة عن تموجات ترشد (guide) الفوتونات بحيث ان شدة الموجة في اي نقطة تتناسب مع احتمالية وجود الفوتون في تلك النقطة.

ان هذا الوصف يختلف عن الوصف الكلاسيكي.

فالنظرية الكلاسيكية تقدم وصفا سببيا (causal) من حيث انها تخص مسارا معينا وعلى درجة كبيرة من الدقة لحركة الجسم في مجال القوة بينما الوصف اعلاه ماهو الا وصف احتمال على الحصول الفوتون في محل ما ويعطي فقط احتمالية وجوده في ذلك المحل او النقطة وعند التعامل مع عدد كبير من الفوتونات فانها من اختصاص الميكانيك الكمي .

اي ان النظرية تعطي الاحتمالية فقط بالنسبة لجسيم واحد

$\because \quad p = mv$

$E^2 = p^2c^2 + m_\circ^2 c^4$

For photon $\quad m_\circ = 0$ كتلة السكون للفوتون

$\therefore \quad E^2 = p^2c^2 + 0$

$E = pc$

But $\quad E = h\upsilon = \dfrac{hc}{\lambda}$

$$pc = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\boxed{p = \frac{h}{\lambda}}$$

معادلة ديبرولي تجمع بين فكرة الجسيم والموجة

λ طول موجته

p زخمه

س) احسب طول موجة دي برولي لالكترون يسير بسرعة $v = 2\times10^6$ m/s ؟ (كتلة الالكترون هي $m_e = 9.1\times10^{-31}$ Kg) ثم قارنها مع جسيم يسير بسرعة 10 m/s وكتلته (1 gm) ؟

Solution:

a) For electron للالكترون

$$p = \frac{h}{\lambda} \quad \Longrightarrow \quad \lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

$$\lambda = \frac{6.6\times10^{-34}}{9.1\times10^{-31}\times2\times10^6}$$

$$\lambda = 3.6\times10^{-10} = 3.6 \ \mathring{\text{A}}$$

b) For particle للجسيم when $m = 1$ gm

$$\lambda = \frac{6.6\times10^{-34}}{1\times10^{-3}\times10}$$

$$\lambda = 6.6\times10^{-32} = 6.6\times10^{-22} \ \mathring{\text{A}}$$

اذن الجسيمات التي كتلتها كبيرة لاتظهر صفتها الموجية. لذلك الالكترون صفتها الموجية واضحة.

ملاحظة عندما $\hbar = 0$ معناها نحن في الميكانيك الكلاسيكي

المظهر الموجي للجسيمات المادية Wave Aspect of Matter (De Broglis Hypothesis

في عام 1924 اقترح العالم دي برولي بان الضوء يتكون من فوتونات تقاد بواسطة الموجة وبشكل مشابه ربما يوجد موجة مطابقه والتي تقود جسيمات الموجة

وهو يفترض العلاقات

$$E = h\upsilon$$

$$p = \frac{h\upsilon}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

وتشير هذه العلاقات الى ان الطاقة والزخم للجسيمات وبتردد وطول موجي للموجه تبقى حقيقية لجسيمات المادة. وقد افترض ان مايكون للموجة هو نفس مايكون للفوتونات ذلك ان الاحتمالية للجسيمه المادية تكون في اي نقطه تتناسب مع مربع السعة (الشدة) في تلك النقطة للموجة التي تمتلك تردد وطول موجي معطى حسب العلاقة

$$E = h\upsilon = \hbar\omega \qquad , \qquad \lambda = \frac{h}{p}$$

وبناء على ذلك فان مدارات الالكترون في ذرة الهيدروجين وطبقا لنظرية بور يمكن ان يعرف بشرط ينص على ان (المدار المغلق يجب ان يكون مساوي لعدد صحيح مضروب في λ)

وللبرهان على ذلك

نفرض ان محيط مسار بور الدائري يعطى بالعلاقة

$$2\pi r = n\lambda$$

حيث n عدد صحيح وبالتعويض عن n من المعادلة $p = \frac{h}{\lambda}$

$$2\pi r = n\frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

$$\therefore\ p_e = mvr = n\frac{h}{2\pi} = n\hbar$$

وهذه العلاقة هي فرضية بور الاولى

لقد تحقق زعم ديبرولي عام 1928 حيث اكتشف العالمان دافيسون وكريمر تجريبيا ان الالكترونات ذات الطاقة 200 eV الساقطة على بلورة النيكل تنعكس عنها بطريقة تشابه الحيود لموجات مستوية عن ذرات البلوره ذات المسافات البينية d المنتظمة. وقد اثبت بعد تجارب عديدة ان زاوية الحيود حسب النظرية الكلاسيكية

$$\theta \sim \frac{\lambda}{d}$$

موافق لطول موجة يساوي بالضبط لطول موجة ديبرولي لالكترون طاقته 200 eV ويمكن حساب طول هذه الموجة بسهولة من المعادلتين $p = \frac{h}{\lambda}$, $p = \sqrt{2mE}$

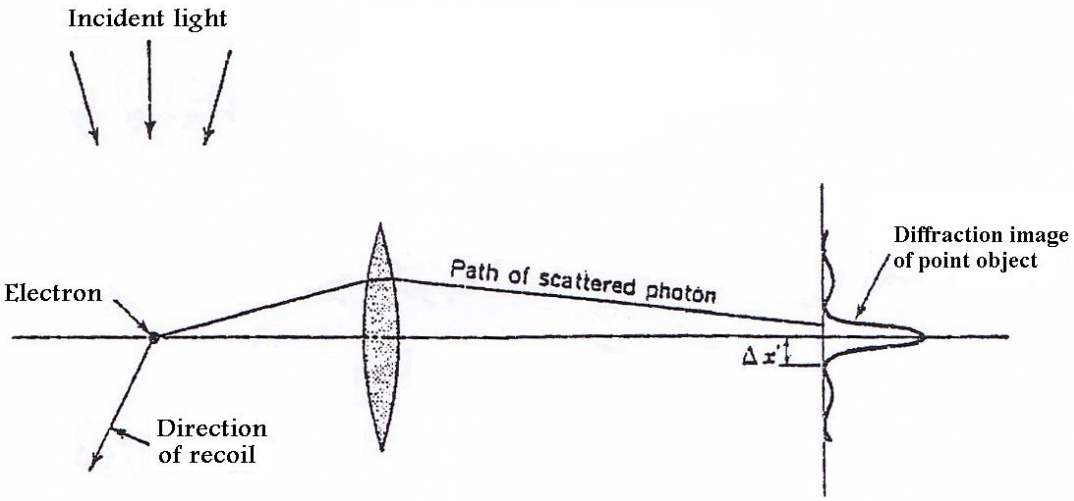
$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE}}$$

مبدأ اللادقة لهايزنبرك Uncertainly principle

وفق مفاهيم الميكانيك الكلاسيكي لاتوجد هنالك حدود تفرض على دقة القياس. ويصبح نفس الشئ في الميكانيك الكمي ولكن لمتغير واحد فقط. والامر يختلف تماما في حالة قياس متغيرين في ان واحد فمثلا عن قياس احداثي جسم وزخمه في وقت واحد نجد عند قياس الاحداثي يستلم الجسم زخما خارجيا فيؤثر ذلك على دقة قياس زخمه الاني والعكس ايضا صحيح اي عند قياس زخمه في اول الامر فيغير موضعه فيؤثر ذلك على دقة.

فاذا كان اللادقة في تحديد موضع الجسيم هو Δx في زخمه هو Δp فعندئذ

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar$$



ولتوضيح ذلك ناخذ مسالة قياس موضع جسم صغير كالالكترون الذي يمكن ان يتم باستخدام المجهر وللحصول على تحليل عالي يجب استخدام عدسة ذات فتحة كبيرة ةان يكون الضوء ذات طول موجي قصير. ولجعل التشويش اقل مايمكن يستخدم ضوء شدة اضائته قليلة فاننا نفرض استخدام فوتون واحد. يسقط ضوء ضعيف جدا طاقته

$E = h\upsilon$ عالية على الالكترون فيضيئه. هذا الفوتون بعد اصطدامه فالالكترون يستطير مارا خلال عدسة المجهر ويتابع حركته حتى يصل نقطة ما على الحاجز. اما الالكترون فيرتد بسبب اصطدامه مع الفوتون وفي هذه التجربه ماهو مقدار اللادقة التي ادخلت على حركته

ان موضع الالكترون معروف بصورة تقريبية فقط لاننا لانعلم موقع النقطة على حاجز الحيود التي وصلها الفوتون وفي الحقيقة تحتاج الى فوتونات عديدة للحصول على التناظر في نمط الحيود. لكننا نستطيع القول فقط ان الفوتون باحتمال كبير قد سقط على الحاجز ضمن حلقة الحيود الاولى. واللادقة معرفة بدلالة موضع الالكترون تعيين هنا بالاستناد الى مبادئ البصريات الطبيعية على وجه التقريب بالعبارة

$$\Delta x \approx \frac{f\lambda}{D} \qquad (1)$$

حيث λ تمثل طول موجة الضوء الساقط , f البعد البؤري , D قطر العدسة الشيئية للمجهر. وبسبب عملية التصادم اثناء اجراء القياس لتعيين الموضع فان الالكترون يرتد بمقدار غير معلوم وذلك لانه ليست هنالك وسيلة لمعرفة نت اي جزء من العدسة الشيئية قد نفذ الفوتون . وحيث انه من الممكن ان يكون الفوتون قد نفذ من اي جزء من العدسة فاننا نتوقع ان يكون مقدار اللادقة في مركبة الزخم في الاتجاه x يساوي

$$\Delta p \approx p_x \frac{D}{2f}$$

$$\approx \frac{h\upsilon}{c}\frac{D}{2f} = \frac{h}{\lambda}\frac{D}{2f} \qquad (2)$$

من المعادلتين (1) , (2) نجد ان مقداري اللادقة في الموضع والزخم يحويان طول موجة الضوء وابعاد المجهر يحيث يكون احدهما مقلوب الاخر. عند جعل Δx صغيرا ينبغي ان يكون Δp كبيرا والعكس بالعكسه هكذا

$$\Delta x \cdot \Delta p \approx \frac{\hbar}{2} \qquad (3)$$

و هنالك ايضا علاقة مشابهة للعلاقة (1) تخص الطاقة E والزمن t بالشكل

$$\Delta E \cdot \Delta t \approx \hbar$$

Q1) Prove The Impossibility of Finding The Electron Inside Nucleus**?**

اثبت استحالة وجود الالكترون داخل النواة ؟

Solution:

Since the radius of nucleus is about 10^{-14} m this means that $\Delta x = 10^{-14}\,\mathrm{m}$

لكي يكون الالكترون في داخل النواة فان مقدار التحديد في موضعه لايزيد عن قطر النواة اي ان $\Delta x = 10^{-14}\,\mathrm{m}$

$\because \quad \Delta x\,\Delta p \geq \hbar$

وعليه يكون الاتحديد في زخمه

$$\Delta p \geq \frac{\hbar}{\Delta x} = \frac{1.05\times10^{-34}}{10^{-14}} = 1.05\times10^{-20}\ \ \mathrm{kg\,m\,s^{-1}}$$

$$E = \sqrt{p^2c^2 + m_\circ^2 c^4}$$

$$p^2c^2 >> m_\circ^2 c^4$$

$$\therefore \quad E = pc$$

$$\therefore \quad \Delta E = \Delta p\, c$$

$$1.05\times10^{-20}\times3\times10^{8} \approx 20\mathrm{MeV}$$

Since the average binding energy of particle inside nucleus is 8MeV and 20MeV is grate than thus the electron can not be found inside the nucleus

بما ان معدل طاقة الربط الموجوده داخل النواة تقدر بحوالي 8MeV وهذه القيمة اقل بكثير من طاقة الالكترون 20MeV ولهذا السبب لايصح وجود الالكترون داخل النواة

The correspondence principle **مبدأ التقابل**

هذا المبدأ اقترحه العالم بور وينص على انه:

(حركة منظومه كما توصف بواسطة الميكانيك الكمي تتفق مع حركتها التي توصف بواسطة الميكانيك الكلاسيكي في الغاية التي فيها يمكن اهمال ثابت بلانك $\hbar$)

اذا كانت المنظومة كبيره بما فيه الكفايه ولم تكن حاجتنا لدقة القياس كبيره فان الميكانيك الكلاسيكي يزودنا بتقريب جيد لحركة المنظومه هذا المبدأ يسمى ايضا بالغاية الكلاسيكيه (classical limit) للميكانيك الكمي. وان حركة المتذبذب البسيط او الجسيم الحر في صندوق الجهد امثله للتحقق من صحة هذا المبدأ.