بسم الله الرحمن الرحيم

جامعة المثنى
كلية التربية الأساسية
قسم العلوم

المادة: الفيزياء الحديثة
الفصل الدراسي: الاول
المرحلة: الثالثة- فرع الفيزياء
نوع الدراسة: صباحي
مدرس المادة: د. صاحب عبد الخضر

مقدمة عن المادة

بنهاية القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين حدثت ثورة عارمة في علم الفيزياء . حيث قدم بلانك الأفكار الأساسية التي أدت إلى صياغة نظرية الكم .كما وضع اينشتين نظريته في النسبية الخاصة وقد أدت النظريتان إلى تطورات ونظريات جديدة في مجال الفيزياء الذرية والنووية وغيرها.

استمرت الفيزياء الكلاسيكية حتى 1890 وهي فيزياء الأجسام عادية الحجم و التي تتحرك بسرعات أقل بكثير من سرعة الضوء، وهذا القسم من الفيزياء يخضع لقوانين نيوتن في الحركة وقوانين ماكسويل في الكهرومغناطيسية وغيرها و لذلك تسمى في بعض الأحيان الفيزياء النيوتنية. وأوجه القصور في الفيزياء الكلاسيكية أنها فشلت في وصف الأجسام التي تتحرك بسرعات عالية تقترب من سرعة الضوء كما في الظواهر الذرية والنووية.

فقد استطاع العالم أينشتين في بدايات القرن العشرين (1905) من وضع النظرية النسبية الخاصة التي استطاعت أن تزيل تلك التناقضات التي نشأت من قصور النظرية الكلاسيكية و ساعدت على تفسير هذه الظواهر ومن هنا نشأت الفيزياء الحديثة.

أولا: مفردات المادة

الفصل الأول: النظرية النسبية الخاصة

مقدمة – تحويلات جاليلي ونيوتن – تجربة مايكلسون ومورلي- فروض اينشتين – تحويلات لورنتس – تقلص الطول – التزامنية (الآنية)- تمدد الزمن – معادلات تحويل السرعة النسبية – الكتلة النسبية.

الفصل الثاني: السلوك الجسيمي للإشعاع الكهرومغناطيسي(الفوتونات).

إشعاع الجسم الأسود (مقدمة – نظرية رايلي جينز الكلاسيكية- نظرية ماكس بلانك) – تفاعل الإشعاع مع المادة (الظاهرة الكهروضوئية- ظاهرة تصادم كمبتون- إنتاج الزوج)

الفصل الثالث: الأمواج المادية ومبدأ اللايقين.

مقدمة- موجة دي برولي (سرعة موجة دي برولي – أموج الالكترونات)- مبدأ اللايقين لهايزنبرج – مبدأ التتام .

الفصل الرابع: التركيب الذري (نظرية الكم القديمة).

مقدمة – نموذج رذرفورد – الأطياف الذرية – نموذج بور في التركيب الذري- نموذج سمرفيلد- تجربة فرانك هرتز – مبدأ التناظر.

الفصل الثامن: الأشعة السينية.

اكتشاف وطبيعة الأشعة السينية – إنتاج الأشعة السينية- كفاءة الأشعة السينية – امتصاص الأشعة السينية – حيود الأشعة السينية- طيف الأشعة السينية.

ثانيا: المصادر و المراجع

المتطلب المصاحب لهذا المقرر:اسم الكتاب: مقدمة في الفيزياء الحديثة

تأليف: \ ارثر بايزر.

ثالثا: اهداف المادة

تزويد الطلبة بالمعارف عن نسبية الزمن و الكتلة.

تزويد الطلبة بالمعلومات الكاملة عن الخواص الجسيمية للضوء .

المعرفة الكاملة ل الصفات الموجية للجسيمات .

المعرفة الكاملة لمبادئ الفيزياء الكمية.

شرح امثلة عديدة عن الخواص الجسيمية للضوء و الصفات الموجية للجسيمات .

فهم عميق للتركيب الذري و اطياف الذرة.

المحاضرة الأولى

النظرية النسبية الخاصة

- تعتبر النظرية النسبية الخاصة التي قدمها العالم الألماني ألبرت اينشتاين عام 1905م من الأعمال العلمية الهامة التي ساهمت في تطور الفيزياء.
- حيث فسرت هذه النظرية بعض الظواهر التي تحدث في الفيزياء الذرية والنووية والتي لم تتمكن الفيزياء الكلاسيكية من تفسيرها.
- كما عمقت هذه النظرية مفهوم الزمان – المكان (space-time) والمادة والطاقة والعلاقة بينهما.
- لقد وضع كل من جاليلي ونيوتن أسس النظرية النسبية القديمة أو النسبية الكلاسيكية والتي تعرف بمعادلات تحويل جاليلي أو معادلات تحويل نيوتن.

وقد حدث تعارض بين معادلات تحويل جاليلي – نيوتن (النسبية الكلاسيكية) والنظرية الكهرومغناطيسية التي وضعها ماكسويل. تمكن اينشتين من ازالة هذا التعارض بين النسبية القديمة والنظرية الكهرومغناطيسية بوضعه للنظرية النسبية الحديثة. سوف نقوم في البداية بتوضيح معادلات التحويل لجاليلي ونيوتن (النسبية الكلاسيكية) ثم توضيح المبادئ الاساسية للنظرية الكهرومغناطيسية كمدخل للنظرية النسبية الحديثة.

معادلات تحويل جاليلي - نيوتن

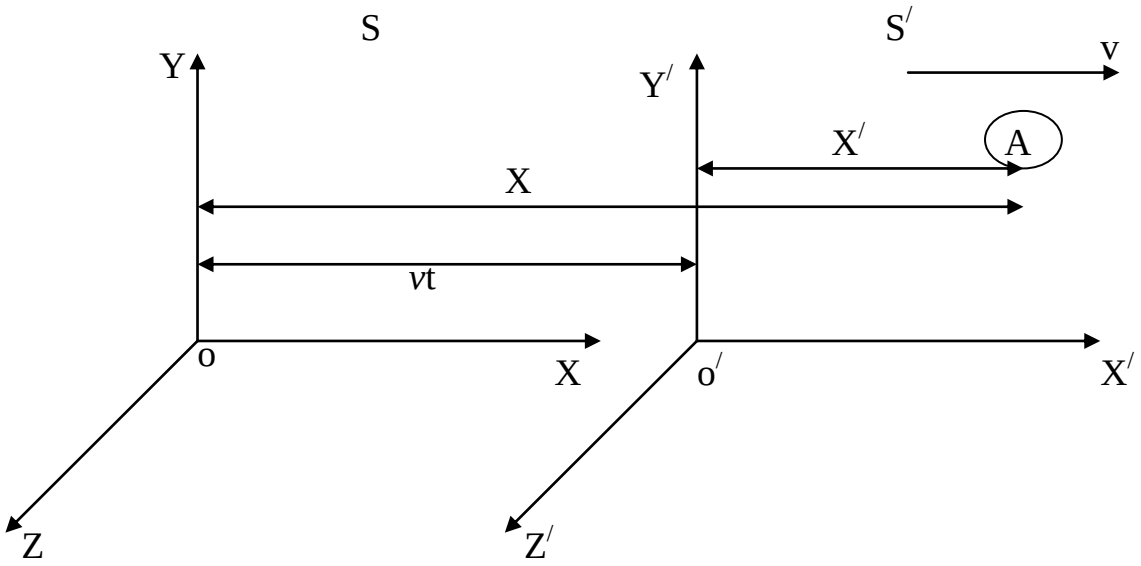
*في الميكانيكا نهتم بدراسة الحركة النسبية للأجسام، أي تحديد موضع الجسم عند أزمنة مختلفة، ولتحديد موضع الجسم نستخدم جملة الإحداثيات (x,y,z) وعند الاهتمام بالحركة لابد من تحديد الزمان، أي أن أي جسيم يمكن أن يوصف بالإحداثيات (x,y,z,t) ثلاثة تعود للمكان والرابع يعود للزمن وتسمى الإحداثيات الأربعة بجملة الإسناد (frame of reference).
إذا كانت جملة الإسناد ساكنة أو تتحرك بسرعة ثابتة (غير متسارعة) تعرف بجملة الإسناد العطالة أو جملة الإسناد القصورية، وهي جملة الإسناد التي تكون فيها جميع قوانين نيوتن صحيحة. أي أن قانون القصور الذاتي لنيوتن صحيحاً.(الإسناد القصوري هو الذي يلاحظ فيه أن الجسم لا يكتسب تسارعا عندما لا تؤثر عليه قوى. يمكن اعتبار الأرض (بإهمال التسارع البسيط الناتج عن دورانها) بأنها جملة إسناد عطالة أو إسناد قصوري.

**أي جسم ساكن او متحرك بسرعة منتظمة يصلح لان يكون مجموعة قصورية وبالتالي يمكننا اسناد او نسبة حركة أي جسم اخر اليه.

**اما مجموعة الاسناد اللاقصورية فهي التي تكون فيها قوانين نيوتن غير صحيحة واي جسم يتحرك بعجلة يصلح لان يكون مجموعة اسناد لاقصورية ،، وعليه تكون جميع القوانين صالحة للتطبيق في مجموعة الاسناد القصورية .

تحويلات جاليلى Galilian trnsformations

تسمى المعادلات التي تربط بين إحداثيات البعد و الزمن في نظامين يتحركان بالنسبة لبعضهما بسرعة ثابتة بتحويلات جاليليو



نفرض نظامي إسناد S , $S^{/}$ و النظام $S^{/}$ يتحرك بسرعة منتظمة v في الاتجاه الموجب لمحور X كما هو موضح من الرسم. فإذا وقع حدث معين (انفجار مثلا) عند النقطة A و أن هناك مراقبين رصدا هذا الحدث بحيث بدآ القياس معا أي $t=t^{/}$. يمكن كتابة المعادلات بالشكل :

$$X^{/} = X - vt \qquad (1)$$

$$Y^{/} = Y \qquad (2)$$

$$Z^{/} = Z \qquad (3)$$

$$t^{/} = t \qquad (4)$$

و تسمى هذه المعادلات بتحويلات الإحداثيات لجاليليو. بالنسبة للإحداثيات y , z

لا يوجد حركة نسبية في اتجاه المحورين ويلاحظ أن إحداثي الزمن واحد في نظامي الإسناد حيث أن الزمن في الميكانيكا الكلاسيكية ثابت ولا يتغير بتغير نظام الإسناد. و قد يبدو ذلك منطقيا بالنسبة للسرعات العادية إلا أن ذلك الافتراض يكون خاطئا إذا كانت السرعة تقترب من سرعة الضوء وهذا هو أهم تعارض بين المفاهيم الكلاسيكية و المفاهيم الحديثة التي أقرتها النظرية النسبية لأينشتين.

و للحصول على تحويلات السرعة لجاليليو نفاضل العلاقات (4 - 1) بالنسبة للزمن ثم نفاضل مرة احرى للحصول على تحويلات العجلة:

تحويلات السرعة

$$\dot{X}' = \dot{X} - v \qquad (5)$$

$$\dot{Y}' = \dot{Y} \qquad (6)$$

$$\dot{Z}' = \dot{Z} \qquad (7)$$

نجاح تحويلات جاليليو:

نجحت بالنسبة للأجسام التي تتحرك بسرعة منخفضة أو عادية.

قصور تحويلات جاليليو :

تعارضت هذه المعادلات مع النظرية الكهرومغناطيسية لماكسويل عندما قال أن الضوء عبارة عن موجات كهرومغناطيسية ذات سرعة ثابتة .

بينت نظرية ماكسويل أن الضوء والذي يعتبر ذا طبيعة موجية هو عبارة عن أمواج كهرومغناطيسية ذات سرعة ثابتة 3×10^{8} ولقد أدى ذلك للتساؤل عن جملة الإسناد التي قيست سرعة الضوء بالنسبة لها . كذلك الحركة الموجية بحاجة لوسط تنتشر خلاله .

بداء التساؤل عن الوسط الموجود في الفضاء والذي تنتشر خلاله الأمواج الكهرومغناطيسية.

كانت الخبرة العلمية مبنية على اساس ان أي حركة موجية تحتاج الى وسط مادي لكي تنتشر فيه، أي ان سرعة الحركة الموجية في وسط ما تعتمد على الخصائص الفيزيائية لهذا الوسط، لذلك فكر العلماء في ضرورة وجود وسط يسمح بانتشار الموجات الكهرومغناطيسية فيه بسرعة هائلة (C) وقد افترض العلماء في القرن التاسع عشر وجود وسط ناقل لموجات الضوء وأسموه الأثير (واعتبر هذا الوسط وكأنه جملة إسناد ساكنة . ولكي تتحقق النظرية الكهرومغناطيسية لا بد من افتراض بوجود خصائص غريبة ومتناقضة لهذا الوسط)

يتميز هذا الوسط (الأثير) بانه لا يتأثر بالحركة التي تتم خلاله أي انه حامل للحركة وناقل لها ولا يتأثر بها، وعلى هذا الاساس فان سرعة الضوء C تعتبر بالنسبة للأثير وهي سرعة مطلقة لان الاثير ساكن سكون مطلق.

كذلك السرعة العالية جدا لانتشار الموجات الكهرومغناطيسية تتطلب ان يكون هذا الوسط الوميضي (الأثير) صلبا عالي المرونة لان الامواج الكهرومغناطيسية امواج مستعرضة ولا تنتج الا عن قوى القص التي تحدث في المواد الصلبة .

والاثير وسط ذو كثافة صغيرة وشفاف للأمواج الضوئية ويهتز بصورة سريعة جداً لان تردد الامواج الضوئية كبير جداً.

- من هنا بدأ التفكير في اجراء تجربة عملية للتحقق من وجود الاثير الافتراضي باكتشاف تأثير حركة الارض خلاله على قيمة سرعة الضوء المقاسة .
- أجريت تجربة ضوئية لهذا الغرض تسمى تجربة ميكلسون ومورلي نسبة الى العالمين الأمريكيين الذين اجرياها..

.....

تجربة ميكلسون ومورلي

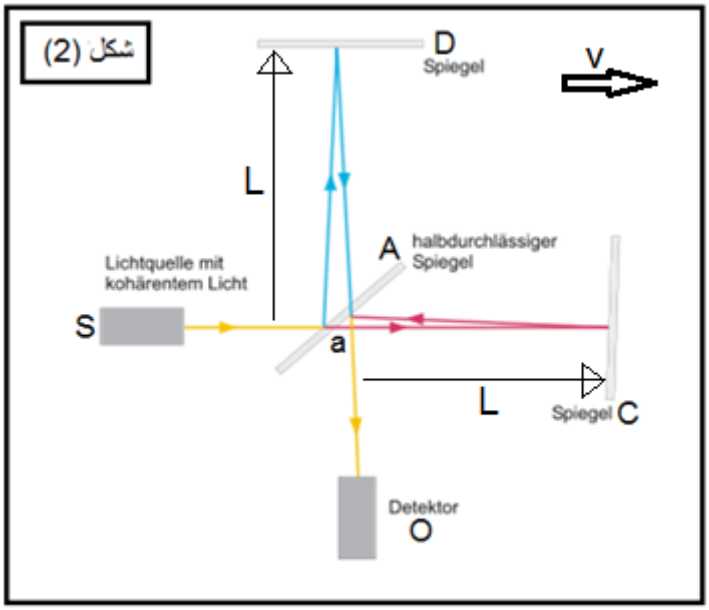
يعتمد تصميم هذه التجربة وطريقة إجرائها على تطبيق قانون إضافة السرعات لنيوتن. فالموجات الضوئية تنتشر في الأثير الذي اعتبر ساكن كما أن الكرة الأرضية تنساب خلال الأثير دون أن تسبب فيه أي اضطراب، لذلك تعتمد فكرة هذه التجربة على احتمالية حدوث تغير في قيمة سرعة الضوء نتيجة لوضع الجهاز المستخدم بالنسبة لاتجاه حركة الأرض أو عمودي عليها طبعا على أساس صحة فرض وجود الأثير.

<u>الاساس النظري لهذه التجربة:</u>

بافتراض الاثير الساكن فانه بالنسبة لمراقب على الارض فان الاثير يتحرك بالنسبة له بسرعه تساوي سرعة دوران الارض حول الشمس (u) (بافتراض الشمس لا تتحرك بالنسبة للأثير).

$$u = 3 \times 10^4 m/s$$

قياس تأثير حركة الأرض خلال الأثير على سرعة الضوء وحساب سرعة الضوء في وضعين مختلفين:
الوضع الأول: أن تكون سرعة الضوء ففي نفس اتجاه سرعة الأرض في مدارها حول الشمس.
الوضع الثاني: أن تكون سرعة الضوء عمودية على سرعة الأرض في مدارها حول الشمس.



*مصدر ضوئي احادي الطول الموجي (S).

* كاشف (مقياس التداخل لميكلسون)(O) .

*مرآتان عاكستان (مفضضتان) (C,D)

*لوح زجاجي بسطح داخلي نصف عاكس بحيث اذا سقطت حزمة ضوئية عليه نصف الحزمة تنفذ والنصف الاخر ينعكس بشدتين متساويتين يوضع بزاوية ميل 45درجة على الافقي.

*يوضع الجهاز فوق قطعة من الاسمنت الطافية فوق سطح زئبق لإمكانية دوران الجهاز حول محور عمودي بسهولة.

فكرة عمل التجربة:

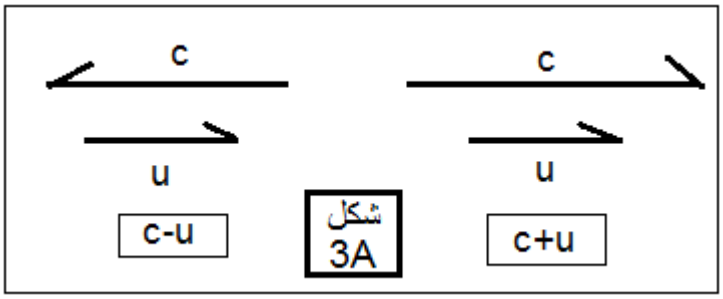
*اذا سقط شعاع ضوئي من المصدر (S) فانه ينكسر خلال اللوح (A) وعند وصوله للسطح الداخلي عند النقطة a يتجزأ الى شعاعين متساويين في الشدة احدهما ينفذ الى المرآة (C) حيث ينعكس ويعود الى النقطة a، اما الشعاع الاخر فانه ينعكس من على المرآة (D) ثم يعود الى النقطة a.

*عند تلاقي الشعاعين عند النقطة a ينتج نموذج هدب تداخل يمكن مشاهدتها من الكاشف (منظار)موضوع عند النقطة (o).

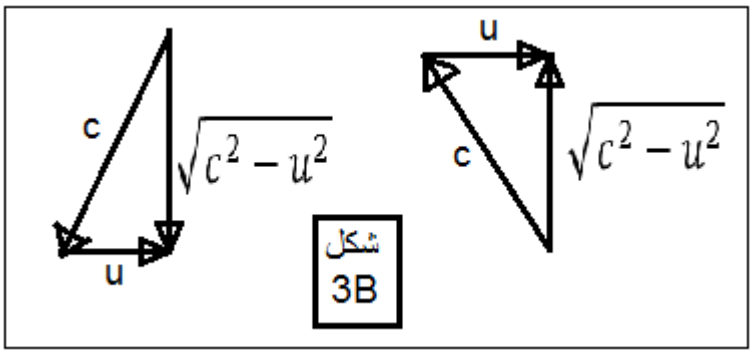
*لحساب الزمن الذي يحتاجه كلا الشعاعين للعودة الى النقطة a نعتبر حالتين:

الحالة الاولى شكل 3A:

اذا كان اتجاه انتشار الموجات الضوئية في اتجاه او عكس حركة الارض خلال الاثير ، فانه تبعاً لقانون اضافة السرعات لنيوتن $(c \pm u)$



الحالة الثانية شكل 3B:



اذا كان اتجاه انتشار الموجات الضوئية عمودي على اتجاه حركة الارض خلال الاثير، فان السرعة النسبية لانتشار هذه الموجات تساوي:

$$\sqrt{c^2-u^2}$$

الزمن الذي يستغرقه الشعاع في الحركة من a الى D ثم العودة الى a:

$$t_y=\frac{2L}{\sqrt{c^2-u^2}}=\frac{{}^{2L}/_{c}}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}}\ldots\ldots\ldots 8$$

زمن الذي يستغرقه الشعاع في الحركة من a الى c ثم العودة الى a:

لحساب الزمن الذي يحتاجه كلا الشعاعين للعودة الى النقطة a نعتبر حالتين:

$$t_x=\frac{L}{c+u}+\frac{L}{c-u}=\frac{2Lc}{c^2-u^2}=\frac{{}^{2L}/_{c}}{1-\frac{u^2}{c^2}}\ldots 9$$

يمكن رياضياً الاكتفاء بالحدين الاول والثاني في مفكوك المقدار

$$(1-\frac{u^2}{c^2})^{-1}$$

يمكن رياضياً الاكتفاء بالحدين الاول والثاني في مفكوك المقدار

$$(1-\frac{u^2}{c^2})^{-\frac{1}{2}}$$

يمكن رياضياً الاكتفاء بالحدين الاول والثاني في مفكوك المقدار

$$t_1=\frac{2L}{c}(1-\frac{u^2}{c^2})^{-\frac{1}{2}}=\frac{2L}{c}(1+\frac{1}{2}\frac{u^2}{c^2}+\cdots..)$$

$$t_2=\frac{2Lc}{c^2(1-\frac{u^2}{c^2})}=\frac{2L}{c}(1-\frac{u^2}{c^2})^{-1}=\frac{2L}{c}(1+\frac{u^2}{c^2}+\cdots....)$$

يكون الفرق بين الزمنين:

$$\delta t=t_2-t_1=\frac{2L}{c}\frac{u^2}{2c^2}=\frac{Lu^2}{c^3}\ldots\ldots 10.$$

بما ان $\frac{1}{T}=\frac{c}{\lambda}$ ،

فان الفرق الزمني δt يقابله فرق في الطور δ

بين الاهتزازتين الضوئيتين المتداخلتين. أي ان:

$$\delta=\frac{\delta t}{T}.2\pi=\frac{c}{\lambda}.\frac{Lu^2}{c^3}2\pi=\frac{2\pi Lu^2}{\lambda c^2}\ldots\ldots 11$$

- باعتبار L=30m و $A=6\times10^{-7}m$ $\lambda=6000^o$فان:

$$\delta=2\pi\frac{1}{6\times10^{-7}}\times30\times(10^{-4})^2=\pi$$

اذا ادير الجهاز بزاوية 90 بحيث يتبادل الذراعان موضعيهما حيث يصبح الذراع في اتجاه يوازي سرعة الارض في الاثير بينما الذراع الاخر يصبح عمودي على اتجاه سرعة الارض في الاثير، هذا التبادل يجعل فرق الطور بين الاهتزازتين الضوئيتين π ولكن بإشارة سالبة.

بالتالي يصبح الفرق الكلي في الطور:

$$\delta t=\pi-(-\pi)=2\pi$$

وهذا يقابله اهتزازة ضوئية كاملة أي تداخل بناء.

**على الرغم من ان التجربة اجريت في ازمنة مختلفة واماكن مختلفة على مدار العام الا ان الحلقات لم تنزاح مطلقاً،

لم تتعارض النتائج السلبية لتجربة ميكلسون ومورلي فقط مع افتراض الأثير ولكنها أوضحت أيضاً أنه من المستحيل قياس السرعة المطلقة للأرض بالنسبة لإطار الأثير.

في السنوات التالية وبعد معرفة الكثير عن طبيعة الضوء ، اتضح عدم صحة نظرية الأثير الذي يشغل كل الفضاء واستبعدت النظرية وأصبح الضوء معروفا على أنه موجة كهرومغناطيسية لا تحتاج إلى وسط لانتشارها .

لقد بذلت جهود عديدة لشرح تلك النتائج السلبية لتجربة مايكلسون ومورلي وكذلك لإنقاذ مفهوم الأثير ومعادلة تحويل السرعة الجاليلية في الضوء . كل الاقتراحات الناتجة عن هذه الجهود اتضح أنها خطأ وقد حُلت المشكلة عام 1905 باستخدام النظرية النسبية الخاصة.

فروض اينشتين

- حاول اينشتين في نظريته النسبية الخاصة ازالة التناقض بين نسبية جاليلي والنظرية الكهرومغناطيسية، ولقد عالج في نظريته جمل الاسناد التي تتحرك بالنسبة لبعضها البعض بسرعة ثابتة ولم يتعرض لجمل الاسناد المتسارعة الا في نظريته النسبية العامة والتي نشرت بعد عشر سنوات من نشر نظريته النسبية الخاصة.
- كان اينشتين اول من تنبه الى ان الضوء يمكن ان ينتشر في الفراغ دون الحاجة الى وسط ناقل مثل الموجات الاخرى، بالتالي لاوجود للأثير ولا وجود لجمل اسناد كونية مطلقة وساكنة.

ولقد افترض اينشتين:

1- (ثبات سرعة الضوء) سرعة الضوء في الفراغ مطلقة وثابتة لا تعتمد على حالة حركة المراقب الذي يقيسها (وضع وحركة الشخص الذي يقوم بقياسها) ولا تعتمد على حالة مصدر الضوء (حركة الجسم المشع للضوء نفسه).

(مبدأ النسبية) قوانين وعلاقات الفيزياء تأخذ نفس الصورة في جميع جمل الإسناد القصورية (التي تتحرك بسرعة ثابتة بالنسبة لبعضها البعض)، يعتبر هذا الافتراض تعميم لمبدأ نسبية جاليلي الذي اقتصره على قوانين الميكانيكا فقط.

بمعنى **القوانين الفيزيائية في جمع الأطر المرجعية الساكنة واحدة لا تتغير**.

ومعنى ذلك أنه يمكننا أجراء تجربة فيزيائية معينة في معمل ساكن و نحصل على نفس النتائج تماما لو كان هذا المعمل متحرك بسرعة منتظمة، طالما أننا طبقنا نفس القوانين الفيزيائية في الحالتين. ويعرف هذا المبدأ **بمبدأ نسبية الحركة** وهو يعتبر أساس للميكانيكا الكلاسيكية.

استخدمت الفرضية الاولى لتفسير النتيجة السلبية لتجربة مايكلسون ومورلي حيث توضح هذه الفرضية عدم تأثير السرعة النسبية على سرعة الضوء المطلقة حيث تقول هذه الفرضية ان سرعة الضوء c وليس c-v أو c+v.

الى هنا انتهت المحاضرة الاولى

.....

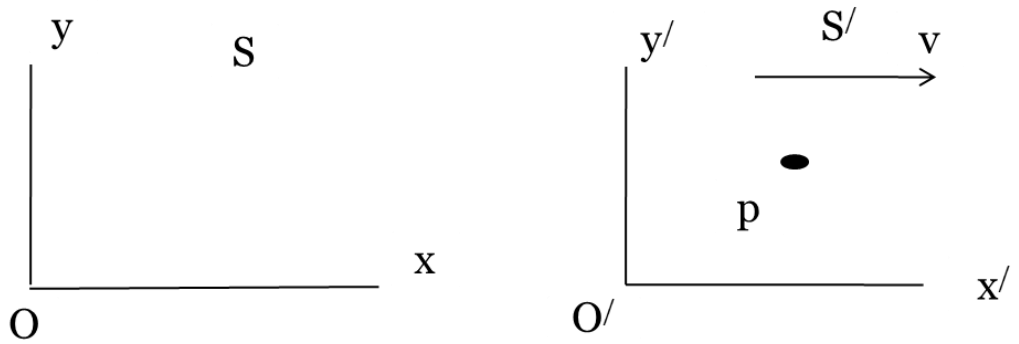
المحاضرة الثانية

تحويلات لورنتز Lorentz transformations

لاحظنا أن معادلات السرعة الجاليلية تصبح غير صالحة عندما تقترب v من سرعة الضوء . وفي هذا الجزء سنذكر معادلات التحويل التي تصلح لكل السرعات في المدى $0<v<c$.

فرض أن حدثا وقع عند النقط p وتم تسجيله بمشاهدين أحدهما في حالة سكون في الإطار S والآخر في الإطار S' والذي يتحرك بسرعة V إلى اليمين كما في الشكل يسجل المشاهد في S الحدث بالإحداثيات (x,y,z,t) بينما يسجل المشاهد في S' نفس الحدث بالإحداثيات (x',y',z',t')

الآن نبحث عن علاقة بين هاتين المجموعتين من الإحداثيات والتي تصلح لجميع السرعات



المعادلات التي تصلح لجميع السرعات من v=0 إلى v=c والتي تمكننا من تحويل الإحداثيات من S إلى S/ هي معادلات تحويلات لورنتز

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = k\left(t - \frac{v\,x}{c^2}\right)$$

$$x' = k\,(x - v\,t)$$

K : ثابت يعرف بمعامل لورنتز

$$k = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

إذا أردنا تحويل الإحداثيات في الإطار S' إلى الإحداثيات في الإطار S تبدل v ب $-v$ و نستبدل المحاور والزمن في المعادلات السابقة ونحصل على:

$$x = k\left(x' + vt'\right)$$

$$y = y'$$

$$z = z'$$

$$t = k\left(t' + \frac{vx'}{c^2}\right)$$

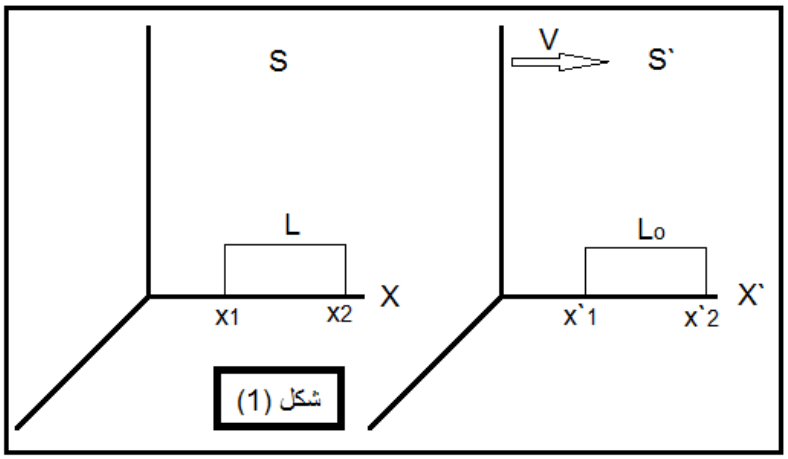
<u>ملاحظات على معادلات لورنتز – أينشتين:</u>

- نلاحظ أن الزمن (t') ليس مطلقا كما أشار من قبل جاليليو $(t=t')$ بل أنه يتوقف على المقدارين x و t .وهذا ما يؤكد أن أي حدث لابد من تمثيله بأربع إحداثيات للزمان و المكان (x, y, z,. t). بمعنى آخر في النسبية مفهوم كل من المكان والزمن ليسا منفصلان بل مرتبطان مع بعضهما
- إن معادلات تحويل جاليليو تعتبر حالة خاصة من معادلات تحويل لورنتز – أينشتين، حيث أنه عندما يكون $v << c$ فان معامل لورنتز $k \approx 1$ و كذلك $vx/c^2 \approx 0$ و بذلك تؤول معادلات لورنتز – أينشتين إلى معادلات جاليليو. و بذلك يمكننا القول أن تحويل لورنتز – أينشتين هو تحويل عام و يكون صحيحا في جميع الحالات بينما يقتصر استعمال تحويل جاليليو على السرعات العادية التي نستخدمها في حياتنا اليومية.

يلاحظ أيضا من معادلات تحويل لورنتز – أينشتين أنه لا توجد سرعة أكبر من سرعة الضوء لأن المقدار $\sqrt{\left[1 - v^2/c^2\right]}$ يصبح تخيليا عندما $v > c$

** يمكن استخدام تحويل لورنتس – اينشتين في الحصول على نتائج مهمة.

**تعتبر هذه النتائج مهمة في حالة السرعات الكبيرة والعالية والقريبة من سرعة الضوء مثل سرعة الجسيمات الاولية (الالكترونات والفوتونات وغيرها) من هذه النتائج الغريبة تقلص طول (او بعد) الجسم المتحرك باتجاه الحركة.



شكل (1)

قضيب طوله Lo بالنسبة لجملة الاسناد S`

عند قياسه من قبل مراقب موجود في جملة الاسناد S فانه يجد طوله L

** طول القضيب بالنسبة لمراقب موجود في جملة الاسناد S` :

$$L_o = x`_2 - x`_1 \dots\dots 32$$

حيث ان الطول الحقيقي للقضيب L_o.

بفرض ان القضيب موازي لمحور x` .

**فيحالة وجود المراقب في جملة الاسناد S فانه حسب تحويل لورنتس – اينشتين فان العلاقة بين احداثيات الجملتين:

$$x`_1 = K(x_1 - vt_1)$$

$$x`_2 = K(x_2 - vt_2)$$

بالتعويض في العلاقة 32 نحصل على:

$$L_o = x`_2 - x`_1 = K[(x_2 - x_1) - v(t_2 - t_1)] \dots 33$$

من تعريف طول القضيب بالقياس المتزامن للإحداثي السيني لطرفي القضيب يستلزم ان يكون $t_1=t_2$

** يصبح طول القضيب في جملة الاسناد S :

$$L_o = K(x_2 - x_1) \dots\dots 34$$

علماً ان طول القضيب في جملة الاسناد S هو:

$$L = (x_2 - x_1) \dots\dots 35$$

**بالتالي يكون :

$$L_o = KL = \frac{L}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \dots\dots 36$$

او :

$$L = L_o\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \dots\dots\dots 37$$

أي ان L_o اكبر من L.

** ان القضيب الذي يتحرك بالنسبة لمراقب بسرعة ثابتة مقدارها v يبدو له وكانه اقصر من طوله الحقيقي بمعامل مقداره:.

$$\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

** وتعرف هذه الظاهرة بتقلص لورنتس ولا يكون هذا التقلص الا في حالة السرعات العالية والقريبة من سرعة الضوء.

.....

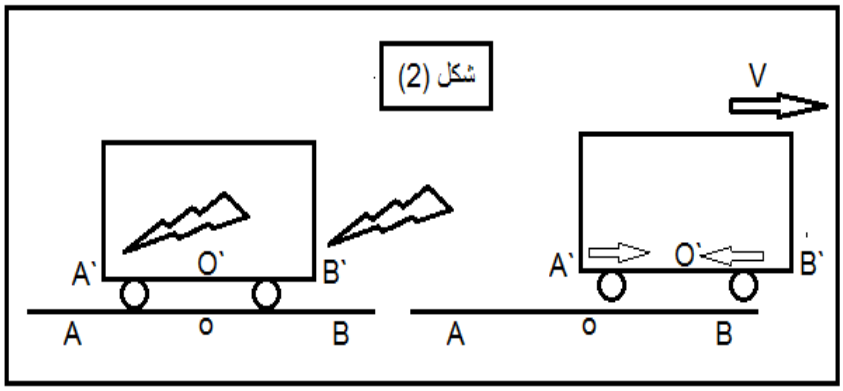
التزامنية(الأنية)

تعريف: اذا تزامن حدثان في جملة اسناد معينة فانهما ليس بالضرورة ان يتزامنا في جملة اسناد تتحرك بسرعة ثابتة بالنسبة للجملة الاولى.

مثال:

استخدم اينشتين التجربة الافتراضية التالية:

نفترض عربة تتحرك نحو الشرق بسرعة ثابتة، ضربت مقدمة ونهاية العربة بصاعقتين تركت اثار على بداية ونهاية العربة A` و B` كما في الشكل التالي كما تركت اثار على النقطتين المحاذيتين A و B على الشارع.



**بافتراض وجود مراقبين احدهما O موجود على الطريق في منتصف المسافة بين A و B.

**ومراقب اخر موجود في منتصف العربة `O، اذا قام المراقبين برصد الاشارات الضوئية للصاعقتين، واذا حدثت الصاعقتين في نفس اللحظة فان:

** المراقب O (بعده عن مكان حدوث الصاعقتين متساوي oA=oB وسرعة الضوء ثابتة) تصله الاشارات الضوئية في ان واحد (الصاعقتين متزامنتين).

** بالنسبة للمراقب `O الموجود في منتصف العربة الذي يتحرك بسرعة ثابتة نحو الصاعقة `B ويبتعد في نفس الوقت عن الصاعقة `A ، فان الاشارات الضوئية الصادرة من الصاعقة `B تصل قبل الاشارات الضوئية الصادرة من الصاعقة`A، بالتالي يكون حدوث الصاعقتين غير متزامن وهذا لا يتفق مع المراقب O.

.....

تمدد الزمن

**تبين معادلات لورنتس – اينشتين ان الزمن نسبي وليس مطلق كما افترض نيوتن وجاليلي فالفترة الزمنية التي تفصل بين حدثين تعتمد على حالة المراقب الذي يقيسها

مثال :

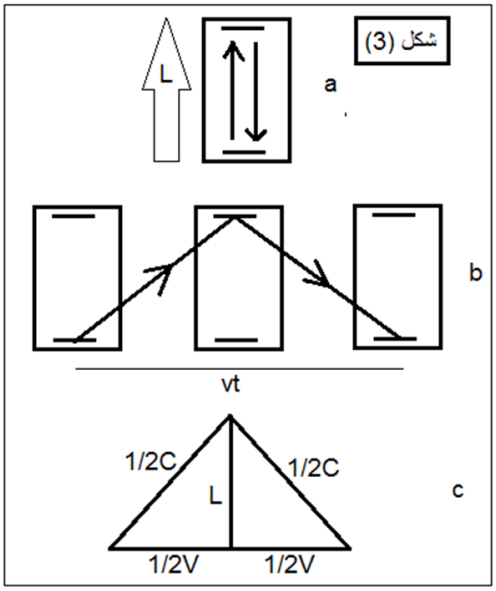
نفترض وجود مرآتين متوازيتين تفصل بينهما مسافة L ، اذا ارسلت اشارة ضوئية من المرآة الاولى فإنها تنعكس لتصل الى المرآة الاولى مرة اخرى، بالتالي تكون الفترة الزمنية بين ارسال الاشارة واستقبالها

هو:

$$t_o = \frac{2L}{c} \dots\dots\dots 38$$

حيث c سرعة الاشارة الضوئية

إذا ثبتت المرآتين داخل عربة بحيث تكون احداهما مقابلة للأخرى بشكل عمودي، بافتراض وجود مراقبين احدهما داخل العربة والاخر موجود على الارض.



يوضح الشكل 3:

a – مسار الشعاع كما يراه المراقب في العربة

b – مسار الشعاع كمات يراه المراقب الموجود على الارض

C- مثلث المسافات المقطوعة بعد مرور زمن t.

**بالنسبة للمراقب الموجود في العربة (جملة اسناد S`) فانه يتحرك مع العربة وتكون المرآتين ساكنة بالنسبة له، بالتالي فان الاشارة الضوئية قد قطعت المسافة 2L في رحلة الذهاب والعودة ،وتكون الفترة الزمنية:

$$t = \frac{2L}{c} \dots\dots\dots 39$$

** اما بالنسبة المراقب الموجود على الارض (جملة اسناد S) فانه من الشكل 3 (من مثلث المسافات المقطوعة) فان:

$$(\frac{t}{2}c)^2 = (\frac{t}{2}v)^2 + L^2 \dots\dots\dots 40$$

$$L^2 = \frac{t^2}{4}(c^2 - v^2)$$

ومنها نحصل على:

$$t = \frac{\frac{2L}{c}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \dots\dots\dots 41$$

من العلاقتين 41 و 39 نحصل على:

$$t = \frac{t_o}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = Kt_o \ldots\ldots\ldots 42$$

**بما ان K اكبر من 1 فان t اكبر من t_o، أي ان الزمن الظاهري اكبر من الزمن الحقيقي.

**تمدد الزمن وعمر الانسان:

اذا كانت الحركة تؤدي الى تمدد الزمن فإنها تؤدي ايضا الى التأثير على عمر الانسان فمثلا اذا سافر رائد فضاء الى احد النجوم البعيدة بسرعه (v=0.99c) وكان عمره 20 عام وامضى في سفره حسب تقويمه 5 سنوات المفترض انه يرجع وعمره 25 عاماً....فبحساب الفترة الزمنة التي قضاها في الفضاء حسب العلاقة 42 نجد ان:

* من العلاقتين 41 و 39 نحصل على:

$$t = \frac{t_o}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} == \frac{5}{\sqrt{1-\frac{(0.99c)^2}{c^2}}} = 35.4$$

**أي انه قضى 35 عام ، بالتالي يصبح عمره 55 عام.

**قد يكون التساؤل ما هو العمر الحقيقي للشخص؟؟؟

**لا يمكن تقديم اجابات قاطعة للأسباب التالية:

1- تخضع الساعات الذرية والجسيمات الاولية لظاهرة تمدد الزمن، ولايمكن الجزم بان الساعات البيولوجية(خلايا جسم الانسان) تخضع لظاهرة تمدد الزمن.

2- نظرية اينشتين تعالج جمل الاسناد العطالة وبالنسبة لمركبة الفضاء فلقد تسارعت عند الانطلاق ثم تباطأت عند الهبوط.

3- هذه التجربة خيالية ولا يمكن تطبيقها الا عند السرعات العالية جداً وهي مقصورة على الجسيمات الاولية، وبما انها تجربة غير ممكنة فلا يمكن تقديم اجابة قاطعة لها.

مثال / التوائم :

- إذا افترضنا وجود توأمين (A و B) على سطح الأرض و كان عمر كل منهما 20 عاما، فإذا افترضنا أن أحدهما (A مثلا) سافر إلى أحد النجوم بمركبة فضاء بسرعة 0.91c من سرعة الضوء ثم عاد إلى الأرض بعد ان قضى فترة زمنية مقدارها 5 سنوات (بحساب التوأم A)، فيكون عمره 25 عام. السؤال كم هو عمر أخيه التوأم الموجود على الأرض (B).للإجابة على هذا السؤال يجب حساب فترة الخمس سنوات بحسابات التوأم (B) وهى وفقا للمعادلة السابقة تكون:

$$t = \frac{5}{\sqrt{1-\frac{v^2}{C^2}}} = \frac{5}{\sqrt{1-0.8281}} = \frac{5}{\sqrt{0.1719}} = 12$$

و بذلك يكون عمر التوأم B هو 32 عاما و ليس 25 عاما مثل أخيه.

الى هنا انتهت المحاضرة الثانية

.....

المحاضرة الثالثة

معادلات تحويل السرعة النسبية

- نفترض جملة اسناد S` تتحرك بسرعة ثابتة u بالنسبة لجملة الاسناد S ، سرعة جسم P في جملة الاسناد S هي:

$$v_x = \frac{dx}{dt}, v_y = \frac{dy}{dt}, v_z = \frac{dz}{dt} \dots\dots 1$$

- المطلوب ايجاد سرعة الجسم بالنسبة لجملة الاسناد S` ،،،مركبات متجه سرعة الجسم P في جملة الاسناد S` هي:

$$v`_x = \frac{dx`}{dt`}, v`_y = \frac{dy`}{dt`}, v`_z = \frac{dz`}{dt`} \dots\dots 2$$

**بتفاضل معادلات لورنتس – اينشتين مع ملاحظة ان u مقدار ثابت:

$$dx` = K(dx - udt)$$

$$dy` = dy$$

$$dz` = dz$$

$$dt` = K\left(dt - \frac{u}{c^2}dx\right) \dots\dots 3$$

- بالتعويض من العلاقات 3 في العلاقة 2 نحصل على:

$$v`_x = \frac{dx`}{dt`} = \frac{dx - udt}{dt - (\frac{u}{c^2})dx} = \frac{v_x - u}{1 - (\frac{u}{c^2})v_x} \dots\dots 4$$

$$v`_y = \frac{dy`}{dt`} = \frac{dy}{K(dt - \frac{u}{c^2}dx)} = \frac{v_y}{K(1 - \frac{u}{c^2}v_x)} \dots\dots 5$$

$$v`_z = \frac{dz`}{dt`} = \frac{dz}{K(dt - \frac{u}{c^2}dx)} = \frac{v_z}{K(1 - \frac{u}{c^2}v_x)} \dots\dots 6$$

***تعتبر العلاقات الثلاث السابقة معادلات تحويل السرعة(أي مركبات السرعة من جملة الاسناد S الى جملة الاسناد S` ، يمكن الحصول على المعادلات العكسية لتحويل السرعة بتبديل مركبات السرعة مع بعضها ووضع u=-u أي ان:

$$v_x = \frac{v_x + u}{1 + (\frac{u}{c^2})v`_x} \dots\dots 7$$

$$v_y = \frac{v`_y}{K(1 + \frac{u}{c^2}v`_x)} \dots\dots 8$$

$$v_z = \frac{v`_z}{K(1 + \frac{u}{c^2}v`_x)} \dots\dots 9$$

***يلاحظ انه في حالة السرعات البطيئة مقارنة مع سرعة الضوء

$$u \ll c$$

فانه :

$$\frac{u}{c^2} \cong 0$$

تؤوول معادلات تحويل السرعة في هذه الحالة الى معادلات تحويل السرعة في النظرية النسبية القديمة (نسبية جاليلي ونيوتن)

.....

الكتلة النسبية (تغير الكتلة مع السرعة):

- الميكانيكا النسبية : هي تطبيق معادلات تحويل لورنتس-اينشتين على حركة الأجسام .
- الميكانيكا الكلاسيكية وضع أسسها كل من جاليلي ونيوتن،
- يمكن استخدام بعض علاقات الميكانيكا الكلاسيكية بمفهوم جديد يتماشى مع أسس النظرية النسبية.
- يمكن استخدام معادلة نيوتن في الحركة باستخدام المعادلة:

$$\vec{F} = \frac{\vec{dp}}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\vec{mv} \right)$$

حيث:

- P: كمية حركة الجسيم m المؤثر عليه القوة F
- الاختلاف الهام بين المعالجة النسبية ومعالجة نيوتن هي أن نيوتن اعتبر أن كتلة الجسم m خاصة من خواص الجسم التي لا تعتمد على حالة حركة الجسم، ولكنها في المعالجة النسبية دالة في السرعة ويمكن بالتالي كتابة أن:

$$m = m(v)$$

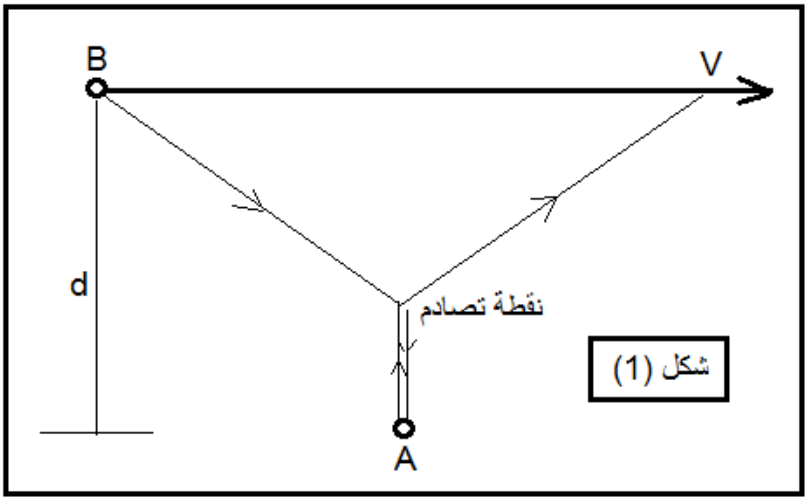
- سوف نستخدم بعض نتائج النظرية النسبية لتحديد طبيعة هذه العلاقة.

.....

الكتلة النسبية (تغير الكتلة مع السرعة):

- نفترض وجود شخص ساكن عند النقطة A يحمل كرة تامة المرونة كتلتها السكونية (mo) ويمثل هذا الطالب جملة الإسناد S . وشخص اخر B يتحرك من اليسار إلى اليمين (نحو الشرق) وعلى بعد عمودي من الطالب الأول مقداره d بسرعة ثابتة v ولديه كرة كتلتها السكونية (mo) ويمثل هذا الطالب جملة الإسناد S` .

(شكل 1)



- اتفق الشخصين على قذف الكرتين كل منهما نحو الاخر بسرعة u، يتم الاصطدام في منتصف المسافة العمودية بينهما $\frac{d}{2}$.

يلاحظ ان الشخص A تصطدم كرته وترجع له بعد زمن To (يعرف بزمن الطيران) وهو الزمن الذي تستغرقه الكرة منذ لحظة قذفها الى عودتها لنقطة القذف.

$$T_o = \frac{d}{u} \dots\dots 10$$

اما بالنسبة للشخص B الذي يمثل جملة اسناد S` تتحرك بسرعة v والموضح مسار قذف الكرة ووصولها حسب الشكل 1، فان زمن طيران الكرة الثانية:

$$T = \frac{d}{u`} \dots\dots 11$$

يلاحظ ان d لن تخضع لتقلص الطول . لماذا؟؟؟؟

لانها عمودية وتحقق علاقة التحويل y=y`.

يعطى تمدد الزمن :

$$T = \frac{T_o}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = KT_o \dots\dots 12$$

بالتعويض في العلاقة 11:

$$u` = \frac{d}{T} = \frac{d}{KT_o} = \frac{u}{K} = u\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \dots\dots 13$$

هذا يعني ان الشخص A يجد سرعة الكرة B لا تساوي u وانما اصغر من ذلك وهذا يعود الى تمدد الزمن .

بتطبيق قانون حفظ كمية التحرك:

$$m_o u + m(-u`) = m_o(-u) + mu` \dots\dots 14$$

حيث ان كمية التحرك قبل التصادم: m_o

كمية التحرك بعد التصادم : $m_o(-u) + mu`$

منها نحصل على:

$$m_o u = mu` \dots\dots 15$$

بالتعويض عن قيمة u` من العلاقة 13نحصل على:

$$m_o u = mu\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \dots\dots 16$$

ومنها نحصل على:

$$m = \frac{m_o}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = Km_o \ldots\ldots 17$$

حيث mo كتلة الجسم اثناء السكون او الكتلة السكونية، اماm فهي كتلة الجسم كما يقيسها مراقب يتحرك الجسم بالنسبة له بسرعة V وتعرف m بالكتلة النسبية، من العلاقة 17 يتضح ان كتلة الجسم تزداد بزيادة سرعته.

في حالة السرعات المنخفضة $v \ll c$.

فان $m = m_o$

وهذه النتيجة تتفق مع معادلات تحويل جاليلي و نيوتن.

يمكن كتابة معادلة الحركة في الميكانيكا النسبية على الصورة التالية:

$$F = \frac{dP}{dt} = \frac{d}{dt}(mv) = \frac{d}{dt}\frac{m_o v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \ldots\ldots 18$$

بالتالي تعرف كمية التحرك في النظرية النسبية بالعلاقة التالية:

$$P = \frac{m_o v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \ldots\ldots 19$$

ومعادلة الحركة في الميكانيكا النسبية تختلف عن معادلة الحركة في الميكانيكا الكلاسيكية والتي تكتب على الصورة التالية:

$$F = m\frac{dv}{dt} \ldots . (classic)$$

عندما c v فإن m وهذا يتناقض مع المنطق والتجربة العملية ، إذ أن الجسم الذي تكون كتلته لا نهائية لا يمكن تحريكه فكيف إذن تكون سرعته مساوية لسرعة الضوء؟ بالتالي يمكن الاستنتاج من ذلك أن النظرية النسبية تفترض بأن سرعة الضوء هي الحد الأقصى للسرعات ولا يمكن لسرعة الجسم المادي أن تزيد أو حتى أن تساوي سرعة الضوء.

تكون الزيادة في الكتلة ذات أهمية في حالة الجسيمات شبه الذرية (الالكترونات ، بروتونات .....) لأنها يمكن أن تتحرك بسرعة كبيرة ومتقاربة مع سرعة الضوء. أما الأجسام العيانية فإن سرعتها تكون صغيرة مقارنة مع سرعة الضوء وتكون بالتالي الزيادة في كتلتها صغيرة ومهملة.

طاقة الحركة النسبية:

تعرف طاقة الحركة النسبية E_K : بالعمل اللازم بذله لزيادة سرعة الجسم من الصفر وحتى سرعته النهائية V .

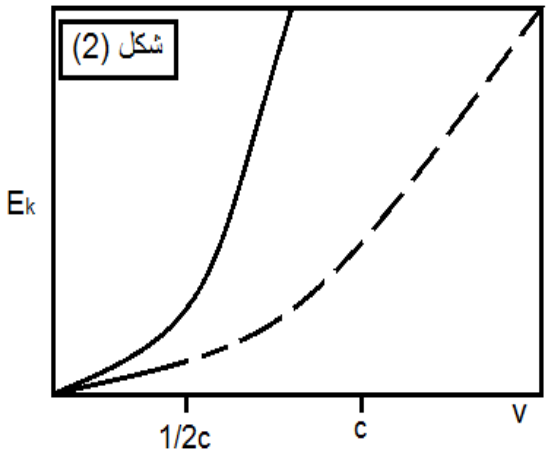
يمثل الشكل طاقة الحركة كدالة في سرعة الجسم كما تعطيها الميكانيكا الكلاسيكية (الخط المتقطع)

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

وطاقة الحركة النسبية (خط متصل)

$$E_k = \Delta mc^2$$

**يلاحظ ان الاختلاف يكون عند السرعات الكبيرة جداً اما عند السرعات المنخفضة يكون بينهما تقارب كبير.



الطاقة الكلية وكمية التحرك:

يمكن كتابة معادلة طاقة الحركة النسبية على الصورة التالية :

$$E_k = mc^2 - m_o c^2$$

$$E_k = E - E_o \ldots\ldots\ldots 27$$

**حيث ان الطاقة النسبية الكلية للجسيم المتحرك ($E = mc^2$)

**اما طاقة الجسيم في حالة السكون (طاقة الكتلة السكونية) تعطى بالعلاقة: ($E_o = m_o c^2$)

**ملاحظة: عندما $m_o = m$

تنعدم طاقة الحركة النسبية

*استخدم هذا المبدأ في الفيزياء النووية فعند التقاء الكترون مع بوزترون فانهما يختفيان ويظهر بدلا منهما طاقة على صورة اشعة جاما، تدل عملية الفناء على تحول الكتلة الى طاقة.

العلاقة التي تربط بين الطاقة الكلية وكمية التحرك:

من العلاقة 17:

$$m = \frac{m_o}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \dots 17$$

يمكن ان تكتب بالشكل:

$$m^2 = \frac{{m_o}^2 c^2}{c^2 - v^2}$$

ومنها:

$$m^2c^2 - m^2v^2 = {m_o}^2 c^2$$

عند ضرب جميع الحدود بـ ^{2}

$$m^2c^4 - m^2c^2v^2 = {m_o}^2 c^4$$

$$E^2 - P^2c^2 = {E_o}^2$$

ن العلاقة 17:

$$P = \frac{\sqrt{E^2 - {E_o}^2}}{c} \dots\dots\dots 28$$

تمثل العلاقة 28 العلاقة بين طاقة الجسيم الكلية كدالة في كمية حركته.

الى هنا انتهت المحاضرة الثالثة

.....

المحاضرة الرابعة

السلوك الجسيمي للإشعاع الكهرومغناطيسي الفوتونات:

تفاعل الإشعاع مع المادة:

- يقصد بتفاعل الإشعاع مع المادة التأثير الذي يحدثه الإشعاع في المادة أو التأثير المتبادل بين الإشعاع والمادة.

- سوف يتم التركيز هنا على الأشعة الكهرومغناطيسية ذات الطاقة العالية، أي التي تزيد طاقتها عن عدة ev وتشمل الأشعة الفوق بنفسجية UV والأشعة السينية وأشعة جاما.
- تتفاعل الفوتونات مع المادة من خلال فقدان لكامل طاقتها أو فقدان جزء من طاقتها خلال المادة.
- هنالك ثلاث طرق مختلفة يمكن للفوتونات أن تتفاعل بها مع المادة .

طرق تفاعل الاشعاع مع المادة :

يعتمد نوع التفاعل بين الإشعاع والمادة على طاقة الفوتونات وطبيعة المادة وينقسم إلى ثلاث طرق :

1- التأثير الكهروضوئي Photoelectric effect

تحدث هذه الظاهرة عند سقوط فوتونات الأشعة الكهرومغناطيسية بطاقة مناسبة على سطح بعض المعدن، يمنح الفوتون الساقط كل طاقته لالكترونات المعدن وبذلك يفنى هذا الفوتون و تنطلق الإلكترونات من السطح حاملة كل الطاقة وتسمى بالالكترونات الضوئية. (تحدث عند الطاقات المنخفضة نسبياً) .

2- أثر كومبتون Compton effect

تحدث هذه الظاهرة عند تصادم الفوتون مع إلكترون ساكن فيفقد الفوتون بعض من طاقته ويمنحها لأحد الإلكترونات الحرة أو ضعيفة الارتباط بالذرة وبالتالي يكتسب هذا الإلكترون طاقة حركة ليتحرر بها من المادة أما الفوتون الساقط فينحرف عن مساره بطاقة أقل (تحدث عند الطاقات المتوسطة).

3- انتاج الأزواج Pair production

يحدث هذا التفاعل عندما يقترب فوتون طاقته عالية من مجال نواة قوي فيختفي هذا الفوتون (أي يتلاشى وينعدم) ويظهر بدلا منه زوج إلكترون – بوزيترون (يحدث عند الطاقات العالية).

(التأثير الكهروضوئي Photoelectric effect):

- اكتشف هيرتز الظاهرة الكهروضوئية بطريقة غير مباشرة، حيث قام بإجراء مجموعة من التجارب استطاع من خلالها تأكيد وجود الأمواج الكهرومغناطيسية التي تنبأ بها ماكسويل.
- وتبين لهيرتز عندما كان يدرس خصائص الأمواج أن سقوط الأشعة الفوق بنفسجية على أقطاب أنبوبة التفريغ الكهربائي يسهل عملية التفريغ .

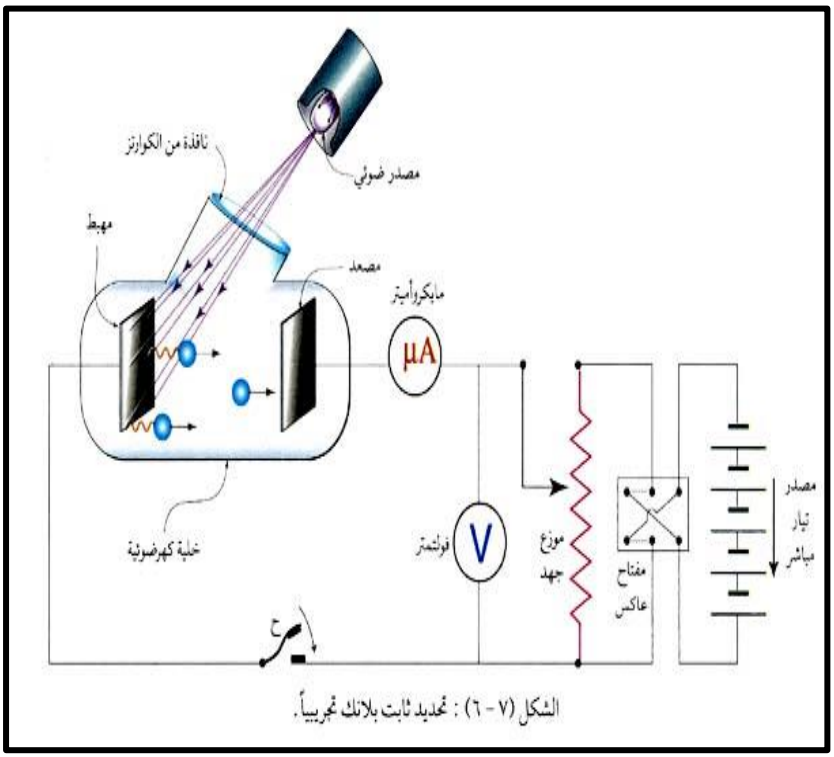
- تبين فيما بعد أن جسيمات مشحونة تنطلق من سطح القطب عند سقوط الأشعة الفوق بنفسجية عليه.
- تمكن لينارد من الكشف عن هذه الجسيمات المشحونة وبين من خلال قياس النسبة بين شحنة وكتلة هذه الجسيمات بأن هذه الجسيمات عبارة عن الكترونات.
- أطلق على ظاهرة انطلاق الالكترونات من سطح المعدن عند سقوط الأشعة الكهرومغناطيسية المناسبة اسم الظاهرة الكهروضوئية.

الجهاز المستخدم لدراسة الظاهرة الكهروضوئية:

يوضح الشكل التالي الجهاز المستخدم لدراسة الظاهرة الكهروضوئية

يتكون الجهاز من أنبوبة زجاجية مفرغة من الهواء ومزودة بنافذة من الكوارتز وذلك لأن الزجاج يمتص معظم الأشعة المستخدمة قبل وصولها للسطح المعدني.

تحتوي الأنبوبة على مصعد ومهبط متصلان خارج الأنبوبة بأميتر وفولتميتر لقياس كل من شدة التيار وفرق الجهد على التوالي.



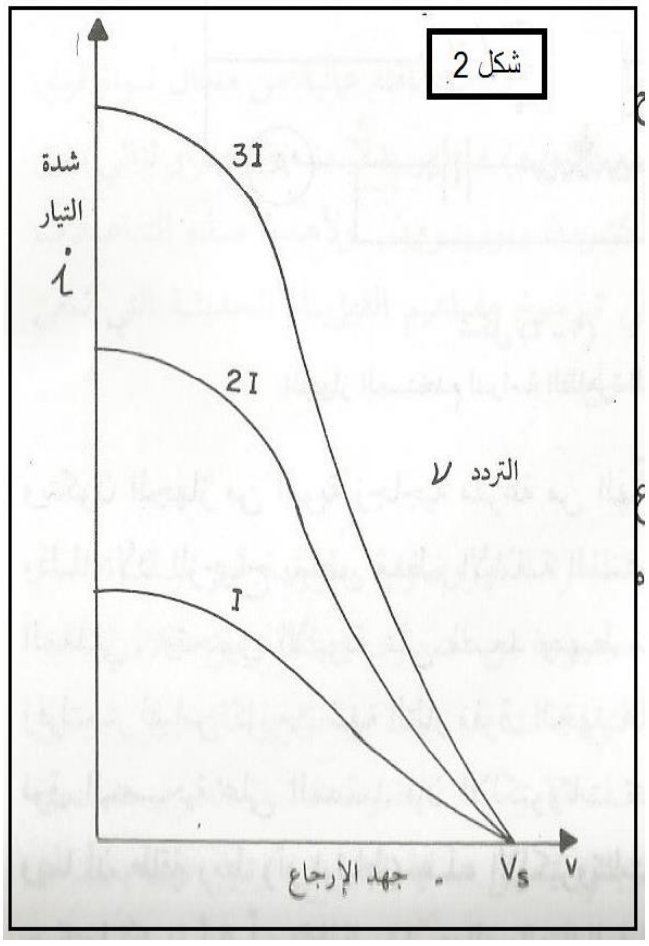
الشكل (٧ - ٦) : تحديد ثابت بلانك تجريبياً.

عند سقوط الأشعة فوق البنفسجية على مصعد الخلية الكهروضوئية فإن الالكترونات تنطلق نحو المهبط ذو الجهد السالب وقد يرد بعض الالكترونات ذات الطاقة المنخفضة ويسمى بجهد لإرجاع retarding pot ومع زيادة هذا الجهد تقل عدد الالكترونات التي تتمكن من الوصول للمهبط بالتالي تقل شدة التيار الكهربي، وإذا ما زيد جهد الإرجاع تدريجيا فان شدة التيار تتناقص بصورة تدريجية.

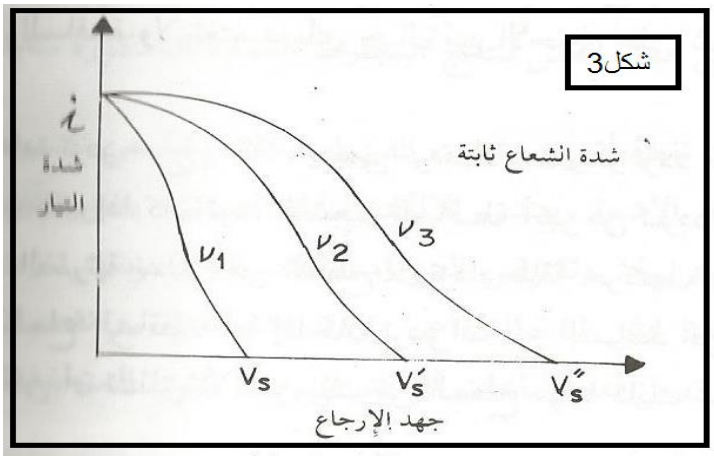
وتعرف قيمة جهد الإرجاع الذي تنعدم عندها شدة التيار بجهد الإيقاف Vs stopping pot وتكون الطاقة eV_s مساوية لطاقة الحركة العظمى للإلكترونات المنطلقة من السطح:

$$K_{max}=1/2mv^2_{max}=eV_s$$

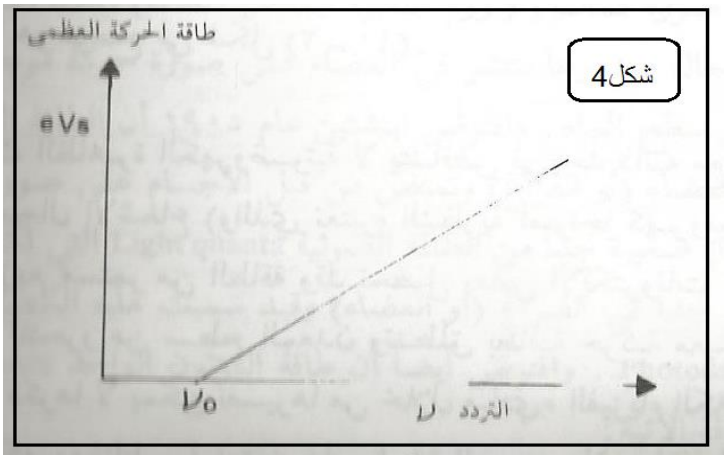
عند دراسة العلاقة بين شدة التيار وجهد الإرجاع لثلاثة أشعة لها نفس التردد ومختلفة في الشدة يلاحظ أن جهد الإيقاف في الحالات الثلاث لها نفس القيمة وبالتالي فإن طاقة الحركة العظمى للالكترونات في الحالات الثلاث متساوية. مما يدل على أن طاقة الحركة العظمى للإلكترون تعتمد على تردد الإشعاع ولا تعتمد على شدته كما تشير له النظرية الكلاسيكية.



كما يبين الشكل (3) العلاقة بين شدة التيار وجهد الارجاع عند تثبيت شدة الاشعاع الساقط وتغيير تردده حيث يلاحظ من الشكل ان جهد الايقاف يزداد بزيادة تردد الشعاع الساقط.



**يتضح من الشكل (4) العلاقة الخطية بين تردد الشعاع الساقط وطاقة الحركة العظمى للإلكترونات الساقطة (جهد الايقاف)



يمكن تلخيص النتائج التجريبية للظاهرة الكهروضوئية كما يلي:

- تعتمد طاقة حركة الالكترونات العظمى المنطلقة من سطح معدن معين على تردد الأشعة الساقطة ولا تعتمد بأي حال من الأحوال على شدة الشعاع الساقط.
- يوجد لكل مادة تردد حرج ν_0 يسمى تردد الإصدار أو ترد العتبة ،وإذا كان تردد الأشعة الساقطة أكبر من تردد العتبة فإن الالكترونات الضوئية تنطلق من السطح، وتزداد طاقة حركتها العظمى مع زيادة تردد الشعاع الساقط. أما إذا كان تردد الشعاع الساقط أقل من تردد العتبة فلا يمكن أن تنطلق الالكترونات من السطح مهما كانت شدة الشعاع عالية.

- تحدث عملية الإصدار(الإشعاع) مباشرة عند سقوط الشعاع ومهما كانت شدته ضعيفة. حيث تبين التجارب أن الزمن بين سقوط الشعاع وصدور الالكترونات لا يمكن أن يزيد عن 10^{-9} ثانية مهما كانت شدة الشعاع ضعيفة وتتناسب شدة التيار (عدد الالكترونات في الثانية) وعند ثبوت التردد مع شدة الشعاع الساقط . في حين أن الفيزياء الكلاسيكية تفترض وجود فترة زمنية بين سقوط الشعاع وصدور الالكترونات وتزداد الفترة مع نقصان شدة الشعاع.

حدوث الظاهرة الكهروضوئية لا يتناقض في حد ذاته مع الفيزياء الكلاسيكية. فمجال الإشعاع والذي تعتبره النظرية أمواجاً كهرومغناطيسية يحتوي على توزيع مستمر من الطاقة وقد تحصل بعض الالكترونات على جزء كاف من الطاقة لتتحرر من سطح المعدن وتنطلق بطاقة حركة معينة.

ولكن الحقائق السابق ذكرها لا يمكن تفسيرها من خلال مبادئ الفيزياء الكلاسيكية. فطاقة الموجة الكهرومغناطيسية تعتمد على شدة المصدر ولا علاقة لها بتردد الأشعة ويجب أن تعتمد طاقة حركة الالكترونات الصادرة بالتالي على شدة الشعاع وليس على تردده.

ويمكن توضيح ذلك بأن المجال الكهربائي للإشعاع يسبب حركة اهتزازية للإلكترونات الذري في سطح المادة، وإذا كانت شدة الشعاع وفترة التعرض مناسبتين فإن بعض هذه الالكترونات قد تكتسب ما يكفي من الطاقة لتحررها وانطلاقها من السطح بطاقة حركة تعتمد على شدة الشعاع . ولكن هذا متناقض لنتائج التجارب العلمية المذكورة سابقا.

هنالك نقطة أخرى عجزت الفيزياء الكلاسيكية عن تفسيرها وهي حدوث عمليتي سقوط الأشعة وصدور الالكترونات الضوئية بصورة آنية ضمن حدود القياسات التجريبية. وتفترض الفيزياء الكلاسيكية وجود فترة زمنية بين السقوط والصدور تعتمد على شدة الشعاع . وتزداد هذه الفترة مع نقصان شدة الشعاع الساقط. وقد تصل لعدة ساعات أو أكثر في حالة الشدة المنخفضة.

.....

نظرية اينشتين الكمية: الفوتونات:

استخدم اينشتين أفكار بلانك لتفسير الظاهرة الكهروضوئية حيث افترض أن الأشعة الكهرومغناطيسية تصدر من جدران الجسم الأسود على صورة كمات (رزم صغيرة جدا من الطاقة) وسميت هذه الكمات فيما بعد بالفوتونات.

افترض أن طاقة الفوتون الواحد تتناسب مع تردده حسب العلاقة الآتية:

$$E = h\nu$$

الفوتون جسيم أولي حقيقي يتكون من كمه صغيرة من الطاقة ولا يمكن بالتالي اعتباره جسيما ماديا. ورغم أن كتلته معدومة إلا أنه يسلك في بعض الأحيان سلوك الجسيمات المادية . وسرعة الفوتون في الفراغ تساوي دائما سرعة الضوء.

عند سقوط الفوتون على سطح المعدن فإن أحد الالكترونات الذرية يمتصه كلية، ويستخدم الإلكترون جزء من طاقة الفوتون للتخلص من ارتباطه بالمادة ويكتسب الباقي على صورة طاقة حركة ينطلق بها من سطح المادة أي أن:

**من العلاقة 4 نحصل على:

$$\varphi_0 = h\nu_0$$

**وتصبح العلاقة 4 بالشكل:

$$K_{max} = h\nu - h\nu_0 \dots\dots 5$$

يلاحظ من هذه المعادلة أن العلاقة بين تردد الشعاع الساقط وطاقة الحركة العظمى للالكترونات الضوئية هي علاقة خطية كما بينت التجارب العملية. ويمكن برسم العلاقة بين تردد الأشعة الساقطة وطاقة الحركة العظمى للالكترونات التي يمكن حسابها بجهد الإيقاف الحصول على خط مستقيم ويمكن حساب ثابت بلانك من ميل هذا الخط. كذلك يمكن تعين دالة عمل المعدن وتردد العتبة للمادة عملياً (انظري الجدول 2-1 في الكتاب صفحة 100).

أجرى ميليكان مجموعة من التجارب الدقيقة على هذه الظاهرة وأكد نظرية اينشتين الكمية وتمكن كذلك من حساب ثابت بلانك ، وقد حصل على قيمة متقاربة جدا من القيمة التي كان قد عينها بلانك نفسه من نظرية إشعاع الجسم الأسود إذ حصل على القيمة التالية:

$$h=6.54x10^{-34}J.S$$

العملية العكسية للظاهرة الكهروضوئية أيضا صحيحة. ففي الظاهرة الكهرووئية تصدر الالكترونات نتيجة لسقوط الفوتونات على المادة . وفي العملية العكسية تصدر الفوتونات بطاقات مختلفة من المادة نتيجة لسقوط الالكترونات السريعة عليها.

في الحقيقة فإن هذه الطريقة هي الطريقة المستخدمة في إنتاج أو توليد الأشعة السينية .

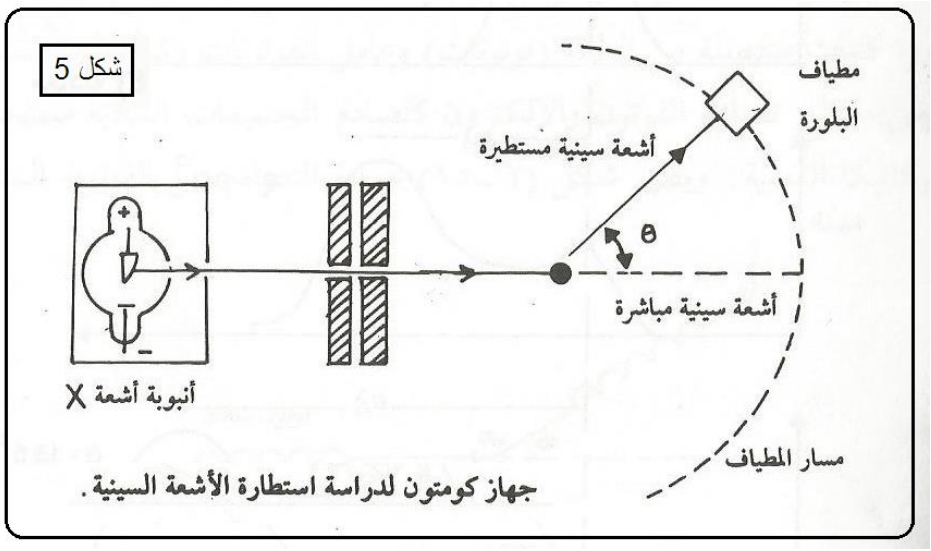
.....

ظاهرة كمبتون The Compton Effect

**بعد اكتشاف الاشعة السينية بواسطة روتنجن استقطبت هذه الاشعة اهتمام الكثير من الباحثين، كان طومسون اول من درس استطارة (تشتت) الاشعة السينية خلال المواد، كما تمكن كل من فون لاو ومن بعده براغ من ابتكار جهاز يستخدم لدراسة تشتت الاشعة السينية وقياس الطول الموجي المصاحب لها باستخدام ما يعرف بمطياف البلورة.

**استخدم كمبتون هذا الجهاز في دراسة استطارة الاشعة السينية بعد سقوطها على بلورة من الجرافيت، كانت تجربة كمبتون برهان على الطبيعية الجسيمية للأشعة السينية وبالتالي اكد فرضية اينشتين التي استخدمها في تفسير الظاهرة الكهروضوئية.

يوضح الشكل المطياف البلوري المستخدم
جهاز كومبتون لدراسة استطارة الأشعة السينية

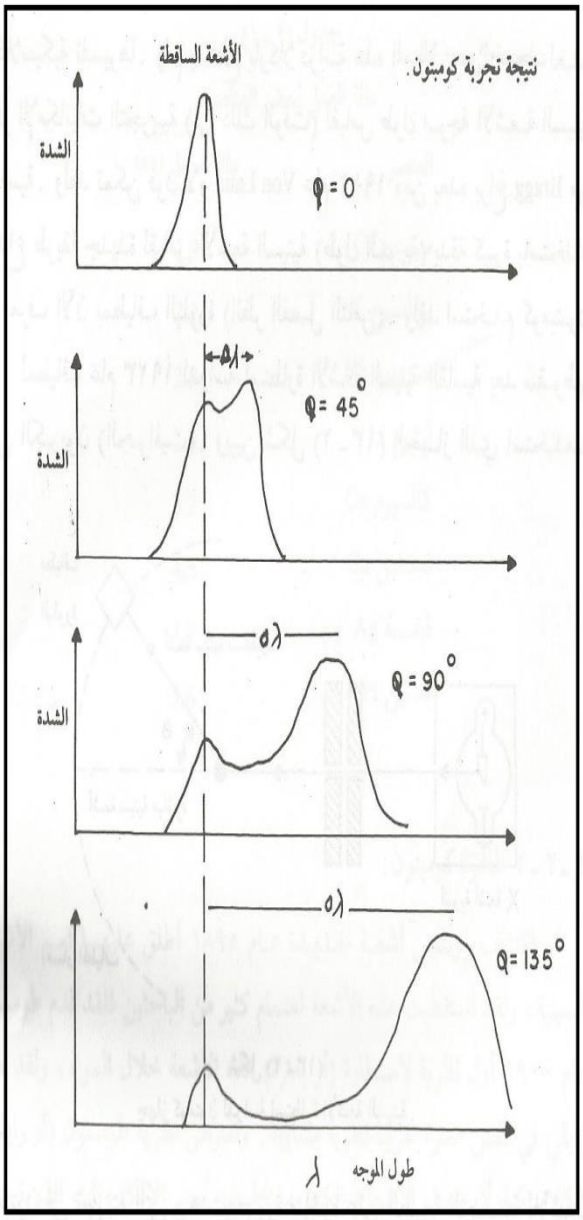


يتكون الجهاز من أنبوبة لتوليد الأشعة السينية يمكن الحصول منها على شعاع وحيد الطاقة ويسلط هذا الشعاع خلال مسدات مناسبة على قطعة من الجرافيت. يوجد كذلك مطياف بلوري يمكن أن يتحرك على محيط دائرة تكون قطعة الجرافيت في مركزها.

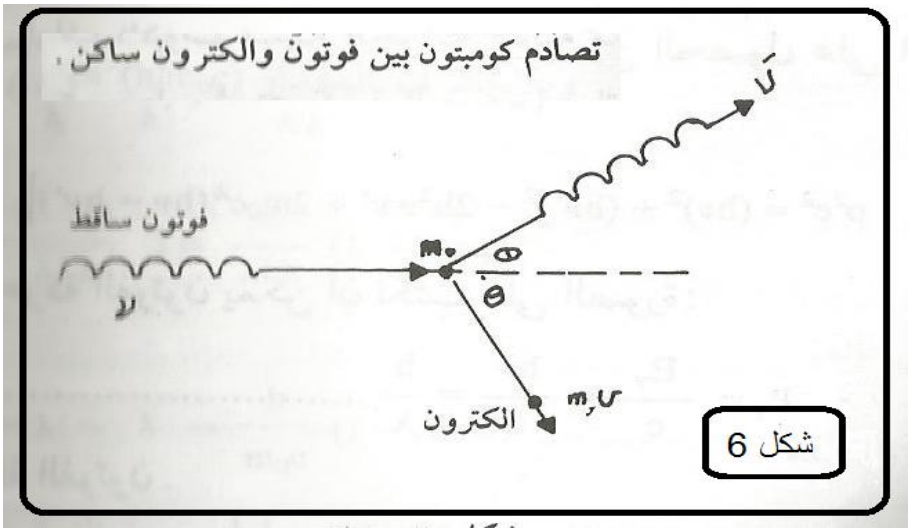
**وجد كمبتون ان الاشعة المستطيرة تتكون من مركبتين احدهما لها نفس الطول الموجي للاسعه الساقطة والاخرى انزاحت الى الطاقات المنخفضة (زيادة في طولها الموجي) ويعتمد مقدار الازاحة على زاوية الاستطارة.
**لقد وجد كمبتون ان الازاحة في طول الموجة (ازاحة كمبتون)تتناسب مع $sin^2 \varphi/_2$

**وثابت التناسب يساوي $4.8 \times 10^{-12} m$
**هذه الازاحة لا تعتمد على نوع المادة التي تسقط عليها الاشعة السينية.
**وقد استخدم كمبتون افكار اينشتين وبلانك في تكميم الطاقة لتفسير هذه الظاهرة.

** اعتبر كمبتون الفوتونات جسيمات ودرس تصادم الفوتون والالكترون كتصادم جسيمات مادية مستخدم الميكانيكا النسبية.



يوضح الشكل تصادم كومبتون بين فوتون والكترون ساكن



يوضح الشكل 6 عملية التصادم بين الفوتون الساقط الذي تردده v مع الإلكترون الساكن m_o واعتبر في معالجته أن الإلكترون ساكن وحر، وهذا تقريب مقبول لأن طاقة الأشعة السينية (أكثر من 100 كيلو إلكترون فولت) أكبر كثيرا من طاقة ربط الالكترونات الذرية الخارجية (في حدود الإلكترون فولت).

**باستخدام مبدأ حفظ الطاقة والكتلة:

$$h\nu + m_o c^2 = h\acute{\nu} + mc^2 \dots\dots\dots 6$$

**من علاقة الطاقة الكلية النسبية نجد ان:.

$$h\nu + m_o c^2 = h\acute{\nu} + \sqrt{P^2c^2 + {m_o}^2c^4} \dots\dots\dots 7$$

حيث ان P كمية التحرك للإلكترون بعد التصادم.

وطاقة الالكترون الكلية قبل التصادم تساوي $m_o c^2$

طاقة الالكترون الكلية بعد التصادم mc^2

**تكتب العلاقة 7 بالشكل:

$$h(\nu - \acute{\nu}) + m_o c^2 = \sqrt{P^2c^2 + {m_o}^2c^4} \dots\dots\dots 8$$

بتربيع العلاقة 8 نحصل على:

$$P^2c^2 = (h\nu)^2 + (h\acute{\nu})^2 - 2h^2\nu\acute{\nu} + 2m_o c^2 h(\nu - \acute{\nu}) \dots 9$$

**تكتب كمية التحرك للفوتون:.

$$P = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \dots\dots 10$$

**تطبيق قانون حفظ كمية التحرك في اتجاه حركة الفوتون:

$$\frac{h\nu}{c} = \frac{h\acute{\nu}}{c} cos\varphi + Pcos\theta \dots\dots 11$$

حيث P كمية تحرك الالكترون بعد التصادم وبتطبيق قانون حفظ كمية التحرك في اتجاه عمودي على اتجاه الحركة:

$$0 = \frac{h\acute{\nu}}{c} sin\varphi - Psin\theta \dots\dots 12$$

بضرب العلاقتين 11 و 12 بسرعة الضوء وترتيب الحدود نحصل على:

$$Pc\, cos\theta = h\nu - h\acute{\nu}cos\varphi$$

$$h\acute{\nu}sin\varphi = Pc\, sin\theta$$

بتربيع العلاقتين والجمع نحصل على:

$$P^2c^2 = (h\nu)^2 + (h\acute{\nu})^2 - 2h^2\nu\acute{\nu}cos\boldsymbol{\varphi} \dots\dots 13$$

*بمقارنة العلاقتين 9 و 13 نحصل على:

$$m_oc^2(\nu - \acute{\nu}) = h\nu\acute{\nu}(1 - cos\varphi) \dots..14$$

تكتب العلاقة 14 بدلالة طول الموجة:

$$m_oc^3\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\acute{\lambda}}\right) = \frac{hc^2}{\acute{\lambda}\lambda}(1 - cos\varphi)$$

$$m_oc\left(\frac{\acute{\lambda} - \lambda}{\acute{\lambda}\lambda}\right) = \frac{h}{\acute{\lambda}\lambda}(1 - cos\varphi)$$

ومنها نحصل على:

$$\Delta\lambda = \acute{\lambda} - \lambda = \frac{h}{m_oc}(1 - cos\varphi) \dots..15$$

تعطي العلاقة 15 الازاحة في طول موجة الفوتون بعد تصادمه مع الالكترون الساكن.

**المقدار $\frac{h}{m_oc}$

هو مقدار ثابت يعرف بطول موجة كمبتون للإلكترون ويساوي:

$$\lambda_c = \frac{h}{m_oc} = 0.024^oA$$

*بما ان:

$$2\ sin^2\frac{\varphi}{2} = (1 - cos\varphi)$$

فان العلاقة 15 تكتب على الشكل:

$$\Delta\lambda = 4.8x10^{-12}sin^2\frac{\varphi}{2} \dots..16$$

** تفسر العلاقة 16 نتائج كمبتون التجريبية حيث يلاحظ ان الازاحة في طول موجة الاشعة السينية الساقطة تتناسب مع $sin^2\frac{\varphi}{2}$

وثابت التناسب $4.8x10^{-12}m$

**وتفسر العلاقة 16 وجود مركبة الاشعة التي انزاحت بالمقدار $\Delta\lambda$

عن طول الموجة الساقطة.

إنتاج الزوج:

**وجد ديراك ان طاقة الالكترون النسبية الكلية هي:

$$E = \pm\sqrt{m_o{}^2c^4 + P^2c^2} \ldots\ldots\ldots 17$$

**تبين العلاقة 17 ان حالات الطاقة الموجبة للإلكترونات تمتد من $+m_oc^2$ الى $+\infty$
بينما تمتد حالات الطاقة السالبة من $-m_oc^2$ الى $+\infty$

**وفي حالة السكون طاقته تساوي اما $+m_oc^2$ او $-m_oc^2$

الإلكترون وكأي جسم أو نظام يحاول أن يجعل طاقته أقل ما يمكن ليصل إلى حالة الاستقرار ولذلك فإن جميع الالكترونات يجب أن تتواجد في أقل مستوى للطاقة أي في المستوى سالب مالانهاية .

فما السبب في تواجد الالكترونات في مستويات الطاقة الموجبة؟

افترض ديراك لحل هذه المشكلة أن جميع مستويات الطاقة السالبة تكون مشغولة ببحر من الالكترونات التي لا يمكن الكشف عنها، بالتالي فإن الالكترونات الموجودة في مستويات الطاقة الموجبة لا يمكنها الانتقال لهذه المستويات لأنها مشغولة بالالكترونات .

افترض ديراك لتفسير وجود الطاقة السالبة أن هذه الطاقة لجسيم موجب الشحنة الكهربائية واقترح أن تكون للبروتونات.

سرعان ما تبين خطأ ذلك لان كتلة البروتون أكبر بكثير من كتلة الإلكترون .

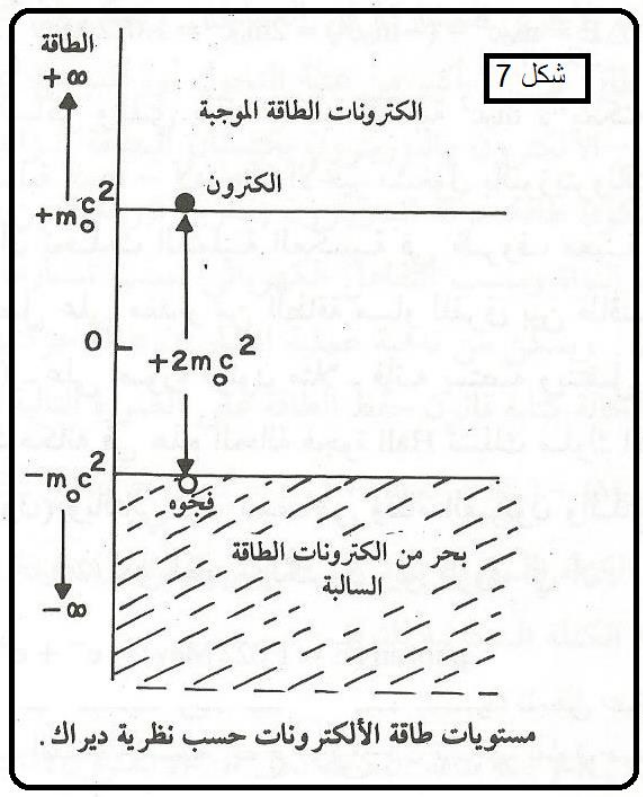
بالتالي مستويات الطاقة تخص جسيم له كتلة الإلكترون السكونية ولكن شحنته موجبة وليست سالبة.

اكتشف اندرسون وجود هذا الإلكترون الموجب في الأشعة الكونية ويعرف هذا الجسيم الآن **بالبوزيترون** وهو جسيم يشبه الإلكترون العادي في جميع خواصه ومساوي لكتلة الإلكترون إلا أن شحنته موجبة ، والبوزيترون جسيم لا يعيش طويلا لأن فترة عمر النصف له صغيرة جدا حوالي 3 دقائق أي أنه ينحل بحيث تتحول كتلته إلى طاقة أي إلى فوتون إشعاع قاما طاقته 0.511 MeV

**فرق الطاقة بين مستوى طاقة الالكترون ومستوى طاقة البوزيترون في حالة السكون:

$$\Delta E = m_oc^2 - (-m_oc^2) = 1.022MeV$$

**الالكترون الساكن والذي طاقته النسبية $m_o c^2$ لا يمكنه الانتقال الى مستوى الطاقة السالبة $-m_o c^2$ لأنها مشغولة بالبوزيترونات بصورة دائمة. شكل 7

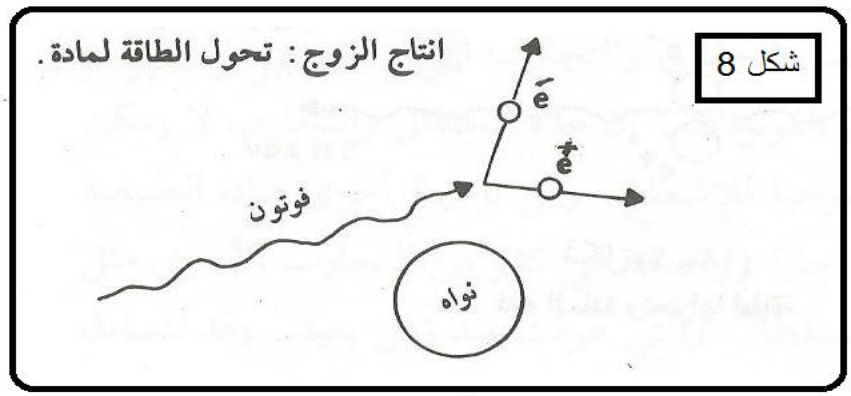


شكل 7
مستويات طاقة الألكترونات حسب نظرية ديراك.

**في ظروف معينة ممكن ات تحدث العملية العكسية، فاذا حصل البوزيترون على كمية كافية من الطاقة مساوية للفرق بين طاقته وطاقة الالكترون $2m_o c^2 = 1.022MeV$

فان البوزيترون يمتص هذه الطاقة وينتقل الى مستوى الطاقة الموجبة ويترك مكانه فجوة تسلك سلوك الالكترون الموجب (البوزيترون)، بالتالي فان امتصاص وفناء الفوتون الذي طاقته تساوي $2m_o c^2 = 1.022MeV$

ادى الى ظهور الكترون وبوزيترون.(تعرف هذه العملية بانتاج الزوج)شكل 8



تعرف هذه العملية بعملية إنتاج الأزواج لأن ناتجها يكون دائما مكون من زوج من الجسيمات المادية.

يلاحظ أن هذه العملية تحقق قانون حفظ الطاقة إذ إن الطاقة قبل العملية تساوي كمية الطاقة بعد العملية والتي تساوي ضعف طاقة الكتلة السكونية للإلكترون .

أما إذا كانت طاقة الفوتون أقل من ذلك فإن هذه العملية لا يمكن أن تحدث .

يلاحظ أن قانون حفظ الشحنة الكهربائية محقق أيضا في هذه العملية إذ أن الشحنة معدمة قبل التحول (الفوتون غير مشحون) أما الشحنة الناتجة بين التحول فمكونة من شحنتين متساويتين في المقدار ومختلفتين في الإشارة وبالتالي فإن مجموع الشحنة بعد العملية يساوي الصفر.

**البوزيترون جسيم غير مستقر ولا يدخل في تركيب المادة كما هو الحال بالنسبة للإلكترونات ويفقد البوزيترون طاقته داخل المادة بسرعة اذا التقى بالإلكترون في وضع سكون تقريبي فانهما يفنيان ويتلاشيان في عملية معاكسة لإنتاج الزوج تسمى بفناء الزوج ويظهر بدلاً عنهما زوج من فوتونات اشعة جاما.

**باستخدام مبدأ ثبوت الطاقة:

$$2m_o c^2 = h\nu_1 + h\nu_2 \dots 18$$

تؤدي عملية التفاعل بين الفوتون والمادة لامتصاص الفوتون خلال المادة وبالتالي لنقصان في طاقة أو شدة شعاع الفوتون، ويمكن بيان أن شدة شعاع الفوتون يتناقص داخل المادة كدالة اسية على الصورة التالية:

$$I = I_o e^{-\mu x}$$

حيث :

I : شدة الشعاع بعد قطعه مسافة X داخل المادة

I_O : شدة الشعاع الأصلي (قبل دخول المادة عند X=0)

μ : معامل الامتصاص الخطي للمادة والناتج عن عمليات التفاعل الثلاث.

الى هنا انتهت المحاضرة الرابعة

.....

المحاضرة الخامسة

الامواج المادية ومبدأ اللايقين:

**تم في الفصل السابق مناقشة السلوك المزدوج للإشعاع حيث تبين ان الضوء الذي كان يعتبر ظاهرة موجية بحته يسلك في ظروف معينة سلوك الجسيمات المادية على صورة ما يعرف الان بالفوتونات.

حيث تعطى طاقة الفوتون الواحد:

$$E = h\nu \dots\dots 1$$

كما يمكن ان تكتب طاقة الفوتون بالشكل:

$$E = mc^2 = mc.c = Pc \dots\dots 2$$

حيث ان Pو m كمية تحرك الفوتون وكتلته على التوالي.

* من العلاقتين السابقتين نحصل على:

$$Pc = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

وبالتالي فإن العلاقة بين كمية حركة الفوتون p وطول موجته هي:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mc} \rightarrow 3$$

تعتبر هذه المعادلة على بساطتها ذات أهمية عظيمة إذ تربط بين خصائص الفوتون الموجية وخصائصه الجسيمية

بمعنى:

من هذه المعادلة نرى أن الطول الموجي وهو خاصية للموجات، يمكن التعبير عنه بكمية الحركة وهو خاصية للجسيمات أي أن الفوتون أو الإشعاع يسلك سلوك مزدوج موجي جسيمي فهو موجات لها طول موجي و يحقق خواص الموجات مثل التداخل والحيود وغيرها وهو جسيمات لها كمية حركة ويحقق خواص الجسيمات كما في ظاهرتي كمبتون والكهروضوئية ويظهر أي من السلوكين تبعا لنوع التفاعل

كان العالم دي برولي أول من طرح فكرة ازدواجية سلوك المادة واقترح بناء على ازدواجية الضوء ازدواجية في سلوك الجسيمات المادية كالإلكترونات وافترض أن الالكترونات (وبقية الجسيمات المادية) تصحبها موجة تعرف بموجة دي برولي أو موجة المادة matter wave، فلو تحدثنا عن جسيم له كتلة m وكمية الحركة mv ، فإن طول الموجة المصاحبة للجسيم المادي تتناسب تناسبا عكسيا مع كمية حركة الجسيم بصورة مشابهة للفوتون أي أن طولها الموجي يعطى بالعلاقة الآتية:

$$\lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{mv} \dots\dots 4$$

حيث ان m و V كتلة وسرعة الجسم المادي و P كمية حركته.

** كما تعطى الكتلة m بالعلاقة:

$$m = \frac{m_o}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \dots\dots\dots\dots 5$$

في حالة السرعات العالية

سرعة موجة دي برولي:

** سنقوم بدراسة خصائص الموجة المصاحبة للجسم المادي (الموجة المادية) التي قد تظهر في ظروف معينة بدلاً من الجسم المادي.

** بمراجعة بعض خصائص الامواج، حيث تعطى الموجة المستوية بالعلاقة:

$$y = A\cos(wt - kx) \dots\dots\dots 9$$

موجة تتحرك بالاتجاه السيني ترددها الزاوي $w = 2\pi\nu$

اما k هو ثابت انتشار الموجة وتعطى بالعلاقة $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

وتعطى سرعة انتشار الموجة والتي تعرف بسرعة الطور φ

$$v_\varphi = \lambda\nu = \frac{w}{2\pi}.\frac{2\pi}{k} = \frac{w}{k} \dots\dots\dots 10$$

**ان هذه الموجة المستوية ذات تردد وسعة ثابتين يمكن ان تنتشر في الفضاء من $+\infty$ الى $-\infty$.

**اذا مثلت هذه الموجة جسم مادي فان خصائص هذا الجسم تنتشر خلال الموجة وبالتالي تنتشر خلال مكان غير محدد، هذا يعني اذا كان الجسيم مشحون فان كتلته وشحنته لا تواجد في مكان محدد بل تنتشران بصورة غير محددة في الفضاء مما يؤدي الى ضياع الخصائص الفيزيائية للجسم المادي.

** يمكن التأكد من ذلك بحساب سرعة الموجة ومقارنتها بسرعة الجسم.(الاثبات انظري الكتاب ص 138)

** من العلاقة:

$$v_\emptyset = \frac{c^2}{v}$$

** بما ان سرعة الضوء اكبر من سرعة الجسم المادي $v \lll c$

فإننا نستنتج $v_{\emptyset} \ggg v$

أي ان سرعة الموجة اكبر من سرعة الجسيم وسرعة الضوء ومثل هذه الموجة لا يمكن ان تلازم الجسم المادي ولا يمكن ان تمثله.

**نستنتج من ذلك:

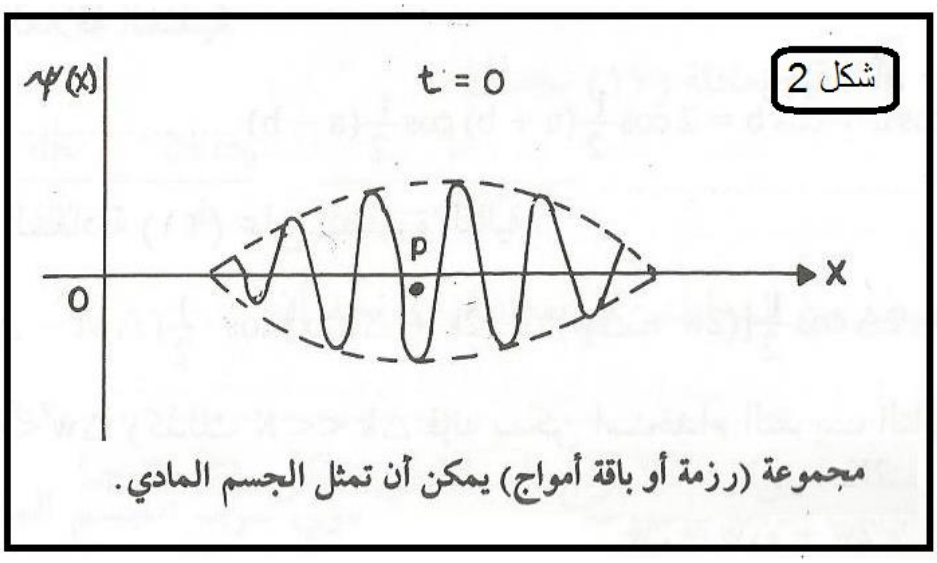
ان الموجة المفردة ذات التردد والسعة الثابتين لا يمكن ان تمثل الجسم المادي لأن موجة المادة يجب ان تكون محددة بصورة ما في الفضاء من اجل المحافظة على الخصائص الفيزيائية للجسم المادي، وكذلك يجب ان تتساوى سرعة الموجة المصاحبة للجسم المادي مع سرعة الجسم المادي الذي تصاحبه وتمثله.

**بافتراض جسم مادي P يتحرك بسرعة v في الاتجاه الموجب لمحور X ، اذا صاحبت هذا الجسم موجة او مجموعة امواج مادية ظهرت بدلا منه في ظروف معينة فان هذه الموجة يجب ان:

1- تتحرك مع الجسم و بنفس سرعته .

2- وتشكل هذه الموجة في الفضاء بحيث لها سعة غير معدومة في لحظة معينة في منطقة معينة محيطة بالجسم، اما سعتها في بقية الفضاء فهي معدومة.

** يمكن اعتبار مجموعة الامواج المختلفة السعة والممثلة في الشكل (2) لها هذه الخاصية حيث تمثل النقطة p الجسم المادي.



مجموعة (رزمة أو باقة أمواج) يمكن أن تمثل الجسم المادي.

**مجموعة الامواج (رزمة الموجية) التي تحيط بالجسم تمثل و تصاحب هذا الجسم .

** يمكن برهنة ان سرعة المجموعة الموجية تساوي سرعة الجسم المادي.

** نحصل على هذه المجموعة الموجية من تداخل موجتين لهما نفس السعة وتختلفان اختلاف بسيط في التردد:

$$\emptyset_1(x,t) = A\cos(wt - kx) \dots\dots\dots 11$$

$$\emptyset_2(x,t) = A\cos(w + \Delta w)t - (k + \Delta k)x \dots\dots\dots 12$$

مجموعهما:

$$\emptyset = \emptyset_1(x,t) + \emptyset_2(x,t)$$

$$\emptyset = A\{\cos(wt - kx) + \cos(w + \Delta w)t - (k + \Delta k)x\} \dots\dots\dots 13$$

**وباستخدام العلاقات المثلثية والاختصار (انظري الكتاب ص 140) تصبح الدالة المحصلة:

$$\emptyset = 2A\left\{\cos(wt - kx).\cos(\frac{\Delta w}{2}t - \frac{\Delta k}{2}x)\right\} \dots\dots\dots 14$$

تمثل العلاقة 14 علاقة موجة ترددها w وثابت انتشارها k مضروبة في موجة مشكلة يمكن ان نستنتج من هذا التشكيل ان سرعة مجموعة الامواج v_g

$$v_g = \frac{\frac{\Delta w}{2}}{\frac{\Delta k}{2}} = \frac{dw}{dk} \dots\dots\dots 15$$

** بالضرب والقسمة في dv في العلاقة 15 نحصل على:

$$v_g = \frac{dw}{dv}.\frac{dv}{dk} \dots\dots\dots 16$$

**يمكن كتابة التردد على الصورة:

$$\nu = \frac{E}{h} = \frac{mc^2}{h} = \frac{m_o c^2}{h\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$w = 2\pi\nu = \frac{2\pi\, m_o c^2}{h\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\frac{dw}{dv} = \frac{2\pi\, m_o}{h} . \frac{v}{(1-\frac{v^2}{c^2})^{\frac{3}{2}}} \dots\dots 17$$

** كما يمكن كتابة ثابت الانتشار k باستخدام علاقة دي برولي بالصورة :

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi mv}{h} = \frac{2\pi m_o v}{h\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

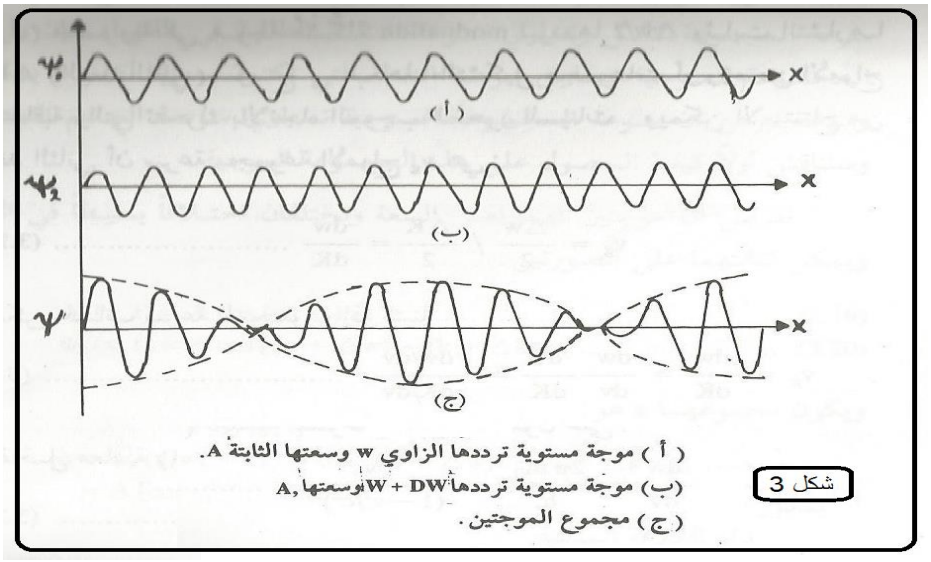
$$\frac{dk}{dv} = \frac{2\pi\, m_o}{h} . \frac{1}{(1-\frac{v^2}{c^2})^{\frac{3}{2}}} \dots\dots\dots 18$$

**بتعويض العلاقة 17 و 18 في 16 نحصل على:

$$v = v_g \dots\dots\dots\dots 19$$

أي ان سرعة الجسم المادي v تساوي سرعة مجموعة الامواج v_g

** يتم تمثيل الدالة الموجية في العلاقة 14 بالشكل 3:

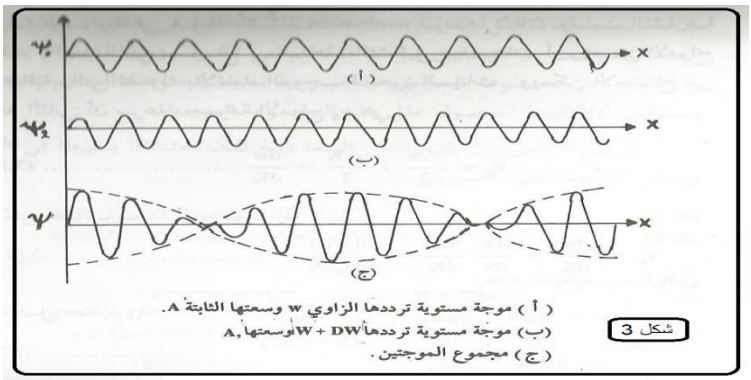


(أ) موجة مستوية ترددها الزاوي w وسعتها الثابتة A.
(ب) موجة مستوية ترددها W + DW وسعتها A,
(ج) مجموع الموجتين.

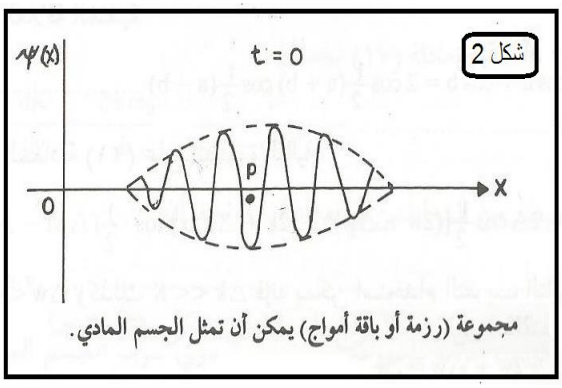
شكل 3

**يلاحظ ان رزم الامواج الممثلة في الشكل (3 جـ) تختلف عن مجموعة الامواج التي تمثل الجسم المادي (شكل2)، فالشكل 3 يوضح مجموعات متعاقبة من الامواج مما يؤدي الى ضياع الجسم في الفضاء.

** يمكن الحصول على مجموعة واحدة من الامواج المحددة في الفضاء ولها بداية ونهاية محددة بتجميع لهذا العدد من الامواج للحصول على مجموعة مفردة من الامواج تنعدم سعتها في الفضاء خارج منطقة معينة باستخدام مبدأ اللايقين.



(أ) موجة مستوية ترددها الزاوي w وسعتها الثابتة A.
(ب) موجة مستوية ترددها W + DW وسعتها A,
(ج) مجموع الموجتين.
شكل 3



شكل 2
مجموعة (رزمة أو باقة أمواج) يمكن أن تمثل الجسم المادي.

إن طبيعة الموجة المادية غير معروفة وهي تختلف عن الأمواج الكهرومغناطيسية التي تصاحب الفوتونات. وذلك لأن الفوتون جسيم فريد من نوعه فهو ليس جسيما ماديا وتساوي سرعته سرعة الضوء دائما ويتفاعل بصورة مميزة مع المادة.

تمكن دافيسون وجيرمر عام 1927 من إثبات ولأول مرة وجود الأمواج المصاحبة للإلكترونات عمليا من خلال تجربة حيود الالكترونات المشهورة والتي سيتم مناقشتها.

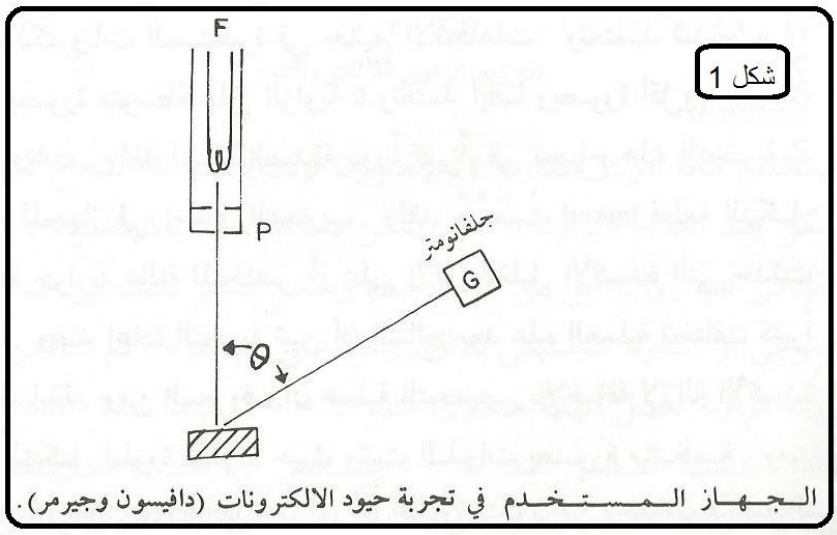
.....

تجربة دافيسون – جيرمر (ظاهرة حيود الالكترونات)

**بعد اربعة اعوام من نشر نظرية دي برولي اجرى دافيسون وجيرمر تجارب على حيود الامواج المصاحبة للإلكترونات بعد انعكاسها من على سطح بلورة مفردة من النيكل.

وقد استخدما الجهاز الموضح بالشكل 1.

(طريقة عمل الجهاز انظري الكتاب ص 143 - 144)



شكل 1
الجهاز المستخدم في تجربة حيود الالكترونات (دافيسون وجيرمر).

تم استخدام الجهاز الموضح في الشكل (1) حيث استخدم قاذف الالكترونات للحصول على حزمة ضيقة من الالكترونات.

يسقط شعاع الالكترونات على سطح قطعة مكعبة من النيكل ، ويمكن وباستخدام كاشف مناسب مكون من جلفانومتر حساس تسجيل شدة شعاع الالكترونات كدالة في الزاوية (وهي الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والشعاع المنعكس) عند طاقة حركة معينة.

يمكن قياس التوزيع الزاوي للالكترونات في جميع الاتجاهات باستثناء الزوايا التي تقل عن 15^o (لا يمكن قياس شدة الشعاع المشتت عند زوايا أقل من 15 نتيجة لحجم الراصد الذي يحول عمليا دون ذلك).

يوضع الجهاز في وعاء مفرغ من الهواء للمحافظة على شعاع الالكترونات من التشتت والبعثرة بسبب تصادمها مع الهواء.

تعتمد شدة شعاع الالكترونات بصورة متوسطة على الزاوية وتعتمد أيضا وبصورة أقل على طاقة حركة الالكترونات.

كان سبب نجاح هذه التجربة الصدفة إذ تسرب الهواء للجهاز في إحدى التجارب. ولقد حمصت قطعة النيكل في فرن درجة حرارته عالية للتخلص أو على الأقل لتقليل الأكسدة التي تحدث على سطحها.

عند إعادة التجربة تبين أن النتائج بعد هذه العملة تختلف كثيرا عن النتائج السابقة.

من المعروف أن عملية التحميص بالإضافة لإزالة الأكسدة قد حولت النيكل لبلورة مفردة حيث رتبت الذرات بصورة منتظمة.

ومن المعروف من حيود الأشعة السينية أن بلورة النيكل ذات تركيب مكعب متمركز الأوجه ،أي أن البلورة تتكون من وحدات مكعبة الشكل تعرف بخلية الوحدة ويوجد ثمان ذرات في الزوايا الثماني للوحدة بالإضافة لذلك يوجد ذرة في مركز كل وجه من الأوجه الأربعة ولا يوجد ذرات داخل الوحدة .

تم اعادة التجارب بعناية مستخدمين بلورة مفردة من النيكل وأسقطا شعاع الالكترونات على الوجه وسجلا التوزيع الزاوي لشدة الشعاع بعد انعكاسه عن سطح البلورة عند طاقات مختلفة (وسبب استخدام البلورة هو انتظام توزيع الذرات داخل البلورة وتوزيع المسافات البينية بين الذرات) .

**استخدمت في تجربة حيود الالكترونات طاقة مقدارها 54eV، لوحظ من نموذج الحيود وجود شدة اعلى ما يمكن عند الزاوية 50 حيث تدل الشدة العالية على حدوث تداخل بناء لأمواج الالكترونات.

**باستخدام علاقة براغ والتي تعطي شرط حدوث التداخل البناء:

$$2d\sin\theta = n\lambda \dots\dots 6$$

حيث ان n رتبة الحيود، n=1,2,3,....

المسافة الفاصلة بين المستويات الذرية d.

طول موجة الاشعة الساقطة λ.

** وفي حالة التداخل من الرتبة الاولى (n=1) وكانت المسافة بين المستويات الذرية لبلورة النيكل $(d = 1.075^{o}A)$

وفي حالة الزاوية $\theta = 50^{O}$

يمكن حساب طول موجة الاشعة الساقطة باستخدام قانون براج (علاقة 6):

$$\lambda = 2d\ sin\theta = 2.15\ sin50 = 1.65^{o}A \dots \dots \dots 7$$

**بما ان طاقة حركة الالكترونات:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = eV$$

وبالتالي تكون كمية الحركة:

$$P = \sqrt{2mK}$$

بالتعويض في معادلة دي برولي نجد ان طول الموجة:

$$\lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{\sqrt{2mK}} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{\sqrt{2 \times 9.1 \times 10^{-34} \times 54 \times 1.6 \times 10^{-19}}} = 1.66\ \text{Å}$$

وتتفق هذه القيمة مع النتيجة السابقة بصورة ممتازة مما يؤكد حدوث تداخل أمواج الالكترونات.

تبين بعد هذه التجربة الهامة أن كثيرا من الجسيمات الأخرى والتي تعتبر أكثر تعقيدا من الالكترونات تسلك أيضا سلوكا موجيا حيث استطاع الكثير من العلماء اثبات ذلك ص147.

يلاحظ من هذه التجارب ومن تجارب أخرى أن السلوك المزدوج للأجسام المادية حقيقة لا يمكن إنكارها. إذ تسلك هذه الجسيمات في بعض الأحيان سلوك الجسيمات المادية بينما تسلك في أحيان أخرى سلوك الحركات الموجية . ولكنها وكما هو الحال في الضوء لا يمكن أن تسلك سلوكا مزدوج جسيميا وموجيا في نفس اللحظة.

إن الموجة المصاحبة لجسم عياني (بسبب كتلته الكبيرة) غاية في الصغر لدرجة أنه لا يمكن قياسها ولا الشعور بها وهي أصغر كثيرا من أبعاد أي وسط كان ولا يمكن بالتالي لهذه الموجة أن تظهر وليس لها أي معنى فيزيائي ، ولا غرابة إذن أن تظهر وتسود الطبيعة الجسيمية لهذه الأجسام العيانية في جميع الحالات وتحت جميع الظروف.

مبدأ اللايقين(عدم التحديد) لهايزنبرغ:

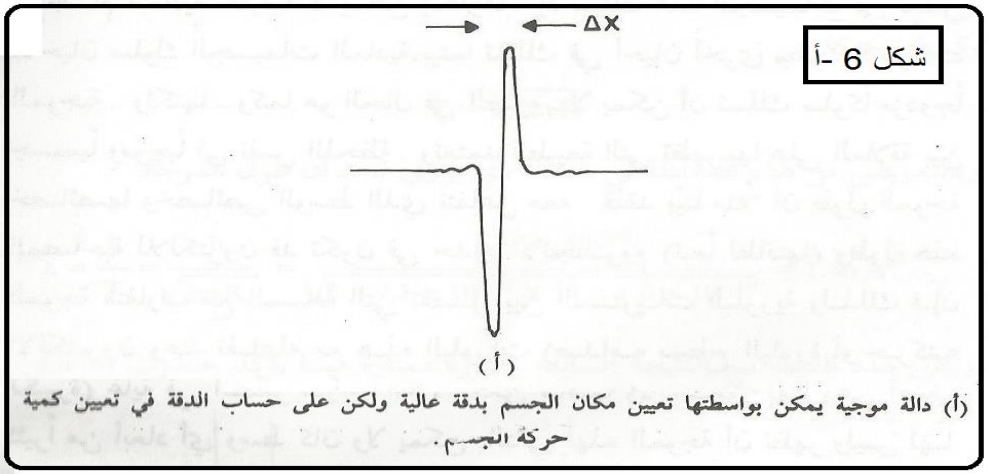
****مقدمة:**

تؤدي نظرية دي برولي التي تفترض امكانية تمثيل الجسم المادي من خلال مجموعة من الامواج بفرض قيود على تحديد خواص الجسم المادية مثل تحديد مكان الجسم وكمية حركته في آن واحد.

**إذا قمنا بدراسة الجسيم باعتبار خواصه الجسيمية فهذا بالضرورة يؤدي إلى فقد خواصه الموجية والعكس صحيح أي اذا درسنا الجسيم باعتبار الخاصية الموجية فهذا سيؤدي إلى فقد خواصه الجسيمية. وإذا أردنا أن ندرس الخاصيتين معاً فإننا سوف لا تستطيع تحديد موقع الجسيم بدقة بل نعين احتمالية تواجد الجسيم في الفراغ وفي هذه الحالة من عدم الدقة في تحديد موقع الجسيم فإنه لن يفقد خواصه الموجية.. لذا من المستحيل أن نطبق الخواص الموجية والجسيمية في وقت واحد على الجسيمات المادية أو الفوتونات فإذا اخترنا أحد الصفتين فلابد من استبعاد الأخرى. لذا فإن مبدأ اللايقين (الشك) يجمع الخاصيتين معاً.

** يمكن تحديد مكان الجسم بدقة عالية إا كانت الدالة الممثلة للجسم (تسمى دالة الموجة) في الشكل(6أ) يتضح ان مجموعة الامواج التي تمثل الجسم ذات اتساع ضيق (عرض السعة اللاصفرية صغير) لان احتمال وجود الجسم يعتمد على عرض السعة اللاصفرية للأمواج وينعدم احتمال وجود الجسم خارج المجموعة حيث تنعدم سعة الامواج.

** نظرا لصغر عرض سعة الامواج فانه يمكن تحديد مكان الجسم بدقة عالية.



(أ) دالة موجية يمكن بواسطتها تعيين مكان الجسم بدقة عالية ولكن على حساب الدقة في تعيين كمية حركة الجسم.

هل يمكن تحديد كمية الحركة لها الجسم بدقة عالية ؟

** للتأكد من امكانية تحديد كمية الحركة لهذا الجسم بدقة عالية فانه حسب علاقة دي برولي:

$$\lambda = \frac{h}{P}$$

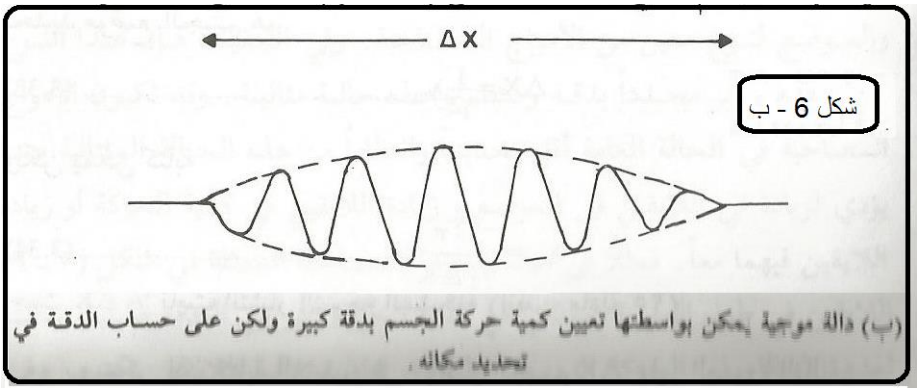
**يمكن تحديد كمية حركة الجسم بدقة عالية اذا امكن تحديد طول موجته بدقة كبيرة ، ولا يمكن تحديد الطول الموجي الا اذا كانت الدالة جيبية (من النوع ذات التكرار الدوري المنتظم) .

** حيث ان الدالة التي حصلنا عليها ليست من النوع الدوري المتكرر فان الدقة في تحديد الطول الموجي تقل وبالتالي تزداد الدقة في تحديد كمية الحركة للجسيم.

الاستنتاج:

الدقة العالية في تحديد موضع الجسم تقابلها عدم الدقة في حساب كمية حركته.

**شكل (6ب) يوضح الدقة العالية في تحديد طول الموجة للدالة وبالتالي الدقة في كمية حركة الجسم لكنه يقابلها عدم الدقة في تحديد موقع الجسم خلال المسافة Δx



(ب) دالة موجية يمكن بواسطتها تعيين كمية حركة الجسم بدقة كبيرة ولكن على حساب الدقة في تحديد مكانه.

منها نستنتج:

ان اللايقين في كمية حركة الجسم في حالة الشكل (6أ) اكبر بكثير من اللايقين في كمية حركة الجسم في حالة الشكل (6ب)، اي انه يوجد تناسب عكسي بين اللايقين في موضع الجسم ΔX واللايقين في كمية حركته ΔP عند القياس المتزامن لكل من كمية الحركة والموضع.

العلاقة الرياضية لمبدأ هايزنبرغ:

* من الشكل 6ب يكون اللايقين في تحديد موضع الجسم Δx:

$$\Delta x = \frac{\lambda}{2}$$

يعطى ثابت انتشار الموجة المشكلة $\frac{k}{2}$ بالعلاقة:

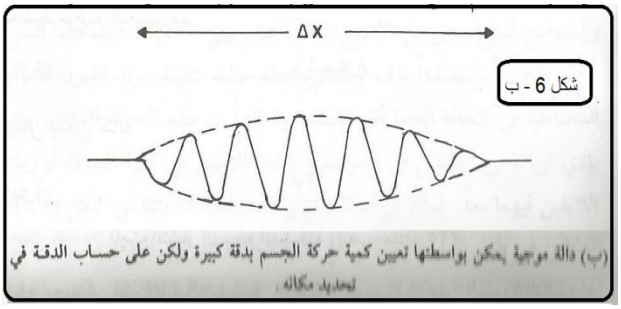
$$\frac{k}{2} = \frac{2\pi}{\lambda}$$

ومنها نحصل على :

$$\Delta k = \frac{2\pi}{\Delta x}$$

ومن علاقة دي برولي:

$$\Delta P = \frac{h}{\Delta\lambda} = \frac{h}{2\pi}\Delta k \ldots\ldots\ldots 20$$



- بالتعويض عن قيمة Δk في العلاقة 20:

$$\Delta P = \frac{h}{2\pi}\Delta k = \frac{h}{2\pi}.\frac{2\pi}{\Delta x}$$

$$\Delta P.\Delta x = h. \ \ldots\ldots\ldots 21$$

تمثل العلاقة 21 العلاقة بين اللايقين في كمية الحركة واللايقين في موضع الجسم لنوع معين من الامواج المصاحبة.

**ونظرا لعدم انتظام الحركة الدورية، فان معادلة اللايقين تكتب في الحالة العامة على صورة متباينة:

$$\Delta P.\Delta x \geq h. \ \ldots\ldots\ldots 22$$

** لقد استخدمنا لتمثيل الجسم المادي سلسلة من مجموعات الامواج الناتجة عن تراكب موجتين مختلفتين اختلاف بسيط في التردد وبالتالي في ثابتي الانتشار ، في هذه الحالة تكتب العلاقة بين اللايقين في الموضع Δx

واللايقين في ثابت الانتشار ΔK :

$$\Delta X = \frac{1}{\Delta K}$$

من العلاقة:

$$\Delta K = \frac{2\pi}{h}\Delta P$$

والتعويض بالعلاقة السابقة يمكن كتابة:

$$\Delta P.\Delta X \geq \hbar \ldots\ldots\ldots 23$$

تعرف هذه المعادلة بمبدأ اللايقين لهايزنبيرغ، حيث:

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1.054 \times 10^{-34} J.S$$

ينص مبدأ اللايقين لهايزنبيرغ:

أن حاصل ضرب اللايقين في موضع الجسيم في لحظة معينة واللايقين في كمية حركته في نفس اللحظة يساوي على الأقل $\hbar$

يعتبر الثابت ذا أهمية كبيرة فبالإضافة لظهوره في مبدأ اللايقين فأنه يعتبر الوحدة الأساسية التي تقاس بها كمية الحركة الزاوية للجسيمات شبه الذرية.

يوجد علاقة مشابهة للعلاقة السابقة إذ يمكن كتابة مبدأ اللايقين بدلالة الطاقة والزمن على الصورة:

$$\Delta E . \Delta t \geq \hbar$$

مثال :

استخدام مبدأ اللايقين في تحديد مكان تواجد الإلكترون .

حيث طاقة المدار الأول $E=13.6\ ev = 21.7\times10^{-19}J$

الزمن الدوري للإلكترون في هذا المدار $t=1.5\times10^{-15}s$

من قانون 2

$$\Delta E . \Delta t \geq \hbar$$

$$21.7\times10^{-19} \times 1.5\times10^{-15} = 3.4\times10^{-34}\ J.s$$

$$\therefore \Delta E . \Delta t \geq \hbar$$

وهذا يدل على إمكانية تواجد الالكترون في هذا المدار في حين لا يمكن تواجده داخل النواة وهذا بالنسبة للجسيمات المجهرية .

أما الأجسام العيانية مثل البندول البسيط والذي كتلته m=10gm وسرعته v=1cm/s تكون العلاقة بالشكل التالي :

نأخذ الطاقة من العلاقة:

$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

$$= 1/2 \times 10 \times 10^{-3} (1 \times 10^{-2})^2 = 5 \times 10^{-7} J$$

والزمن الدوري **t= 1 sec**

$$\therefore \Delta E \cdot \Delta t = 5 \times 10^{-7} \times 1 = 5 \times 10^{-7} \gg \hbar$$

لا يمكن تطبيق مبدأ اللايقين في هذه الحالة لان المقدار أكبر بكثير من ثابت بلانك بحوالي 10^{27} مرة.

.....

المعنى الفيزيائي لمبدأ اللايقين:

اقترحت التجربة التالية لتفسير المعنى الفيزيائي لمبدأ اللايقين:

حيث يتم رصد حركة الكترون باستخدام مجهر ضوئي وتم قياس مكان وكمية حركة الالكترون بأكبر دقة ممكنة باستخدام فوتونات الاشعة المرئية تم اسقاطها على الالكترون وتتم عملية الرؤية من خلال استقبال الفوتونات المستطيرة بعد تصادمها بالإلكترون.

*حسب تفاعل كمبتون يحدث تغير في مكان وكمية حركة الالكترون اما الفوتون فيستطير باي اتجاه ضمن الزاوية 2θ

** حسب الشكل المجاور التغير في اتجاه المحور السيني وتصبح المركبة السينية لكمية حركة الالكترون من Px - الى Px+

حيث ان:

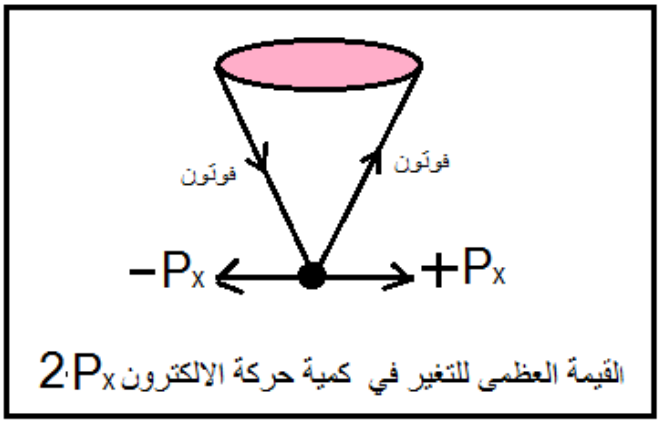
$$P_X = \frac{h}{\lambda} \sin\theta \ldots\ldots 24$$

تكون القيمة العظمى لهذا التغير :

$$\Delta P_X = P_X - (-P_X) = 2\left(\frac{h}{\lambda}\right) sin\theta$$

وهي تمثل اللايقين في كمية حركة الالكترون

$$P_X = 2\left(\frac{h}{\lambda}\right) sin\theta \ldots.25$$



** يمكن جعل اللايقين اصغر ما يمكن باستخدام فوتون له طاقة منخفضة (طول موجي كبير) ، تظهر صورة الالكترون في المجهر على صورة نموذج حيود حيث تحدد الدقة في قياس الموضع حسب العلاقة:

$$\Delta X = \left(\frac{\lambda}{sin\theta}\right) \ldots\ldots\ldots.26$$

من العلاقتين 25 و 26 نحصل على:

$$\Delta P.\Delta X = 2h \ldots\ldots\ldots.27$$

تعتبر العلاقة السابقة صيغة تقريبية لمبدأ اللايقين ولا تختلف كثيرا عن الصيغ السابقة .

نستنتج مما سبق ان اللايقين في المتغيرات الديناميكية ينتج بسبب طبيعة التفاعل بين الفوتونات والانظمة المجهرية المقاسة (الالكترونات).

.....

مبدأ التتام:

- تعالج الفيزياء الكلاسيكية الضوء على انه ظاهرة موجية تحقق ظواهر التداخل والحيود والاستقطاب وهي معالجة مختلفة تماما للجسيمات المادية.
- مع بداية القرن الماضي بدأ علماء الفيزياء مثل بلانك واينشتين وكمبتون بمعالجة الضوء على انه ظاهرة جسيمية لتفسير الظاهرة الكهروضوئية واشعاع الجسم الاسود وغيرها.....
- ثم بدأ التساؤل عن حقيقة الضوء هل هو موجة ام جسيم (فوتون)؟؟؟

وهل الالكترون موجة ام جسيم؟؟

- تم الاجابة عن هذه الاسئلة من خلال مبدأ التتام لبور.
- ينص المبدأ على ان الضوء والجسيمات المادية لكل منهما طبيعة موجية وطبيعة جسيمية وهاتين الطبيعتان متتامتين، حيث تظهر احدى الطبيعتين في غياب الأخر (بمعنى في حالة ظهور أحدهما تختفي الخاصية الأخرى) بحسب خواص الضوء او الجسم او الوسط الذي تتفاعل معه.
- يتم توضيح ذلك باستخدام مبدأ اللايقين وقانون دي برولي .
- تظهر الطبيعة الجسيمية للضوء في مدى الاشعة السينية واشعة جاما فاذا كان التردد $10^{18}Hz$ فان طول الموجة:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = 3X10^{-10}m = 3A^o$$

أي ان : $\Delta X = \lambda = 3A^o$

أي ان اللايقين 3 انجشتروم وهو مقدار صغير وبالتالي يمكن تحديد المكان بدقة عالية وهذا يؤدي الى ظهور الطبيعة الجسيمية للإشعاع.

** اما في حالة الاشعة تحت الحمراء $10^{12}Hz$ يكون الطول الموجي:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = 3X10^{-4}m = 0.3mm$$

يكون اللايقين في تحديد المكان كبير جداً ولا يمكن تحديد المكان لوصف الجسم فتختفي الطبيعة الجسيمية وتظهر الطبيعة الموجية.

يمكن التأكد من النتائج السابقة بحساب اللايقين في كمية الحركة في الحالتين:

الطاقات العالية

$$\Delta p = \frac{\hbar}{\Delta x} = \frac{10^{-34}}{3 \times 10^{-10}} = 3.3 \times 10^{-25} kg.m/s$$

Δx صغيرة (الدقة كبيرة)

Δp كبيرة

طبيعة جسيمية (طاقات عالية)

الطاقات المنخفضة

$$\Delta p = \frac{\hbar}{\Delta x} = \frac{10^{-34}}{3 \times 10^{-4}} = 3.3 \times 10^{-31} kg.m/s$$

Δx كبيرة (الدقة صغيرة)

Δp صغيرة

طبيعة موجية (طاقات منخفضة)

الى هنا انتهت المحاضرة الخامسة

المحاضرة السادسة

التركيب الذري (نظرية الكم القديمة):

مقدمة: (المحاولات التي بذلت لفهم تركيب المادة)

**دالتون أول من افترض أن المادة تتكون من وحدات أساسية لا يمكن تقسيمها وسماها ذرات.

**بعد اكتشاف بيكريل لظاهرة النشاط الإشعاعي واكتشاف طومسون أول الجسيمات الأولية (الالكترونات) وتبين بعد ذلك أن الذرات تحتوي على الكترونات وأن كتلتها صغيرة مقارنة مع كتلة الذرة وشحنتها سالبة، لكي تحافظ الذرة على تعادلها الكهربي لابد أن تحتوي على شحنة موجبة مساوية لشحنة الالكترونات ولكن توزيع هذه الشحنة وكذلك الكتلة داخل النواة بقي مجهولا.

**وضع طومسون في العام التالي لاكتشاف الإلكترون أول نموذج لتركيب الذرة وبالتالي لتوزيع الشحنة والكتلة داخل الذرة.

Thomson Model نموذج طومسون:

1 - الذرة كرة مصمتة ذات شحنة موجبة يتخللها عدد كافي من الالكترونات سالبة الشحنة تتوزع بانتظام داخل الذرة، والذرة متعادلة كهربائيا لان الشحنات الموجبة تساوي الشحنات السالبة.

2 - التوزيع المستمر للشحنة الكهربائية الموجبة على جميع حجم الذرة يؤدي لجعل المجال الكهربائي لهذه الشحنة صغيراً جداً.

القصور في نموذج طومسون:

1 - الذرة كتلة كروية مصمتة.

2 - تتوزع الشحنات بانتظام داخل الذرة فلا يوجد تركز للشحنات في منطقة معينة.

3 - لم يذكر أي شيء عن النواة.

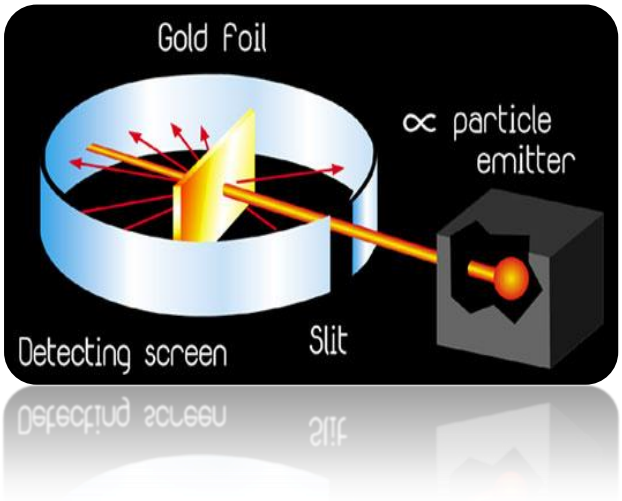
تجربة رذرفورد:

خطوات التجربة:

1- اقترح رذرفورد توجيه جسيمات الفا نحو رقائق معدنية فيما يعرف الآن بتجارب الاستطارة .

الجهاز المستخدم :1- مصدر مشع يطلق جسيمات الفا . (جسيمات ألفا عبارة عن نواة ذرة الهيليوم شحنتها 2e+) تصطدم باللوحة المغطاة بكبريتيد الخارصين ، وذلك لتحديد مكان وعدد جسيمات ألفا المصطدمة باللوحة المعدنية، وذلك من الومضات التي ظهرت عليها.

2- وضع صفيحة رقيقة جداً من الذهب بحيث تعترض مسار الأشعة قبل اصطدامها باللوحة المعدنية.



النتائج:

توقع رذرفورد انحراف جسيمات الفا بزوايا صغيرة وذلك بسبب صغر المجال الكهربي للذرة حسب نموذج طومسون .(يمكن إهمال تأثير الالكترونات وذلك لصغر كتلتها)

شاهد رذرفورد

1 - معظم جسيمات ألفا نفذت دون أن تعاني أي انحراف في مسارها وهذا يدل على أن معظم الذرة فراغ

2 - نسبة ضئيلة جداً من جسيمات ألفا نفذت خلال صفيحة الذهب ثم انحرفت عن مسارها بزوايا كبيرة وهذا يدل على أن شحنة الفا الموجبة اقتربت من جسيم موجب الشحنة سمي فيما بعد بالنواة ولذلك حدث لها تشتت وتعتمد زاوية الانحراف على المسافة بينهما وبين النواة فكلما قلت المسافة زادة زاوية الانحراف.

3 - نسبة قليلة جداً من جسيمات ألفا لم تنفذ من صفيحة الذهب وارتدت عكس مسارها، الارتداد يعني أن الفا اصطدمت بجسيم أثقل منها وهو النواة. العدد القليل من الفا المرتدة يدل على أن النواة صغيرة جداً مقارنة بحجم الذرة.

نموذج رذرفورد Rutherford Model

1- معظم حجم الذرة فراغ.

2- كتلة الذرة تتركز في حيز صغير جدا سمي بالنواة يحوي بداخلها جسيمات موجبة الشحنة أطلق عليها اسم بروتونات. وأن تركيز الشحنة الكهربائية الموجبة في حجم صغير في الذرة يؤدي لظهور مجال كهربائي كبير على مقربة من النواة كاف لحرف جسيمات الفا بزوايا كبيرة أو حتى لارتداد بعضها.

3- أقترح أن الالكترونات تنتشر في الفراغ المحيط بالنواة.

القصور في نموذج رذرفورد:

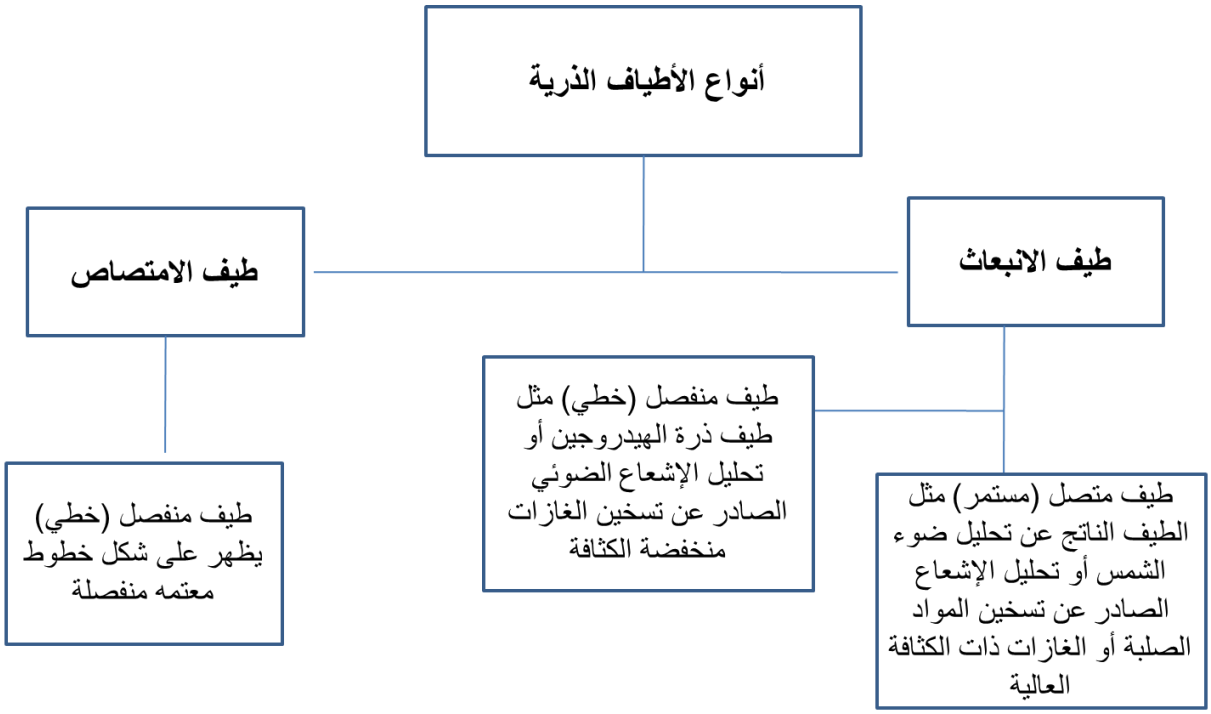
1- الذرة ليست متزنة ميكانيكيا

إذا كانت الالكترونات السالبة ساكنة سوف تنجب للنواة الموجبة وإذا كانت تدور حول النواة في مسار دائري فمن نظرية ماكسويل (الأجسام المشحونة عند تسارعها تصدر إشعاعا كهرومغناطيسيا) وهذا يؤدي لنقص طاقته الحركية وبالتالي يدور في مسار حلزوني إلى أن يسقط في النواة.

2 - لم يفسر الطبيعة الطيفية (الطيف الخطي)

بما أن الإلكترون يدور حول النواة فهذا يعني أن الذرة تشع طيف مستمر متغير في التردد والطول الموجى وتتناقص طاقته تدريجيا ، وهذا يتناقض مع نتائج التجارب العملية التي تثبت أن الذرات تشع طيف خطى له طول موجي محدد بدقة.

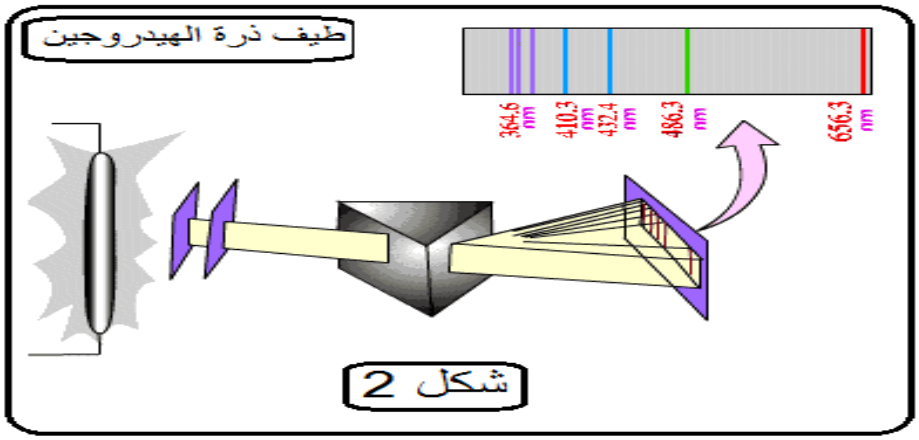
الأطياف الذرية:



يوجد عدد كبير من الأجهزة التي تستخدم في دراسة الأطياف والتي تعرف بالمطياف (مقياس الطيف أو الاسبكترومتر) ويتكون الجهاز من مصدر يعطي الطيف وهو عبارة عن أنبوبة تفريغ كهربائي يوضع فيها الغاز المطلوب دراسة طيفه . يسقط الطيف على مجموعة ضوئية مكونة من عدسات للحصول على حزمة ضيقة تسقط على منشور وتخرج منه على صورة خطوط طيفية مختلفة التردد يمكن مشاهدتها من خلال تلسكوب أو تصويرها ثم قياس أطوال موجتها. ويعطي كل عنصر طيفاً خاصاً به ويختلف عن أطياف العناصر الأخرى.

الاطياف الذرية:

- كان الهيدروجين اول العناصر التي درس طيفها حيث يعتبر الهيدروجين ابسط هذه العناصر واكثرها انتشاراً في الطبيعة.
- **بينت الدراسات أن طيف هذا العنصر يتكون من متسلسلات من الخطوط الطيفية وأول متسلسلة هي متسلسلة بالمر حيث تتكون من خطوط طيفية منفصلة يتراوح طول موجتها بين 6563 و 3646 انجشتروم. (شكل2)



- يلاحظ من الشكل ان الخطوط بتناقص طولها الموجي تقترب من بعضها البعض وبالتالي تتناقص شدتها، وقد تم تسمية هذه الخطوط

$$H_\alpha, H_\beta, H_\gamma, \dots\dots.$$

- بالمر اول من حاول الحصول على علاقة رياضية تفسر وجود الخطوط:

$$\lambda = 3646\frac{n^2}{n^2-4}A^o \dots\dots\dots\dots 1$$

- حيث استخدم بالمر هذه العلاقة في تعيين الاطوال الموجية لجميع خطوط المتسلسلات المعروفة.
- استخدم ريدبيرج مقلوب طول الموجة (العدد الموجي)في علاقات بالمر الرياضية بدلاً من الطول الموجي، بالتالي تصبح علاقة بالمر الرياضية:

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R_H\left(\frac{1}{2^n} - \frac{1}{n^2}\right) \dots\dots\dots.. 2$$

حيث ان R_H:

$$R_H = 10967757.6 \pm 1.2\ m^{-1}$$

$\bar{\nu}$: العدد الموجي وهو عبارة عن عدد الأمواج الموجودة في وحدة الطول ، n=1,2,3…..

- **تقع خطوط متسلسلة بالمر في شريحة الضوء المرئي ويوجد متسلسلات طيفية اخرى تقع في شريحتي الاشعة تحت الحمراء (IR) والفوق بنفسجية (UV). (شكل3)

شكل3

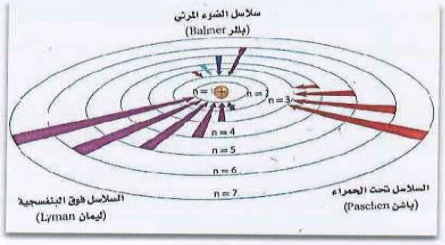
The Hydrogen Series

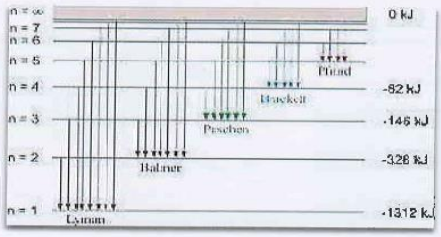
Names	Wavelength Ranges	Formulas	
Lyman	Ultraviolet	$\kappa = R_H\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right)$	$n = 2, 3, 4, \ldots$
Balmer	Near ultraviolet and visible	$\kappa = R_H\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right)$	$n = 3, 4, 5, \ldots$
Paschen	Infrared	$\kappa = R_H\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right)$	$n = 4, 5, 6, \ldots$
Brackett	Infrared	$\kappa = R_H\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2}\right)$	$n = 5, 6, 7, \ldots$
Pfund	Infrared	$\kappa = R_H\left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2}\right)$	$n = 6, 7, 8, \ldots$

إن الانتظام الشديد في هذه الخطوط الطيفية وفي الخطوط الطيفية الأخرى التي كانت معروفة ساعدت بعض الفيزيائيين لوضع نظرية في التركيب الذري .فرغم نجاح علاقات بالمر ورايدبيرغ في حساب طول موجة(أو العدد الموجي) بدقة كبيرة إلا أن هذه العلاقة هي علاقة تجريبية لا توضح الأصل الفيزيائي لهذه الخطوط . إن أية نظرية في التركيب الذري ولكي تلاقي القبول والنجاح لا بد من أن تفسر الأصل الفيزيائي لهذه الخطوط . ولقد قدم العالم بور أول المحاولات الجادة في هذا المجال والتي سوف نعرضها بالتفصيل.

يمكن تحديد الأشعة الصادرة عند عودة ذرة الهيدروجين إلى حالة الاستقرار بالجدول التالي:

السلسة	الأشعة	الانتقال الإلكتروني
١) ليمان (Lyman)	فوق بنفسجية	ينتقل الإلكترون من المستويات العليا (الإثارة) إلى المستوى الأول.
٢) بالمر (Balmer)	الضوء المرئي: ❖ قبل مروره على منشور للتحليل لون الضوء أحمر مزرق. ❖ بعد مروره على منشور للتحليل يعطي لها أربع ألوان (الأحمر -الأخضر -الأزرق -البنفسجي).	ينتقل الإلكترون من المستويات العليا (الإثارة) إلى المستوى الثاني.
٣) باشن (Paschen)	تحت حمراء	ينتقل الإلكترون من المستويات العليا (الإثارة) إلى المستوى الثالث.
٤) براكيت (Brackett)	تحت حمراء ذات تردد وطاقة أقل من سلسلة باشن (طول موجي أكبر)	ينتقل الإلكترون من المستويات العليا (الإثارة) إلى المستوى الرابع.
٥) فند (Pfund)	تحت حمراء ذات تردد وطاقة أقل من سلسلة باشن وبراكيت.	ينتقل الإلكترون من المستويات العليا (الإثارة) إلى المستوى الخامس.





39

نموذج بور في التركيب الذري:

- **وضع بور نموذج متكامل للتركيب الذري وقد استخدم بور في نموذجه نظرية رذرفورد وافكار بلانك وفوتونات اينشتين.

- <u>فروض بور:</u>

- 1- الالكترون في ذرة الهيدروجين يدور حول النواة (البروتون) في مدار دائري تحت تأثير قوة كولوم الكهربية، يحقق الالكترون في دورانه قوانين الميكانيكا الكلاسيكية (قوانين نيوتن)

- 2- يمكن ان يتواجد الالكترونات في مدارات دائرية معينة فقط تجعل كمية حركته الزاوية L مساوية لاحد مضاعفات الثابت ħ، أي ان كمية حركة الالكترون تعطى بالعلاقة:

$$L = mvr = n\hbar \dots\dots\dots\dots 3$$

While n=1,2,3,4.....

هذا الفرض يقيد من حركة الالكترون وسوف يؤدي الى تكميم طاقة الالكترون.

3 - تكون طاقة الإلكترون في مداره المسموح مقدارا ثابتا. أي أن الإلكترون وأثناء دورانه حول النواة لا يصدر إشعاعاً كهرومغناطيسياً.

4 - يمكن أن تتغير طاقة الإلكترون عند انتقاله من مدار مسموح لآخر. فإذا كان الإلكترون في مدار طاقته E_i ثم انتقال لمدار طاقته E_F فإن الإلكترون يصدر إشعاعاً كهرومغناطيسياً أو فوتون يعطى تردده بالعلاقة الآتية :

$$\nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{E_i - E_f}{h}$$

ويلاحظ أن هذه العلاقة هي علاقة اينشتين التي افترض فيها أن طاقة الفوتون تتناسب مع تردده ويمثل ΔE طاقة الفوتون الصادر.

سيتم استخدام فروض بور للحصول على طاقة الإلكترون في مدارته المختلفة وتفسير طيف ذرة الهيدروجين.

نفرض أن كتلة الإلكترون m وشحنته e– بينما كتلة النواة M وشحنتها Ze+ ونفرض للسهولة أن النواة ساكنة لا تتحرك لأن كتلتها كبيرة مقارنة مع كتلة الإلكترون. يعطى قانون كولوم قوة التجاذب الكهروستاتيكي بين البروتون والالكترون على الصورة ص 193

أوجه النجاح:

1- تفسير طيف ذرة الهيدروجين وأطياف الذرات الهيدروجينية البسيطة.

2- استخدم بور فكرة الكم في تحديد طاقة الالكترونات في مستويات الطاقة المختلفة.

3- التوفيق بين نموذج راذرفورد ونظرية ماكسويل حيث أكد نموذج بور أن الالكترونات أثناء دورانها حول النواة في الحالة المستقرة لا تشع طاقة وبالتالي لا تسقط في النواة.

أوجه القصور:

1) لم يستطع نموذج بور تفسير أطياف الذرات الأكثر تعقيدا من ذرة الهيدروجين والتي تحتوي على عدد كبير من الالكترونات

2) افترض أن الإلكترون يدور في مدارات محددة وفي مستوى واحد حول النواة مما يعني أن ذرة الهيدروجين مسطحة مما ينافي ما ثبت بعد ذلك من أن الذرة مجسمة .

3) افترض أن الإلكترون جسيم مادي ولم يعتبر الطبيعة الموجية للالكترونات وبالتالي افترض إمكانية تحديد مكان وسرعة الإلكترون في نفس الوقت وبدقة .

4) لم يتعرض لاختلاف شدة الخطوط الطيفية.

الى هنا انتهت المحاضرة السادسة

.....

المحاضرة السابعة

الاشعة السينية:

مقدمة:

**اكتشف روتنجن بطريق الصدفة اشعة جديدة ذات قدرة كبيرة على اختراق المواد اطلق عليها اسم الأشعة السينية.وتعرف هذه الأشعة في بعض الأحيان باسم أشعة رونتجن نسبة لمكتشفها.

**استطاع روتنجن من خلال تجاربه تحديد الكثير من الخصائص لهذه الاشعة وهي:

1- تصدر الأشعة السينية من النقطة التي تصطدم بها الالكترونات السريعة في الجدار الزجاجي لأنبوبة اشعة المهبط وتصدر بصورة عامة عند تفاعل الالكترونات السريعة مع المواد الصلبة.

2-يمكن ان تحدث هذه الاشعة تأيناً في الغازات او فلورة في كثير من المواد التي تسقط عليها

3-تسير هذه الاشعة في خطوط مستقيمة ولا تتأثر بالمجالات الكهربية والمغناطيسي، أي انها لا تحمل شحنة كهربية.

4- تمتص هذه الاشعة في المواد بدرجات متفاوتة تعتمد على العدد الذري للمادة وتظهر المواد التي عددها الذري صغير شفافية للأشعة السينية، حيث تمكن روتنجن من اعتماد هذه الخاصية في الحصول على اول صورة لعظام الكتف في الجسم حيث مازالت تستخدم هذه الاشعة في الطب.

** لم تعرف الطبيعة الكهرومغناطيسية للأشعة السينية الا بعد عام 1912م عندما اقترح فون لاو استخدام بلورة مفردة كمحزوز حيود للأشعة السينية وقد بني هذا الاقتراح بعد ان تبين ان ابعاد البلورة المفردة لا تختلف كثيراً عن الطول الموجي المتوقع للأشعة السينية حيث ان كلاهما في حدود الانجستروم.

**وتحت اشراف فون لاو تم الحصول على اول نموذج حيود مميز للأشعة السينية يتكون من مجموعة من النقاط المضيئة المرتبة بصورة منتظمة عرف هذا النموذج بنموذج لاو.

**يتراوح طول موجة الاشعة السينية بين 0.1 الى 100 انجشتروم.

انتاج الاشعة السينية:

**بين روتنجن ان الاشعة السينية تنتج من تصادم الالكترونات السريعة وتفاعلها مع المواد الصلبة، لذلك فان الجهاز المستخدم لإنتاج الاشعة السينية يحتوي على ما يلي:

1- مصدر للإلكترونات (يسمى بقاذف او مدفع الالكترونات)

2- مسرع لزيادة السرعة وبالتالي الطاقة الحركية للإلكترونات.

3- جسم مادي تصطدم به الالكترونات ويعرف بالهدف.

** الجهاز المستخدم لإنتاج الاشعة السينية يسمى بأنبوبة الاشعة السينية وتتكون هذه الانبوبة من العناصر الاساسية التالية:

1- غلاف زجاجي مفرغ من الهواء ومحاط بواق سميك من الرصاص لامتصاص معظم الاشعة السينية الصادرة باتجاهات مختلفة ويسمح فقط بخروج الاشعة السينية من نافذة معينة في جدار الرصاص.

2- مدفع للإلكترونات وهو عبارة عن سلك من التنجستن يسخن بواسطة الطاقة الكهربية لدرجة حرارة عالية.

**حيث تنطلق الالكترونات حسب علاقة ريتشاردسون :

$$J = A_o T^2 \exp\left(-\frac{e\varphi}{kT}\right) \dots\dots\dots 1$$

حيث J كثافة التيار الصادر، K ثابت بولتزمان ، T درجة الحرارة المطلقة.

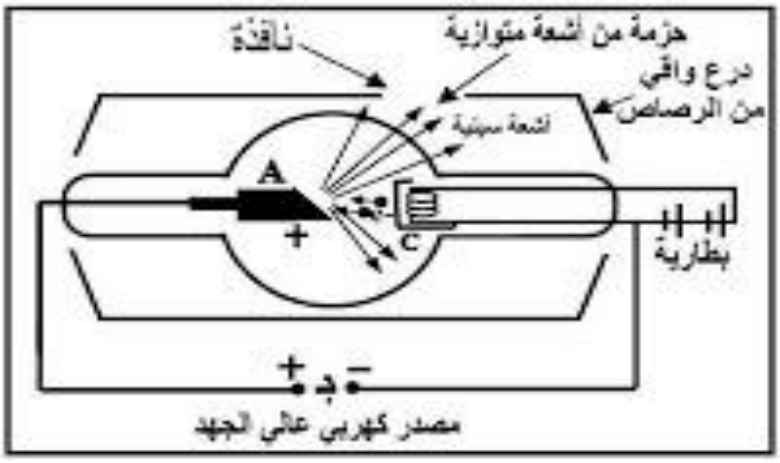
φ دالة عمل لمادة السلك مقاسة بالفولت.

وتعطى قيمة الثابت:

$$A_o = 1.2 \times 10^6 Amp/m^2.deg^2$$

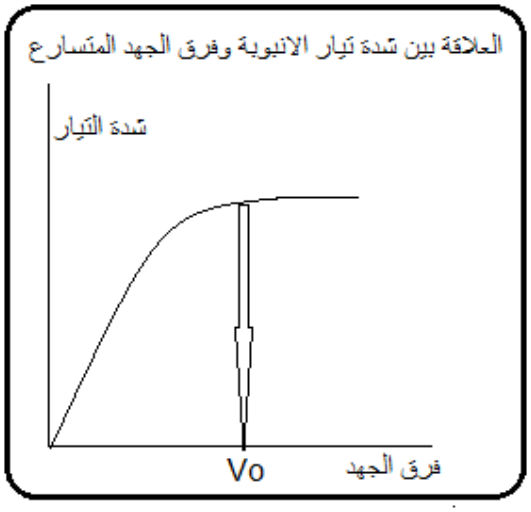
3- مهبط او كاثود C يحيط بمصدر الالكترونات ويصمم شكله الهندسي بحيث تنطلق الإلكترونات من المصدر نحو الهدف على شكل حزمة ضيقة وبالتالي يمنع تشتتها او تبعثرها خلال الأنبوبة. ويمكن التحكم في عدد الالكترونات الصادرة (شدة تيار الانبوبة) من خلال درجة حرارة المصدر.

4- هدف مصنوع من مادة درجة انصهارها عالية وعددها الذري كبير.



**تبين العلاقة (1) انه يمكن التحكم في عدد الالكترونات الصادرة (شدة تيار الانبوبة) من خلال درجة حرارة سلك التسخين.

حيث ان درجة حرارة سلك التسخين (قاذف الالكترونات) تحدد عدد الالكترونات الصادرة وعند درجة حرارة معينة ثابتة فان شدة تيار الانبوبة تعتمد على فرق الجهد المستخدم لتشغيل الانبوبة.



** حيث يلاحظ من الشكل زيادة سريعة في شدة التيار مع زيادة فرق الجهد ثم تبدأ في ان تتناقص الزيادة في شدة التيار وتثبت عند قيمة محددة لفرق الجهد Vo

وتعرف قيمة شدة التيار الثابتة بتيار التشبع

** يمكن تفسيرها انه في البداية عندما يكون فرق الجهد صغير فان طاقة حركة الالكترونات صغيرة وغير كافية للوصول الى الهدف.

مع زيادة فرق الجهد تزداد طاقة حركة الالكترونات وبالتالي يزداد العدد للوصول الى الهدف وتزداد شدة التيار ز

وعند قيمة معينة للجهد Vo تصبح طاقة الحركة للإلكترونات كبيرة لدرجة ان جميع الالكترونات تصل للهدف لذلك زيادة فرق الجهد (عند ثبات درجة الحرارة) لا تؤثر في شدة التيار ويصل الى حالة التشبع.

**تقاس كمية الاشعة الكهرومغناطيسية بوحدة الروتنجن R ويعرف الروتنجن بكمية الاشعة السينية التي تحدث تأين في حجم من الهواء الجاف مقداره $1cm^3$ تحت الشروط العيارية وتنتج شحنة كهربية موجبة او سالبة مقدارها وحدة واحدة من الكهرباء الساكنة.

كما يقاس معدل جرعة التعرض للأشعة السينية بوحدة الروتنجن ساعة.

.....

حيود الاشعة السينية:

**كان فون لاوي اول من اقترح استخدام البلورات المفردة كمحزوز حيود للأشعة السينية، لان المستويات الشبيكية لهذه البلورات تفصل بينها مسافة متقاربة مع طول موجة الاشعة السينية.

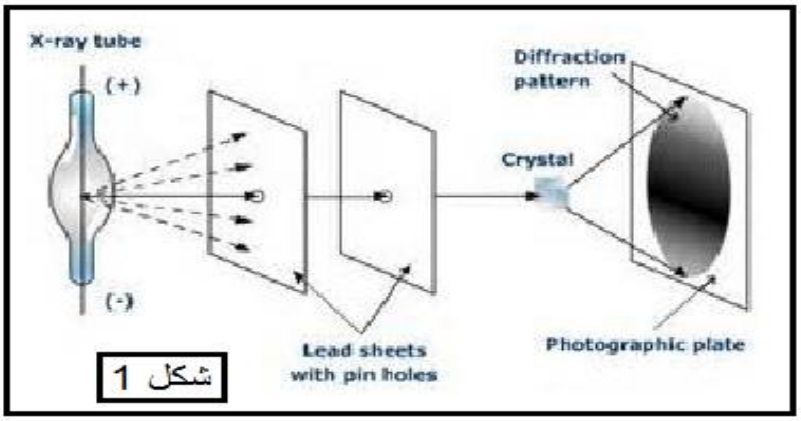
**يتكون الجهاز المستخدم بصورة أساسية من الأجزاء الآتية (الشكل1): (المطياف البلوري)

1- أنبوبة الاشعة السينية.

2- حاجزان بهما فتحات صغيرة لتركيز شعاع الفوتونات في مساحة ضيقة.

3- بلورة مفردة.

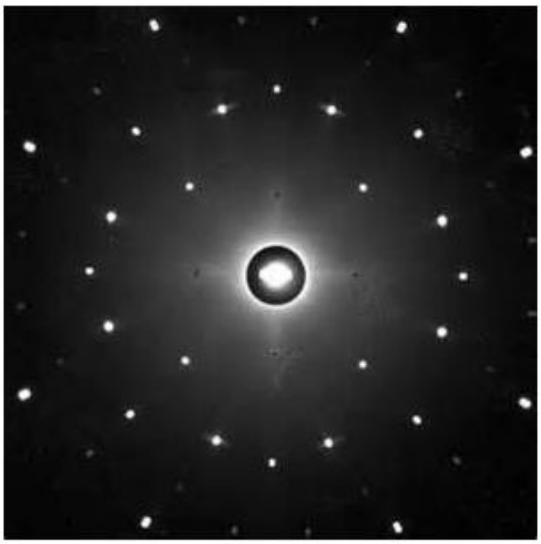
4- فلم تصوير.



شكل 1

**تسقط الاشعة السينية على البلورة حيث تتشتت بعد خروجها من البلورة على لوح تصوير، حيث لوحظ ان الاثر الذي تركته الاشعة السينية المشتتة على الفيلم يتكون من نقطة مركزية مضيئة محاطة بنقاط مضيئة مرتبة بصورة منتظمة حولها.(شكل2)

**بين لاوي ان نموذج الحيود ناتج عن حيود الاشعة السينية بواسط مراكز تشتت موجودة بصورة منتظمة داخل البلورة المفردة.


شكل 2

**بينت التجربة ان الاشعة السينية ماهي الا امواج كهرومغناطيسية طول موجتها يساوي تقريباً البعد بين المستويات الشبيكية في البلورة من رتبة الانجستروم.

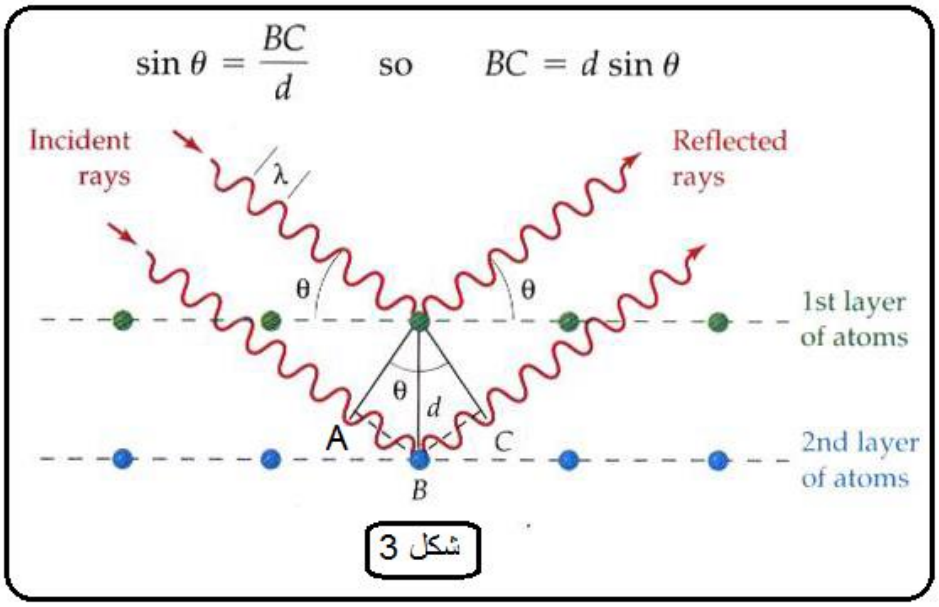
**تمكن براغ من تبسيط هذه طريقة التي تحتاج لتحليل معقد حيث عالج حيود الأشعة السينية كمعالجة انعكاس الضوء المرئي عن المرايا العاكسة، حيث طبقا قوانين انعكاس الضوء المرئي.

**يكون الفرق بين انعكاس الضوء المرئي عن المرايا العاكسة وانعكاس الاشعة السينية عن سطح البلورة هو ان الضوء العادي ينعكس عن السطح فقط اما الاشعة السينية فهي تنعكس عن كل مستوى من المستويات البلورية، وذلك لقدرة الاشعة السينية على اختراق المواد فان جميع المستويات الشبيكية في البلورة تساهم في عملية الانعكاس.

**يعكس كل مستوى من المستويات الشبكية جزء صغيرا من الطاقة الإشعاعية الساقطة بصورة مرنة وبالتالي فإن تردد الأشعة المنعكسة يكون مساويا لتردد الأشعة الساقطة.

**بما أن المسافة بين المستويات الشبكية صغيرة فأنه يمكن إهمال الامتصاص خلال البلورة واعتبار أن الأشعة السينية الساقطة على جميع المستويات الشبكية لها نفس التردد.

**من الشكل 3 يلاحظ انه عند سقوط حزمة من الاشعة السينية وحيدة الطاقة على سطح بلورة مفردة، ظهور انعكاسات عن المستويات الشبكية المختلفة داخل البلورة ، وبالنسبة للشعاعين الموضحين بالشكل فان تداخلهما يعطي تقوية في شدة الاشعة السينية المنعكسة (تداخل بناء) وذلك عندما ينعدم فرق الطور أو عندما يساوي فرق المسار بينهما أعداد صحيحة من الاطوال الموجية.



شكل 3

** أي ان فرق المسار $\boldsymbol{\delta}$ بين الشعاعين هو:

$$\delta = AB + BC = 2dsin\theta \dots\dots\dots 1$$

حيث ان d المسافة بين المستويات الشبيكية داخل البلورة .

$\boldsymbol{\theta}$ هي الزاوية المحصورة بين سطح البلورة والشعاع الساقط.

**يكون شرط التداخل البناء:

$$n\lambda = 2dsin\theta \dots\dots\dots.2$$

حيث $\boldsymbol{\lambda}$ طول موجة الاشعة السينية الساقطة.

و n عدد صحيح يحدد رتبة الحيود. (n=1,2,3,.....)

** يلاحظ انه عند طول موجي محدد، و عندما يكون d مقدار محدد (ثابت) وفي حالة الانعكاس من الرتبة الاولى تكون الزاوية التي تحقق قانون براغ ويحدث عندها الحيود.

$$\theta_o = sin^{-1}\left(\frac{\lambda_o}{2d}\right) \dots\dots\dots 3$$

وهذا يساوي مقدار ثابت فاذا استخدمت زاوية الحيود غير الموجودة في العلاقة 3 فانه لا يمكن الحصول على نموذج حيود، لذلك فقد جرت العادة لتحقيق قانون براغ تثبيت طول موجة الاشعة السينية الساقطة عند قيمة معينة وتغيير الزاوية بصورة مستمرة، يمكن تدوير البلورة لتغيير الزاوية والحصول على نموذج حيود.

طيف الاشعة السينية:

** يمثل الطيف التوزيع الطاقي للأشعة ويمكن الحصول عليه برسم العلاقة بين شدة الاشعة كدالة في التردد او الطول الموجي.

** يمكن ان يكون الطيف خطي او مستمر فاذا تكون الشعاع من ثلاثة انواع من الفوتونات التي ترددها v_1,v_2,v_3 وعدد كل منها N_1,N_2,N_3, فوتون على التوالي فان طيف الإشعاع يتكون من ثلاثة خطوط طيفية. اما في حالة الطيف المستمر فيكون توزيع الفوتونات مستمر او متصل بين قيمتين صغرى وعظمى.

طيف الامتصاص:

**يمكن الحصول على طيف الامتصاص للأشعة السينية خلال مادة برسم معامل الامتصاص الخطي للأشعة السينية في المادة كدالة في طول الموجة او التردد، يمكن استخدام المطياف البلوري لتحقيق ذلك حيث توضع المادة المراد رسم طيف امتصاص الاشعة السينية خلالها بين الكاشف والبلورة.

** يمكن تعيين معامل الامتصاص الخطي خلال المادة بمعرفة سمكها وشدة الاشعة الاصلية وشدة الاشعة بعد خروجها من المادة.

** يلاحظ ان معامل الامتصاص الخطي يتناسب بصورة عامة مع λ^3

أي ان:

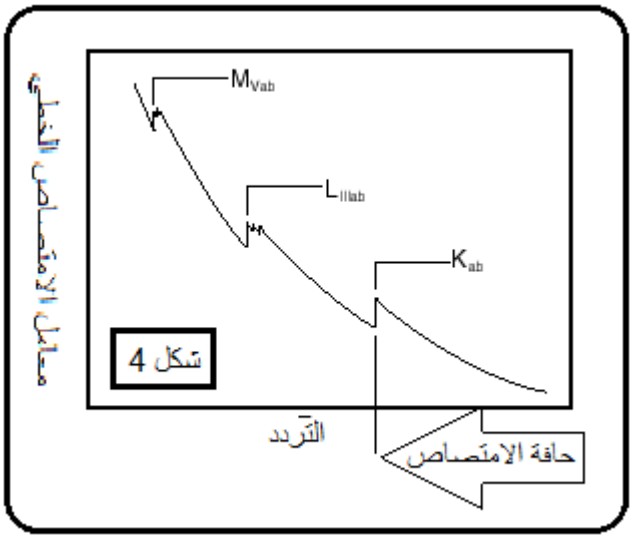
$$\mu = A\lambda^3 \dots\dots\dots 4$$

حيث ان A مقدار ثابت.

** كما لوحظ انه عند قيم معينة لطول الموجة، يلاحظ انخفاض مفاجئ في معامل الامتصاص الخطي وتسمى الاطوال الموجية او الترددات التي يحدث عندها هذا الانخفاض بحواف الامتصاص (شكل 4).

**يمكن الاستنتاج من الانخفاض المفاجئ لمعامل الامتصاص ان احدى عمليات التفاعل التي تؤدي لامتصاص الفوتونات في المادة والتي طول موجتها اقل من λ_k

قد توقفت عندما اصبح طول موجة الفوتونات اكبر من λ_k



**وقد كان كوسيل اول من بين ان طاقة فوتونات الاشعة السينية عند حافة الامتصاص الاولى تساوي بالضبط طاقة ربط الكترونات المدار الاول لذرة المادة والذي جرت العادة على تسميته في حالة الاشعة السينية بالمدار K.

**يمكن تفسير الزيادة في امتصاص الفوتونات، فاذا كانت طاقة الفوتونات في الحالة الاولى ($\boldsymbol{\lambda < \lambda_k}$) اكبر من طاقة ربط المدار الاول فانه يمكن لهذه الفوتونات ان تمتص خلال المادة من خلال الظاهرة الكهروضوئي.

** اما عندما تصبح طول موجة الفوتونات اكبر من λ_k

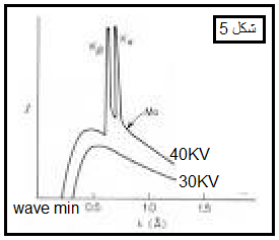
فان طاقتها تصبح اقل من طاقة ربط المدار الاول ولا تحدث هذه الظاهرة ولا تمتص الفوتونات مما يؤدي الى نقصان في معامل الامتصاص.

** يلاحظ ان حافة الامتصاص الثانية والتي تعرف بالحالة L(n=2) تكون من ثلاث حواف فرعية، اما الحافة M فأنها تتكون من سبع حواف فرعية وهكذا.

**من خلال دراسة طيف الامتصاص للمادة يمكن تحديد طاقة بعض حالات المادة وذلك بمعرفة حواف الامتصاص.

طيف الاصدار:

**عند استخدام المطياف البلوري لتحليل طيف الاشعة السينية الصادرة من احد اجهزة انتاج الاشعة السينية، يلاحظ ان الطيف الصادر يتكون بصور عامة من طيف خطي منطبق على طيف مستمر (الشكل 5)، ويوضح الشكل الطيف الصادر من من المولوبدنوم عند استخدام فرقي جهد 30 و 40 كيلو فولت لتشغيل الانبوبة، ويلاحظ أن الطيف الخطي لم يظهر عند استخدام فرق جهد 30 كيلو فولت.



شكل 5

**كما لوحظ ان توزيع الطيف المستمر يبدأ من قيم صغرى لطول الموجة لا تعتمد هذ القيمة على مادة الهدف وانما تعتمد على جهد التشغيل.

** كما وجد دوان وهنت ان العلاقة التجريبية بين بين التناسب العكسي لطول الموجة الصغرى وفرق جهد التشغيل على الصورة التالية:

$$\lambda_{min} = \frac{1.24x10^{-6}}{V}(m) \dots\dots\dots\dots 5$$

تعرف العلاقة السابقة بعلاقة دوان و هنت.

**بينت العلاقات التجريبية ان شكل الطيف المستمر لا يعتمد على مادة الهدف وانما يتحدد بالجهد المعجل، حيث يمكن تفسير الطيف المستمر للأشعة السينية من خلال تفاعل الالكترونات السريعة مع مادة الهدف ويمكن لمجال نوى الهدف القوي ان يحدث تباطؤ في حركة الالكترونات السريعة مما يؤدي الى فقدان جزء من طاقتها على صورة اشعة سينية،

**وقد تفقد الالكترونات جزء من طاقتها او قد تفقد جميع طاقتها الحركية وبما ان عدد الالكترونات كبير جداً فان عدد الاحتمالات يكون كبير جداً وبالتالي يظهر توزيع الطيف المستمر للأشعة السينية.

**تتحدد قيمة الطاقة العظمى للأشعة السينية بطاقة حركة الالكترون الساقط، يمكن حساب طول موجة او تردد الاشعة السينية الصادرة بمساواة طاقة حركة الالكترون بطاقة الاشعة الصادرة حيث ان:

$$E = h\nu_{max} = eV$$

$$\nu_{max} = \frac{e}{h}V \dots\dots.6$$

**حيث ان القيمة العظمى لتردد الاشعة السينية الصادرة ν_{max}

**تقابلها القيمة الصغرى لطول موجة الاشعة السينية الصادرة λ_{min}

$$\lambda_{min} = \frac{c}{\nu_{max}} = \frac{ch}{eV} = \frac{1.24x10^{-6}}{V}(m) \dots\dots\dots\dots 7$$

وهي نفس علاقة دوان وهنت.

** من العلاقة 6 عند رسم العلاقة التجريبية بين تردد الاشعة السينية الصادرة وفرق الجهد المستخدم للحصول على خط مستقيم يمكن استخدام هذا الميل في حساب ثابت بلانك.

** يسمى طيف الاشعة السينية المستمر بطيف الكبح وذلك لأنه ناتج من خلال كبح حركة الالكترونات السريعة داخل المادة.

الطيف الخطي:

**بينت نظرية بور في التركيب الذري ان الذرة تتكون من نواة مركزية تدور حولها الالكترونات في مدارات مختلفة.

** كما وجد بور ان طاقة المدار تتناسب طردياً مع مربع العدد الذري وعكسياً مع مربع عدد الكم الرئيسي، وفي حالة الذرات ذات العدد الذري الكبير فان طاقة المدار الاول (K) تكون اكبر ما يمكن مما ينتج عنها اطياف ضوئية.

**لقد بيننا سابقاً ان الالكترونات السريعة الساقطة على الهدف تفقد طاقتها بتصادمها مع نوى الهدف مما يؤدي الى صدور الطيف المستمر او طيف الكبح.

وهناك احتمال اخر للتفاعل خاصة اذا كانت طاقة الالكترونات الساقطة كبيرة جداً واكبر من طاقة ربط المدارات الداخلية للذرة.

** في هذه الحالة يحصل الالكترون الذري من الالكترون الساقط على طاقة كافيه لتحرره من الذرة فيترك مكانه فيها وتصبح الذرة مثارة وتعود الذرة الى حالتها الاولية (الارضية) بانتقال إلكترون آخر من مدار خارجي اكثر بعد عن النواة ليشغل مكان الالكترون المتحرر وينطلق فرق الطاقة بين المدارين على صورة فوتون الاشعة السينية.

**اذا كان الفراغ في المدار K فان الالكترون الذي ينتقل ليحل محله يكون من المدار الذي عدده الكمي اكبر من الواحد، واحتمال ان ينتقل الكترون من المدار L الاقرب للمدار K ويسمى الخط الطيفي الناتج K_α

**هذه العملية تؤدي الى ظهور فراغ في المدار L لينتقل الكترون من المدار M الى المدار L ليحل محل الفراغ ويؤدي الى ظهور الخط الطيفي L_α وهكذا يتوالى صدور الخطوط الطيفية.

**اما اذا انتقلت الالكترونات من المدار M الى المدار K فان الخطوط الطيفية المميزة هي K_β

** اما اذا انتقلت الالكترونات من المدار N الى المدار K فان الخط الطيفي المميز يسمى K_γ وهكذا....

** وتسمى الخطوط الميزة K_α, K_β.K بمتسلسلة K.

** وهكذا يمكن أن تنتج بقية المتسلسلات الطيفية كما في الشكل ص412 .

** ويمكن كتابة طاقة الخط المميز Kα على الصورة الآتية :

$$E(K_\alpha)=E_l-E_K$$

$$E(K_\beta)=E(K_\alpha)+E(L_\alpha)$$

.....

انتهى بحمد الله