

الميكانيك التقليدي

الميكانيك التقليدي (الكلاسيكي) او ما يعرف بميكانيك نيوتن هو فرع العلم المبني على قوانين نيوتن بالحركة والنظرية الكهرومغناطيسية لماكسويل لتفسير الظواهر المتعلقة بالحركة والطاقة استنادا للميكانيك التقليدي يمكن في نفس الوقت تحديد الموقع والزخم للجسم المتحرك, لكن وفقا لمبدأ هاينزبرك للدقة لا يمكن تحديدهما معا في نفس الوقت. افترض الميكانيك التقليدي انبعاث وامتصاص الطاقة يكون بشكل مستمر, لكن حسب التوزيع الطاقى لبلانك فإن انبعاث وامتصاص الطاقة لا يكون بشكل مستمر وانما بشكل حزم طاقية محددة تعرف بالكمات. اما اهم الظواهر التي فشل الميكانيك التقليدي في اعطاء اجوبة مقنعة لها هي

1-أشعاع الجسم الاسود.

2-التأثير الكهروضوئي.

3- الاطياف الذرية والجزيئية

4- السعات الحرارية

1-أشعاع الجسم الاسود

في مطلع القرن العشرين نتيجة لظهور المصباح الكهربائي ظهرت حاجة لوضع قانون يصف الطريقة التي بواسطتها يمكن أن نحصل على اكبر شدة ضوئية للمصباح مقابل اقل قدرة مستهلكة وفي البدء كانت المحاولات الأساسية لحل هذه المسألة مستندة على العلوم الاساسية التي كانت معروفة في ذلك الوقت وهي الميكانيك الكلاسيكي لنيوتن و الميكانيك الأحصائي والنظرية الكهرومغناطيسية لماكسويل إضافة الى الثروديناميك وكانت بداية القوانين التجريبية هو قانون ستيفان بولتزمان الذي يربط بين درجة حرارة خويط المصباح مع شدة الطاقة الأشعاعية المنبعثة لوحدة المساحة وينص هذا القانون:

$$W = \sigma T^4 \dots \dots \dots (1 - 1)$$

حيث أن :

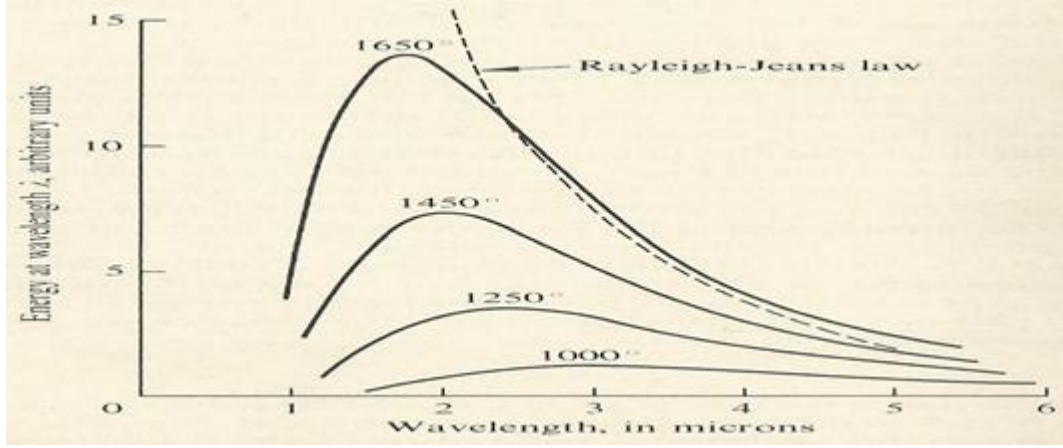
W تمثل كثافة الطاقة الأشعاعية لوحدة المساحة بوحدة $watt.m^{-2}$

T درجة الحرارة المطلقة بوحدة k

σ ثابت ستيفان بولتزمان وقيمه $56.7 * 10^{-9} watt.m^{-2}.k^{-4}$

س/أحسب كثافة الطاقة الإشعاعية المنبعثة من جسم درجة حرارته 100°C حسب قانون ستيفان بولتزمان

من الواضح ان هذا القانون يصف الطاقة الإشعاعية المنبعثة بصورة عامة بغض النظر التوزيع الطيفي لها (تبرز اهمية هذا الجانب من معرفة أن الكثير من الأطوال الموجية تعطي تأثير حراري فقط ولا تعطي طاقة ضوئية) لذلك من المهم معرفة توزيع طاقة الطيف على الأطوال الموجية او ترددات للأشعاع المنبعث من الجسم الساخن وقد وجدت حقيقتين تجريبتين يمكن وصفها بالمخطط الآتي



الشكل 1-1: طاقة اشعاع الجسم الاسود مقابل الطول الموجي

1- تصل كثافة الطاقة الاشعاعية الى نقطة نهاية عظمى عند طول موجي معين ($\lambda_{\max}$)

2- يزاح $\lambda_{\max}$ باتجاه الطول الموجي الأقصر بزيادة درجة الحرارة

وعملياً فأن الشكل السابق يمكن ملاحظته بصورة واضحة عند تسخين قطعة من الحديد حيث يتحول لونها بعد فترة وجيزة الى اللون الاحمر ومن ثم تتحول الى اللون الابيض مع زيادة شدة الضوء المنبعث. كان Wien اول من حاول ان يضع قانون يتناول هذه الظاهرة ويسمى قانون Wien للازاحة

$$\lambda_{\max} \cdot T = \text{constant} = 2.898 \times 10^{-3} \text{ m.k} \dots \dots \dots (2 - 1)$$

س) احسب درجة حرارة سطح الشمس اذا علمت أن $\lambda_{\max}$ لطيف الأشعاع الشمسي هو 527 nm

بعدها قام رايلي و جينز بوضع معادلة تدمج قانوني ستيفان بولتزمان مع قانون وين للازاحة أستنادا على مبدأ التوزيع المتساوي للطاقة و الذي ينص

$$P(\lambda) d\lambda = \frac{8\pi kT}{\lambda^4} d\lambda \dots\dots\dots (3 - 1)$$

اذ $P(\lambda)$ هي كثافة الطاقة الاشعاعية عند الطول الموجي λ , k ثابت بولتزمان $(1.38 \times 10^{-23} J.k^{-1})$

أن قانون التوزيع الطيفي السابق ينطبق مع النتيجة العملية لأشعاع الجسم الأسود في الشكل السابق ضمن الأطوال الموجية الطويلة لانه لايفسر حقيقة وجود نقطة نهاية عظمى في الطيف كذلك فانه لا يتطابق اطلاقا في منطقة الاطوال الموجية القصيرة. في عام 1900 افترض بلانك أن الطاقة الاشعاعية للجسم الأسود لا تتبع ولا تمتص بصورة مستمرة وإنما بحزم سماها كمات الطاقة وأن كل حزمة تكون ذات طاقة محددة تعطى بالعلاقة

$$E = h\nu \dots\dots\dots (4 - 1)$$

$$\text{or } E = h.C/\lambda \dots\dots\dots (5 - 1)$$

حيث أن E طاقة الأشعاع, h ثابت بلانك $(6.63 \times 10^{-34} J.sec)$, C سرعة الضوء $(3 \times 10^8 m.sec^{-1})$, ν تردد الاشعاع, λ الطول الموجي.

س/ أحسب طاقة الفوتون ذو الطول الموجي 320 nm

عند اشتقاق قانون توزيع الطاقة لكل نمط اهتزازي (حسب الترموديناميك الاحصائي) حصل بلانك على العلاقة

$$P(\lambda) d\lambda = \frac{8\pi hC}{\lambda^5 [EXP\left(\frac{hC}{\lambda kT}\right) - 1]} d\lambda \dots\dots\dots (6 - 1)$$

والذي يتطابق مع النتائج العملية لأشعاع الجسم الأسود.

2-التأثير الكهروضوئي

رغم النجاحات التي تمخضت عن فرضية بلانك حول مفهوم تكميم الطاقة الا أنه لم تقبل هذه الفرضية من أغلب العلماء في ذلك الوقت ومن بينهم بلانك نفسه الى أن تفسير ظاهرة الانبعاث الكهروضوئي

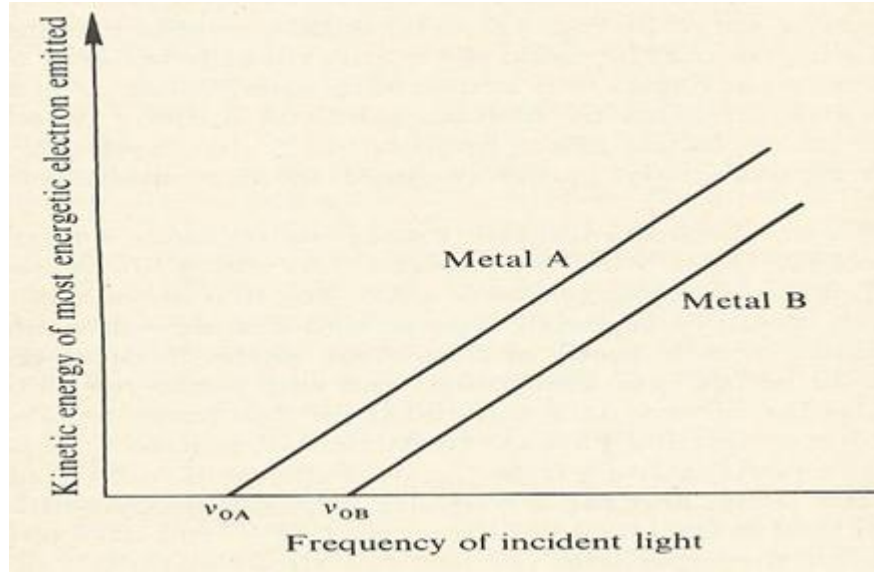
بعد عدة سنوات من قبل اينشتاين بالأستناد الى الفريضة الأساسية لبلانك اعطى دعم اخر لتلك الفرضية .

تحصل ظاهرة التأثير الكهروضوئي نتيجة تشيع سطح فلز معين بأشعاع ذو طول موجي مناسب ويمكن تلخيص النتائج التجريبية كالآتي :

1-لا تتبع الإلكترونات الضوئية مالم يتجاوز تردد الأشعاع الساقط حداً معين يسمى تردد العتبة وبغض النظر عن شدة الأشعاع الساقط.

2-الطاقة الحركية للإلكترونات الضوئية تتناسب طردياً وبصورة خطية مع تردد الأشعاع الساقط ولا تتأثر بشدته.

3-يحصل أنبعاث كهروضوئي مباشر وحتى عن مستويات الشدة الواطئة للطاقة الضوئية اذا تجاوز تردد الضوء حد العتبة , و يتناسب التيار الكهروضوئي طردياً مع شدة الاشعاع الساقط اذا تجاوز تردد العتبة.



الشكل 1-2: طاقة الإلكترونات المنبعثة نتيجة التأثير الكهروضوئي مقابل تردد الاشعاع الساقط

تفسير انشتاين لهذه الملاحظات يعتمد على افتراض أن هنالك تصادم يحصل بين الإلكترونات داخل الفلز وبين ما يشبه الجسم في الأشعاع الساقط وقد افترض انشتاين أن شبيه الجسم هذا المتضمن في الأشعاع هو نفسه كم الطاقة الضوئية المفترض من قبل بلانك في تفسير ظاهرة اشعاع الجسم الأسود وهو ما يعرف اليوم بالفوتون حيث تكون طاقة ذلك الفوتون $h\nu$ حسب نظرية بلانك وبفرض أنه يتطلب حد ادنى من الطاقة او الشغل الازم أنجازه لأخراج الفوتون من سطح المعدن ويسمى بدالة

الشغل Φ وعليه فإن الطاقة الحركية للألكترون الضوئي المنبعثة تمثل الفرق بين طاقة الفوتون الساقط ودالة الشغل للفيلز

$$KE = h\nu - \Phi \dots\dots\dots (10 - 1)$$

س) تبلغ قيمة Φ لفيلز للبلاتين 8×10^{-10} هل يستطيع فوتون ذو طول موجي 200 nm ان يسبب تاثير كهروضوئي ؟ اذا كان كذلك احسب الطاقة الحركية للالكترون المنبعث؟

لقد توصل اينشتاين الى ان الضوء يملك طبيعة ازدواجية حيث يتصرف كموجة كما كان معلوم سابقا وفي احيان اخرى يتصرف كجسيم وحيث ان الفوتون يتحرك بسعة الضوء فان ذلك يعني ان كتلة سكونه تكون مساوية للصفر حسب مبادئ النسبية الخاصة و بالرجوع الى علاقة تكافؤ الطاقة و الكتلة

$$E = mc^2 \dots\dots\dots (11 - 1)$$

و بمساواتها مع علاقة بلانك (5-1) نحصل على

$$mc^2 = hc/\lambda \rightarrow mc = h/\lambda \rightarrow p = h/\lambda \dots\dots\dots (12 - 1)$$

وحيث ان المقدار mc يمتلك وحدات الزخم p لذلك فان الفوتون يمتلك زخما وهذا صفة من صفات الجسيمات بالرغم من ان كتلة سكونه تكون صفر.

3- نظرية الكم والاطياف الذرية Quantum theory and Atomic spectra

ان الاشعاع المنبعث من الذرات في حالة اثارها يوفر معلومات قيمة حول طبيعة التركيب الالكتروني للذرات فقد دلت التجارب العملية على ان اطياف الامتصاص او الانبعاث للذرات لا يكون مستمرا وانما تتألف من عود من الخطوط الطيفية ذات الترددات المحدودة. خلال السنوات (1885 – 1910) وجد كل من بالمر (Balmer) و ريدبرغ (Rhydberg) و رتزر (Ritz) وغيرهم ان العلاقة التجريبية الاتية تفسر تماما الترددات الطيفية لذرة الهيدروجين :

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \dots\dots\dots (13 - 1)$$

$\bar{\nu}$ العدد الموجي ويمثل مقلوب طول موجة الاشعاع, n, m تمثل بالكلمات الاتية

$$n = 1,2,3, \dots\dots, m = 2,3,4, \dots\dots$$

=R ثابت ريدبرغ والذي له قيمة $(109677.6 \text{ cm}^{-1})$

المعادلة (1 – 13) اعطت السلاسل خطوط طيفية مختلفة لطيف ذرة الهيدروجين سلاسل الخطوط هذه سميت بأسم مكتشفها وكالاتي:

سلسلة لايمان : $Lyman \text{ series} : n = 1, m = 2, 3, 4, \dots$

سلسلة بالمر : $Balm \text{ series} : n = 2, m = 3, 4, 5, \dots$

سلسلة باشن : $Paschen \text{ series} : n = 3, m = 4, 5, \dots$

سلسلة براكيت : $Brackett \text{ series} : n = 4, m = 5, 6, \dots$

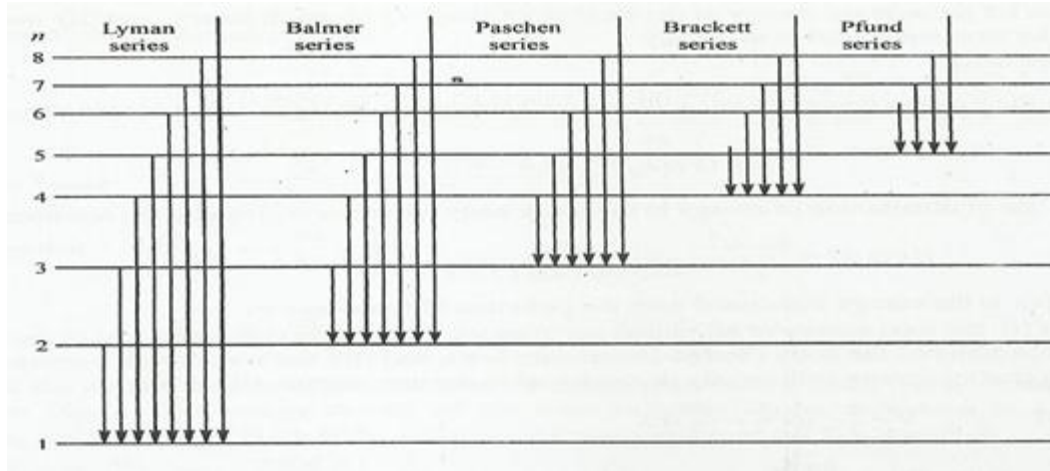
سلسلة بفوند : $Pfund \text{ series} : n = 5, m = 6, 7, 8, \dots$

تحصل خطوط سلسلة لايمان في منطقة فوق البنفسجية للطيف بينما سلسلة بالمر والسلاسل البقية تحدث عند المنطقة المرئية .

في عام 1913 استخدم نيلز بور (Niels Bohr) نظرية الكم لتفسير الخطوط الطيفية لذرة الهيدروجين حيث اعتبر أن الضوء ينبعث من ذرة الهيدروجين فقط عندما يمتلك طاقة $(E = h\nu)$ وهذا مخالف للأفكار الكلاسيكية أن ذرة H تنتهيج فقط حالات طاقة محددة, حيث ان معادلة مستويات الطاقة للحالات المستقرة لذرة الهيدروجين بدلالة أعداد الكم n هي

$$E_n = \frac{-2\pi^2 m e^4}{n^2 h^2} \dots \dots \dots (14 - 1)$$

المعادلة الأخيرة تبين أن الطاقة كممة وان n هو عدد الكم للألكترون و يبين الشكل (1-3) مخطط مستويات الطاقة وطيف ذرة الهيدروجين



الشكل 1-3: مخطط مستويات الطاقة وطيف ذرة الهيدروجين

وطبقاً لنظرية بور

$$E = Rhc = \frac{2\pi^2 me^4}{h^2} \rightarrow R = \frac{2\pi^2 me^4}{Ch^3}$$

و بالتعويض عن قيم الثوابت في المعادلة اعلاه وجد ان قيمة $R = 109737 \text{ cm}^{-1}$ وهي مطابقة بدرجة كبيرة مع النتائج العملية وهذا يعتبر نجاح كبير لنظرية الكم.

لقد بذلت محاولات عديدة خلال السنوات (1913-1925) لتعديل نظرية بور فقد قام كل من ويلسون (Wilson) وسومر فيلد (Sommerfield) بصورة مستقلة بتطوير نظرية بور وذلك بأدخال فكرة المدارات الاهليجية للالكترونات والتي نجحت بصورة جزئية بتفسير التركيب الدقيق للأطياف الذرية غير أن هذه المحاولات التي تعرف بنظرية الكم القديمة لم تنجح إطلاقاً في تفسير أطياف الذرات التي تحتوي أكثر من الكترون.

الافكار التي ادخلت على نظرية الكم الحديثة

1- الطبيعة المزدوجة للجسيمات وفرضيات دي برولي

توصل الفيزيائي الفرنسي دي برولي (L.deBroglie) الى اكتشاف صلة تشابه بين قوانين البصريات التي تتحكم في انتشار الضوء وقوانين ديناميكية الاجسام , جعله يتساءل أن كان بالأمكان تعميم مبدأ الطبيعة المزدوجة للضوء والذي أكتشف من قبل أينشتاين ليشمل حركة جسيمات المادة وبذلك تمكن دي برولي عام (1924) من صياغة مبدئه المشهور الذي ينص على أن اي جسم يتحرك تصاحب حركته موجة ذات طول موجي يتناسب عكسياً مع زخم ذلك الجسيم حسب العلاقة

$$\lambda = \frac{h}{p} \dots \dots \dots (15 - 1)$$

يتضح من المعادلة اعلاه أن الالكترون كتلته تساوي $(9.1 * 10^{-31} Kg)$ الذي يتحرك بسرعة $(1 * 10^6 m.sec^{-1})$ تصاحبه موجة ذات طول موجي

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6.63 * 10^{-34} J.sec^{-1}}{9.1 * 10^{-31} Kg * 1 * 10^6 m.sec^{-1}} = 7 * 10^{-10} m = 7A^0$$

اما بالنسبة الى للأجسام الكبيرة , فلو أخذنا جسماً كتلته $(1kg)$ يتحرك بسرعة $(1m.sec^{-1})$ فان قيمة λ تساوي $(6.63 * 10^{-34} m)$. أن القيمة الضئيلة جداً للطول الموجي في هذه الحالة تدل على ان الطبيعة الكمية لايمكن ملاحظتها بالنسبة لحركة الاجسام الكبيرة, لكن بالنسبة للالكترونات فإن λ لها مقارب للطول الموجي للاشعة السينية (X-ray) فلاغرابة أن نتوقع تشابهاً في أنماط الحيود للالكترونات والاشعة السينية , اذ اثبت ذلك عملياً دافيدسون (Davidson) وجرمر (Germer) عام (1927) واثومسون (Thomson) عام (1928) عندما قاموا بتجارب حول أنماط الحيود لبلورات فلزية بعد قذفها بوابل من الالكترونات.

2- قاعدة اللادقة لهايزنبرك

توصل العالم هايزنبرك (1927) الى مبدأ اللادقة لقياس الزخم و الموقع في أن واحد لنتصور أننا أجرينا تجربة لقياس زخم وموقع جسيم ما بصورة أنية ولنتصور أن هذا الجسيم هو الالكترون على سبيل المثال , لكي تتمكن من قياس الموقع بدقة نحتاج الى مجهر ويتطلب ذلك تسليط ضوء او فوتونات التي تنتشت عند اصطدامها بالجسيم حيث ان مدى المسافة ΔX المتوقع ايجاد الالكترون فيها تتناسب مع الطول الموجي للفوتون المستخدم في تحديد موقع الالكترون, ولكن كلما استعملنا فوتون ذو طول موجي اقصر لزيادة دقة القياس ازدادت طاقة الفوتون و بالتالي ازداد الزخم المنقول من هذا الفوتون الى الالكترون المراد تحديد موقعه ΔP وهذا يعني زيادة سرعة الالكترون لذا فإن زخم الجسم سيخضع الى شك (اللا دقة) قدره $\Delta P = h / \Delta X$ ان الصيغة العامة لعلاقات اللاتحديد مثال ذلك علاقة اللادقة بين الموقع والزخم الخطي

$$\Delta X . \Delta P_x \geq \frac{h}{2\pi} \dots \dots \dots (16 - 1)$$

أي لايمكن تحديد موقع جسيم وزخمه بدقة متناهية بصورة أنية ففي حالة تحديد أحدهما وليكن الزخم $\Delta P_x = 0$ فإن التغير بالموقع يساوي $\Delta X = \infty$ كذلك يمكن أيجاد اللادقة لقياس الطاقة والزمن بنفس الطريقة

$$\Delta E . \Delta t \geq \frac{h}{2\pi} \dots \dots \dots (17 - 1)$$

في حالة كون $\Delta t = \infty$ فإن $\Delta E = 0$ أي أنه عند تهيج النواة في ما لانهاية من الزمن فإن الطاقة تملك أقل قيمة والتي تعرف بالحالة المستقرة stationary state

