

الذرة وميكانيك نيوتن

Atome et mecanique de Newton

خاص بالعلوم الرياضية والعلوم التجريبية مسلك العلوم الفيزيائية

I - حدود ميكانيك نيوتن

1 - قانون نيوتن وقانون كولم

أ - قانون نيوتن : التأثير البيئي التجاذبي

جسمان نقطيان A كتلته m_A و B كتلته m_B يطبق الواحد منهما على الآخر قوة تجاذب كوني اتجاهها هو المستقيم المار من A و B ،

$$F_{A/B} = F_{B/A} = G \frac{m_A \cdot m_B}{(AB)^2} \text{ : تساوي ، وشدتهما المؤثر ، وشدتهما تساوي :}$$

بحيث $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N.m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$. هي ثابتة التجاذب الكوني .

$$\vec{F}_{A/B} = -G \frac{m_A \cdot m_B}{(AB)^2} \vec{u}_{AB}$$

ب - قانون كولم

جسمان نقطيان A شحنته q_A و B شحنته q_B يطبق كلاهما على الآخر قوة تجاذب أو تنافر اتجاهها هو المستقيم المار من A و B ، ومنحاهما يتعلق بإشارتي q_A و q_B ، وشدتهما

$$F_{A/B} = F_{B/A} = k \frac{q_A \cdot q_B}{(AB)^2} \text{ : تساوي :}$$

بحيث أن $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ حيث $\epsilon_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$ هي ثابتة العزل في الفراغ

$$\vec{F}_{A/B} = k \frac{q_A \cdot q_B}{(AB)^2} \vec{u}_{AB}$$

ملحوظة : التأثير البيئي التجاذبي في الذرة مهمل أمام التأثير البيئي الكهرساكن .

مثلا في حالة ذرة الهيدروجين لدينا :

$$\frac{F_g}{F_e} = \frac{G m_e \cdot m_p}{k \cdot e^2} \approx 4,4 \cdot 10^{-40}$$

2 - النموذج الكوكبي للذرة

باستعمال المماثلة بين قوى التأثير البيئي التجاذبي الكوني ، وقوى البيئي الكهرساكن ، اقترح العالم رودفورد في مطلع القرن العشرين " نموذجاً كوكبياً " للذرة حيث نمذج النواة بكوكب ما ونمذج الإلكترونات بأقمار هذا لكوكب ز ومثلما تتحكم قوى التأثير البيئي التجاذبي في حركة الأقمار حول الكوكب ، تتحكم قوى التأثير البيئي الكهرساكن في حركة الإلكترونات حول النواة .

3 - حدود ميكانيك نيوتن

بالنسبة لمجموعة كوكبية (أرض - قمر اصطناعي) مثلا ، تسمح ميكانيك نيوتن بالتنبؤ بإمكانية وضع القمر الاصطناعي في مدار حول الأرض ، حيث يتعلق ارتفاعه عنها بالشروط البدئية لإطلاقه . وبما أنه يمكن تغيير تلك الشروط البدئية ، فإن شعاع مدار القمر الاصطناعي (باعتباره دائريا) يمكنه أن يأخذ جميع القيم الممكنة .

باعتبار ذرة الهيدروجين وتخيلنا أن إلكترون الذرة في حركة دائرية منتظمة حول النواة ، فإنه حسب ميكانيك نيوتن يمكن لشعاع مدار الإلكترون أن يأخذ جميع القيم الممكنة ، وبالتالي فإن ذرتي هيدروجين سيكون لهما حجامان مختلفان حسب شعاع المدار وهذا غير صحيح لأن ذرتي هيدروجين لهما نفس الحجم وبصفة عامة جميع ذرات الهيدروجين لها نفس المميزات . وهذا ما يجعل ميكانيك نيوتن تعجز عن تفسيره .

لا يمكن لميكانيك نيوتن أن تفسر الظواهر الفيزيائية التي تحدث على مستوى الذرات أو الجزيئات . من بين هذه الظواهر الفيزيائية ، التبادلات الطاقية بين المادة وإشعاع ضوئي والتي تبرزها أطيف الذرات

II - كمية التبادلات الطاقية

يحدث تبادل الطاقة

- عند اصطدام ذرة بدقيقة مادية

- عندما يحدث تأثير بيني بين الذرة وإشعاع ضوئي .

سنة 1900م وضع الفيزيائي الألماني ماكس بلانك فرضية : المادة والضوء لا يمكنهما أن يتبادلا الطاقة إلا بكميات منفصلة

تسمى **كمات الطاقة** .

الذرة وميكانيك نيوتن

الطاقة المتبادلة E_{ech} بين المادة وإشعاع ضوئي لا يمكنها أن تأخذ إلا قيما محددة ومنفصلة ، نقول أن هذه الطاقة المتبادلة مكماة .

وحسب مبدأ انحفاظ الطاقة ، فإن الطاقة المتبادلة من طرف ذرة تساوي تغير طاقتها بين قيمتين E_1 و E_2 أي أن $\Delta E = E_2 - E_1$

1 - نموذج الفوتون

طور إنشتاين فرضية ماكس بلانك والتي تقول أن الضوء هو عبارة عن موجات كهرومغناطيسية يحمل طاقة على شكل كمات الطاقة ، وذلك بإثبات أن كمات الطاقة هاته تحملها دقائق تسمى **بالفوتونات** .
ما هو الفوتون ؟

الفوتون دقيقة ليست لها كتلة ، وغير مشحونة ، تنتقل في الفراغ بسرعة الضوء : $c = 3,00.10^8 \text{ m/s}$.
تتكون موجة كهرومغناطيسية ترددها ν ، وطول موجتها في الفراغ λ من فوتونات .

$$\text{طاقة كل فوتون : } E = h \cdot \nu = h \frac{c}{\lambda}$$

ν تردد الموجة ب Hz و λ طول الموجة ب المتر m و h ثابتة بلانك (J.s) و E طاقة الفوتون ب J .

للتعبير عن طاقة الفوتون نستعمل غالبا الإلكترون _ فولط : $1 \text{ eV} = 1,60.10^{-19} \text{ J}$

تمرين تطبيقي :

أحسب بالجول ، ثم بالإلكترون فولط ، طاقة فوتون مقرون بالإشعاع الأحمر لطيف الهيدروجين طول موجته يساوي 657nm .

عطي : سرعة الضوء في الفراغ : $c = 3,00.10^8 \text{ m/s}$ و ثابتة بلانك $h = 6,626.10^{-34} \text{ J.s}$

$$\text{الجواب : طاقة الفوتون هي : } E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

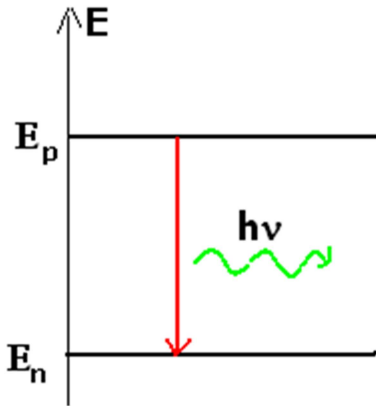
$$\text{حساب طاقة الفوتون بالجول : } E = \frac{6,626.10^{-34} \times 3.10^8}{656.10^{-9}} = 3,03.10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{حساب طاقة الفوتون ب eV : } E = 1,89 \text{ eV}$$

2 - موضوعات بوهر

تبين الدراسة التجريبية لطيف الانبعاث لذرة الهيدروجين في المجال المرئي أنه يتكون من عدة حزمات ملونة توافق كل منها إشعاعا معينا أحادي اللون ، وهو يتكون من أربع حزمات طول موجاتها هو كالتالي :

$$\lambda_1 = 411 \text{ nm} \text{ و } \lambda_2 = 435 \text{ nm} \text{ و } \lambda_3 = 487 \text{ nm} \text{ و } \lambda_4 = 657 \text{ nm} .$$



لتفسير هذه الظاهرة وضع العالم الفيزيائي الدنماركي نيلس بوهر موضوعات تحمل اسمه :

* تغيرات الطاقة لذرة تغيرات مكماة .
* لا يمكن أن توجد الذرة إلا في حالات طاقة معينة ، وتميز كل حالة طاقة بمستوى طاقي .

* يتم انبعاث فوتون تردده ν عندما تنتقل الذرة من مستوى طاقي E_p إلى مستوى

$$\text{طاقي } E_n \text{ أقل بحيث : } E_p - E_n = h\nu$$

III - تكمية مستويات الطاقة .

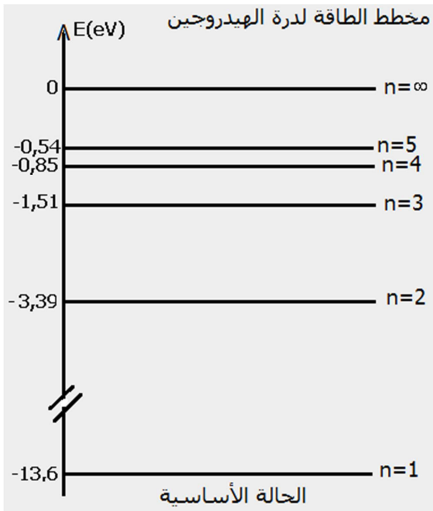
1 - تكمية مستويات الطاقة في الذرات

النموذج الذي وضعه بوهر يتناسب والأفكار الجديدة للتكمية ، يتمثل هذا النموذج في كون طاقة الذرة مكماة أي لا تأخذ سوى بعض القيم المنفصلة والمحددة تسمى

مستويات الطاقة . أي أن كل مستوى طاقي له طاقة معينة ونميزها بعدد n

يسمى **بالعدد الكمي** ، والذي يأخذ الأعداد 1 و 2 و 3

_ مستوى الطاقة بالنسبة للعدد الكمي $n = 1$ يسمى المستوى الأساسي وهو يوافق المستوى ذا الطاقة الأصغر (الحالة المستقرة للذرة)



– مستويات الطاقة ذات العدد الكمي $n > 1$ توافق المستويات المثارة .
– المستوى الطاقوي ذو العدد الكمي $n = \infty$ يوافق الطاقة $E_{\infty} = 0$ حيث الإلكترون غير مرتبط بالنواة . إن هذا الاصطلاح يستوجب أن تكون لكل المستويات الطاقوية أخرى طاقة سالبة .

مخطط مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين .

في غياب أي اضطراب خارجي ، إذا كانت الحالة الأساسية لذرة هي حالتها البدئية ، فإن الذرة تبقى في هذه الحالة .

عندما تكتسب ذرة طاقة خارجية ، فإنها تنتقل من حالتها الأساسية إلى إحدى الحالات المثارة والتي تكون في الغالب غير مستقرة ، لكن سرعان ما تعود إلى إحدى حالاتها ذات مستوى طاقي أقل ، وذلك بفقدان طاقة تكون مكماة .

الانتقال هو المرور من حالة إلى أخرى ذات مستوى طاقي أكبر (إثارة) أو ذات مستوى طاقي أقل (فقدان الاثارة)

تمرين تطبيقي :

باستعمال مخطط مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين :

- 1 – احسب الطاقة المفقودة خلال انتقال ذرة الهيدروجين من الحالة المثارة الرابعة إلى حالتها الأساسية .
- 2 – ما هي أكبر قيمة ممكنة لطاقة الانتقال بين حالتين متتاليتين ؟

الجواب :

- 1 – الطاقة المفقودة خلال انتقال الذرة من الحالة المثارة الرابعة إلى الحالة الأساسية :
 $E_4 - E_1 = -0,85 - (-13,6) = 12,75\text{eV}$

- 2 – الحالتان المتتاليتان اللتان تبعدان أكثر عن بعضهما البعض هما الحالة الأساسية والحالة المثارة الأولى :
 $E_2 - E_1 = 10,2\text{eV}$

2 – كمية مستويات الطاقة في الجزيئات

تتكون الجزيئات من ذرات في تأثير بيني ، مما يكثر من عدد مستويات الطاقة ويوسعها . فطاقة الجزيئة مكماة أيضا ، وهي تتعلق بالإلكترونات ، وباهتزازات الجزيئة حول مركز الكتلة ، وبدورانها .

3 – كمية مستويات الطاقة في النوى .

إن طاقة النواة مكماة كذلك ، بحيث أن النواة يمكنها أن تنتقل من مستوى طاقي إلى آخر ، مثل الذرة ، وذلك بفقدان طاقة أو باكتسابها . كما يمكن للنواة أن تثار بفعل اصطدامها مع دقيقة مادية عالية الطاقة تتوفر الذرات والجزيئات والنوى على مستويات الطاقة مكماة .

عندما تتبادل هذه المجموعات طاقة مع الوسط الخارجي ، فإنها تنتقل من مستوى طاقي E_p إلى مستوى طاقي E_n أو العكس .

هذه الطاقة المتبادلة تحكمها علاقة بوهر : $\Delta E = E_p - E_n$ بحيث أن $E_p > E_n$

VI – تطبيقات على الأطياف .

تعريف بطيف ضوء

نسمي طيف ضوء مجموع الإشعاعات التي يتكون منها هذا الضوء ، ويتميز كل إشعاع منها بطول الموجة في الفراغ .

1 – أطياف الذرات

<http://www.unice.fr/lasi/pagesperso/golebiowski/cours.htm>

تمثل الوثيقة أعلاه طيف حزمات الامتصاص وطيف حزمات الانبعاث لذرة الصوديوم ويلاحظ أن الحزمات المظلمة تحتل نفس مواضع حزمات الانبعاث عندما تنتقل ذرة من مستوى طاقي E_p إلى آخر ذي طاقة E_n أقل فإنها تفقد طاقة تبعثها على شكل إشعاع تردده ν ، بحيث أن

$$\Delta E = E_p - E_n = h\nu$$

* كلما كان الفرق ΔE كبيرا كلما كان التردد ν مهما .

* ترددات الإشعاعات المنبعثة تحددها مستويات الطاقة ؛ ففي طيف الانبعاث الذري ، كل حزمة أحادية اللون (أحادية طول الموجة) توافق انتقالا بين مستويين للطاقة .

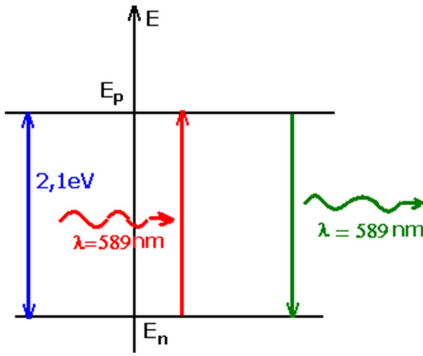
* لا تتعلق مستويات الطاقة لذرة إلا بطبيعة الذرة . هذه الأخيرة تبعث إشعاعات تميزها والتي تكون قادرة على امتصاصها أيضا ؛ إن طيف الانبعاث لذرة يميز الذرة شأنه في ذلك شأن مستويات الطاقة .

وعند إضاءة ذرات بواسطة ضوء أحادي طول الموجة في الفراغ تردده ν ، تنتقل الذرة من مستوى طاقي E_n إلى مستوى طاقي E_p ($n < p$) مع امتصاص الإشعاع إذا كانت $h\nu = E_p - E_n$

الذرة وميكانيك نيوتن

إذا كانت $h\nu$ أصغر من أي فرق ممكن بين مستويات الطاقة ، فإن الإشعاع يعبر المادة دون إحداث أي اضطراب .

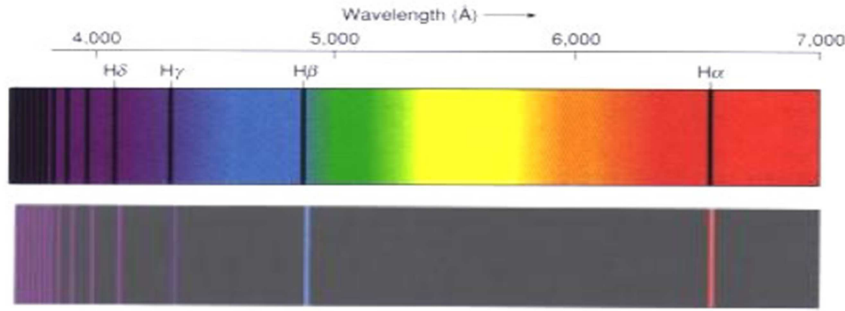
عندما تنتقل ذرة من مستوى طاقي E_n إلى مستوى طاقي E_p أكبر فإنها تمتص إشعاعاً تردده ν بحيث أن $\Delta E = E_p - E_n = h\nu$.



مثال نشاط تجريبي : دراسة طيف حزمات الهيدروجين

تجربة : نستعمل حيازة تحتوي على غاز الهيدروجين تحت ضغط ضعيف تتم إثارته بالتفريغ الكهربائي . فينبعث منه ضوء الذي يكون طيف الانبعاث لذرة الهيدروجين . والذي يمكن معاينته بواسطة مطياف . نلاحظ :
- طيف متقطع .

- يحتوي على حزمات طيفية أهمها الأربع التالية :
657nm أحمر 487nm أزرق 435nm نيلي 41nm بنفسجي



Comparaison des spectres d'émission et d'absorption de l'hydrogène

www2.ac-lyon.fr/lyc69/herriot/SPC/2nde/cours/PHYSIQUE/chapP4.pdf

في سنة 1908 م اقترح ريتز علاقة رياضية تمكن من حساب أطوال الموجة لطيف الانبعاث لذرة الهيدروجين في المجالات المرئي ، وفوق البنفسجي ، وتحت الأحمر ، وتربط هذه العلاقة أطوال الموجة λ_{np} بعددين طبيعيين n و p حيث $n=1$ أو $n=2$ أو

$$R_H = 1,09737320 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1} : \text{Rhydberg} \quad \text{بحيث أن } \frac{1}{\lambda_{np}} = R_H \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{p^2} \right) \quad (1) \quad \text{وهي } p > n \text{ و } \dots n=3$$

انطلاقاً من قيمة معينة لعدد n يمكن حساب متسلسلة من الحزمات وذلك بتغيير العدد p .

- متسلسلة بالمير توافق $n=2$ وتعطي اطوال الموجة لأربع حزمات مرئية توافق كل حزمة قيمة معينة لعدد p .

- متسلسلة باشين نحصل عليها بالنسبة للعدد $n=3$ و $p > 3$

متسلسلة ليمان نحصل عليه بالنسبة للعدد $n=1$ و $p > 1$

- متسلسلة براكيت نحصل عليها بالنسبة للعدد $n=4$ و $p > 4$

في سنة 1913 م اقترح الفيزيائي بوهر نظرية تمكن من تفسير طيف حزمات ذرة الهيدروجين ، حيث توصل إلى كون طاقة ذرة

هيدروجين معزولة هي : $E_n = -\frac{13,6}{n^2}$ (eV) ؛ حيث n عدد صحيح موجب يسمى العدد الكمي الرئيسي . يستخلص من هذا

أن طاقة ذرة الهيدروجين مكماة بحيث لا تأخذ إلا قيما محددة ، يميزها العدد n .
استثمار :

1 - تحقق من صحة العلاقة (1) بحساب أطوال الموجة للحزمات المرئية لمتسلسلة بالمير ، ثم قارن القيم المحصلة مع معطيات الوثيقة .

$$\text{نستعمل العلاقة : } \frac{1}{\lambda_{np}} = R_H \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{p^2} \right) \Rightarrow \lambda_{np} = \frac{1}{R_H} \left(\frac{(np)^2}{p^2 - n^2} \right) \quad \text{ونأخذ } n=2 \text{ و } p > 2$$

$$\text{نأخذ } p=3 \text{ لدينا } \lambda_{np} = \frac{1}{R_H} \left(\frac{(np)^2}{p^2 - n^2} \right) = \frac{1}{1,09737320 \cdot 10^7} \times \left(\frac{36}{9-4} \right) = 656,1 \text{ nm}$$

$$\text{نأخذ } p=4 \text{ } \lambda_{24} = 486 \text{ nm و } \lambda_{25} = 434 \text{ nm و } \lambda_{26} = 410 \text{ nm}$$

الذرة وميكانيك نيوتن

2 - أ - أحسب الترددات ν_{np} للحزات الأربع الأولى لمتسلسلات السالفة الذكر .

حساب الترددات ν_{np}

$$\nu_{23} = \frac{c}{\lambda_{23}} = 4,57 \times 10^{14} \text{ Hz} \quad \text{إلخ} \dots\dots$$

ب - أنقل قيم الترددات ν_{np} على محور رأسي للترددات ، ممثلا كل حزة بخط أفقي ، ومقرنا بكل حزة العددين n و p الموافقين

يستعمل السلم $1\text{cm} \leftrightarrow 2.10^{14} \text{ Hz}$

3 - أ - بين أنه إذا كانت طاقة الذرة مكماة ، فإن تغيرات الطاقة $(E_p - E_n)$ التي توافق التبادلات الطاقية مع الوسط الخارجي هي تغيرات مكماة أيضا .

ب - أثبت العلاقة التي تمكن من حساب الفرق $(E_p - E_n)$.

2 - أطياف الجزئيات :

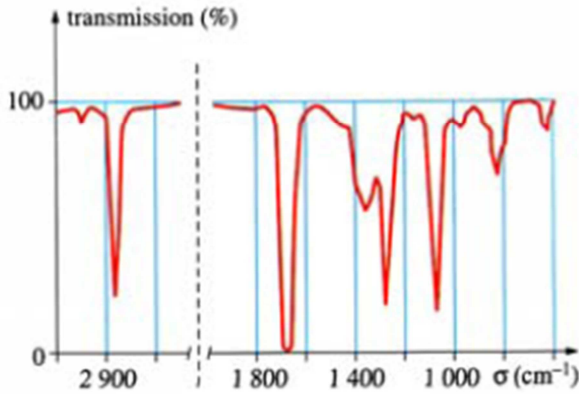
يتكون طيف الامتصاص لجزئية من حزات ومن مجالات الامتصاص ، حيث تنخفض الشدة الضوئية لإشعاع ممتص فجأة ، حيث يوافق كل قمة مقلوبة تردد الإشعاع الممتص .

رتبة قدر إشعاع ممتص هي 10^{11} Hz بالنسبة لجزئية ، مما يدل على أن مجالات الامتصاص توجد غالبا في المجال تحت الأحمر ، وبالتالي فهي غير مرئية ، ومن تم ينبغي تسجيلها باستعمال مكثفات ذات حساسية لهذه الإشعاعات .

إن تحليل طيف الامتصاص لجزئية يمكن من التعرف على هذه الجزئية ، كونه يقدم معلومات عن المجموعة الوظيفية وعن الروابط التي تحتوي عليها الجزئية .

تمرين تطبيقي :

يمثل المبيان جانبه طيف إمتصاص للبيوتانون . يتميز هذا الامتصاص بعدد الموجة $\sigma = 1/\lambda (\text{cm}^{-1})$ و معامل الانتقال نعبر عنه



بالنسبة المنوية للطاقة المنقولة من طرف البيوتانون

1 - أكتب الصيغة نصف المنشورة للبيوتانون

2 - لماذا يعتبر هذا الطيف ، طيف امتصاص ؟

3 - تتميز المجموعة C-H بوجود قمة الامتصاص الموافقة لعدد الموجة 2900cm^{-1}

3 - 1 أحسب طول الموجة ب nm الموافق لهذه المجموعة ، إلى

أي مجال ضوئي ينتمي هذا الإشعاع ؟

3 - 2 أحسب ب eV الطاقة الموافقة لهذا الإشعاع .

3 - أطياف النوى

طاقة النواة هي أيضا مكماة ، ففي النشاط الإشعاعي ، تكون النوى

النتيجة عن تفتت إشعاعي نوى مثارة . فقدان الإثارة لهذه النوى

يصاحبه انبعاث فوتونات ذات طاقة عالية (إشعاعية النشاط γ)

تميز النوى الباعثة .

رتبة قدر تغيرات الطاقة في النواة تناهز الميغا إلكترون - فولط (MeV) .