

الذرة وميكانيك نيوتن

Atome et mecanique de Newton

خاص بالعلوم الرياضية والعلوم التجريبية مسلك العلوم الفيزيائية

I - حدود ميكانيك نيوتن

1 - قانون نيوتن وقانون كولوم

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 ، ومنحاهما نحو الجسم المؤثر ، وشدتهما تساوي :

$$F_{A/B} = F_{B/A} = G \frac{m_A \cdot m_B}{(AB)^2}$$

بحيث $G = 6,67.10^{-11} N.m^2.kg^{-2}$. هي ثابتة التجاذب الكوني .

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

ب - قانون كولوم

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

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

بحيث أن $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ هي ثابتة العزل في الفراغ

$$k = 9.10^9 N.m^2.C^{-2}$$

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

ملحوظة : التأثير البيئي التجاذبي في الذرة مهمل أمام التأثير البيئي الكهرساكن .
مثلا في حالة ذرة الهيدروجين لدينا :

$$\frac{F_g}{F_e} = \frac{Gm_e \cdot m_p}{k \cdot e^2} \approx 4,4.10^{-40}$$

2 - النموذج الكوكبي للذرة

باستعمال المماثلة بين قوى التأثير البيئي التجاذبي الكوني ، وقوى البيئي الكهرساكن ، اقترح العالم رودرفورد في مطلع القرن العشرين " نموذجا كوكبيا " 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 حجمان 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 بي المادة وإشعاع ضوئي والتي تبرزها أطياف 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** .

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 : $c = 3,00.10^8 m/s$. تتكون موجة كهرومغناطيسية ترددها ν ، وطول موجتها في الفراغ λ من فوتونات .

$$E = h.\nu = h \frac{c}{\lambda}$$

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 : $1eV = 1,60.10^{-19} J$

تمرين تطبيقي :

أحسب بالجول ، ثم بالإلكترون فولط ، طاقة فوتون مقرون بإشعاع الأحمر لطيف الهيدروجين طول موجته يساوي $657nm$. نعطي : سرعة الضوء في الفراغ : $c = 3,00.10^8 m/s$ و ثابتة بلانك

$$h = 6,626.10^{-34} J.s$$

$$E = h.\nu = \frac{h.c}{\lambda}$$

$$E = \frac{6,626.10^{-34} \times 3.10^8}{656.10^{-9}} = 3,03.10^{-19} J$$

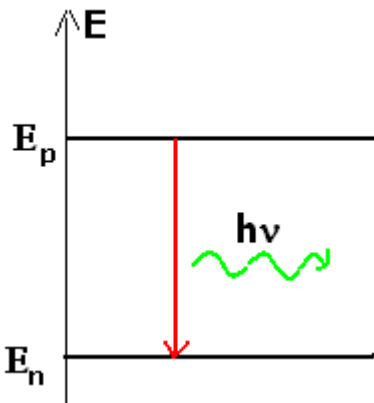
$$E = 1,89eV : eV \text{ ب } eV$$

2 - موضوعات بوهر

تبين الدراسة التجريبية لطيف الانبعاث لذرة الهيدروجين في المجال المرئي أنه يتكون من عدة حزمات ملونة توافق كل منها إشعاعا معيناً أحادي اللون ، وهو يتكون من أربع حزمات طول موجاتها هو كالتالي : $\lambda_1 = 411nm$ و $\lambda_2 = 435nm$ و $\lambda_3 = 487nm$ و $\lambda_4 = 657nm$.

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

* تغيرات الطاقة لذرة تغيرات مكماة .



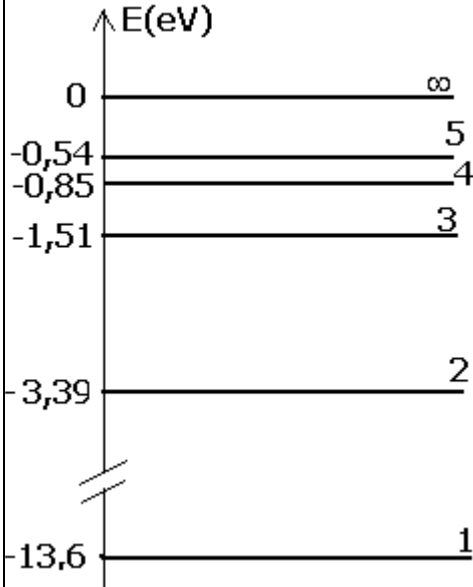
* لا يمكن أن توجد الذرة إلا في حالات طاقة معينة ، وتتميز كل حالة طاقة بمستوى طاقي .
* يتم انبعاث فوتون تردده ν عندما تنتقل الذرة من مستوى طاقي E_p إلى مستوى طاقي E_n أقل

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

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 مكمأة 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 الطاقي ذو العدد الكمي $n = \infty$ يوافق الطاقة $E_{\infty} = 0$ حيث الإلكترون غير مرتبط بالنواة . إن هذا الاصطلاح يستوجب أن تكون لكل المستويات الطاقية 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 مكمأة .

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 الانتقال 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 :

$$E_4 - E_1 = -0,85 - (-13,6) = 12,75eV$$

2 - الحالتان المتتاليتان اللتان تبعدان أكثر عن بعضهما البعض هما الحالة الأساسية والحالة المثارة الأولى :

$$E_2 - E_1 = 10,2eV$$

2 - تكمية مستويات الطاقة في الجزيئات

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

3 - تكمية مستويات الطاقة في النوى .

إن طاقة النواة مكمأة 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 مكمأة .

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

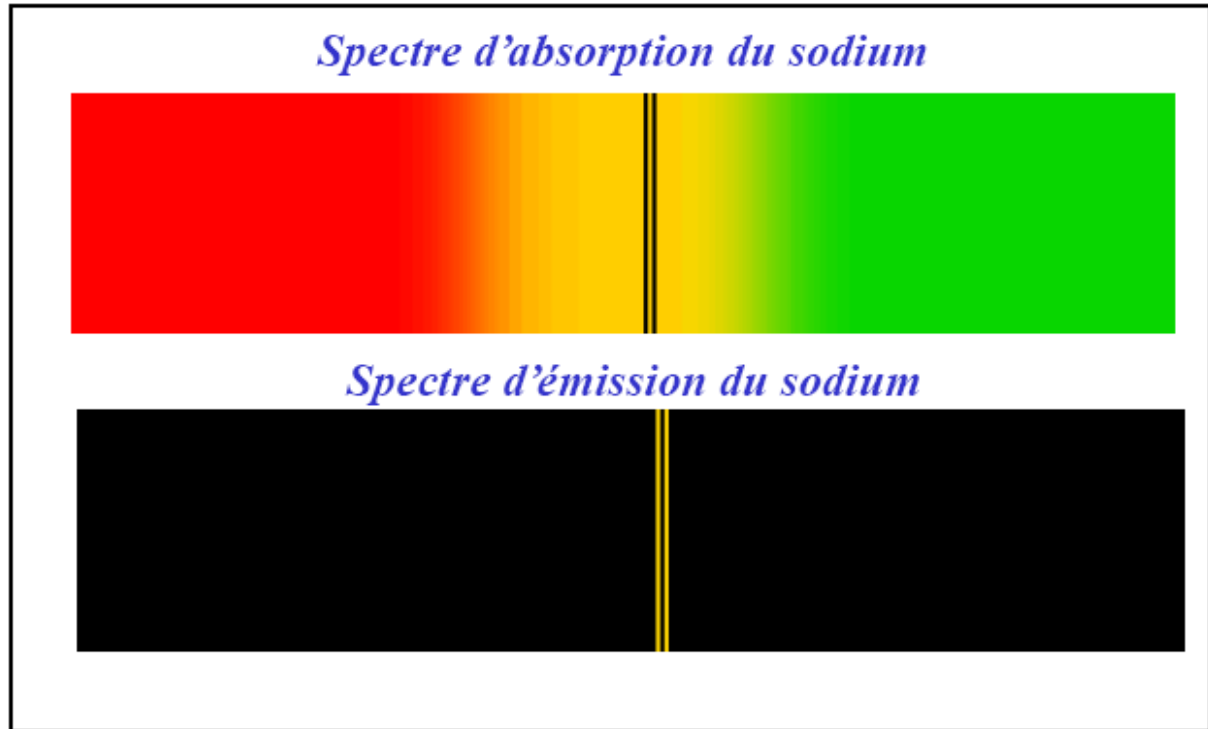
هذه الطاقة المتبادلة تحكمها علاقة بوهر : $\Delta E = E_p - E_n$ بحيث أن $E_p > E_n$

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 ولاحظ 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

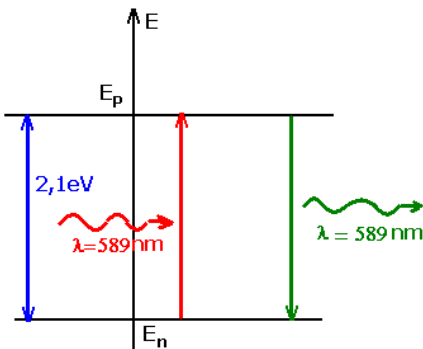
إشعاع تردده ν ، بحيث أن $\Delta E = E_p - E_n = h\nu$

* 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 $h\nu = E_p - E_n$

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

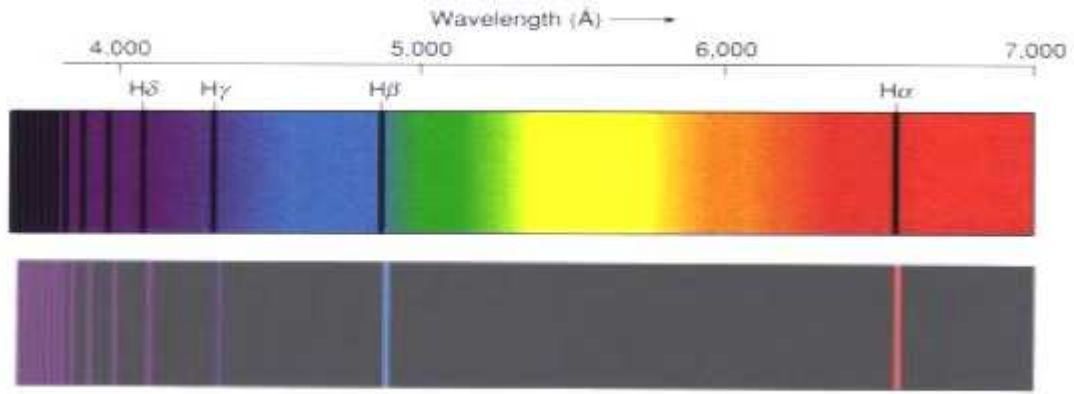
عندما تنتقل ذرة من مستوى طاقي E_n إلى مستوى طاقي E_p أكبر فإنها تمتص إشعاعاً تردده ν بحيث أن $\Delta E = E_p - E_n = h\nu$.

مثال نشاط تجريبي : دراسة طيف حزمات الهيدروجين

تجربة : نستعمل حباية تحتوي على غاز الهيدروجين تحت ضغط ضعيف تتم إثارته بالتفريغ الكهربائي . فينبعث منه ضوءا 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 411nm 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 ، وترتبط هذه العلاقة أطوال الموجة λ_{np} بعددين طبيعيين n و p حيث $n=1$ أو $n=2$ أو $n=3$... و $p > n$ وهي :

$$R_H = 1,09737320 \cdot 10^7 m^{-1} : \text{Rhydberg ثابتة ريدبيرك} \quad \frac{1}{\lambda_{np}} = R_H \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{p^2} \right) \quad (1)$$

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 للحزات المرئية لمتسلسلة بالمير ، ثم قارن القيم المحصلة مع معطيات الوثيقة .
- 2 - أ - أحسب الترددات ν_{np} للحزات الأربع الأولى لمتسلسلات السالفة الذكر .
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 $1cm \leftrightarrow 2.10^{14} Hz$
- 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 الجزينات :

يتكون طيف الامتصاص لجزينة 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 لجزينة ، 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 لجزينة يمكن من التعرف على هذه الجزينة ، كونه يقدم معلومات عن المجموعة الوظيفية وعن الروابط التي تحتوي عليها الجزينة .

تمرين تطبيقي :

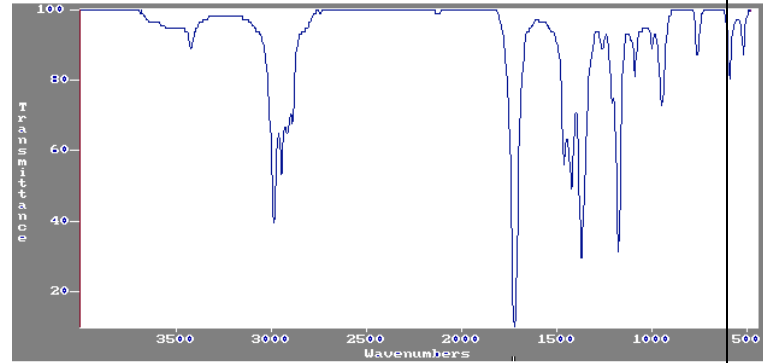
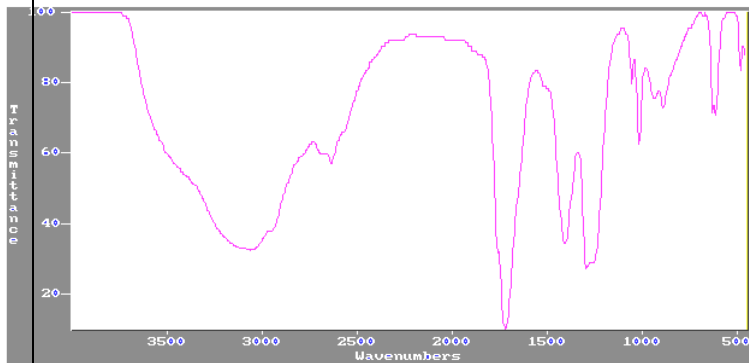
في الكيمياء العضوية تمتص المجموعات المميزة إشعاعات كهرمغناطيسية تمكن من التعرف على الجزينات ، تتميز هذه الامتصاصات بعدد الموجة $\sigma = \frac{1}{\lambda} (cm^{-1})$ ، نقدم في الجدول التالي أمثلة منها :

المجموعة المميزة	$C=O$	$O-H$	$C=C$
$\sigma = \frac{1}{\lambda} (cm^{-1})$	1700	3350	1650

1 - أحسب بالوحدة (eV) طاقات الإشعاعات الممتصة من طرف المجموعات المميزة .

2 - ماذا تستنتج من خلال وجود شرائط الامتصاص بخصوص طاقة الجزينة ؟

3 - نعتبر الجزينة البوتان - 2 - أون وحمض الإيثانويك أكتب الصيغة نصف المنشورة لهاتين الجزينتين .
أقرن بكل من الطيفين التاليين الجزينة الموافقة .



3 - أطياف النوى

طاقة النواة هي أيضا مكماة ، ففي النشاط الإشعاعي ، تكون النوى الناتجة 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 الميغاكيلكترون - فولط (MeV) .

تمرين تطبيقي :

نعطي جانبه جدولين : الجدول (1) يقدم القيم المتوسطة لشعاعي مداري قمرين اصطناعيين وشعاع مدار القمر . ويعطي الجدول (2) الشعاعات الذرية لمجموعة من العناصر الكيميائية .

الجدول (1)

أقمار الأرض	شعاع المدار ب (km)
هوبل Hubble	$6,0.10^2$
سبوت 5 spot5	$8,3.10^2$
القمر La lune	$3,83.10^5$

الجدول (2)

العنصر الكيميائي	H	Fe	U
الشعاع الذري (pm)	25	140	175

1 - دراسة مجموعة الجدول (1)

1 - 1 أعط تعبير قوة التجاذب الكوني التي تطبقها الأرض على قمر اصطناعي معرّفا المقادير المستعملة .

1 - 2 بتطبيق القانون الثاني لنيوتن أوجد تعبير التسارع الانجذابي المركزي للقمر الاصطناعي .

1 - 3 استنتج تعبير v^2 مربع سرعة مركز قصور القمر الاصطناعي بدلالة r شعاع مداره الذي نعتبره دائريا .

1 - 4 نقبل أن تعبير طاقة الوضع الثقالية للقمر الاصطناعي ذي الكتلة m هو : $E_{pp} = -G \frac{mM_T}{r}$ ، حيث

M_T كتلة الأرض ، و G ثابتة التجاذب الكوني و r شعاع مدار القمر الاصطناعي .

أوجد تعبير الطاقة الميكانيكية E_m للقمر الاصطناعي . هل E_m دالة متواصلة بدلالة r ؟

1 - 5 أعط بالمتري رتبة قدر شعاع مدار كل جسم من الأجسام الواردة في الجدول (1) .

هل رتبنا قدر شعاعي مداري القمرين الاصطناعيين قابلتان للمقارنة مع رتبة قدر شعاع مدار القمر ؟

2 - دراسة مجموعة الجدول (2)

2 - 1 أعط تركيب الذرات 1_1H و ${}^{56}_{28}Fe$ و ${}^{238}_{92}U$

2 - 2 حدد رتبة قدر الشعاع الذري لكل عنصر . هل رتب القدر هاته قابلة للمقارنة فيما بينها ؟

2 - 3 فسر لماذا ذرات نفس العنصر الكيميائي لها نفس الشعاع الذري ؟

هل تعتبر المماثلة بين المجموعات : { أرض - أقمار اصطناعية } من جهة والمجموعة الذرية { نواة -

إلكترونات } من جهة ثانية مماثلة مشروعة ؟ ما تستخلص ؟