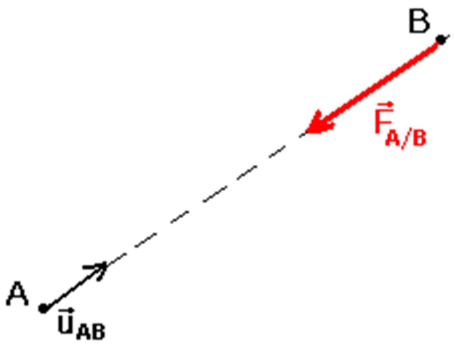
الذرة ومكانيك نيوتن
Atome et mecanique de Newton
خاص بالعلوم الرياضية والعلوم التجريبية مسلك العلوم الفيزيائية

I ـ حدود ميكانيك نيوتن

1 ـ قانون نيوتن وقانون كولم

أ ـ قانون نيوتن : التأثير البيني التجاذبي

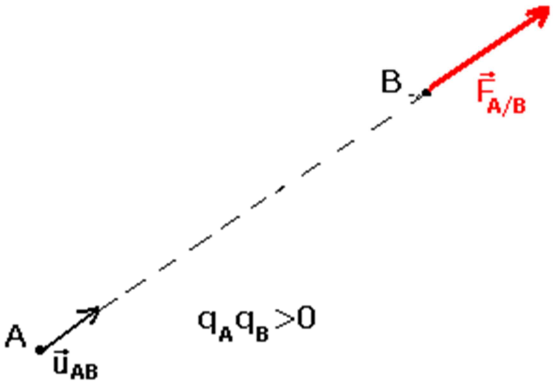


جسمان نقطيان A كتلته m_A و B كتلته m_B يطبق الواحد منهما على الآخر قوة تجاذب كوني اتجاهها هو المستقيم المار من A و B ، ومنحاهما نحو الجسم المؤثر ، وشدتهما تساوي : $F_{A/B} = F_{B/A} = G\frac{m_A.m_B}{(AB)^2}$

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

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

ب ـ قانون كلوم



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 تساوي : $F_{A/B} = F_{B/A} = k\frac{q_A.q_B}{(AB)^2}$ بحيث أن $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$

حيث ε_0 هي ثابتة العزل في الفراغ $k = 9.10^9\,N.m^2.C^{-2}$

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

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

مثلا في حالة ذرة الهيدروجين لدينا :

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

2 ـ النموذج الكوكبي للذرة

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

3 ـ حدود ميكانيك نيوتن

بالنسبة لمجموعة كوكبية (أرض ـ 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 مكيانيك نيوتن تعجز عن تفسيره .

لايمكن 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 ـ تكمية التبادلات الطاقية

يحدث تبادل الطاقة

ـ عند اصطدام ذرة بدقيقة مادية

ـ 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 ـ نموذج الفوتون

طور إنشتاين فرضية ماكس بلانك والتي تقول أن الضوء هو عبارة عن موجات كهرمغنطيسية 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 كهرمغنطيسية ترددها ν ، وطول موجتها في الفراغ λ من فوتونات .

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

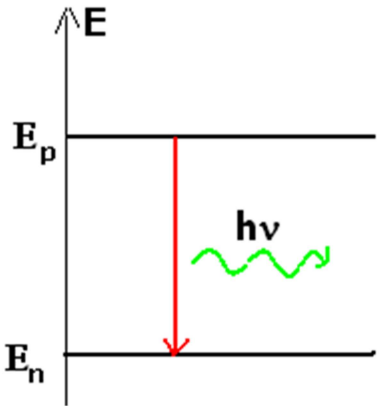
ν تردد الموجة ب Hz و λ طول الموجة ب المتر m و h ثابتة بلانك $(J.s)$ و E طاقة الفوتون ب J .

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

تمرين تطبيقي :

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

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



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

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

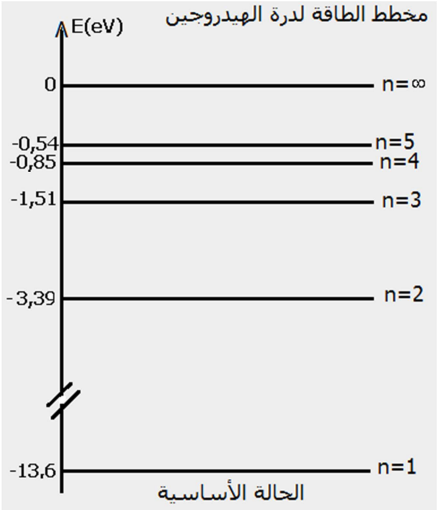
حساب طاقة الفوتون ب eV : $E = 1,89eV$

2 ـ موضوعات بوهر

تبين الدراسة التجريبية لطيف الانبعاث لذرة الهيدروجين في المجال المرئي أنه يتكون من عدة حزات ملونة توافق كل منها إشعاعا معينا أحادي اللون ، وهو يتكون من أربع حزات 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 طاقية معينة ، وتتميز كل حالة طاقية بمستوى طاقي .

* يتم انبعاث فوتون تردده ν عندما تنتقل الذرة من مستوى طاقي E_p إلى مستوى طاقي E_n أقل بحيث : $E_p - E_n = h\nu$

III ـ تكمية مستويات الطاقة .

1 ـ 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 .....

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

ـ مستويات الطاقة ذات العدد الكمي $n>1$ توافق المستويات المثارة .
ـ المستوى الطاقي دو العدد الكمي $n=\infty$ يوافق الطاقة $E_\infty=0$ حيث الإلكترون غير مرتبط بالنواة . إن هذا الاصطلاح يستوجب أن تكون لكل المستويات الطاقية تأخرى 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 ـ احسب الطاقة المفقودة خلال انتقال ذرة الهيدروجين من الحالة المثارة الرابعة إلى حالتها الأساسية .
2 ـ ما هي أكبر قيمة ممكنة لطاقة الانتقال بين حالتين متتاليتين ؟
الجواب :
1 ـ الطاقة المفقودة خلال انتقال الذرة من الحالة المثارة الرابعة إلى الحالة الأساسية :

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

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

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

2 ـ تكمية 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 ـ تكمية 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 .

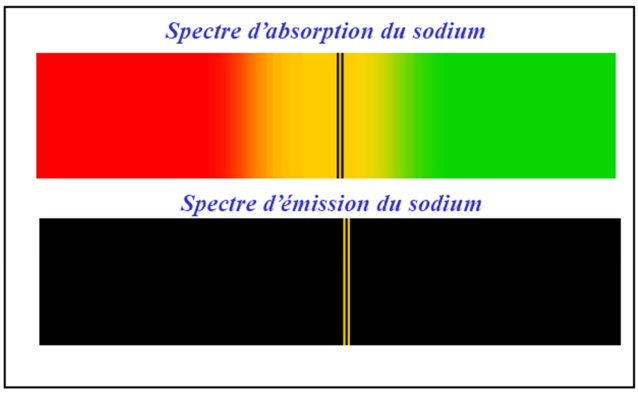
عندما تتبادل هذه المجموعات طاقة مع الوسط الخارجي ، فإنها تنتقل من مستوى طاقي E_P إلى مستوى طاقي E_n أو العكس .

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

VI ـ 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 ـ أطياف الذرات

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

تمثل الوثيقة أعلاه طيف حزات الامتصاص وطيف حزات الانبعاث لذرة الصوديوم ويلاحظ أن الحزات المظلمة تحتل نفس مواضع حزات 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

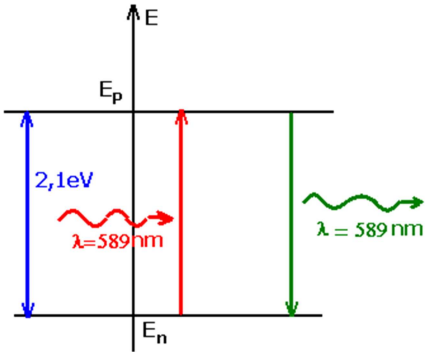
$$\Delta E=E_p-E_n=h\nu$$

* كلما كان الفرق ΔE كبيرا كلما كان التردد ν مهما .
* ترددات الإشعاعات المنبعثة تحددها مستويات الطاقة ؛ ففي طيف الانبعاث الذري ، كل حزة 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 hν 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 إشعاعا تردده ν بحيث أن $\Delta E = E_p - E_n = h\nu$.



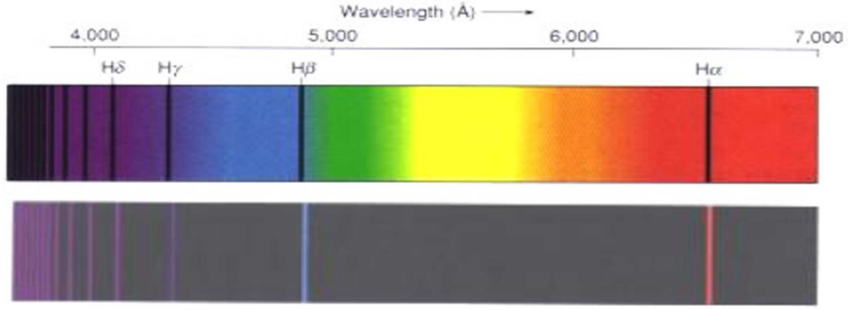
مثال نشاط تجريبي : دراسة طيف حزات الهيدروجين

تجربة : نستعمل حبابة 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 :

ـ طيف متقطع .

ـ يحتوي على حزات طيفية أهمها الأربع التالية :

أحمر 657nm أزرق 487nm نيلي 435nm بنفسجي 411nm



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 $n=3$ ... و $p>n$ وهي : (1) بحيث أن $\frac{1}{\lambda_{np}} = R_H\left(\frac{1}{n^2}-\frac{1}{p^2}\right)$ ثابتة ريدبيرك Rhydberg : $R_H = 1,09737320.10^7\,m^{-1}$

انطلاقا من قيمة معينة لعدد n يمكن حساب متسلسلة من الحزات وذلك بتغيير العدد p .

ـ متسلسلة بالمير توافق $n=2$ وتعطي اطوال الموجة لأربع حزات مرئية توافق كل حزة قيمة معينة لعدد p .

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

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

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

في سنة 1913 م اقترع الفيزيائي بوهر نظرية تمكن من تفسير طيف حزات 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 ـ تحقق من صحة العلاقة (1) بحساب أطوال الموجة للحزات المرئية لمتسلسلة بالمير ، ثم قارن القيم المحصلة مع معطيات الوثيقة .

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

نأخذ $p=3$ لدينا $\lambda_{np} = \frac{1}{R_H}\left(\frac{(np)^2}{p^2-n^2}\right) = \frac{1}{1,09737320.10^7}\times\left(\frac{36}{9-4}\right) = 656,1nm$

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

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

حساب الترددات ν_{np}

$\nu_{23} = \frac{c}{\lambda_{23}} = 4,57\times10^{14}\,Hz$ إلخ .....

ب ـ 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 ـ أ ـ بين أنه إذا كانت طاقة الذرة مكماة ، فإن تغيرات الطاقة $\left(E_p - E_n\right)$ التي توافق التبادلات الطاقية مع الوسط الخارجي

هي تغيرات مكماة أيضا .

ب ـ أثبت العلاقة التي تمكن من حساب الفرق $\left(E_p - E_n\right)$.

2 ـ أطياف الجزيئات :

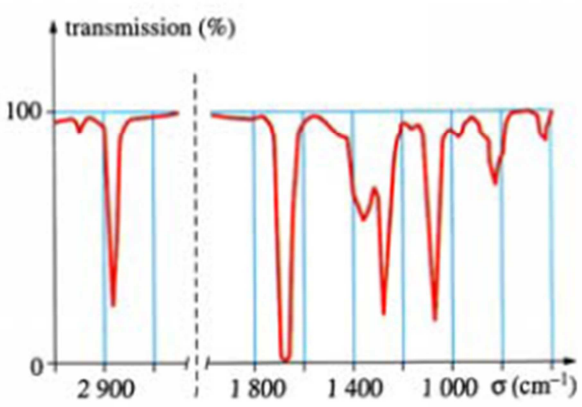
يتكون طيف الامتصاص لجزيئة من حزات ومن مجالات الامتصاص ، حيث تنخفض الشدة الضوئية لإشعاع ممتص فجأة ، حيث يوافق كل قمة مقلوبة تردد الإشعاع الممتص .

رتبة قدر إشعاع ممتص هي $10^{11}\,Hz$ بالنسبة لجزيئة ، 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 لجزيئة يمكن من التعرف على هذه الجزيئة ، كونه يقدم معلومات عن المجموعة الوظيفية وعن الروابط التي تحتوي عليها الجزيئة .

تمرين تطبيقي :

يمثل المبيان جانبه طيف إمتصاص للبوتانون . يتميز هذا الامتصاص بعدد الموجة $\sigma = 1/\lambda\left(cm^{-1}\right)$ و معامل الانتقال نعبر عنه بالنسبة المئوية للطاقة المنقولة من طرف البوتانون



1 ـ أكتب الصيغة نصف المنشورة للبوتانون

2 ـ لماذا يعتبر هذا الطيف ، طيف امتصاص ؟

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

3 ـ 1 أحسب طول الموجة ب nm الموافق لهذه المجموعة , إلى أي مجال ضوئي ينتمي هذا الإشعاع ؟

3 ـ 2 أحسب ب eV الطاقة الموافقة لهذا الإشعاع .

3 ـ 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 الميغا إلكترون ـ فولط (MeV) .