

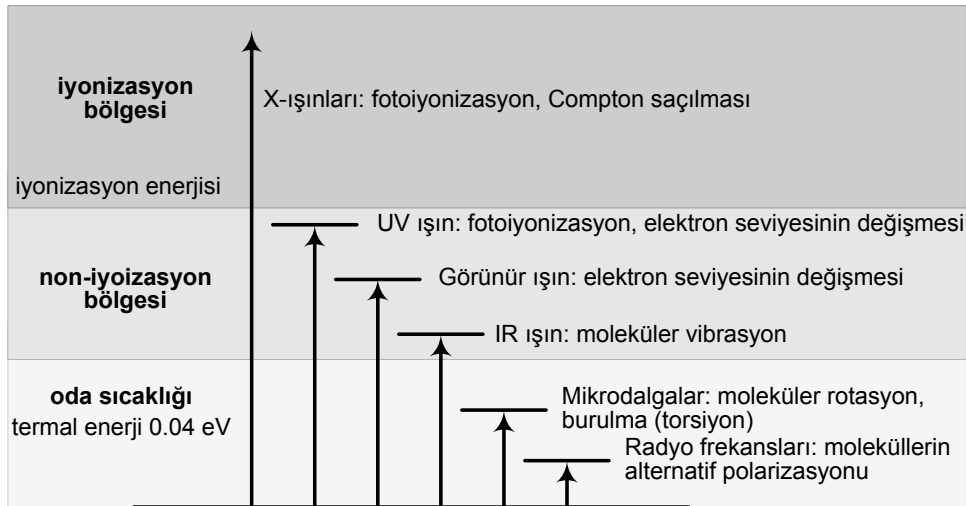
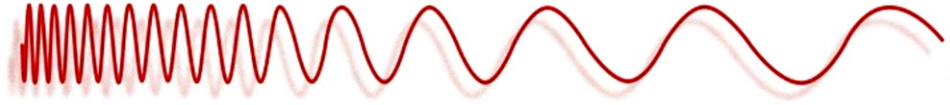
ELEKTROMAGNETİK IŞIN

Absorbsiyon ve Emisyon

Ref. Enstrümantal Analiz, Elektromagnetik Işının Özellikleri

Vakumdan gelerek bir maddenin yüzeyleri arasına giren ışının elektriksel vektörü, ortamda bulunan atom ve moleküllerle etkileşerek maddenin özelliklerine göre geçer, tutulur veya saçılır.

Elektromagnetik ışın ortamdaki çok büyük hızlarda geçen bir enerji tipidir, geniş bir dalga boyu (enerji) aralığını kapsar. Frekanslarına bağlı olarak madde ile etkileşimleri farklı olur; oda sıcaklığında etki termal enerji şeklinde olurken çok yüksek frekanslarda iyonlaştırıcı özellikler gösterir.

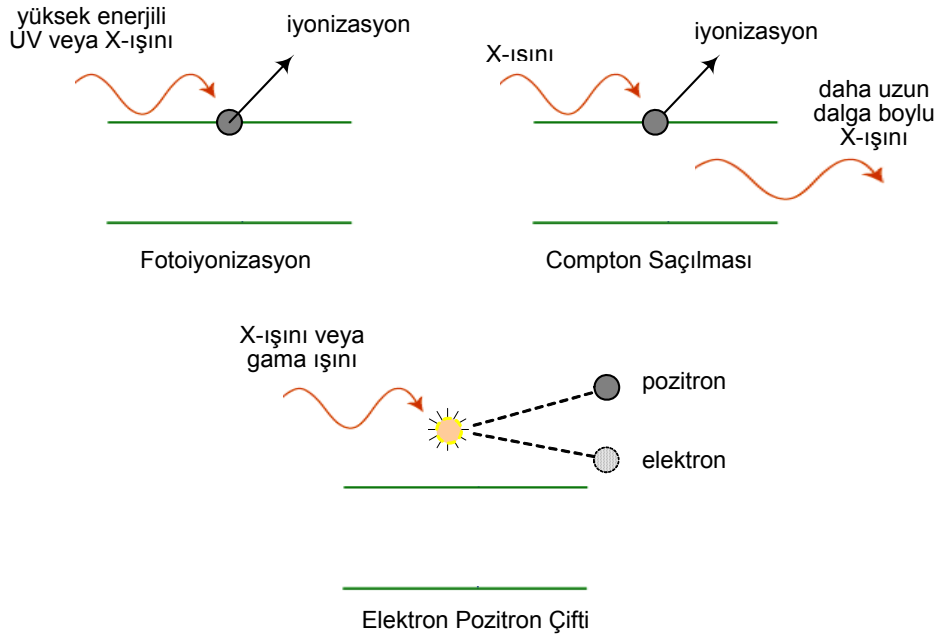


<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/mod3.html#c1>

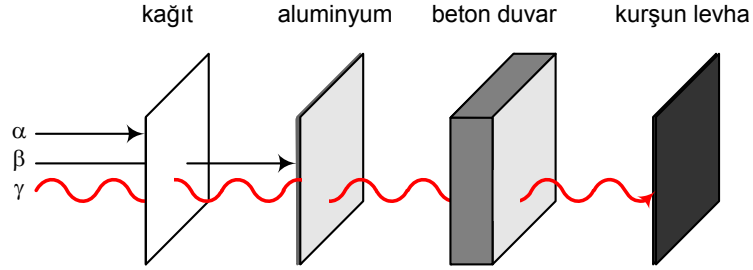
İyonizasyon Bölgesi: İyonizasyon bir atomu bozarak kimyasal aktif bir iyon meydana getirir. Molekülde ise molekülü oluşturan atomu bozarak molekülün özelliğini kaybetmesine neden olur.

Işın Tipi	Frekans, f (Hz)	Dalga Boyu, λ (μm)	Enerji, E (eV)
Gama Işınları	$10^{18} - 10^{23}$	$10^{-4} - 10^{-8}$	$10^4 - 10^8$
X-Işınları	$10^{16} - 10^{21}$	$0.1 - 10^{-7}$	$10^2 - 10^6$

Bu bölgedeki etkileşim mekanizmaları, X-ışınları ve gama ışınları için, fotoelektrik etki, Compton saçılması ve yeteri kadar yüksek enerjilerde elektron pozitron çiftinin üretilmesidir. Ayrıca, UV fotonları da, iyonizasyon enerjisinin üstünde atomları ve molekülleri bozucu bir etkileşim yapar.



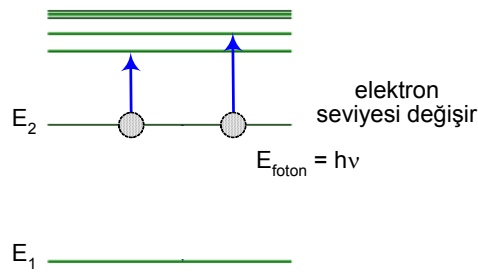
Gama ışılarının enerjisi X-ışınlarından biraz daha yüksektir; bu nedenle de ancak kurşun levhalarla tutulabilir, daha giricidir.



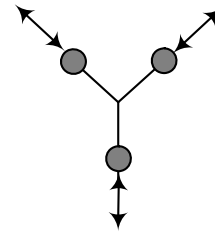
Şekil-1: α , β ve γ ışınlarının giricilikleri

Non-iyonizasyon Bölgesi: Non-iyonize ışın atom veya molekülü bozmaz; mikro saniye veya daha kısa bir sürede, molekülde kalıcı bir değişiklik olmaksızın, en düşük enerji seviyesine geri dönlür. İyonizasyon enerjisinin altındaki UV fotonları, elektron geçişi meydana getirerek kuvvetle absorblanırlar. Görünür ışın da elektron geçişine neden olur. İnfrared ışın ise molekülleri titreştirir.

Işın Tipi	Frekans, f (Hz)	Dalga Boyu, λ (μm)	Enerji, E (eV)
Ultraviyole Işınlr	$7 \times 10^{14} - 3 \times 10^{17}$	0.39 - 0.01	$3 - 10^3$
Görünür Işık	$4 \times 10^{14} - 8 \times 10^{14}$	0.77 - 0.39	2 - 3
İnfrared Işınlr	$10^{12} - 5 \times 10^{14}$	$10^3 - 0.77$	$10^{-3} - 2$



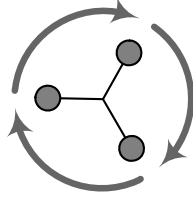
UV ve Görünür Işın; Elektron Geçiş



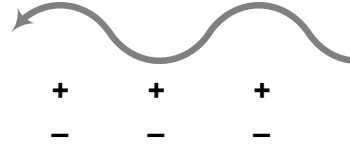
IR Moleküler Vibrasyon

Mikro Dalgalar ve Radyo Frekansları: Mikro dalgalar moleküler dönme (rotasyon) ve bükülme (torsion) hareketlerine neden olurken radyo frekansları için geçerli olan moleküllerin değişken polarizasyonu ısınmayı artırır.

Işın Tipi	Frekans, f	Dalga Boyu, λ	Enerji, E (eV)
Mikro dalgalar	1.6-30 GHz	187 - 10 mm	$0.66 \times 10^{-5} - 0.12 \times 10^{-3}$
TV, FM radyo	54-1600 MHz	5.55 m - 0.187 m	$0.22 \times 10^{-6} - 0.66 \times 10^{-5}$
Kısa dalga	1.605 - 54 MHz	187 - 5.55 m	$66 \times 10^{-8} - .22 \times 10^{-6}$
AM radyo	500-1500 kHz	600 - 200 m	$2 - 6 \times 10^{-9}$



Moleküler Dönme ve Bükülme



Radyo Frekansları

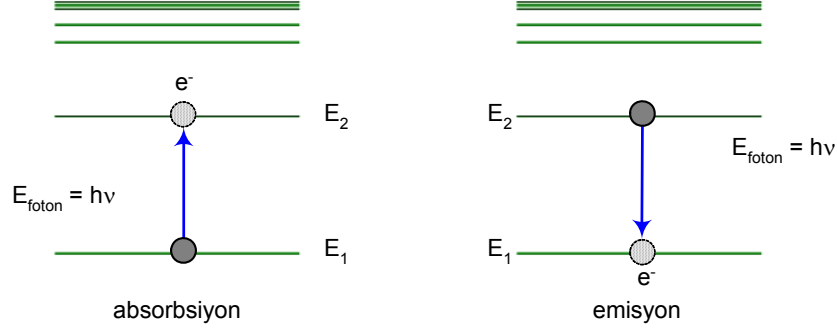
Görünür ve ultraviyole ışınların madde ile etkileşimindeki elektron geçişleri örnek olarak alındığında, bir fotonun absorpsiyonu ancak, fotonun kuvantum enerjisinin, ilk ve son haller arasındaki enerji miktarı ile aynı (çok yakın) olması halinde gerçekleşir.

Absorpsiyon koşulu:

$$\Delta E = h\nu = E_2 - E_1$$

Aşağı doğru geçiş, enerji fotonunun emisyonu ile gerçekleşir:

$$E_{\text{foton}} = h\nu = E_2 - E_1$$



İŞININ ABSORBSİYONU

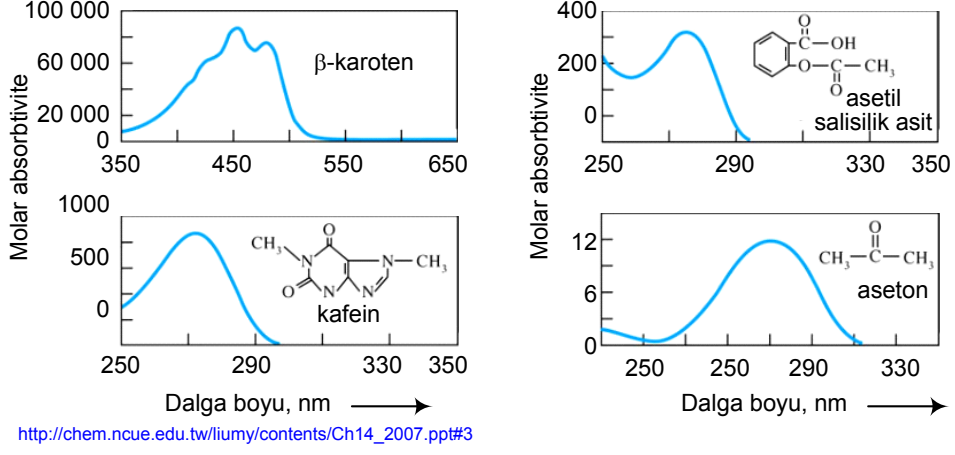
Şeffaf olan katı, sıvı, veya gaz gibi tabakalardan geçen ışındaki bazı frekanslar, absorpsiyon olayı sonucunda, seçimli olarak tutulurlar. Burada örneği oluşturan atomlar veya moleküllere elektromagnetik enerji transfer edilir; tanecikler düşük bir enerji halinden daha yüksek enerji hallerine veya "uyarılmış haller" geçerler. Oda sıcaklığında maddelerin çoğu en düşük enerji seviyesindedirler. Bu, "temel hal"dir. Absorpsiyon, taneciklerin temel halden, yüksek enerjili hallere geçmesiyle ilgilidir.

Atomlar, moleküller veya iyonların belirli sayıda enerji seviyeleri vardır. Işının absorblanması için uyarıcı fotonun enerjisinin, absorblayan taneciklerin temel halleri ve herhangi bir uyarılmış hali arasındaki enerji farkına eşit olması gerekir. Bu enerji farkları her tanecik için ayrı ve karakteristik olduğundan ışının örnek tarafından absorblanan frekansları, örnekte bulunan atom, molekül veya iyonların tanımlanmasında kullanılır.

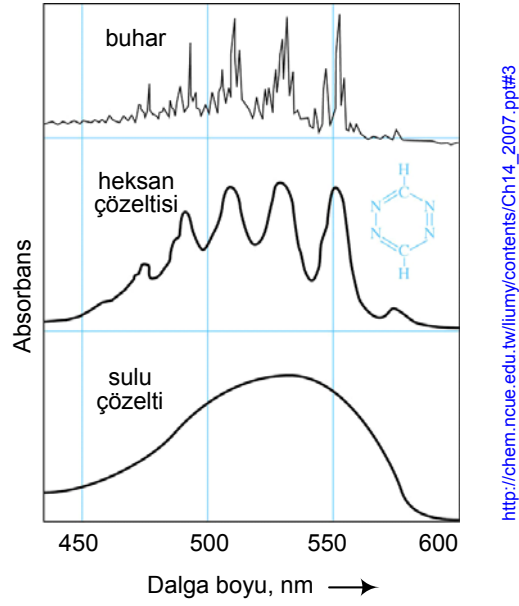
Bu amaçla, absorpsiyon değerinin dalga boyu veya frekansa göre grafiği çizilir. Buna, "absorpsiyon spektrumu" denir. Spektrumunun görünümü absorblayan türlere, fiziksel haline ve ortama bağlıdır.

Spektrumlar iki grupta toplanabilir:

- Atomik absorpsiyon
- Moleküler absorpsiyon



Şekil-2: Tipik bazı organik bileşiklerin UV absorpsiyon spektrumu

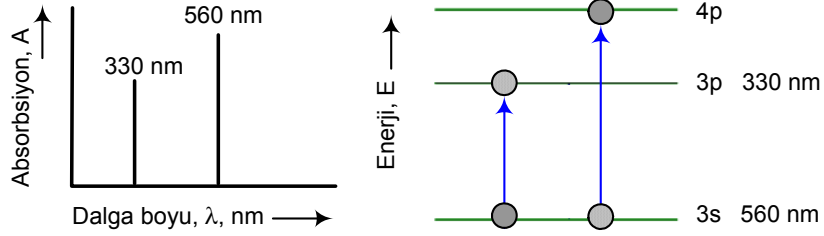


Şekil-3: 1,2,4,5-tetrazinin görünür (visible) absorpsiyon spektrumları

Atomik Absorbsiyon

Atomik spektroskopide ilk aşama örneğin gaz haline geçmesini sağlayacak şekilde atomize edilmesidir. Bunun için örnek uygun bir çözücü içinde aleve tutulur ve çok az miktarın atomize olması sağlanır.

Civa veya sodyum buharları bulunan bir ortamdan çok renkli (polikromatik) ultraviyole veya görünür ışın geçirildiğinde birkaç frekanstaki enerjinin absorblandığı gözlenir ve basit bir spektrum elde edilir.



Şekil-4: Sodyumun absorpsiyon spektrumu ve elektron geçişleri

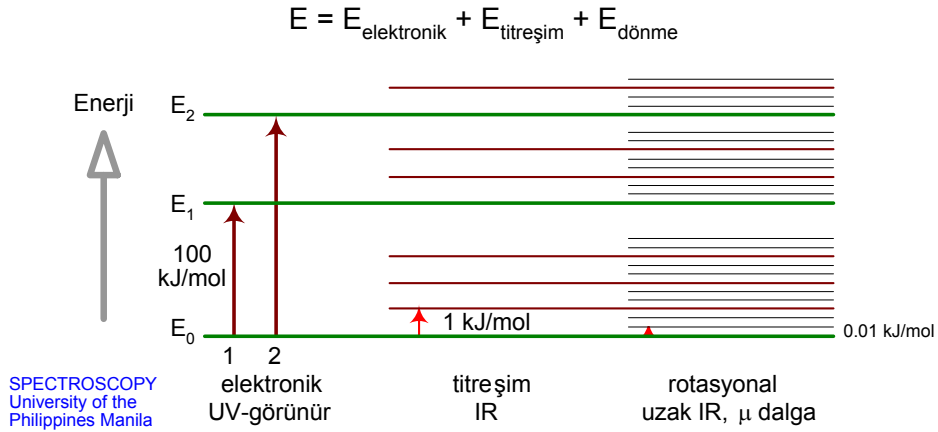
Spektrumun basitliği, taneciklerin az sayıda enerji halinin bulunmasından dolayıdır. Uyarılma, atomun bir veya daha fazla elektronunun daha yüksek bir enerji seviyesine çıkarılmasıyla gerçekleşir. Bu elektronik bir işlemdir. Na atomu için 3s elektronunun 3p haline geçirilmesi, yani uyarılması için dalga sayısı $1.697 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ ($= 589.3 \text{ nm}$) olan enerjiye gerekir. Bu nedenle sodyum buharının 589,3 nm'de (sarı ışık) keskin bir absorpsiyon bandı bulunur; ayrıca diğer elektronik geçişler nedeniyle oluşan birkaç dar absorpsiyon bandı da gözlenir.

Ultraviyole ve görünür ışının enerjisi, sadece en dıştaki veya bağ yapan elektronların geçişini sağlayabilecek kadardır. X-ışınları ise, atom çekirdeklerine çok yakın olan elektronları bile etkileyecek büyüklükte enerjileri içeren frekanslardan oluşur. Bu nedenle en içteki elektronların geçişlerini gösteren absorpsiyon pikleri X-ışınları bölgesinde gözlenir.

Moleküler Absorbsiyon

- $M + h\nu \longrightarrow M^*$ (absorbsiyon 10^{-8} saniye)
- $M^* \longrightarrow M + \text{ısı}$ (relaksasyon prosesi)
- $M^* \longrightarrow A + B + C$ (fotokimyasal bozunma)
- $M^* \longrightarrow M + h\nu$ (emisyon)

Bir molekülün birkaç elektronik ve titreşim halini tanımlayan enerji seviyeleri aşağıdaki şekil-5'de gösterilmiştir. Kalın çizgilerden E_0 molekülün temel halindeki elektronik enerjisi (en düşük), E_1 ve E_2 ise uyarılmış iki elektronik halini gösterirler. Elektronik hallerin her birindeki titreşim enerji seviyeleri e_0, e_1, \dots, e_n gibi harflerle tanımlanmıştır.



Şekil-5. Enerji seviyeleri diyagramı

Temel hal ve elektronik olarak uyarılmış bir hal arasındaki enerji farkı, bir elektronik halde bulunan titreşim seviyeleri arasındaki enerji farklarına kıyasla çok büyüktür. Örneğin iki titreşim seviyesi arasındaki enerji farkı 10 faktörü ile gösterilirse, iki elektronik hal arasındaki enerji farkının faktörü 100 gibi bir sayıdır.

Işının absorpsiyonu sonucunda oluşan geçişler şekilde oklarla gösterilmiştir. Görünür ışın, bir elektronu E_0 seviyesinden E_1 seviyesinde bulunan herhangi bir titreşim seviyesine çıkarır. Bu uyarılma nedeniyle absorblanan frekanslar,

$$\nu_n = \frac{1}{h} (E_1 + e'_n - E_0)$$

denklemleri ile verilir.

Absorblanan ultraviyole ışının frekansları da, aşağıdaki denklemle bulunur.

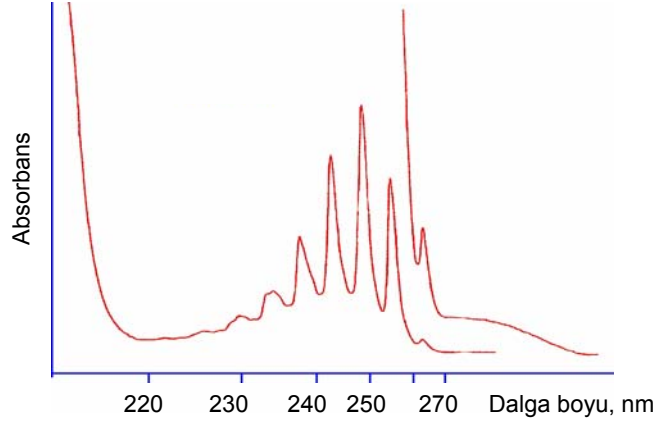
$$\nu_n = \frac{1}{h} (E_2 + e''_n - E_0)$$

Düşük enerjili yakın ve orta infrared ışın ise sadece temel haldeki (E_0) titreşim seviyeleri arasındaki geçişleri sağlayabilir. Absorblanan enerjinin fraksiyonları aşağıdaki denklemle verilir.

$$\nu_n = \frac{1}{h} (e_n - e_0)$$

Her bir titreşim seviyesi için bir kaç dönme enerji seviyesi bulunur. Dönme seviyeleri arasındaki enerji farkı, titreşim seviyeleri arasındaki enerji farkına kıyasla küçüktür. Uyarılmış dönme hallerine geçiş 500 cm^{-1} ile 100 cm^{-1} dalga sayıları aralığını kapsayan enerjilerde gerçekleşir.

Keskin ve iyi tanımlanabilen hatların elde edildiği atomik absorpsiyon spektrumunun aksine, ultraviyole ve görünür bölgelerdeki moleküler spektrum geniş bir dalga boyu aralığını kapsayan absorpsiyon bantları ile tanımlanır. Moleküler absorpsiyonda elektronik geçişler de söz konusudur.



Şekil-6: Benzen buharı spektrumu

Bu nedenle, bir elektronik halde sayısız titreşim halleri bulunduğundan her bir elektronik geçiş için birbirine yakın dalga boylarında birkaç absorpsiyon bandı vardır. Ayrıca bir titreşim seviyesi için de çok sayıda dönme enerji seviyesi bulunur. Bütün bunların sonucunda bir molekülün spektrumu, birbirinin yakınında yer alan bir seri absorpsiyon bantlarından oluşur. Örneğin, Şekil-6'daki benzen buharı spektrumunda bu durum gözlenmektedir.

Ayırma gücü yüksek enstrümanlar kullanılmadıkça her bir bant ayrı olarak elde edilemez ve spektrum bir eğri halini alır. Katı halde bir çözgen bulunması durumunda absorpsiyon bantları genişler.

Sadece titreşimin neden olduğu absorpsiyonlar IR bölgede elde edilirler. Bu bölgedeki ışının enerjisi elektronik geçişi sağlayacak büyüklükte değildir. Burada çeşitli titreşim kuvantum seviyeleri arasındaki geçişler sonucunda dar ve birbirine yakın absorpsiyon bantlarının bulunduğu spektrumlar alınır. Dönme seviyelerindeki değişiklikler, her bir titreşim halinin pik sayısını artırabilir. Ancak sıvı ve katı maddelerde dönme olayı çoğunlukla engellendiğinden bu tür örnekler için söz konusu küçük enerji farklılıkları genellikle görülmez.

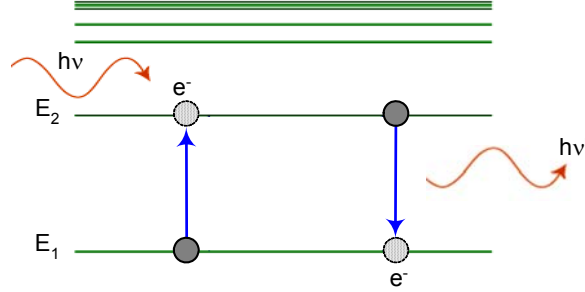
Gazların saf dönme spektrumları mikrodalga bölgesinde oluşur.

Magnetik Alan Tesiriyle Absorpsiyon

Bazı elementlerin elektronları veya çekirdeği kuvvetli bir magnetik alan etkisinde bırakıldığında bu elementlerde, taneciklerin magnetik özellikleri nedeniyle, yeni enerji seviyeleri oluşur. "Tesirle" oluşan haller arasındaki enerji farkı küçüktür ve geçişler ancak uzun dalga boylarındaki (veya düşük frekanslardaki) ışının absorblanmasıyla mümkündür. Çekirdek için 10-200 MHz radyo dalgaları, elektronlar için ise 1000-25000 MHz mikrodalgalar absorblanır.

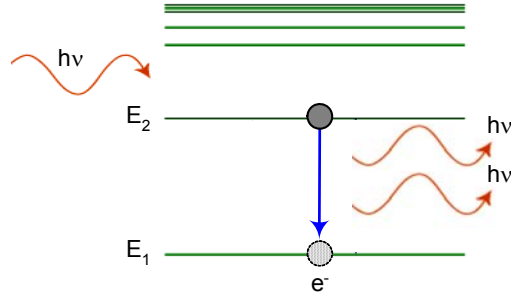
Magnetik alandaki çekirdek veya elektronların ışın absorblaması, moleküler yapının aydınlatılmasında uygulanan "nükleer magnetik rezonans (NMR)" ve "elektron spin rezonans (ESR)" tekniklerinin bulunmasını ve geliştirilmesini sağlamıştır.

Rezonans absorpsiyonda, gelen fotonun enerjisi atomu ilk uyarılmış haline geçirir, kısa bir süre sonra tekrar gelen fotonun enerjisine eşit enerjide bir foton çıkararak temel hale döner.



IŞININ EMİSYONU

Elektromagnetik ışın, genellikle, uyarılmış taneciklerin (iyonlar, atomlar, veya moleküller) en düşük enerji seviyesine veya temel hale geri dönmeleriyle elde edilir. Uyarma, çeşitli yöntemlerle yapılabilir; elektronlar veya diğer elementer taneciklerle bombardıman, yüksek potansiyelli değişken akım uygulaması, bir ark veya alevden ısı verme, veya elektromagnetik ışın absorpsiyonu yöntemlerinden bazılarıdır.



Birbirinden kolaylıkla ayrılabilen ışıyan tanecikler, gaz halindeyken, bağımsız birer birim gibi davranırlar ve az sayıda ve özel dalga boylarında ışın verirler. Sonuçta elde edilen spektrum "sürekli" dir ve "hat spektrumu" olarak tanımlanır. "Sürekli" spektrum ise belirlenen bir dalga boyu aralığında tüm dalga boylarının bulunduğu

veya her bir dalga boyunun birbirinden ayrılmasının mümkün olmaması sonucu yanyana yer aldığı bir spektrumdur.

Sürekli spektrum,

- katılar ve sıvılar gibi atomların birbirlerine çok yakın buldukları ve bağımsız hareket edemedikleri maddelerin uyarılmasıyla, veya
- enerji halleri birbirine çok yakın olan karmaşık moleküllerin uyarılmasıyla elde edilirler. Sürekli spektrum, ayrıca, kinetik enerjileri belirli miktarda (kuvanta) olmayan taneciklerin enerji değişikliklerinde ortaya çıkar.

Gerek sürekli spektrumun ve gerekse hat spektrumunun analitik kimyada önemli bir yeri vardır. Sürekli spektrum spektrofotometre gibi ışının madde ile etkileşimine dayanan yöntemlerde çok sık kullanılır. Hat spektrumundan ise emitlenen taneciklerinin tayin ve teşhisinde yararlanır.

Relaksasyon (Gevşeme) İşlemleri

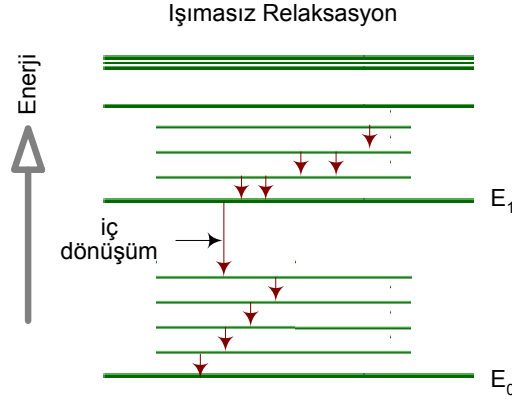
Işın absorpsiyonu sonucu uyarılmış hale geçen bir atom veya molekülün bu halde bulunma süresi oldukça kısadır. Çünkü uyarılmış taneciklerin temel hale dönmesine neden olan bazı relaksasyon olayları vardır.

Relaksasyon işlemi iki tiptir:

- Işımasız Relaksasyon
- Işımalı Relaksasyon

Işımasız Relaksasyon: Işımasız relaksasyon, bir seri küçük basamaklarda meydana gelen enerji kaybı ile ilgilidir; uyarma enerjisi, taneciğin diğer moleküllerle çarpışması ile kinetik enerji şekline dönüşür. Bunun sonucunda sistemin sıcaklığında bir miktar artış gözlenir.

Işımalı Relaksasyon: Relaksasyon, fluoresans ışın çıkışı ile de meydana gelebilir.



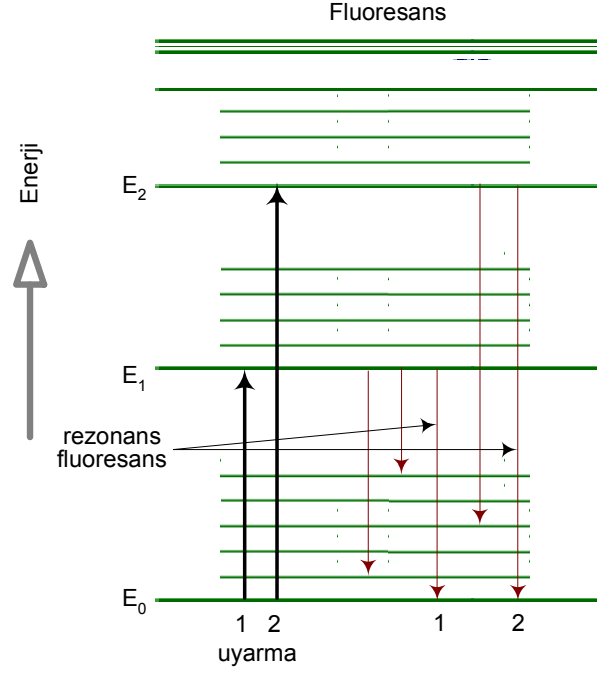
Fluoresans ve Fosforesans

Fluoresans ve fosforesans, atom ve moleküllerin bir elektromagnetik ışın demetini absorblaması ve uyarılan taneciklerin tekrar temel hale dönerken ışın vermesi esasına dayanan, analitik olarak önemli emisyon olaylarıdır. Fluoresans, fosforesansdan çok daha hızlı oluşur ve uyarılma anından sonra 10^{-5} saniye veya daha kısa bir süre içinde tamamlanır; olay uyarıcı ışın demetine göre 90 derecelik bir açıdan kolaylıkla izlenebilir. Fosforesans emisyonu, ışın absorbsiyonundan sonra 10^{-5} saniyeden büyük periyotlarda başlar, dakikalarca hatta saatlerce devam edebilir.

Absorblanan ve yayımlanan ışınların frekansları birbirinin aynı ise olay "rezonans fluoresansı" olarak tanımlanır (Şekil-7'de sağ taraftaki 1 ve 2 hatları). Burada tanecikler önce ışın absorblayarak E_1 ve E_2 enerji seviyelerine çıkarılmışlardır; bunlar, uyarma bölgesindeki 1 ve 2 ($E_1 - E_0$ ve $E_2 - E_0$) hatlarıyla gösterilmiştir. Kısa bir periyod sonunda, aynı enerjili içeren ışının emisyonu gerçekleşmiştir.

Rezonans fluoresansı, titreşim enerji seviyelerinin bulunmadığı gaz halindeki atomlardan üretilir.

Rezonansız fluoresans, çözelti veya gaz halindeki moleküllere ışın verilerek elde edilir. Işının absorbsiyonu ile moleküller iki uyarılmış elektronik haldeki titreşim seviyelerine çıkarlar. Uyarılmış titreşim hallerinin yaşam süresi çok kısa (~ 5 s) olduğundan, diğer moleküllerle çarpışarak enerjilerinin bir kısmını kaybederler ve buldukları elektronik haldeki en düşük enerjili titreşim seviyelerine geçerler.



Şekil-7: Floresans bir organik molekül için enerji seviyeleri diyagramı

Moleküllerin bu son haldeki enerjileri, absorbladıkları enerjiden daha küçüktür. Çıkan floresans ışının enerjisi rezonans halindekiyle aynıdır, yani ($E_2 - E_0$) a eşittir.

Gerek rezonans ve gerekse rezonanssız ışınlar moleküllerin floresans özelliklerinden doğar. Çok sayıda titreşim enerji seviyesi bulunması nedeni ile rezonanssız floresans ışımaya daha baskındır.

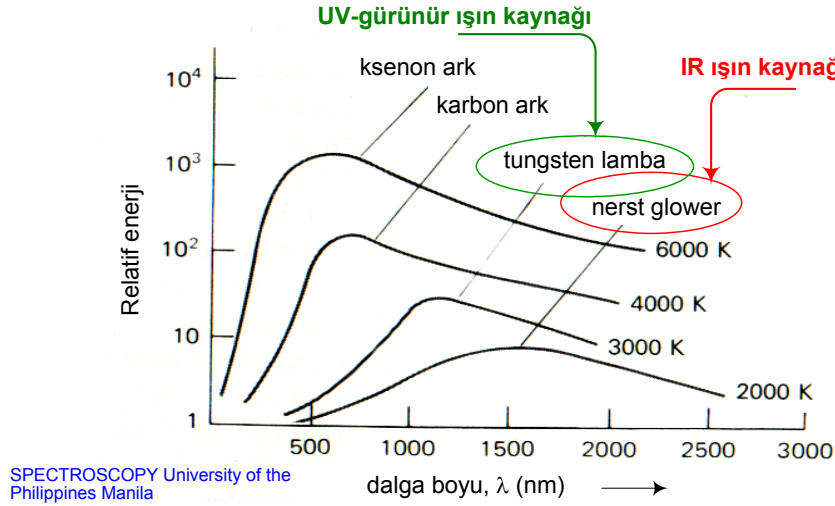
Fosforesans olayı uyarılmış bir molekülün, ortalama yaşam süresi 10^{-5} saniyeden daha büyük olan bir yarı kararlı uyarılmış elektronik hale geçmesiyle gerçekleşir.

Isıl (Termal) Işın

Katılar akkor hale kadar ısıtıldıklarında sürekli bir ışın çıkışı olur. Çıkan ışın, çıkışına neden olan madde yüzeyinin bileşiminden çok sıcaklığına göre karakteristik bir durum gösterir. Bu tip ışına "siyah-cisim ışını" denir ve ısı enerji ile katı içinde sayısız atomik ve moleküler salınımlar oluşturularak elde edilir. Siyah-cisim ışının teorik incelemesi aşağıdaki sonuçları verir:

- Işındaki dalga boylarından mutlak sıcaklığın tersi ile orantılı olan dalga boyu, maksimum değere sahiptir ($\lambda_{maks.} \propto 1/T$);
- Bir siyah-cisimden çıkan toplam enerji (birim zaman ve alan için), sıcaklığın dördüncü kuvvetiyle değişir ($E_{toplam} \propto T^4$);
- Belirli bir sıcaklıktaki ışının çıkış gücü dalga boyunun beşinci kuvvetinin tersi ile değişir ($P \propto 1/\lambda^5$).

Bazı ışın kaynaklarının davranışları Şekil-8'de görülmektedir; bu kaynakların emisyonları ideal siyah cisme oldukça yakındır. Enerji pikleri, artan sıcaklıklarda daha kısa dalga boylarına doğru kaymaktadır. Ultraviyole ışın elde edilebilmesi için çok yüksek sıcaklıklarda uyarılan bir kaynağa gereksinim vardır. İnfrared, görünür ve yakın dalga boyu ultraviyole ışın analitik enstrümanlarda, ısıtılan katı kaynaklar kullanılır.



Şekil-8: Siyah cisim ışın eğrileri

Gazların Emisyonu

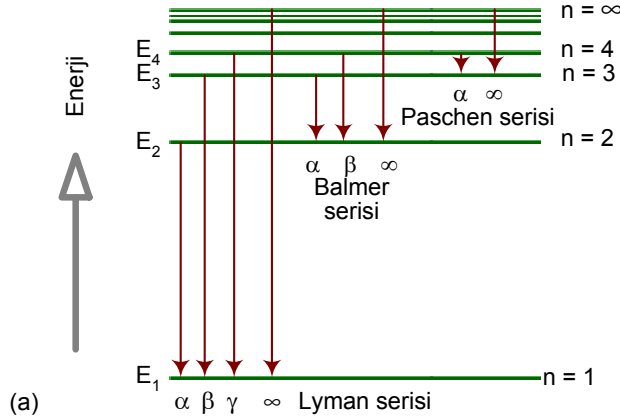
Gaz halindeki atomlar, iyonlar ve moleküller elektrik deşarjı veya ısı ile uyarılarak ultraviyole ve görünür bölgelerde ışın verirler. İşlem, bir taneciğin en dıştaki elektronlarının uyarılmış elektronik hale taşınmasıdır; uyarılmış elektronların tekrar temel hale dönmeleri sırasında ışın emisyonu olur.

Atomik emisyon spektrumu, enerjileri çeşitli elektronik haller arasındaki enerji farklarına eşit olan tek tek hatların oluşturduğu bir spektrumdur. Moleküllerin emisyon spektrumu, her bir elektronik seviye için birkaç titreşim ve dönme enerji seviyelerinin de bulunması nedeniyle çok karmaşıktır; her elektronik geçiş için tek bir hat yerine birbirine oldukça yakın uzaklıklarda yer alan çok sayıda hatların oluşturduğu bir emisyon bandı görülür.

Gaz moleküllerin uyarılmasıyla bazen gerçek bir sürekli spektrum elde edilebilir. Örneğin, hidrojen gazına düşük basınçta bir elektrik deşarjı işlemi uygulanırsa hidrojen molekülü uyarılarak iki hidrojen atomu ve bir ultraviyole foton verir. Bu işlemin enerjisi aşağıdaki denklemlerle verilir.

$$E_{H_2} = e_{H_1} + e_{H_2} + h\nu$$

E_{H_2} hidrojen atomunun uyarılma enerjisi (kuvantize), e_{H_1} ve e_{H_2} atomların kinetik enerjileri, $h\nu$ çıkan ışının enerjisidir. $E_{H_1} + e_{H_2}$ toplamı, sıfırdan E_{H_2} değerine kadar değişir. Bu nedenle, $h\nu$ ışının frekansı da bu aralık boyunca değişik değerler gösterir.

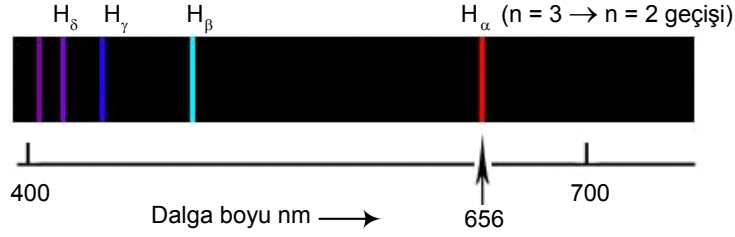


Şekil-9: (a): Hidrojen atomunun spektral hatları

Hidrojen absorpsiyon spektrumu



Hidrojen emisyon spektrumu



(b)

<http://www.astronomyknowhow.com/hydrogen-alpha.htm>

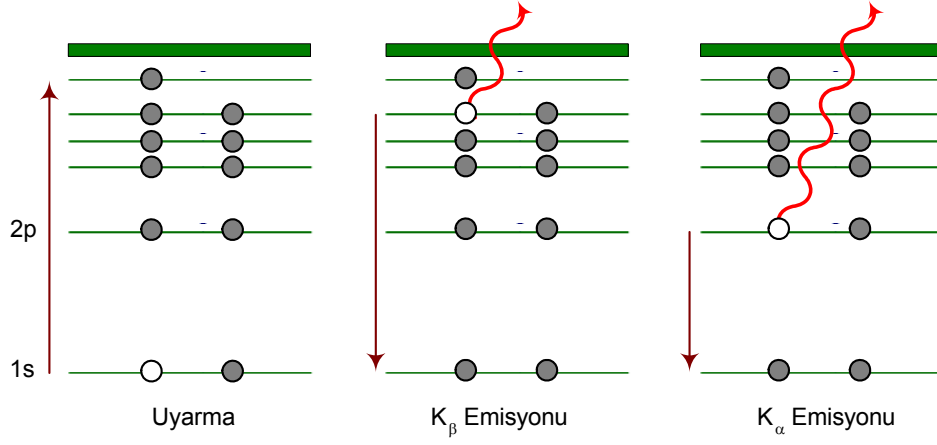
Şekil-9: (b): Hidrojen absorpsiyon ve emisyon spektrumları; Balmer serisi

X - Işınlarnın Emisyonu

X-ışınları bölgesindeki ışın, normal olarak bir metal hedefin yüksek hızdaki bir elektron bulutu ile bombardıman edilmesi ile çıkarılır. Elektron demeti, hedef metaldeki atomların en içteki elektronlarını ya daha yüksek enerji seviyelerine yükseltir veya tamamıyla atar. Uyarılan atomlar veya iyonlar, daha sonra kademeli elektronik geçişlerle temel hal seviyesine dönerler. Dönüş sırasındaki elektronik geçişlerde, her birinin enerjisi $h\nu$ (kuvanta) olan fotonlar yayarlar.

Böylece elde edilen X-ışını spektrumunda, hedef maddeyi karakterize eden bir seri hatlar bulunur. Bu spektrum, yüksek-hızlı elektronların hedef maddeden geçerken çıkardığı bir kısım kuvanta dışı enerjili ışının verdiği sürekli spektrumun üstünde çıkar.

X-ışını saçılması ve emisyonu temel prosesleri ile bir molibden hedeften 35 kV da elde edilen X-ışınlarının spektrumu Şekil-10'da görülmektedir. $n = 2$ seviyesinden $n = 1$ seviyesine geçen X-ışınlarına K_α , $n = 3$ seviyesinden $n = 1$ seviyesine geçenlere de K_β X-ışınları denilmektedir. İki keskin pikin sol tarafında bulunan geniş sürekli eğri "bremsstrahlung" ışınmasıdır.



Şekil-10: X-ışını saçılması ve emisyonu temel prosesleri

Yararlanılan Kaynaklar

Principles of Instrumental Analysis, D.A.Skoog, D.M. West, II. Ed. 1981

SPECTROSCOPY University of the Philippines Manila

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/mod3.html#c1>

<http://www.astronomyknowhow.com/hydrogen-alpha.htm>

http://www2.fiu.edu/~cai/index_files/Chapter%2013%20&%2014%20Molecular%200Spectrometry.ppt#34