

5. Hem yeşil ayar lazerini hem de kırmızı lazeri çalıştırarak cetvel üzerindeki birinci maksimum noktalarının konumunu (hem yeşil hem de kırmızı lazer için) sıfırıncı maksimum noktasının konumuna göre belirleyiniz ve not ediniz.
6. Her seferinde cetvelin kırınım ağına olan mesafesini (z değerleri) rayın sonuna varıncaya kadar 5 mm arttırarak karşılık gelen maksimum noktaların konumunu belirleyiniz ve bir tabloya not ediniz.
7. y - z grafiğini çizerek eğimi hesaplayınız. Denklem (25)'i kullanarak deneysel dalgaboylarını bularak teorik değerlerle karşılaştırıp yorumlayınız.

Sorular:

1. Kırınım sonucunda kırmızı lazer için 5 ışın yeşil lazer için de 7 ışın oluşmaktadır. Neden?
2. Farklı bir kırınım açısı kullanılarak kırınım sonucu oluşan ışınların sayısı değiştirilebilir mi? Neden?

Deney 5. Lazer Işınının Iraksamasının ve Çapının Belirlenmesi

1. Deney 1'de anlatılan basamakları tamamlayıp lazeri çalıştırınız.
2. Ayar lazerini optik raydan çıkarınız.
3. Rezonatör aynalarını ve tüpü lazer kaybolmayacak şekilde optik rayın sol ucuna taşıyınız.
4. Optik rezonatör mesafesini 50 cm'ye ayarlayınız.
5. Soldaki düz aynanın önündeki (tüp tarafında) lazerin çapını kompas kullanarak w_0 olarak ölçünüz. **Not:** *Kompasın açısı lazer ışınına dik doğrultuda hareket ettirildiğinde lazerin oluşabildiği minimum kompas açıklığı lazerin o konumdaki çapı olarak tanımlanacaktır.*
6. Sağ aynanın önündeki (tüp tarafında) lazerin çapını $w(d)$ olarak ölçünüz.
7. Rezonatör boyunu 5 cm'lik aralıklarla arttırarak 100 cm'ye kadar 5. ve 6. adımları tekrarlayınız. Sonuçlarınızı bir çizelge şeklinde hazırlayınız.
8. w_0 ve $w(d)$ için bulduğunuz deneysel sonuçları rezonatör boyu d 'ye göre çiziniz. Aynı grafiğe teorik fonksiyonları da çiziniz. Sonuçlarınızı karşılaştırıp yorumlayınız.

Ek Bilgiler:

Uyarılma Seviyelerinin Gösterimi:

Atomların elektron konfigürasyonunu spektroskopik notasyonla göstermek mümkündür. Atom fiziğinde çok elektronlu atomların açılal momentum kuantum sayıları terim sembolü denilen kısaltmalar ile gösterilir. Hem konfigürasyonu hem de açılal momentum kuantum sayılarını birleşik notasyonla (spektroskopik + terim sembolü) göstermek mümkündür. Paschen notasyonu aynı amaç için kullanılan eski bir notasyondur. Şekil 1,2, ve 3'te He atomunun enerji seviyeleri terim sembolüyle gösterilmiştir. Ne atomunun seviyeleri için Paschen notasyonu kullanılmıştır.

Not: Atomlar uyarıldıklarında son seviyede bulunan elektron üst enerji seviyelerine geçiş yapar.

He ve Ne'nun en düşük enerjili uyarılma seviyeleri için aşağıdaki notasyonlar kullanılabilir.

He için Spektroskopik notasyon Terim Sembolü Birleşik Notasyon Paschen Notasyonu

Taban durumu	$1s^2$	$1S_0$	$1s^2(1S_0)$	taban durumu
1. uyarılmış seviye	$1s^1 2s^1$	$3S_1$	$2s^1(3S_1)$	$1s_1$
2. uyarılmış seviye	$1s^1 2s^1$	$1S_0$	$2s^1(1S_0)$	$1s_2$

Ne için Spektroskopik notasyon Terim Sembolü Birleşik Notasyon Paschen Notasyonu

Taban durumu	$1s^2 2s^2 2p^6$	1S_0	$2p^6(^1S_0)$	taban durumu
1. uyarılmış seviye (alt seviyeler)	$1s^2 2s^2 2p^5 3s^1$	3P_0	$3s^1(^3P_0)$	$1s_5$
	$1s^2 2s^2 2p^5 3s^1$	3P_1	$3s^1(^3P_1)$	$1s_4$
	$1s^2 2s^2 2p^5 3s^1$	3P_2	$3s^1(^3P_2)$	$1s_3$
	$1s^2 2s^2 2p^5 3s^1$	1P_1	$3s^1(^1P_1)$	$1s_2$
2. uyarılmış seviye	$1s^2 2s^2 2p^5 3p^1$	3D_1	$3p^1(^3D_1)$	$2p_{10}$
	$1s^2 2s^2 2p^5 3p^1$	3D_2	$3p^1(^3D_1)$	$2p_9$
	$1s^2 2s^2 2p^5 3p^1$	3D_3	$3p^1(^3D_1)$	$2p_8$
	$1s^2 2s^2 2p^5 3p^1$	3P_0	$3p^1(^3P_0)$	$2p_7$
	$1s^2 2s^2 2p^5 3p^1$	3P_1	$3p^1(^3P_0)$	$2p_6$
	$1s^2 2s^2 2p^5 3p^1$	3P_2	$3p^1(^3P_0)$	$2p_5$
	$1s^2 2s^2 2p^5 3p^1$	3S_1	$3p^1(^3S_1)$	$2p_4$
	$1s^2 2s^2 2p^5 3p^1$	1D_2	$3p^1(^3D_1)$	$2p_3$
	$1s^2 2s^2 2p^5 3p^1$	1P_1	$3p^1(^3P_0)$	$2p_2$
	$1s^2 2s^2 2p^5 3p^1$	1S_0	$3p^1(^1S_0)$	$2p_1$
3. uyarılmış seviye	$1s^2 2s^2 2p^5 4s^1$	3P_0	$4s^1(^3P_0)$	$2s_5$
	$1s^2 2s^2 2p^5 4s^1$	3P_1	$4s^1(^3P_1)$	$2s_4$
	$1s^2 2s^2 2p^5 4s^1$	3P_2	$4s^1(^3P_2)$	$2s_3$
	$1s^2 2s^2 2p^5 4s^1$	1P_1	$4s^1(^1P_1)$	$2s_2$
4. uyarılmış seviye	$1s^2 2s^2 2p^5 3d^1$	Bu seviyenin alt seviyeleri çok olduğu için eklenmedi.		
5. uyarılmış seviye	$1s^2 2s^2 2p^5 5s^1$	3P_0	$5s^1(^3P_0)$	$3s_5$
	$1s^2 2s^2 2p^5 5s^1$	3P_1	$5s^1(^3P_1)$	$3s_4$
	$1s^2 2s^2 2p^5 5s^1$	3P_2	$5s^1(^3P_2)$	$3s_3$
	$1s^2 2s^2 2p^5 5s^1$	1P_1	$5s^1(^1P_1)$	$3s_2$

Terim Sembolü şöyle bulunur: $(2S+1)L_J$. Burda, S toplam spin, L toplam yörüngesel açısal momentum kuantum sayısı ve $|L-S| \leq J \leq L+S$. Seviyelerin sıralaması Hund kuralları ile bulunabilir.

Kaynak: Wikipedia: 'term symbol', 'Hund's rules'

Işınımlı Geçişlerin İstatistiksel İncelemesi:

Sadece iki seviyeden oluşan bir atomu düşünelim. Alt seviyenin enerjisi E_1 , bu seviyede bulunan atom sayısı N_1 ve üst seviyenin enerjisi E_2 , bu seviyede bulunan atom sayısı da N_2 olsun. Einstein, N_1 ve N_2 oranını üç farklı geçişin etkileyebileceğini öngördü. Birincisi kendiliğinden salım ile atomların 2. seviyeden 1. seviyeye geçerek aradaki enerji farkına (geçiş enerjisi) eşit enerjiye sahip foton yayımlamasıdır. Böyle bir süreç

$$\frac{dN_2}{dt} = -A_{21} N_2 = -\frac{dN_1}{dt} \quad (41)$$

eşitliği ile ifade edilir. Burada A_{21} birim zamanda kendiliğinden salım oranını ifade eden ve Einstein katsayısı adı verilen bir parametredir. Bu parametrenin tersi, zaman sabitini tanımlar $\tau = 1/A_{21}$. N_2 'nin azalması toplam atom sayısı korunduğundan N_1 'in artmasına yol açar, denklem (41)'deki son terim de bunu ifade eder. İkinci geçiş türü soğurmadır. 1. seviyede bulunan atomların geçiş enerjisine sahip bir fotonlarla etkileşerek 2. seviyeye geçmelerine soğurma denir. Bu süreç

$$\frac{dN_2}{dt} = +B_{12}N_1\rho(\nu) = -\frac{dN_1}{dt} \quad (42)$$

denklemlerle ifade edilir. B_{12} birim zamanda soğurma oranını ifade eden bir başka Einstein katsayısıdır. $\rho(\nu)$ enerji yoğunluğunu ifade etmektedir. Son geçiş türü de uyarılmış salımlardır. Geçiş enerjisine sahip fotonların 2. seviyede bulunan atomlarla etkileşerek eş enerjili ikincil fotonların salınmasıyla 1. seviyeye geçmelerine uyarılmış salım denir. Bu etkileşmeler

$$\frac{dN_2}{dt} = -B_{21}N_2\rho(\nu) = -\frac{dN_1}{dt} \quad (43)$$

bağıntısı ile verilir. B_{21} birim zamanda uyarılmış salım oranını ifade eden üçüncü Einstein katsayısıdır. Her üç geçişin etkileri toplanarak

$$\frac{dN_2}{dt} = -A_{21}N_2 + B_{12}N_1\rho(\nu) - B_{21}N_2\rho(\nu) = -\frac{dN_1}{dt} \quad (44)$$

denklemler elde edilir. Termodinamik denge durumunda herhangi bir geçişten dolayı bir seviyedeki değişim diğer geçişlerle dengelenir. Böylece denklem (44)'ü sıfıra eşitlersek

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{B_{12}\rho(\nu)}{A_{21} + B_{21}\rho(\nu)} \quad (45)$$

bulunur. Einstein iki nüfusun oranı için T sıcaklığındaki klasik Boltzmann denklemini,

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{g_2}{g_1} e^{-h\nu/kT} = \frac{B_{12}\rho(\nu)}{A_{21} + B_{21}\rho(\nu)}, \quad (46)$$

kullandı. Burada $g_{1,2}$ katsayıları bir atomun $E_{1,2}$ enerjisini kaç farklı durumda alabileceğini gösterir (dejenerelik). Basit atomlar için g katsayıları, J toplam açıl momentum sayısı olmak üzere $(2J+1)$ ile verilir. Son denklem

$$\rho(\nu) = \frac{A_{21}}{B_{21}} \frac{1}{\frac{B_{12}g_1}{B_{21}g_2} e^{h\nu/kT} - 1} \quad (47)$$

şeklinde yazılabilir. Einstein bir kovuğun içinde atomlarla etkileşen fotonları göz önünde bulundurarak elde edilen sonucu Planck ışınım denklemleriyle,

$$\rho(\nu) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1} \quad (48)$$

karşılaştırdı ve

$$g_1 B_{12} = g_2 B_{21} \quad (49)$$

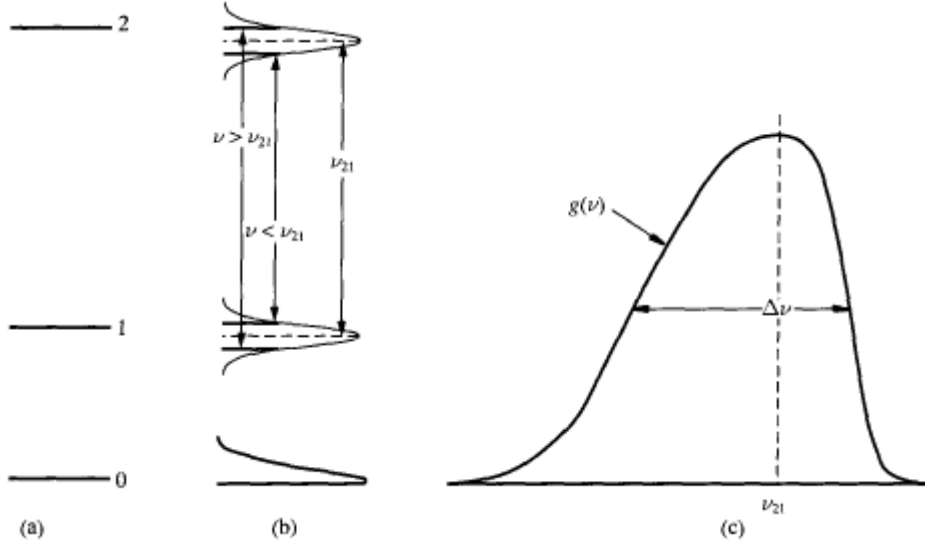
$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \quad (50)$$

sonucunu elde etti. Son iki denklem kendiliğinden salım, soğurma, ve uyarılmış salım geçişlerini birbirine bağladığından çok önemlidir. Denklem (49) ve (50)'yi denklem (44)'te yerine koyarak

$$\frac{dN_2}{dt} = -A_{21}N_2 - A_{21} \frac{c^3}{8\pi h\nu^3} \rho(\nu) \left(N_2 - \frac{g_2}{g_1} N_1 \right) \quad (51)$$

elde edilir.

Atom veya moleküllerde seviyeler arasındaki geçişler belirsizlik ilkesinin el verdiği ölçüde keskin olabilir. Her uyarılmış seviyenin belirli bir ortalama ömrü vardır ve bu durum belirsizlik ilkesinden dolayı enerjisinde sonlu bir genişlemeye yol açar. Şekil 19 iki uyarılmış seviye arasındaki geçişi göstermektedir. Şekil 19(a)'da üç seviye gösterilmiştir. Şekil 19(b) enerjilerdeki genişlemeyi göstermektedir. Şekil 19(c)'de de geçiş frekansındaki genişleme gösterilmiştir. Her atom için aynı olan bu tür frekans genişlemelerine homojen genişleme denir. Daha önce bahsedilen ve hıza bağlı olarak her atom için farklı miktarda genişleme gözlenen Doppler genişlemesine (kazanç profiline) homojen olmayan genişleme denir.



Şekil 19 İki seviye arasındaki geçişlerin dağılımı

Homojen genişleme yüzünden atomların ışınımı siyah cisim ışımasından farklı olarak belirli bir frekans dağılımının etrafında gerçekleşir. Siyah cisim ışıması frekans dağılımının $\rho(\nu)$ genişliği homojen frekans dağılımının $g(\nu)$ genişliğinden küçük veya büyük olabilir. Bu durumda her iki frekans dağılımının konvolusyonunu almak gerekir yani $\rho(\nu)$ yerine

$$\rho(\nu) = g(\nu)\rho'(\nu) \quad (52)$$

almak gerekir. $g(\nu)$ 'ü kendiliğinden salınan bir fotonun frekansının ν ile $\nu + d\nu$ arasında olma olasılığı olarak tanımlamak mümkündür ($\int_0^\infty g(\nu) d\nu = 1$). Böylece denklem (51)

$$\frac{dN_2}{dt} = -A_{21} N_2 - \frac{\sigma(\nu) I_\nu}{h\nu} \left(N_2 - \frac{g_2}{g_1} N_1 \right) \quad (53)$$

şeklinde yazılabilir. Burada,

$$\sigma(\nu) = A_{21} \frac{\lambda^2}{8\pi} g(\nu) \quad (54)$$

uyarılmış salım tesir kesiti olarak bilinen ve alan boyutunda olan bir niceliktir. I_ν ışık şiddetini simgelemekte ve

$$I_\nu = c \rho'(\nu) \quad (55)$$

ile verilmektedir.

Birtakım dönüşümler kullanılarak (53) denklemi bir kazanç ortamı içerisinde ilerleyen ışık şiddetinin konum türevine dönüştürülebilir. Bu durumda,

$$\frac{dI_\nu}{dz} = \sigma(\nu) \left(N_2 - \frac{g_2}{g_1} N_1 \right) I_\nu \quad (56)$$

$$\frac{dI_\nu}{dz} = \gamma(\nu) I_\nu \quad (57)$$

elde edilir. $\gamma(\nu)$ kazanç katsayısı olarak bilinir. Pozitif olduğunda ışık şiddetinde üstel artış olur, bunun için $N_2 > \frac{g_2}{g_1} N_1$ olması gerekir, yani nüfus terslenmesinin gerçekleşmesi gerekir.

Şekil 20'de Neonun bazı lazer geçişleri için Einstein katsayıları ve kazançlar gösterilmiştir.

Transition	Wavelength [nm]	A_{jk} [$10^8 s^{-1}$]	Gain [%/m]
3s ₂ →2p ₁	730.5 ^③	0.00255	1.2
3s ₂ →2p ₂	640.1 ^①	0.0139	4.3
3s ₂ →2p ₃	635.2 ^①	0.00345	1.0
3s ₂ →2p ₄	632.8 ^①	0.0339	10.0
3s ₂ →2p ₅	629.4 ^①	0.00639	1.9
3s ₂ →2p ₆	611.8 ^①	0.00226	1.7
3s ₂ →2p ₇	604.6	0.00200	0.6
3s ₂ →2p ₈	593.9	0.00255	0.5

Şekil 20 Bazı Ne lazer geçişlerinin Einstein katsayıları ve kazançlar

Kaynak: "Laser Electronics" Joseph T. Verdeyen