

(1)

الليزر ١- تضخيم الضوء بواسطة الانبعاث المحفز للإشعاع.

قام نيو دور ميمان بتشغيل أول ليزر عام في 16 مايو 1960.

في مختبر هوزر للأبحاث في كاليفورنيا. من خلال إضاءة مصباح فلأش عالي الطاقة على حثاف ياقوت ذات أسطح مغطاة بالفضة.

الليزر ١- هو إشعاع كهرومغناطيسي تتساوى فوتوناته في التردد وتتطابق في جبهة الموجة حيث تتداخل الموجات الفوتونات بشكل بناء في حزمة ذات طاقة عالية وبراوية انقراج صغيرة جداً.

وضع العالم أينشتاين في بداية القرن العشرين الأساس النظري لعملية إنتاج أشعة الليزر ولكن الاستفادة بطبيعته لم يأتي إلا بعد أربعين عام.

* ما خصائصه أشعة الليزر؟ ما الذي يميز الليزر عن المصادر الضوئية الأخرى؟

١) أحادي الطول الموجي (أحادي اللون) ١- أي أن له طول موجي واحد
فإشعاع الليزر يتميز بالنقاء الطيفي بدرجة تفوق أي مصدر آخر
فأشعة الضوء المنبعثة من المصدر الاعتيادي تحتوي على مدى واسع من
الأطوال الموجية.

٢) التماسك ١- موجات حزمة أشعة الليزر تكون كلها في الطور
نفسه والاتجاه والطاقة ولهذا يمكن أن تتداخل
موجتان فيما بينهما لتدخل بناء.

LASER: light Amplification By stimulated Emission
of a Radiation.

(2)

③ الاتجاهية :- تبقى موجات حزمة الليزر متوازية مع بعضها مسافات بعيدة بانفراجية قليلة وهذا يعني ان حزمة الليزر تحتفظ بسدتها نسبياً في حين تنتشر موجات الضوء الاعيادي بشكل عشوائي بكافة الاتجاهات .

④ السطوع :- ان طاقة موجات اشعة الليزر تتركز في مساحة صغيرة وذلك لقلّة انفراجيتها مما يجعله شعاع الليزر ذا شدة سطوع عالية جداً .

⑤ ذو شدة عالية ، ⑥ يطي شديداً القصر .

* ميز بين اشعة الليزر واشعة الضوء الاعيادية .

الليزر	الضوء
① احادي الطول الموجي .	① مدى واسع من الاطوال الموجية .
② موجات متشابهة .	② موجات غير متشابهة .
③ تسير موجات حزمة الليزر مسافات بعيدة متوازية بانفراجية قليلة .	③ تنتشر الموجات بشكل عشوائي بالاتجاهات كافة .
④ ذات شدة سطوع عالية جداً لانها تتركز في مساحات قليلة .	④ ذات شدة سطوع قليلة لانها ذات انفراجية كبيرة .

- تعتمد عملية قياس المدى باستخدام اشعة الليزر على احد خواصه في الاتجاهية .

(3)

* آلية عمل الليزر ؟ أنس عمل الليزر ؟

1) الامتصاص المحث :- هو انتقال الذرة من مستوى طاقة والى (E_1) الى مستوى طاقة منهيج (E_2) ويقم ذلك بامتصاص فوتون طاقة تساوي فرق الطاقة بين هذين المستويين .
• $E_2 - E_1 = hf$

2) الانبعاث التلقائي :- عندما تكون الذرة في مستوى الطاقة الاعلى تميل دائماً الى حالة الاستقرار فتعود تلقائياً بعد مدة زمنية قصيرة الى المستوى الارضى وهذا يصاحبه انبعاث فوتون وطاقة الفوتون المنبعث تساوي فرق الطاقة بين المستويين .
• $E_2 - E_1 = hf$

3) الانبعاث المحفز :- عندما يؤثر فوتون في ذرة منهيجة ولى في مستوى طاقة (E_2) طاقة هذا الفوتون تساوي تماماً فرق الطاقة بين المستويين (E_2) والمستوي (E_1) فإنه يحفز الالكترون غير المستقر على النزول الى مستوى طاقة (E_1) وانبعاث فوتون مماثل للفوتون المحفز ويحصل على فوتونين متشاكلين .

* ماهي مواصفات الفوتونات المنبعثة بطريقة الانبعاث ؟

- 1) التلقائي :- مختلفة من حيث الطور والاتجاه والطاقة (غير متساكة).
- 2) المحفز :- مماثلة بالطاقة والتردد والطور والاتجاه (فوتون متساكة).

(4)

الانبعاث المتلفائي	الانبعاث المحفز
1) ينبعث عند الطول الموجي المنخفض	1) ينبعث عند حث الإلكترون على
2) بعد انقضاء العمر الزمني للمنبعث	2) الهبوط قبل انقضاء العمر الزمني للمنبعث
3) يكون اتجاه الفوتون المنبعث عشوائياً	3) يكون اتجاه الفوتون المنبعث في نفس اتجاه الفوتون الساقط
3) ينتج فوتون واحد	3) ينتج فوتونين هما الساقط والمنبعث

* يتميز الليزر بالتفاوت الطيفي تفوق أي مصدر آخر ؟ لا يتحلل الليزر عند مروره خلال موشور ؟ (2) لأن له طول موجي واحد .

* تتداخل موجتا الليزر فيما بينهما تداخلاً بناءً ؟ (2) لأنها تكونان في نفس الاتجاه والطور والطاقة .

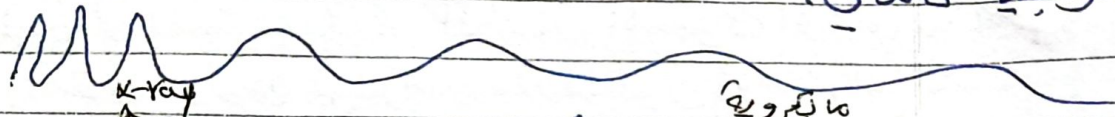
* تسير موجات حزمة الليزر مسافات بعيدة متوازية وبانحراف قليل ؟ (2) لأنها تحتفظ بشدتها نسبياً .

* لماذا توصف أشعة الليزر بالشدة العالية ؟ (2) لأنها تتركز في مساحة صغيرة وذلك لقلة انحرافيتها ما يجعلها ذات شدة سطوع عالية جداً .

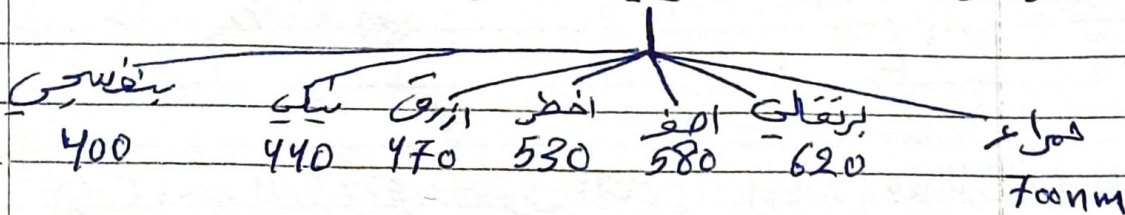
(5) (4)

* طيف أشعة الليزر والأطول الموجية ؟

- يعتمد لون شعاع الليزر على الطول الموجي والتي تكون الأطوال الموجية كالتالي.



أشعة راديوية - حمراء - مرئية - فوق البنفسجية - كاما



Region	طول الموجي (nm) $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$	التردد $f = c/\lambda \text{ (Hz)}$	طاقة $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$	$E = hf$
راديوي	$> 10^8$	3×10^9	$< 10^{-5}$	كابت بلانك $f = \frac{c}{\lambda}$
ميكروويف	$10^8 \rightarrow 10^5$			
حمراء	$10^5 \rightarrow 700$			
مرئي	$700 \rightarrow 400$			
فوق البنفسجي	$400 \rightarrow 1$			
X-Ray	$1 \rightarrow 0.01$			
كاما	< 0.01			

الطول الموجي يكبر بالموجان الراديوية لأن طاقتها قليلة.

تناقص عكسي.

$$f = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{10^{-8} \times 10^{-9} \text{ m}} = 3 \times 10^9 \text{ Hz}$$

$$E = hf = 6.6 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^9 = 1.98 \times 10^{-24} \text{ J}$$

هذا الرقم اقسمه على (P) = 1.6×10^{-19} حتى يكون (eV)

(6)

* دالة التوزيع لبولتزمان :-

- أي نظام في حالة اتزان حراري دائماً يكون درجة حرارته مع درجة حرارة المحيط متساوية عندما تكون توزيع الإلكترونات الأولية تكون لي المستوى الأرضي أكثر من المستوى الأعلى منه $[N_1 > N_2]$ يتحقق توزيع بولتزمان عندما تكون $(N_1 > N_2)$.

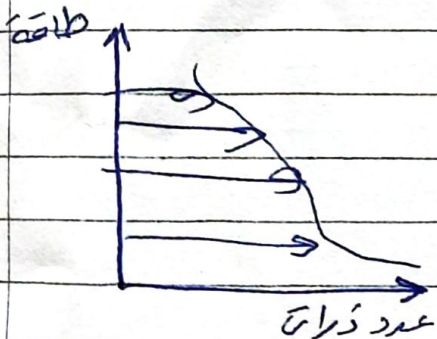
$$\frac{N_2}{N_1} = \exp \left[\frac{-(E_2 - E_1)}{kT} \right] \quad (*)$$

(N_2) عدد الذرات في المستوى الثاني، (N_1) عدد الذرات في المستوى الأول.

$(E_2 - E_1)$ الفرق الطاقة ΔE ، (k) ثابت بولتزمان، (T) درجة الحرارة المطلقة

$$T = 273 + ^\circ C$$

$$(kT) \text{ : الطاقة الحرارية. } k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$



* التوزيع المعكوس :-

- وهو نظام غير متزن حرارياً ويكون عدد الذرات في المستويات العليا للطاقة أكثر مما هو عليه في المستويات الواطئة، $(N_2 > N_1)$.

* ماذا سمى بهذا الاسم؟ (2) لانه يخالف توزيع بولتزمان.

ن / وضح كيف يمكن الحصول على التوزيع المعكوس؟

(2) يحصل عندما يكون هناك شدة ضخ كافية.

(7) (7)

بشرط وجود مستوى طاقة ذي عمر زمني أطول نسبياً ويسمى هذا المستوى بمستوى السحب المستقر. يتحقق عملية التوزيع المعكوس بوجوده.

لماذا / ما الفائدة من توزيع الذرات بشكل معكوس؟

② زيادة احتمالية الانبعاث المحفز وهذه العملية هي أساس توليد الليزر.

ملاحظة ١- إذا كان النظام في حالة اتزان حراري أو بدرجة حرارة الغرفة فإن
 $E_2 - E_1 = kT \Rightarrow \Delta E = kT$

مثال ١- إذا كان فرق الطاقة بين المستويين يساوي (kT) عند درجة حرارة الغرفة احسب عدد الكروونات (N_2) بدلالة (N_1) ؟

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp \left[\frac{-(E_2 - E_1)}{kT} \right] \Rightarrow \frac{N_2}{N_1} = \exp \left[\frac{-kT}{kT} \right]$$

$$\frac{N_2}{N_1} = e^{-1} = 0.37$$

$$\Rightarrow N_2 = 0.37 N_1$$

$$N_1 > N_2$$

مثال ٢- وضع رياضياً أنه لا يتحقق التوزيع المعكوس عندما تكون الطاقة الحرارية مساوية لطاقة الفوتون الساقط؟

$$\Delta E = E_2 - E_1 = hf \quad \text{و} \quad kT = hf$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp \left[\frac{-(E_2 - E_1)}{kT} \right] \Rightarrow \frac{N_2}{N_1} = \exp \left[\frac{-hf}{hf} \right]$$

$$\frac{N_2}{N_1} = e^{-1} = 0.37$$

$$N_1 > N_2$$

(8)

* ملاحظة: عندما يذكر في المسألة أن النظام الذري في حالة التوازن حراري

أولي درجة حرارة الغرفة فهذا يعني $\Delta E = kT \Rightarrow E_2 - E_1 = kT$

مثال (4): احسب عدد الذرات في مستوى الطاقة الأعلى في درجة حرارة الغرفة إذا كان عدد ذرات المستوى الأرضي 500 ذرة؟

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp\left[\frac{-(E_2 - E_1)}{kT}\right] \Rightarrow \frac{N_2}{N_1} = \exp\left[\frac{-kT}{kT}\right] \Rightarrow \frac{N_2}{N_1} = \exp^{-1}$$

$$\frac{N_2}{N_1} = 0.37$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{37}{100} \Rightarrow \frac{N_2}{500} = \frac{37}{100} \Rightarrow N_2 = \frac{500 \times 37}{100} = 185 \text{ ذرة}$$

ق/ ما الفرق بين طاقة المستوى الأرضي وطاقة المستوى الذي يليه (الأعلى منه) بوحدة (eV) لنظام ذري في حالة التوازن حراري إذا كانت درجة حرارة الغرفة (16°C) علماً أن ثابت بولتزمان يساوي $(1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K})$ ؟

$$T = 273 + C = 273 + 16 = 289 \text{ K}$$

$$\Delta E = kT \Rightarrow \Delta E = 1.38 \times 10^{-23} \times 289 = 398.82 \times 10^{-23} \text{ J}$$

$$\Delta E = \frac{398.82 \times 10^{-23}}{1.6 \times 10^{-19}} = 249.25 \times 10^{-4} \text{ eV}$$

ق/ إذا كان فرق بين مستوى الطاقة الأرضي ومستوى الطاقة الذي يليه يساوي 0.025 eV لنظام ذري في حالة التوازن حراري وعند درجة حرارة الغرفة حدد درجة حرارة الغرفة بالمقياس السيلزي؟ علماً أن ثابت بولتزمان $(1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K})$.

$$\Delta E = kT \Rightarrow T = \frac{\Delta E}{k} = \frac{0.025 \times 10^{-19}}{1.38 \times 10^{-23}} = 0.0289 \times 10^4 = 289$$

$$\Delta E = 0.025 \text{ eV} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} = 0.04 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\hookrightarrow T = 273 + C \Rightarrow C = 289 - 273 = 16^\circ \text{C}$$

(9)

* إشعاع الجسم الأسود :-

- الجسم ~~الأسود~~ الأسود :- هو جسم وفي مثالي يتحقق الشرطين التاليين يمتص كل الإشعاع الكهرومغناطيسي الساقط عليه ويشع إشعاعاً حرارياً متناسب مع درجة حرارته وعلى كامل الأطوال الموجية.

س/ هل يوجد جسم أسود مثالي في الطبيعة؟

ج/ كلا، لأنه لا يوجد جسم يمتص جميع الأطوال الموجية ويشعها دون فقد في الطاقة.

س/ كيف يمكن الحصول على جسم أسود عملياً؟

- الجسم الأسود العملي يمكن إنشاؤه بعمل فتحة في صندوق تكون جدرانها الداخلية عاكسة للإشعاع الكهرومغناطيسي، الإشعاع يدخل من الفتحة إلى داخل الصندوق ولا يخرج لأنه يعاين من عدة انعكاسات متكررة إلى أن يمتص كلياً داخل الصندوق المعدني، إذن تعتبر الصندوق جسماً أسوداً عملياً.

* أمثلة الجسم الأسود في الطبيعة؟

① الشمس ② نجوم ③ مصباح تنكستن ④ حم البراكين

* قوانين إشعاع الجسم الأسود؟

① قانون كيرشوف في الإشعاع الحراري :- هو عبارة عن جسم باعدي وبنفسه للإشعاع الحراري في حالة التوازن مع المحيط فإن الانبعاثية تساوي الامتصاصية.

$$\epsilon / A = \text{Constant} \quad \text{①}$$

- أحد معاني كيرشوف أن المادة تكون امتصاصيتها عالية حينما تكون باردة وتكون انبعاثيتها عالية حينما تكون ساخنة.

(10)

* قانون استيفان بولتزمان :- الطاقة الكلية المنبعثة من الجسم الأسود لكل وحدة مساحة وجميع الأطوال الموجية في وحدة الزمن تتناسب طردياً مع الأس الرابع لدرجة حرارة الجسم الأسود .

$$E(T) = \epsilon \sigma T^4 \quad (*)$$

كلما فادت درجة الحرارة ازدادت شدة الاشعاع المنبعث من الجسم الأسود

(ع) الانبعاثية الجسم الأسود . (ح) ثابت ستيفان بولتزمان (5.67×10^{-8})

بالنسبة للجسم الأسود المثالي الانبعاثية تساوي واحد .
($\epsilon = 1$)

$$E(T) = \sigma T^4 \quad (2)$$

مثال :- مصباح مضيئ متوهج بدرجة $(3000K)$. المساحة السطحية للفتيلة $(0.05 cm^2)$ ، والانبعاشية (0.3) . اخترع ان الجسم الأسود (مصباح 2) جد القدرة الكهربائية التي يجب تجهيزها للفتيلة ؟

$$E = \epsilon \sigma T^4 = 0.3 (5.67 \times 10^{-8}) (3000)^4 \approx 1.378 \times 10^6 W/m^2$$

$$P = EA = 1.378 \times 10^6 W/m^2 \times 0.05 \times 10^{-4} m^2 \approx 6.89 W$$

* ومعادلة بولتزمان الاحصائية :-

$$N_n = N_0 e^{-E_n/kT} \quad (*)$$

(11)

* قانون الاراحة لفين: - يحدد التردد الاعظم والطول الموجي الاعظم المنبعثان بأعلى شدة من أي جسم أسود

$$v_{\max} = (5.879 \times 10^{10}) T \quad \text{①} \quad \text{قانون: معرفة درجة حرارة الجسم}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{2.898 \times 10^{-3}}{T} \quad \text{②} \quad \text{الأسود من قيمة الطول الموجي}$$

* مثال: - جد التردد والطول الموجي عند درجة حرارة الغرفة وعند درجة حرارة (1000°C)؟

$$\text{①} \quad T = 27 + 273 = \underline{\underline{300 \text{ K}}}$$

$$v_{\max} = (5.879 \times 10^{10}) T = (5.879 \times 10^{10}) (300) = 1.76 \times 10^{13} \text{ Hz}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{2.898 \times 10^{-3}}{T} = \frac{2.898 \times 10^{-3}}{300} = 9.66 \times 10^{-6} \text{ m} = 9.66 \mu\text{m}$$

$$\text{②} \quad T = 1000^\circ \text{C} \rightarrow T = 1000 + 273 = \underline{\underline{1273 \text{ K}}}$$

$$v_{\max} = (5.879 \times 10^{10}) (1273) = 7.48 \times 10^{13} \text{ Hz}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{2.898 \times 10^{-3}}{1273} = 2.28 \times 10^{-6} \text{ m} = 2.28 \mu\text{m}$$

(12)

مثال ١- لدينا عينه فيها عدد الجسيمات ($N_0 = 5$) في المستوى الارضي في درجة حرارة الصفر المطلق، سخنت العينه الى درجة حرارة (87°C) افترض ان فرق الطاقة بين مستوي وآخر متساوي ويساوي ($E = 0.05 \text{ eV}$) كم سيصبح عدد الجسيمات في المستوى الاول (N_1) بافتراض ان طاقة المستوى الارضي ($E_0 = 0$) ؟

$$N_1 = N_0 e^{-E_1/k_B T} \quad \text{--- (1)}$$

* المعدل او القيمة المتوقعة :- كيفية حساب المعدل

المادة	ليتر	كجم	كهر	الكترونية	بهرية	رياضية	طابع
الدرجة	84	78	72	82	67	75	73
الوحدات	6	6	6	6	6	4	3

$$\langle g \rangle = \frac{g_1 N_1 + g_2 N_2 + g_3 N_3 + \dots}{N_1 + N_2 + N_3 + \dots} = \frac{\sum g_i N_i}{\sum N_i}$$

(13)

* النظرية الكلاسيكية لحساب معدل الطاقة: حسب طريقة بولتزمان

$$\langle E \rangle = \frac{E_0 N_0 + E_1 N_1 + E_2 N_2 + \dots}{N_0 + N_1 + N_2 + \dots} \quad (1)$$

نفرض أن طاقة المستوى الأرضي يساوي $E_0 = 0$

تصبح المعادلة أعلاه كما يلي:

$$\langle E \rangle = \frac{E_1 N_1 + E_2 N_2 + E_3 N_3 + \dots}{N_0 + N_1 + N_2 + N_3 + \dots} \quad (2)$$

* باستخدام قانون إحصائية بولتزمان يعطى عدد الجسيمات كما يلي:-

$$N_1 = N_0 e^{-E_1/k_B T} \quad , \quad N_2 = N_0 e^{-E_2/k_B T} \quad , \quad N_3 = N_0 e^{-E_3/k_B T}$$

$$\langle E \rangle = \frac{N_0 (E_1 e^{-E_1/k_B T} + E_2 e^{-E_2/k_B T} + E_3 e^{-E_3/k_B T} + \dots)}{N_0 (1 + e^{-E_1/k_B T} + e^{-E_2/k_B T} + \dots)}$$

$$\langle E \rangle = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} E_n e^{-E_n/k_B T}}{\sum_{n=0}^{\infty} e^{-E_n/k_B T}}$$

حيث يكون الرتبة مستمرة ولا يوجد لكم هذه المكان تحول علامة الجمع إلى تكامل

$$\langle E \rangle = \frac{\int_0^{\infty} E e^{-E/k_B T} dE}{\int_0^{\infty} e^{-E/k_B T} dE}$$

$$u = \frac{E}{k_B T} \quad , \quad du = \frac{dE}{k_B T} \quad , \quad dE = (k_B T) du$$

$$\langle E \rangle = \frac{(k_B T) \int_0^{\infty} u e^{-u} du}{(k_B T) \int_0^{\infty} e^{-u} du} = \frac{(k_B T) (1!)}{(0!)} = k_B T$$

$$\therefore \langle E \rangle = k_B T$$

معدل الطاقة حسب النظرية الكلاسيكية (بولتزمان)

(14)

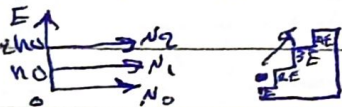
• النظرية الكمية لحساب معدل الطاقة واشتقاق صيغة بلانك لاشعاع الجسم الأسود :-

الخطأ الذي ظهر في قانون رايلى - جينز وادرك بلانك ان الخطأ يكمن في حساب معدل الطاقة لجميع هذا الخطأ كانت إحدى محاولات بلانك هي افتراض ان الطاقة كمومية .

$$E = nh\nu \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

(h) ثابت بلانك ، (ν) تردد الاهتزاز او تردد الاشعاع المنبعث من الجسم الأسود
(hν) طاقة الحزمة الضوئية او الكم الواحد (فوتون) من الاشعاع

- بتعبير آخر افترض بلانك ان الطاقة يمكن ان تأخذ قيم مسبوحة عبارة عن مضاعفات للكمية (hν)



- معدل الطاقة لمجموعة من المهتزات تساوي :- طاقة الكمية على العدد الكلي للمهتزات

$$\langle E \rangle = \frac{E_0 N_0 + E_1 N_1 + E_2 N_2 + \dots}{N_0 + N_1 + N_2 + \dots}$$

- افترض بلانك ان طاقة المستوى الارضي (E=0) تصبح المتعادلة ،

$$\langle E \rangle = \frac{E_1 N_1 + E_2 N_2 + E_3 N_3 + \dots}{N_0 + N_1 + N_2 + \dots}$$

بتعويض فرضية تكلم الطاقة (E_n = nhν) اي ان E₁ = hν و E₂ = 2hν

وقانون الاحصائية بولتزمان (E₃ = 3hν) ، N_n = N₀ e^{-E_n/kT}

N₃ = N₀ e^{-E₃/kT} و N₂ = N₀ e^{-E₂/kT} و N₁ = N₀ e^{-E₁/kT}

$$\langle E \rangle = \frac{h\nu N_0 e^{-h\nu/kT} + 2h\nu N_0 e^{-2h\nu/kT} + 3h\nu N_0 e^{-3h\nu/kT} + \dots}{N_0 + N_0 e^{-h\nu/kT} + N_0 e^{-2h\nu/kT} + N_0 e^{-3h\nu/kT} + \dots}$$

باخراج (N₀) كعامل مشترك في البسط والمقام ،

(15)

$$\langle E \rangle = \frac{h\nu (h\nu e^{-h\nu/KT} + 2h\nu e^{-2h\nu/KT} + 3h\nu e^{-3h\nu/KT} + \dots)}{h\nu (1 + e^{-h\nu/KT} + e^{-2h\nu/KT} + e^{-3h\nu/KT} + \dots)}$$

من أجل تبسيط الأمور نفرض أن $x = e^{-h\nu/KT}$ ونعبر عن $e^{-2h\nu/KT}$ بـ x^2 و $e^{-3h\nu/KT}$ بـ x^3 وهكذا...

بتعويض هذه القيم في المعادلة:

$$\langle E \rangle = \frac{h\nu x + 2h\nu x^2 + 3h\nu x^3 + \dots}{1 + x + x^2 + x^3 + \dots}$$

بإخراج $(h\nu x)$ من البسط:

$$\langle E \rangle = \frac{h\nu x (1 + 2x + 3x^2 + \dots)}{(1 + x + x^2 + \dots)}$$

$$(1 + 2x + 3x^2 + \dots) = (1 - x)^{-2} \quad \text{و} \quad (1 + x + x^2 + \dots) = (1 - x)^{-1}$$

$$\langle E \rangle = \frac{h\nu x (1 - x)^{-2}}{(1 - x)^{-1}} = \frac{h\nu x (1 - x)}{(1 - x)^2} = \frac{h\nu x}{(1 - x)} = \frac{h\nu}{\frac{(1 - x)}{x}}$$

$$= \frac{h\nu}{\frac{1}{x} - \frac{x}{x}} = \frac{h\nu}{\frac{1}{x} - 1}$$

نلاحظ أن $\frac{1}{x} = e^{h\nu/KT}$ لأن $x = e^{-h\nu/KT} \Rightarrow \frac{1}{x} = e^{h\nu/KT}$

$$\therefore \langle E \rangle = \frac{h\nu}{e^{h\nu/KT} - 1} \quad \text{ⓧ}$$

ⓧ عدد الطاقة حسب فريندليخ

(16)

كثافة الطاقة تساوي عدد الاطوار الكلية مضروباً بعزل الطاقة

$$u(\nu) d\nu = \underbrace{\langle E \rangle}_{P(\nu)} g(\nu) d\nu = \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} \cdot \frac{8\pi\nu^2}{c^3} d\nu$$

$$u(\nu) d\nu = \frac{8\pi\nu^3}{c^3} \frac{h}{e^{h\nu/kT} - 1} d\nu \quad \text{--- (X)}$$

علاقة بلانك الأخيرة كانت تتوافق مع النتائج العملية.

ل/ ماذا حدث لصيغة بلانك حينما ① $\nu \rightarrow \infty$ ② $\nu \rightarrow 0$

$$\textcircled{a} \nu \rightarrow \infty \Rightarrow u(\nu) d\nu = \frac{8\pi\nu^3}{c^3} \cdot \frac{h}{\left(\frac{e^{h\nu/kT} - 1}{\approx} \right)} d\nu$$

$$= \frac{8\pi\nu^3}{c^3} \cdot \frac{h}{e^{h\nu/kT}} d\nu$$

$$\text{let } A = 8\pi h / c^3, \quad b = h/k$$

$$u(\nu) d\nu = A \nu^3 e^{-b\nu/T} d\nu = \text{Wien's law}$$

$$\textcircled{b} \nu \rightarrow 0$$

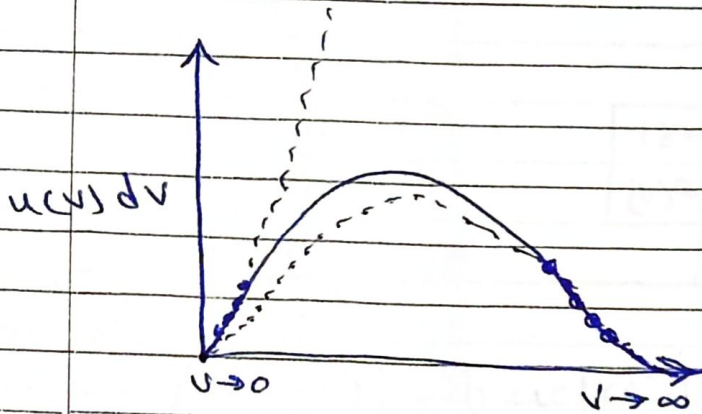
$$(e^{h\nu/kT} - 1) = 1 + \frac{h\nu}{kT} - 1 = \frac{h\nu}{kT}$$

حينما $x \rightarrow 0$ فإن $e^x = (1+x)$ نعيد كتابة صيغة بلانك

$$u(\nu) d\nu = \frac{8\pi\nu^3}{c^3} \cdot \frac{h}{e^{h\nu/kT} - 1} d\nu = \frac{8\pi\nu^3}{c^3} \cdot \frac{h}{\frac{h\nu}{kT}} d\nu$$

(17)

$$u(\nu) d\nu = \frac{8\pi \nu^2 k_B T}{c^3} d\nu \quad \text{---} \quad \text{قانون رايلى جينز قانون} \quad \otimes$$



* تطابق صيغة بلانك مع حين
عند الترددات العالية غير صالحة

* تطابق بلانك مع رايلى عند
الترددات الواطئة فيما $\nu \rightarrow 0$

* حسابات رايلى - جينز لمعدل الطاقة ! - هو قانون حاول
تفسير الانبعاث الطيفي للأشعة الكهرومغناطيسية التي يصدرها جسم
أجود في نطاق جميع الأطوال الموجية عند درجة حرارة معينة.

احتمالية توزيع بولتزمان لتردد معين (dP) لتجول تقع طاقة الأشعة
فيها بين E و $E + dE$ أعلى بالمعادلة،

$$dP = C e^{-E/KT} dE \quad \otimes$$

حيث (C) ثابت المقدار، (k) ثابت بولتزمان عند استخراج هذه المعادلة يكون
معدل الطاقة (E) لتردد صيغة تدبذب معينة.

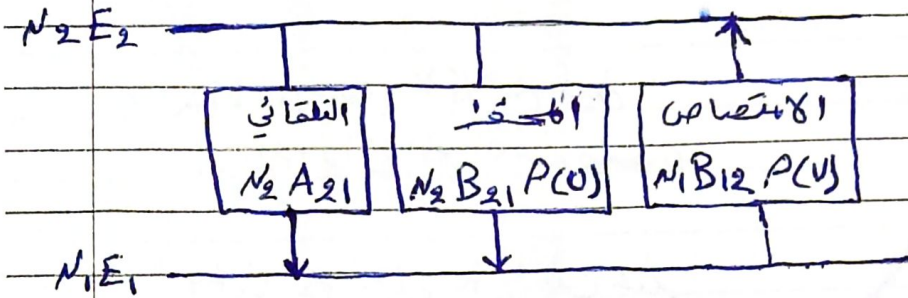
$$E = \frac{\int_0^{\infty} E C e^{-E/KT} dE}{\int_0^{\infty} e^{-E/KT} dE} \Rightarrow E = kT \quad \otimes$$

وكثافة الطاقة في مدى تردد محصور بين $(\nu, \nu + d\nu)$ ودرجة حرارة T.

$$P_\nu = \frac{8\pi \nu^2}{c^3} kT d\nu \quad \text{---} \quad \text{بالالة } (\nu) \quad \otimes$$

$$P_\lambda = \frac{8\pi}{\lambda^4} kT d\lambda \quad \text{---} \quad \text{بالالة } (\lambda) \quad \otimes$$

- * حسابات إحصائية لمعاملات الاحتمالية والنسبة بين معدل الامتصاص والانبعاث التلقائي والمحفز.



($N_2 A_{21}$) - يمثل عدد الانتقالات التلقائية من المستوى التالي إلى المستوى الأول في الثانية الواحدة وفي المتر المكعب من المادة.

($N_2 B_{21} P(u)$) - يمثل عدد الانتقالات المحفزة من المستوى التالي إلى الأول.

($N_1 B_{12} P(u)$) - يمثل عدد الانتقالات من المستوى الأول إلى التالي التي تحدث للامتصاص.

A_{21}, B_{21}, B_{12} - معاملات إحصائية لكل من الانبعاث التلقائي والمحفز والامتصاص.

$P(u)$: كثافة الطاقة الساقطة.

- عندما تكون المضطومة في حالة انزان حراري فإن الانتقالات من المستوى التالي إلى الأول تساوي الانتقالات من المستوى الأول إلى المستوى التالي.

$$N_1 B_{12} P(u) = N_2 A_{21} + N_2 B_{21} P(u) \quad \text{--- ①}$$

$$N_1 B_{12} P(u) - N_2 B_{21} P(u) = N_2 A_{21} \quad \text{--- ②}$$

$$P(u) (N_1 B_{12} - N_2 B_{21}) = N_2 A_{21} \quad \text{--- ③}$$

$$P(\nu) = \frac{N_2 A_{21}}{(N_1 B_{12} - N_2 B_{21})} \quad (4)$$

بإضافة البسط والمقام على $N_2 B_{21}$ $\therefore N_2 B_{21}$

$$P(\nu) = \frac{\frac{N_2 A_{21}}{N_2 B_{21}}}{\left(\frac{N_1 B_{12}}{N_2 B_{21}} - \frac{N_2 B_{21}}{N_2 B_{21}} \right)} = \frac{A_{21}/B_{21}}{\left(\frac{N_1}{N_2} - 1 \right)}$$

$$\frac{N_2}{N_1} = e^{-h\nu/KT} \quad \text{حسب توزيع بولتزمان} \quad (*)$$

$$\frac{N_1}{N_2} = e^{h\nu/KT} \quad (*)$$

$$P(\nu) = \frac{A_{21}/B_{21}}{e^{h\nu/KT} - 1} \quad (5)$$

* بحسب معادلة بلانك لإشعاع الجسم الأسود وعند درجة حرارة الغرفة فإن كثافة الطاقة الإشعاعية تتغير بالعلاقة:

$$P(\nu) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{e^{h\nu/KT} - 1}$$

$$\frac{A_{21}/B_{21}}{e^{h\nu/KT} - 1} = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{e^{h\nu/KT} - 1}$$

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

$$\frac{A}{B} = \text{constant} \times \frac{1}{\lambda^3} \quad \text{حيث } R = \frac{A}{B} \quad \therefore R = \frac{A}{B}$$

(20)

~~21~~

$$R = \frac{A}{B} = \frac{\text{معدل الانبعاث التلقائي}}{\text{معدل الانبعاث المحفز}}$$

⊗

مكامل

١) عندما تكون النسبة بين A كبيرة أي $R \gg 1$ معناه ان الانبعاث التلقائي هو المسيطر وان الفوتونات الناتجة هي من عملية الانبعاث التلقائي

٢) عندما تكون نسبة A صغيرة أي ان $R \ll 1$ معناه ان الفوتونات المنبعثة ناتجة من عملية الانبعاث المحفز.

نجد من المعادلة اعلاه انه كلما كانت A كبيرة كلما كانت قيمة R كبيرة وبالعكس وهذا يعني ان كثافة الميزر قليل الليزر.

$$R = \frac{\text{معدل الانبعاث التلقائي}}{\text{معدل الانبعاث المحفز}} = \frac{N_2 A_{21}}{N_2 B_{21} P(\nu)} = \frac{A_{21}}{B_{21} P(\nu)}$$

- نحوض عن قيمة $P(\nu)$ من معادلة (5) نصل على:

$$R = \frac{A_{21}}{B_{21} \frac{A_{21}}{B_{21} e^{h\nu/KT} - 1}} = e^{h\nu/KT} - 1 \quad \otimes$$

عند تطبيق هذه المعادلة على المنطقة المايكروية ($\nu = 10^9 \text{ Hz}$)
 $h = 6.62 \times 10^{-34} \text{ J}$, $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$, $T = 300 \text{ K}$

$$R = e^{h\nu/KT} - 1 = 0.0015$$

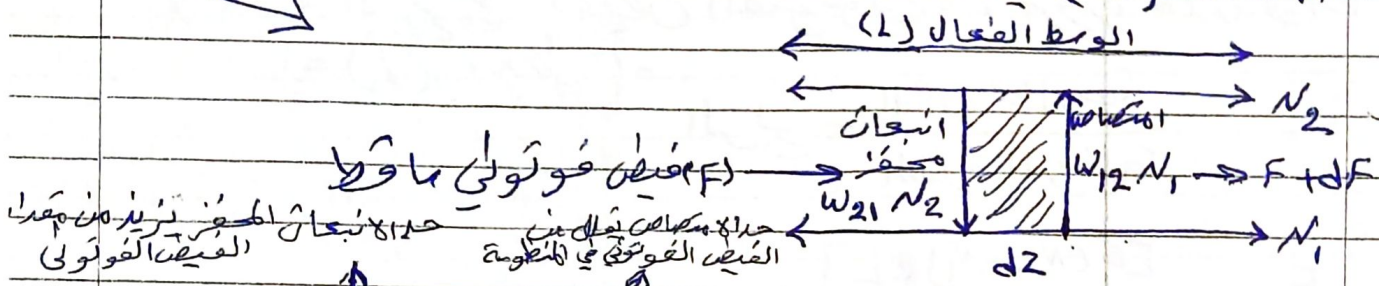
هذه القيمة قليلة جداً من الواحد ($R \ll 1$) وهذا يعني ان الانبعاث المحفز هو المسيطر.

مثال ١- احسب النسبة بين معدل الانبعاث التلقائي الى المحفز لمصباح يعمل بدرجة حرارة (2000K) وله معدل تردد الانبعاث مقادير $\nu = 5 \times 10^{14} \text{ Hz}$

(91)

* منظومة الليزر كمكبر (مكبر الليزر) - 1 -

- نفرض ان لدينا وسط فعال طولها (L) يتكون من مستويين من مستويات الطاقة تعداد الذرات في المستوى الاول N_1 والثاني N_2
- نلاحظ ان مقدار التغير في قيمة الفلض dF التي عبر من مساحة dZ الناتج من عمليتي الانبعاث المحفز والامتصاص يعطى :
- اذا انتشرت حزمة من الفوتونات كثافة فيضها (F) باتجاه المنطقة (dz) في المادة .



$$\frac{dF}{dz} = w_{21} N_2 - w_{12} N_1$$

مساحة المقطع العرضي

$$w = w_{21} = w_{12} \quad \text{احتمالية} \quad w = \sigma F$$

$$\frac{dF}{dz} = w (N_2 - N_1) \Rightarrow \frac{dF}{dz} = \sigma F (N_2 - N_1) \quad \text{--- 1 ---}$$

1) عندما تكون $N_2 > N_1$ فإن مقدار $\frac{dF}{dz}$ سيكون موجباً تعيد المادة كمكبر

2) عندما تكون $N_2 < N_1$ فإن مقدار $\frac{dF}{dz}$ سيكون سالباً تعيد المادة كوسط ماص

3) عندما يكون $N_2 = N_1$ فإن مقدار $\frac{dF}{dz}$ يساوي صفر فإن المادة تعيد كوسط شفاف

ان قيمة الفلض الفوتوني المنتقل خلال مسافة مقدارها (L) داخل المادة يعطى بالعلاقة :-

$$dF = \sigma F (N_2 - N_1) dz$$

بقسمة طرفي المعادلة على (F) :

$$\frac{dF}{F} = \sigma (N_2 - N_1) dz$$

(22)

$$\int_{F_0}^F \frac{dF}{F} = \int_0^L \delta (N_2 - N_1) dz$$

$$F = F_0 e^{[\delta (N_2 - N_1) L]} \quad (dz = L)$$

العلاقة الأخيرة تمثل الشدة الخارجة بعد مرورها خلال وِطَط طولها (L). والتي هي (F).
(F₀) : الشدة الساقطة على الوِطَط ، (L) أطول الوِطَط الفعال.

* قيمة الريح في الفيض الفوتوني عند مروره خلال وِطَط طولها (L) تعطى :-
الريح = $\frac{\text{الشدة الخارجة}}{\text{الشدة الداخلة}}$

$$\frac{F}{F_0} = e^{[\delta (N_2 - N_1) L]}$$

هذه المعادلة تمثل الريح في الفيض الفوتوني خلال نصف دورة أي خلال طول الوِطَط (L).

$$\frac{F}{F_0} = e^{[\delta (N_2 + N_1) 2L]}$$

(2L) : إذ هاهنا وَايَا ج .
تعطي قيمة الريح خلال خلال الوِطَط الفعال لدورة كاملة .

وإن معامل الامتصاص (α) يرتبط مع مقطع الانتقال (المساحة العرطية) (G) بحسب العلاقة التالية :-

$$\alpha = G (N_1 - N_2)$$

عندما يكون (N₂ > N₁) فإن معامل الامتصاص يأخذ قيمة سالبة وفي هذه الحالة تتضخم الموجة وعندما يطلق على هذه القيمة بمعامل النسب (G).

$$G = -\alpha = G (N_2 - N_1)$$

(23)



* شرط العتبة :- هي الحالة التي يتساوى فيها ربح الوبط الفعال مع خسائر الليزر الكلية .

* من الخسائر الموجودة في أجهزة الليزر ؟

(1) خسائر مرآيا المرنان :- الناتجة من عملية النفوذ والتي تكون مقصودة في إحدى المرآيا إضافة إلى الخسائر الناتجة من عملية الانعكاس والاستطارة والحيود ، * لتقليل خسائر مرآيا المرنان يتم استخدام طلائد عازلة وبطبقات متعددة ذات سمك $(\frac{\lambda}{4})$ ويكون لها معاملات انكسار متعاقبة (معامل انكسار عالي وواطيء) . ترسب بالتعاقب مع مادة الزجاج وعند موقع التلامس لأي طبقتين تكون جميع الأسطح المنعكسة بطور واحد وتتداخل تداخل بناء ، وعادة يتم استخدام الكروم (20) طبقة للحصول على انعكاسية عالية تقريبا 99% .

(2) خسارة الوبط الفعال :- تكون هذه الخسارة ناتجة من عمليات الامتصاص في الوبط الفعال لنطاق واسع من طاقة الشخ مسببة حدوث انشقاقات أخرى ليس لها علاقة بالفعل الليزري . إضافة إلى الخسائر الناتجة من الاستطارة في الوبط الفعال بسبب فقدان التجانس البصري .
- المادة المتجانسة بصرياً :- وهي المادة التي يكون معامل انكسارها ثابتاً في جميع مناطق المادة .

(3) - إذن ان مقدار الربح نتيجة عبور وبط فعال طول (L) هو $\frac{F}{F_0}$.

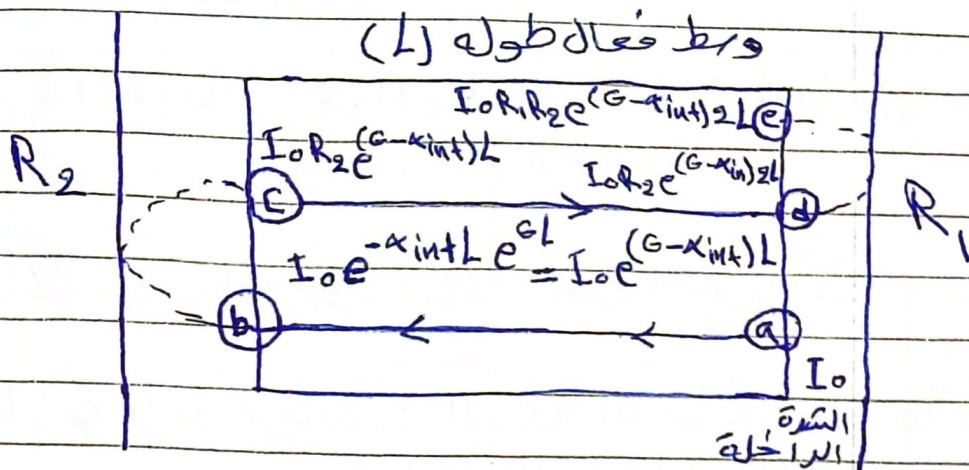
$$\frac{F}{F_0} = e^{[G(N_2 - N_1)L]} = e^{GL}$$

(3) - الخسائر الكلية في جهاز الليزر ما عدا النفوذية (يجب خسارة الامتصاص الاستطارة ...) يجب ان بالمعادلة بدلالة المعامل (α_{int}) .

$$e^{-\alpha_{int} L}$$

(2) * خسائر التجاذبية في المرآيا يوصف بالمقدار (R_1, R_2) هي انعكاسية المرآيا .

(24)



الشكل يوضح قيمة الشدة الضوئية عند مواقع مختلفة داخل التجويف الليزري وللمرة كاملة. (حساباً).

عند النقطة (a) الشدة هي I_0
عند النقطة (b) الشدة هي $I_0 e^{-(\alpha - \gamma) L} = I_0 e^{(\gamma - \alpha) L}$

عند النقطة (c) الشدة هي $I_0 R_2 e^{(\gamma - \alpha) L}$

عند النقطة (d) الشدة هي $I_0 R_1 R_2 e^{(\gamma - \alpha) 2L}$

عند النقطة (e) الشدة هي $I_0 R_1 R_2 e^{(\gamma - \alpha) 2L}$

الآن نتحدث عن الربح، ويرمز له (γ).

$$\gamma = \frac{\text{السَّاعِ النهائي}}{\text{السَّاعِ البدائي}} = \frac{I_0 R_1 R_2 e^{(\gamma - \alpha) 2L}}{I_0} \quad (*)$$

$$\gamma = R_1 R_2 e^{(\gamma - \alpha) 2L} \quad (*)$$

إذا كانت ($\gamma > 1$) فإن التذبذب الليزري ينمو والربح الكبريت الحسابي.
إذا كانت ($\gamma < 1$) فإن التذبذب الليزري يضعف ويختفي. حسابه أكبر الربح
إذا كانت ($\gamma = 1$) يمثل حالة الربح المحرط أو شرط العتبة.

$$1 = \gamma = R_1 R_2 e^{(\gamma - \alpha) 2L} \quad (*)$$

(25)

* ملاحظة: ان شرط تحويل المذبذب الى مكبر هو:

$$I_0 R_1 R_2 e^{(G - \alpha_{int}) 2L} > I_0 \quad \text{قيمة الربح} \quad \text{or } \gamma > 1$$

① - يمكن كتابة شرط العتبة بدلالة التعداد: (N_1, N_2)

$$R_1 R_2 e^{-2\alpha_{int} L} e^{[\sigma(N_2 - N_1)_c] 2L} = 1$$

ربح الوط الفعال خسائر داخلية خسائر التفادية

② - كتابة شرط العتبة بدلالة الربح:

$$R_1 R_2 e^{-2\alpha_{int} L} e^{2L G_{th}} = 1$$

$$R_1 R_2 e^{2L(G_{th} - \alpha_{int})} = 1 \Rightarrow e^{2L(G_{th} - \alpha_{int})} = \frac{1}{R_1 R_2}$$

قيمة فاعلية $R_1 R_2$

بأخذ $\ln$ الطرفين:

$$2L(G_{th} - \alpha_{int}) = \ln\left(\frac{1}{R_1 R_2}\right)$$

* بقسمة الطرفين على $2L$:

حساب الربح المحرك معادلة

$$G_{th} = \alpha_{int} + \frac{1}{2L} \ln\left(\frac{1}{R_1 R_2}\right) \quad (*)$$

نحذف عن قيمة $G_{th} = \sigma(N_2 - N_1)_c$ في المعادلة اعلاه نحصل على:

$$(N_2 - N_1)_c = \frac{G_{th}}{\sigma} = \frac{\alpha_{int}}{\sigma} + \frac{1}{2L\sigma} \ln\left(\frac{1}{R_1 R_2}\right) \quad (*)$$

* التعداد المحرك * بقسمة طرفي المعادلة على $(R_1 R_2)$ ، بعد ذلك نأخذ اللوغاريتم

* افترض ان معادلة خسائر القودية في اطراف ولورة واحدة يعطي بالرمز:

$$R_1 R_2 = e^{-2\gamma} \quad (*) \ln R_1 R_2 = -2\gamma$$

$$\therefore \gamma = -\frac{1}{2} \ln(R_1 R_2) \quad (*)$$

(26)

وبالتالي فإن معامل الخسارة بسبب النفوذية يعطى بمعادلة:

$$\gamma = -\frac{1}{2} \ln(R_1 R_2) \quad (*)$$

يمكن كتابة شرط العتبة بدلالة معامل الربح ومعامل خسائر النفوذية في المراهية ومعامل الخسائر الداخلية في الوبط الفعال كما يلي:

$$e^{-2\gamma} \cdot e^{-2L\kappa_{int}} \cdot e^{2LG_{th}} = 1 \quad (*)$$

$$e^{2LG_{th}} = e^{2\gamma} \cdot e^{2L\kappa_{int}} \quad (*)$$

- نأخذ (ln) الطرفين ونقسم على (2):

$$G_{th}L = \kappa_{int}L + \gamma \quad (*)$$

- بقسمة الطرفين على (L):

$$G_{th} = \kappa_{int} + \frac{\gamma}{L} \quad (*)$$

* حالة خاصة: بإحصاء خسائر النظام الأخرى واعتبار أن الخسارة الاسمية ناتجة من المراهية فقط فإن شرط العتبة يعطى بالمعادلة:

$$R_1 R_2 e^{[\phi(N_2 - N_1)2L]} = 1 \quad (*)$$

$$e^{[\phi(N_2 - N_1)2L]} = \frac{1}{R_1 R_2} \quad (*)$$

* نأخذ (ln) الطرفين :-

$$\phi(N_2 - N_1)2L = \ln \frac{1}{R_1 R_2} \quad (*)$$

- لذلك نجد أن شرط العتبة يتحقق عندما يصل انقلاب التعداد (التأهيل العكسي) إلى قيمة حرجية تسمح الانقلاب الحرج.

$$(N_2 - N_1) = \frac{1}{2L\phi} \ln \frac{1}{R_1 R_2} \quad (*)$$

(27)

بالإمكان كتابة شرط العتبة بدلالة معامل الربح كما يلي :-

$$R_1 R_2 e^{2LG_{th}} = 1 \quad (*) \quad (2)$$

$$e^{2LG_{th}} = \frac{1}{R_1 R_2} \Rightarrow G_{th} = \frac{1}{2L} \ln \left(\frac{1}{R_1 R_2} \right) \quad (*)$$

معامل الربح الكلي *

ويمكن كتابة شرط العتبة وبدلالة المعاملات وكما يلي :-

$$e^{-2\gamma} \cdot e^{2LG_{th}} = 1 \Rightarrow e^{2LG_{th}} = e^{2\gamma} \quad (*)$$

$$G_{th} L = \gamma \Rightarrow G_{th} = \frac{\gamma}{L} \quad (*) \quad \begin{array}{l} \text{شرط العتبة بدلالة} \\ \text{المعاملات} \end{array}$$

(1) في حالة $(G_{th} > \frac{\gamma}{L})$ فإن التذبذب الليثري يبدأ بالنمو وينبعث السكاع الليثري

(2) في حالة $(G_{th} < \frac{\gamma}{L})$ فإن التذبذب الليثري يظفر ولا ينبعث أي سكاع من المصدر

مثال :- تجويف ليثري يتكون من مرآتين فو انعكاسية $R_1 = 1$ ، $R_2 = 0.5$ وطول الوبط الفعال $L = 7.5 \text{ cm}$ والمقطع العرضي للانتقال $\sigma = 8.8 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$ احسب معامل ربح حد العتبة وانقلاب التعداد الكلي N_2 الكلي

الحل :- سوف نستخدم قوانين الحالة الخاصة لعدم وجود (α) .

$$(N_2 - N_1) = \frac{1}{2L\sigma} \ln \frac{1}{R_1 R_2} = \frac{1}{2 \times 7.5 \times 8.8 \times 10^{-19}} \ln \frac{1}{0.5}$$

$$(N_2 - N_1) = 5 \times 10^{16} \text{ atom/cm}^3$$

(28)

$$G_{th} = \frac{1}{2L} \ln \left(\frac{1}{R_1 R_2} \right) = \sigma (N_2 - N_1) = 8.8 \times 10^{-19} \times 5 \times 10^6$$

$$\therefore \underline{G_{th} = 0.046 \text{ cm}^{-1}}$$

مثال ١- احسب معامل الربح عند العتبة (G_{th}) للليزر اليافوت اذا علمت
 بأن مقدار التعداد الحرج $(N_2 - N_1) = 5 \times 10^{22} \text{ m}^{-3}$ ومعامل الانكسار الوسط
 الفعال ($n = 1.5$) وعرض خط الانتقال $\Delta\nu = 7 \times 10^{11} \text{ Hz}$ ومعامل
 البنىكين $A = 300 \text{ sec}^{-1}$ والطول موجة $\lambda = 694.3 \text{ nm}$ ؟

$$G_{th} = \sigma (N_2 - N_1) \text{ و } \sigma = \frac{B_{21} n h \nu}{\Delta\nu c} \text{ و } B_{21} = ? \text{ الكا ١-}$$

$$\frac{A}{B} = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} = \frac{8\pi h}{\lambda^3} \Rightarrow B_{21} = \frac{\lambda^3 A}{8\pi h} \quad \text{--- ٢}$$

$$B_{21} = \frac{\lambda^3 A}{8\pi h} = \frac{(694.3 \times 10^{-9})^3 \times 300}{8 \times 3.14 \times 6.6 \times 10^{-34}} = 6.03 \times 10^{15} \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{sec}^2$$

$$\sigma = \frac{6.03 \times 10^{15} \times 1.5 \times 6.6 \times 10^{-34}}{7 \times 10^{11} \times 694.3 \times 10^{-9}} = 12.28 \times 10^{-24} \text{ m}^2$$

$$G_{th} = 12.28 \times 10^{-24} \times 5 \times 10^{22} = 61.4 \times 10^{-2} = 0.61 \text{ m}^{-1}$$

* عمليات تعريف الخلا الطبيعي :-

- هو خط وهمي متالي لا يوجد مثل هذا الخط في الطبيعة
- احادي اللون والتردد لا يوجد مثل هذا الخلا في عملية الاستكشاف
- ولا يُعبر عن في اي مصدر ضوئي .
- فإن انتقال الذرة لا بد ان يصاحبه اتساع او تضيق في الطول الموجي للذرة ، ~~بشكل~~ ويكون هذا التغير عبارة عن أطول موجية على جانب الطول الموجي الاصل بشكل متساو
- ويمكن تعيين مقدار ~~الطول الموجي~~ عرض الخلا الطبيعي عن طريق المعنى عندما تكون $(I = \frac{1}{2} I_0)$.
- (٥٧) تردد رئيسي للخل الخلا الطبيعي (٥٧) عرض الخلا الطبيعي

* اضافة التعريف للخل الطبيعي :-

(١) التعريف المتجاسس :- في هذا النوع يتم تعريف خلا الطبيعي لكل ذرة من ذرات الوصل بشكل متساو وينعكس الصيعة والتردد والدالة التي تعبر عن تلك الخلا الطبيعي هي دالة لورنتز $g_{(٥٧)} = \frac{2}{\pi \Delta \nu}$

(٢) التعريف الغير المتجاسس :- في هذا النوع يتم تعريف الخلا الطبيعي كله النظام بدلاً من التوزيع بشكل منفرد لكل ذرة ، وتتوزع الترددات الرئيسي بشكل حرمة . والدالة التي تعبر عن تلك الخلا الطبيعي هي دالة گاوس $g_{(٥٧)} = \frac{1}{\Delta \nu}$

30



٢٠٢

التاريخ

الموضوع :

* اسباب آليات تعريض الحلا الطبيعي :-

(١) تحدث تعريضاً نتيجة زمن العمر المحدد لمستوى الطاقة. لا يمكن ان يأخذ مستوى الطاقة قيم محددة من الطاقة لان ذلك يخالف مبدأ هايزنبرغ في اللادقة (اللاتحديد) وهو من النوع المتجانس ويسمى بالتعريض الطبيعي. والمعادلة التي تعبر عن هذا النوع

$$\Delta V = \frac{1}{2\pi\tau_{sp}} \quad \text{من التعريض (١)}$$

$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 \quad \text{--- (٢)}$$

(٢) تحدث تعريضاً نتيجة تصادم الذرة مع ما يحاورها من الذرات. وعملية التصادم هذه يؤثر على الاشعاع يحدث فيه تغييراً فجائياً في الطول. المعادلة التي تعبر عن هذا النوع من التعريض (٣) $\Delta V = \frac{1}{\pi\tau_{sp}}$ وهو من النوع المتجانس ويسمى بتعريض التصادم.

(٣) تحدث تعريضاً نتيجة الحركة العشوائية للذرات في الوسيط الفعال التي تكون اما باتجاه موازي او مخالف لاتجاه الاشعاع الكهرومغناطيسي المتبع. وهو من نوع التعريض الغير المتجانس ويسمى بتعريض دوبلر. والمعادلة التي تعبر عن هذا النوع من التعريض (٤) $\Delta V = 7.16 \times 10^{-7} U_0 \left(\frac{T}{M}\right)^{1/2}$

(U₀) تردد أصلي،

(T) درجة حرارة بالكلفن. (M) كتلة الذرة.

مخططات الضخ ١- ان اطراف من الضخ هو تحقيق التأهيل العكسي ، مما يؤدي الى تضخيم الاشعاع عن طريق الانعكاس المحفر.

٢ نظام المستويات الثنائية ١- في حالة النظام مكون من مستويين

فان سقوط موجة كهرومغناطيسية ذات شدة (I) تعمل على زيادة تعداد المستوى (N₂) وعند قيمة كافية للشدة فان تعداد المستويين يصل الى حالة التساوي (N₁ = N₂) عندئذ تصبح المادة الشفافة وفقاً للعلاقة ١-

$$dF = G F (N_2 - N_1) dz = 2\epsilon v_0 \quad (*)$$

ان هذه الحالة تعرف بتشبع المستويين .

لذلك من المستحيل الحصول على انقلاب التعداد باستخدام نظام ذي مستويين .

وان قيمة الشدة التي تحدث عندها حالة تشبع المستويين تعطى بالعلاقة ١-

$$I_s = \frac{h W}{2 G \tau} \quad (*)$$

يعطى الفرق في تعداد المستويين لنظام ثنائي المستويات بالعلاقة ١-

$$\Delta N = \frac{N_t}{1 + 2 W \tau} \quad (*)$$

(N_t) : التعداد الكلي للمادة ←

$$N_t = N_1 + N_2$$

(τ) : عمر الحلال المستوى العلوي .

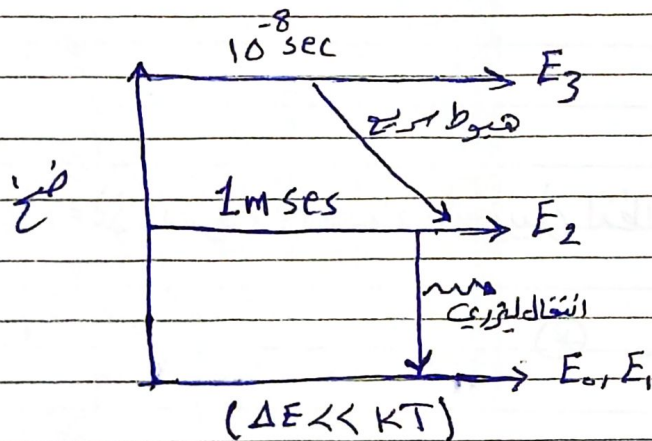
(ΔN) : الفرق في التعداد يعتمد على (W) و (τ) : شدة الاشعاع الساقط

حيث بزيادة (I) تزداد (W) ويقل فرق التعداد (ΔN) .

١) نظام المستويات الثلاثة، في هذا النظام يتم اختيار وظيفتين يكون:

- ١) متوط عمر مستوى (E_3) قصير جداً (10^{-8} sec) مقارنة مع مستوى العمر (E_2) والذي يكون محدود (10^{-3} sec) أي ($\tau_{21} = \tau_{sp} \ll \tau_{32}$) وذلك لكي يوفر هبوطاً سريعاً من المستوى (E_3) إلى المستوى (E_2) ونتيجة الذرات إلى مستوى (E_2) ويبقى مستوى (E_3) تقريباً فارغاً.
- ٢) أن المستوى اللغزبي السفلي (E_1) يكون منطبقاً على المستوى الارضي (E_0) أي أن ($\Delta E \ll kT$) وبذلك فإن المستوى اللغزبي السفلي (E_1) يكون متطابقاً تماماً.

أن ضئ (50%) من الذرات إلى المستوى (E_2) عند طريق المستوى (E_3) يجعل أعداد المستويين (E_2, E_1) متساويان تقريباً وبذلك فإن ضئ أي ذرة أخرى (الكثافة من الذرات) يؤدي إلى حدوث انقلاب التعداد بين المستويين (E_2, E_1).



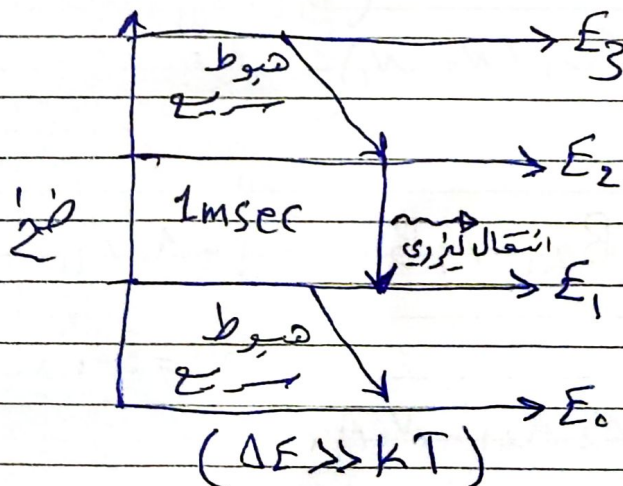
* كفاءة الضئ قليلة لأن المستوى الأول متطابق بالذرات.

الهدف: - خدمات عملية الضئ سوف تنتقل الذرات إلى مستوى (E_3) احثة المطلق أن الذرات تنتج في المستوى التالي حتى تحدث عملية انقلاب التعداد بين (E_2) و (E_1) لهذا السبب احثة تحتاج الذرات أن تبقى في المستوى (E_2) وأن لا تنتج في (E_3) حصول على عملية انقلاب التعداد يجب ضئ أكثر من (E_3) من الذرات.

③ نظام المستويات الرباعية ' - في نظام المستويات الرباعية يتم انتقاء الوبط بحيث يكون ' -

- ① عمر المستوى (E_2) قصير جداً مقارنة مع المستوى (E_1) ($\lambda_{21} \ll \lambda_{32}$) لكي يوفّر هبوطاً سريعاً من المستوى (E_2) إلى المستوى (E_1) بحيث تتجمع الذرات في المستوى (E_1)
- ② عمر المستوى (E_1) قصير مقارنة مع عمر المستوى (E_0) ($\lambda_{10} \ll \lambda_{21}$) لكي يوفّر هبوطاً سريعاً للذرات إلى المستوى (E_0) ويعد ضخها مرة أخرى وكي لا تتجمع الذرات في المستوى (E_1) ويبقى خارجاً تقريباً ما يزيد من كفاءة عملية انقلاب التعداد (أذا أن تراكم الذرات في المستوى (E_1) يقلل من كفاءة عملية انقلاب التعداد وبالتالي سوف نحتاج إلى ضخ المزيد من الذرات لتحقيق التناقص العكسي.
- ③ أن المستوى الليزري السفلي (E_1) يكون غير منطبق على المستوى الأعلى (E_2) أي أن ($\Delta E \gg kT$) وبذلك فإن المستوى (E_1) يكون خارجاً تقريباً.

إن ضخ أي ذرة إلى المستوى (E_2) عن طريق المستوى الثالث سيحقق التعداد العكسي وبذلك نجد أن ليزرات المستويات الرباعية هي أكثر اقتصاداً وكفاءة من ليزرات المستويات الثلاثية.

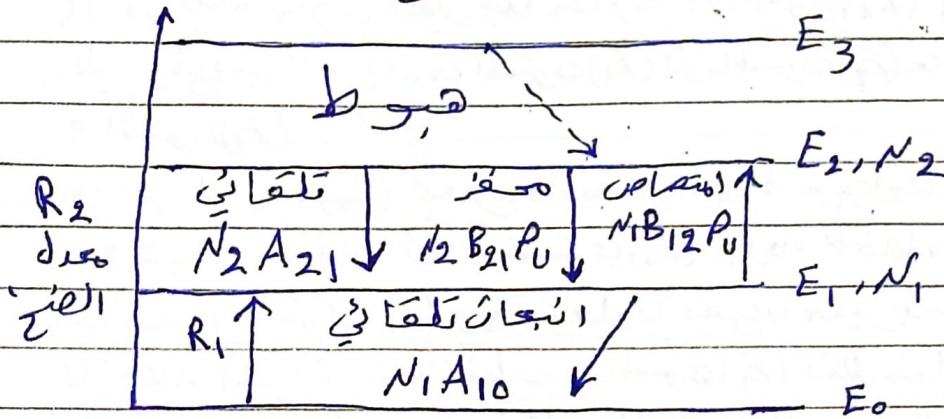


* زيادة كفاءة الضخ عندما تكون المستوى لاول خارج

(36)

قدرة الضخ :- حساب قدرة الضخ اللازمة للوصول الى حد العتبة

سوف نستعين بمعادلات معدل التغيير في تأهيل (اعداد) المستويات بدلالة عمليات الامتصاص والانبعاج ومعدل الضخ ولربط ذو اربعة مستويات.



لكون طاقة المستوى (E_1) اكبر من (KT) لذا فإن تأهيل المستوى نتيجة سخونة الوتر يهمل (أي أننا سوف نهمل المقدار (R_1)).

(R_2) انتمل معدل الضخ للمستوى (E_2) ومنه الى المستوى (E_1) وبذلك نجد * ان معدل التغيير في اعداد المستوى (N_1) و (N_2) يعطى كالتالى :-

$$\frac{dN_2}{dt} = R_2 - N_2 A_{21} - N_2 P_0 B_{21} + N_1 B_{12} P_0 \quad (1)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = R_2 - N_2 A_{21} - P_0 B_{21} (N_2 - N_1) \quad (1')$$

($B_{12} = B_{21}$)

$$\frac{dN_1}{dt} = N_2 A_{21} + N_2 P_0 B_{21} - N_1 B_{12} P_0 - N_1 A_{10} \quad (2)$$

$$\frac{dN_1}{dt} = P_0 B_{21} (N_2 - N_1) + N_2 A_{21} - N_1 A_{10} \quad (2')$$

($B_{12} = B_{21}$)

عندما يكون الضخ ثابتاً فإن

(37)

لا يوجد تغيير في عدد الذرات لأن الصافي ثابت. مع الزمن

$$\frac{dN_1}{dt} = \frac{dN_2}{dt} = 0$$

لدينا من معادلة (2)

$$N_1 A_{10} = \underbrace{P_{(u)} B_{21}}_{R_2} (N_2 - N_1) + N_2 A_{21} \quad (3)$$

نعوض المعادلة أعلاه في معادلة (1) وعندما $\frac{dN_2}{dt} = 0$ فتصل على:

$$N_1 A_{10} = R_2 \Rightarrow N_1 = \frac{R_2}{A_{10}} \quad (3)$$

عدد الذرات في المستوى E_1

من معادلة رقم (1) لدينا:

$$R_2 = N_2 (A_{21} + P_{(u)} B_{21}) - N_1 P_{(u)} B_{12} \quad (4)$$

عدد الذرات في المستوى E_2

$$N_2 = \frac{R_2 + N_1 P_{(u)} B_{12}}{A_{21} + P_{(u)} B_{21}} \quad (5)$$

نعوض معادلة (3) في (5) كحل على:

$$N_2 = \frac{R_2 + \frac{R_2 P_{(u)} B_{12}}{A_{10}}}{A_{21} + P_{(u)} B_{21}} = \frac{R_2 (1 + \frac{P_{(u)} B_{12}}{A_{10}})}{A_{21} + P_{(u)} B_{21}} \quad (6)$$

ب طرح معادلة (6) من (3) كحل على:

$$N_2 - N_1 = \frac{R_2 (1 + \frac{P_{(u)} B_{21}}{A_{10}})}{A_{21} + P_{(u)} B_{21}} - \frac{R_2}{A_{10}}$$

$$N_2 - N_1 = R_2 \left[\frac{(1 + \frac{P_{(u)} B_{21}}{A_{10}})}{A_{21} + P_{(u)} B_{21}} - \frac{1}{A_{10}} \right]$$

(38)

$$N_2 - N_1 = R_2 \left[\frac{(A_{10} + P_{(0)} B_{21}) - A_{21} - P_{(0)} B_{21}}{(A_{21} + P_{(0)} B_{21}) A_{10}} \right]$$

بقسمة البسط والمقام على A_{10} نحصل على:
 ← أقل من المقام A_{10}
 ← أكبر من المقام A_{21}

$$N_2 - N_1 = R_2 \left[\frac{1 - \left(\frac{A_{21}}{A_{10}} \right)}{A_{21} + P_{(0)} B_{21}} \right] \quad (7)$$

تحقق شرط التعداد $N_2 > N_1$
 لا زرع $N_2 > N_1$

من هنا نرى ضرورة كون $(A_{10} > A_{12})$ ^① لتحقيق شروط التعداد العكسي
 وهذا الشرط يكافئ كون $(\tau_{21} > \tau_{10})$ ^②

أي إن المستوى الأعلى لا يتقال للفر يكون له متوسط زمن عمر أكبر
 من المستوى الأوسط. وفي معظم أنواع الليرات يكون $(\tau_{21} > \tau_{10})$
 أي إن المقار

$$1 - \left(\frac{A_{21}}{A_{10}} \right) \approx 1$$

إذا كانت قدرة الضخ لا تكفي للوصول إلى حد العتبة (أي في حالة قبل حد
 العتبة) يمكن احوال R_{th} وأن كل الضخ يظهر على شكل انبعاج تلقائي
 والمعادلة (7) تصبح كما يلي:

$$N_2 - N_1 = \frac{R_2}{A_{21}} \quad (8)$$

وعند حد العتبة تصبح:

$$N_{th} = (N_2 - N_1)_{th} \approx \frac{R_{th}}{A_{21}} \quad (*)$$

$$N_{th} = \frac{R_{th}}{A_{21}} \Rightarrow N_{th} = R_{th} \tau_{21} \Rightarrow R_{th} = \frac{N_{th}}{\tau_{21}} \quad (9)$$

↓ A_{21}

وإن الطاقة التي تحتاجها الضخ ذرة واحدة إلى المستوى (2)
 تساوي (E_2) ولرفع العدد (N_{th}) المتواجدة في وحدة الحجم نحتاج إلى
 قدرة (P_{th}) وهذه تعطى بالمعادلة:

(39)

$$P_{th} = \frac{N_{th} E_3}{\tau_{21}} \quad (10) \quad P_{th} = R_{th} E_3$$

(P_{th}) قدرة الضخ الخارج ، (N_{th}/τ_{21}) معدل الضخ الخارج ، (E_3) طاقة المستوى الثالث

اثبت ان :-

$$N_{th} = \frac{8\pi U_0^2 G_{th} \tau_{21} \Delta U n^2}{c^2} \quad (11)$$

بتعويض معادلة (11) في معادلة (10) نحصل على :-

$$P_{th} = \frac{E_3 8\pi U_0^2 G_{th} \Delta U n^2}{c^3} \quad (12)$$

في هذه الحالة يكون الربح الناتج عن التعداد العكسي مساوياً إلى الخسارة في الجهاز . اذا ازدادت قدرة الضخ عن المقدار (P_{th}) فإن هذا يؤدي الى زيادة المقدار (P_{out}) لكي يبقى المقدار (N_{th}) ثابتاً وبحسب المعادلة التالية :-

$$N_{th} = R_2 \left[\frac{1 - \left(\frac{A_{21}}{A_{01}} \right)}{A_{21} + P_{(u)} B_{21}} \right] \quad (13)$$

كون $\tau_{20} \gg \tau_{21}$ وبذلك فإن $A_{21} \ll A_{10}$ وبالتالي فإن المقدار ~~N_{th}~~

$$N_{th} = \frac{R_2}{A_{21} + P_{(u)} B_{21}} \quad 1 - \left(\frac{A_{21}}{A_{01}} \right) \approx 1 \quad \text{والمعادلة (13) تأخذ الصيغة التالية :-}$$

قدرة إنتاج الليزر تتناسب طردياً مع :-

$$P_{(u)} = \frac{A_{21}}{B_{21}} \left[\frac{R_2}{R_{th}} - 1 \right]$$

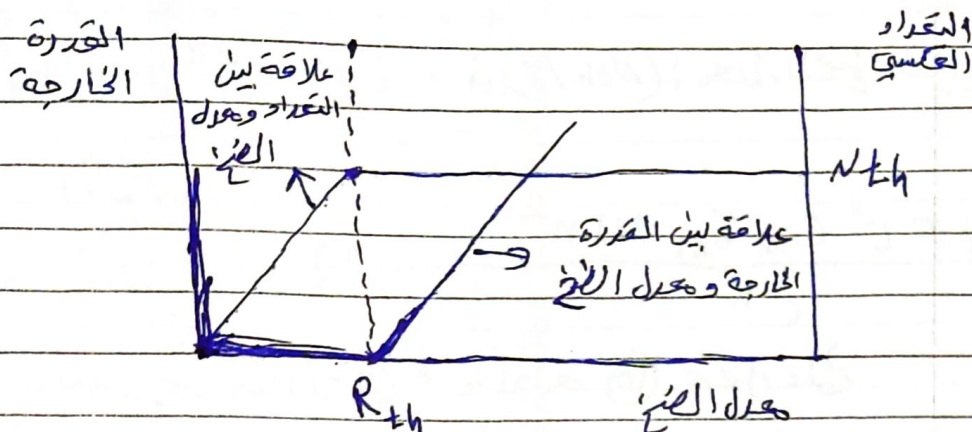
① كثافة الطاقة ($P_{(u)}$) المتوفرة في الوعاء .

② معدل الضخ الموجود في المنظومة الليزرية (R_2) .

ويجرب عن قدرة إنتاج الليزر بالعلاقة التالية :-

$$P_{out} = B \left(\frac{P}{P_{th}} - 1 \right) \quad (14)$$

حيث (P) قدرة الضخ، (P_{th}) قدرة الضخ الخارج، (B) ثابت.



هذا الشكل يوضح علاقة كل من التدفق العكسي وقدرة الخرج الليرري كدالة لمعدل الضخ. نلاحظ من هذا الشكل ان التدفق العكسي ينمو بصورة طردية مع زيادة قدرة الضخ حتى وصول حد العتبة عندها تحصل حالة انسحاب فلا يمكن زيادة التدفق العكسي مهما زادت قدرة الضخ. في حين نجد انه لا يوجد خرج ليرري قبل منطقة حد العتبة بعد ما تبدأ القدرة الخارجة بالزيادة السريعة مع زيادة معدل الضخ.

مثال: احسب قدرة الضخ عند العتبة لليرز ندي يوم - رجاج علماً بان التأهيل العكسي يساوي $(9 \times 10^9 \text{ m}^3)$ وان متوسط زمن العمر التلقائي هو $(300 \mu\text{sec})$ وان طاقة المستوى الاعلى للضخ الليرري هي (1.6 eV) .

الحل: سنستخدم معادلة (10)

تحويل الزمن μsec الى sec

تحويل eV الى جول

* الضئح ١- هي عملية تزويد الويط الفعال بالطاقة التي تجعل على إثارة ذراته ~~وتنقلها إلى مستويات الطاقة العليا والغاية منها~~ هو الحصول على عملية التأهيل العكسي ، طرق الضئح عدة منها :

١) الضئح الضوئي ١- يستخدم هذا النوع من الضئح مصدر ضوئي ذو قدرة عالية لتهيئ ذرات الويط الفعال الذي تقوم ذراته أو جزيئاته بامتصاص هذه الطاقة والتي تساعد على الانتقال إلى مستويات طاقة أعلى .

يستخدم الضئح الضوئي للحصول على لفرات تجعل ضمن المنطقة المرئية أو تحت الحمراء القريبة من الطيف الكهرومغناطيسي ،

يستخدم هذا النوع من الضئح في لفرات الحالة الصلبة مثل (الياقوت - نديموم) وإيضاً في لفرات الحالة السائلة مثل (الزئبق الصبغة) ، حيث أن آلية تحريض الانتقال للخط الطيفي في السوائل والأجسام الصلبة تنتج تحريضاً محسوساً بخط الامتصاص أو الانبعاث .

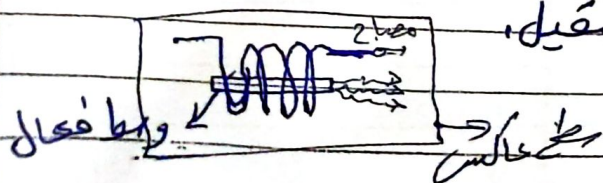
* إن المصابيح المستخدمة للضئح بهذه الطريقة هي ١-

١) مصباح وميض كيمصباح (زنيون Xe) أو (الكريبتون Kr) بضغط يتراوح بين (1500 - 450 Torr) للحصول على لفرات نبضي .

٢) مصباح الكريبتون بضغط عالي يتراوح بين (8000 - 40000 Torr) أو مصباح نيكسن يود للحصول على لفرات مستمر الموجهة .

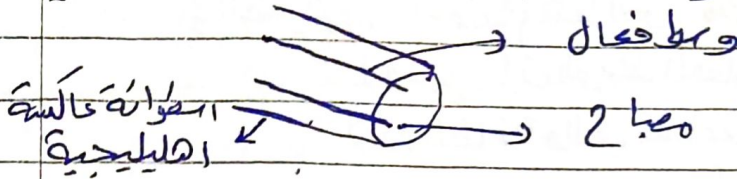
* هناك عدة أشكال لأنظمة الضئح الضوئي وكما يأتي ١-

١) مصباح وسطي لولبي الشكل (حلزوني) يحيط بالويط الفعال ويكون ذو إضاءة منتظمة حيث يصل الضوء إلى الويط الفعال إما بصورة مباشرة أو بعد انعكاسه من على سطح إسكواي صقيل .



٢) مصباح إسطواني الشكل خطي :- نصف قطره وطوله متساويان لنصف قطر

وطول الوبط الفعال حيث يوضع الوبط الفعال على إحدى محوري البؤرة لإسطوانته
أقليجية عاكسة ويوضع المصباح على المحور البؤرة الثانية، وأن نسبة كبيرة من
الضوء المنبعث من المصباح تصل إلى الوبط الفعال بعد الانعكاس من السطح الإسطواني
الأقليجي،



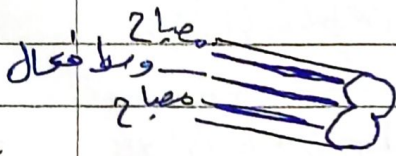
٣) الترتيب المقترن :- وفيه يوضع الوبط الفعال والمصباح على أقرب مسافة ممكنة
وهما محاطان بإسطوانة عاكسة



٤) التشكيلات المركبة :- تستخدم عدة مصابيح في تشكيلات مقترنة مصباحين

أو أربعة مصابيح مستقيمة مع الوبط الفعال جميعها تحاط بنظام عاكسة خاصة.

في بعض الأحيان يتم استخدام إسطوانات مصنوعة من مواد
عاكسة تبعثها بدلاً من المواد العاكسة من أنباء وذلك لأنها
تؤدي إلى ضياع أكثر انضماماً للمادة الفعالة، بالرغم من
تقليلها نوعاً ما من كفاءة نقل الضياع.



لا كفاءة الضياع الضوئي :- تعتمد على عدة عوامل :-

١) كفاءة النقل (η_t) :- وهي تمثل كفاءة نقل الطاقة المتوفرة في المصباح إلى المادة
الفعالة وتعرف بأنها النسبة بين القدرة أو الطاقة التي
تدخل فعلياً في الوبط الفعال إلى القدرة أو الطاقة المنبعثة
من المصباح.

$$\eta_t = \frac{\text{القدرة أو الطاقة الساقطة على الوبط الفعال}}{\text{القدرة أو الطاقة المنبعثة من المصباح}}$$

(ج) الكفاءة الاسعائية للمصباح (η_p) هي عبارة عن كفاءة تحويل الطاقة الكهربائية

المجهزة للمصباح الى ضوء خارجي في مدى الطول الموجي من (λ_1) الى (λ_2) والذي يقع ضمن مدى الحزمة الارزمة الضخ ويط الليزر.

(د) كفاءة الامتصاص (η_a) - وهي تمثل الجزء الذي يمتصه فعلياً الوتر الفعال من الاشعاع الساقط عليه والناتج من عملية الضخ.

تختلف

(هـ) الكفاءة الكلية للضخ (η_q) - تعرف بأنها النسبة بين عدد الذرات التي تدخل

الى المستوى الليثري الاعلى الى مجموع عدد الذرات التي رفعت الى حزمة الضخ بواسطة عملية الضخ. اذ ليست جميع الذرات المرفوعة الى حزمة الضخ تدخل الى المستوى الليثري الاعلى فمنها ما يدخل الى المستوى الارضي مباشرة او الى مستويات اخرى غير مفيدة، وبذلك فان الكفاءة الاجمالية للضخ الضوئي هي:

$$\eta_p = \eta_t + \eta_r + \eta_a + \eta_q \quad (*)$$

* تحسين كفاءة الضخ تتم من خلال :-

(1) تحسين الكفاءة الاسعائية للمصباح من خلال تحسين تقنية تصنيع المصابيح بحيث يكون لها طيف انبعان يطابق طيف الامتصاص للوتر الفعال.

(2) تحسين كفاءة النقل من خلال ^{منخفضة} (انخفاض) ترانسيفر الطاقة للجهاز البصري المسؤول عن حث ضوء الضخ والمتعلقة بالعواكس وطرق ترتيب كل من المصباح والوتر الفعال وشكل وابعاد المصباح المستخدم في الضخ.

- اما الكفاءة الكلية وكفاءة الامتصاص يكون تحكما بهما قليلا جدا لانهما يعتمدان على صفات المادة.

٢) الضخ الكهربائي :- يستخدم هذا النوع من الضخ في الليزران الغازية

٢-١١

(عن طريق التفريغ الكهربائي) وفي ليزران امتزاج الموصلان (عن طريق حقن الجاملان الى منطقة التماس) وفي حالة الليزران الغازية يتم تسليط فرق جهد كهربائي مناسب على طرفي الأنبوبة الواسطة الفعال لاحزان التفريغ الكهربائي فيه وعليه تتم عملية الضخ نتيجة مرور تيار كهربائي ذو قيمة مناسبة خلال الغاز عند ذلك تتولد أيونات والكثرونات حرة والتي تتجذب بالمجال الكهربائي مكتسبة طاقة حركية اضافية تساعد على تهيج الذرات عن طريق التصادم.

وفي حالة التهييج التصادمي تكون حركة الايونات اقل اهمية من حركة الالكترونات بسبب الاختلاف في الكتلة. ولغاز تحت ضغط واطي يكون معدل الطاقة الحركية للالكترونات اكبر بكثير منها للايونات.

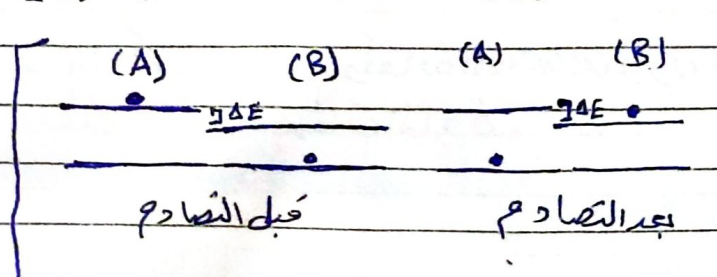
* ان عملية الضخ الكهربائي في الغاز تحدث من خلال العمليات الآتية :-

① في حالة غاز يتألف من نوع واحد من الغازات مثلاً (A) تتم عملية التهييج عن طريق التصادم مع الالكترونات المعجلة $e(\text{fast}) + A \rightarrow A^* + e(\text{slow})$ ذرة مثيرة

② في حالة غاز مكون من نوعين من الغازات مثلاً (A) و (B) فإن عملية التهييج تحدث من خلال تصادمين الاول هو تصادم الالكترونات سريع مع ذرة والناتج هو تصادم ذرة مع ذرة وكما يلي :-
 $(\text{fast}) + A \rightarrow A^* + e(\text{slow})$
 $A + B \rightarrow A + B^* + \Delta E$

ان عملية التهييج نتيجة التصادم بين جسيمات مختلفة تدعى بعملية انتقال الطاقة التبادلي . وعندما تكون $(\Delta E = 0)$ وهذا ما يعرف بحالة الرنين التام .

عندما تكون ذرات النوع (A) في الحالة المثيجة وذرات النوع (B) في الحالة الارضية وبفرض وجود فرق في الطاقة (ΔE) بين الانتقاليين وهو اقل من $(k.T)$ اي ان $(\Delta E \ll k.T)$ عندها نجد بعد عملية التصادم ان الذرة (A) تكون في الحالة الارضية والذرة (B) تكون في الحالة المثيجة



ملاحظة :- لا يستخدم الضخ الضوئي في ليزران الحالة الغازية كون طيف الامصاص يكون رقيق جداً في هذه المواد فلا يتم استغلال جميع طاقة الضخ من المصباح.

③ الضخ الكيميائي - في هذا النوع من الضخ لا يحتاج الى مصدر خارجي للطاقة

لتسهيل ذرات الوسيط الفعال فهي متوفرة ضوئياً في المادة المستخدمة كوسيط فعال، فنتائج التفاعل الكيميائي بين مكونات المادة المختارة بشكل المادة الوسيطة الفعالة المطلوبة لعمل الليزر في حين تحول الطاقة المتحررة من التفاعل على إثارة هذه المادة وتحقيق التأهيل العكسي لها،
فمثلاً في ليزر فلوريد الهيدروجين يتكون الوسيط الفعال من خليط غاز الفلور وغاز الهيدروجين، وجزيئة فلوريد الهيدروجين الناتجة تكون متهيجة حسب التفاعل التالي:-



• الجزيئة المتهيجة من فلوريد الهيدروجين (HF^*) تشكل المادة الفعالة في الليزر الكيميائي والتي لها القابلية على الانبعاث المحفز.

المرنان البصري - إن أول تصميم للمرنان في المدى المرئي هو مقياس

لغابرييل بيرون، وتتلخص

التداخل أمر آتئين مستويين متقابلين بشكل متوازي يوضع الوصل الفعال بينهما وتكون إحدى المرآتيتين عاكسة للضوء كلياً (100%) وهي المرآة الخلفية أما المرآة الثانية الامامية تكون ذات انعكاسية حدود (99%) ونفاذية (1%) أي شفافة جزئياً لكي يخرج جزءاً من الإشعاع بشكل متوازي محور المرآتيتين والذي يمثل نتائج الليزر.

يتم وضع الوصل الفعال داخل التجويف الرئيسي (بين المرآتيتين). وعندما يستقر الإشعاع الليزر المتكون في الوصل الفعال على إحدى المرآتيتين فإنه ينعكس ثم يسقط على المرآة الأخرى وينعكس عنها وهكذا تتعاقب الانعكاسات فيزداد مسار فوتونات الليزر خلال الوصل الفعال وبذلك يزداد عدد الفوتونات المتولدة بالانعكاسات المحفزة بعدد هائل فيحصل تكبير. وتسمح المرآة الامامية ذات الانعكاس الجزئي بنفاذ نسبة معينة من أشعة الليزر خارج المرنان وأما بقية الإشعاع فينعكس مرة أخرى إلى داخل المرنان لأجل ضمان استمرارية عملية التكبير بما يعرف بالتغذية الراجعة للمرنان.

إن القدرة الخارجة لليزر (P) هي حاصل ضرب نفاذية المرآة (T_r) والقدرة الكلية للفوتونات المنبعثة داخل الوصل الفعال (P_{pho}) تعطى بالعلاقة:

$$P = T_r * P_{pho} \quad (*)$$

يكتسب من هذه المعادلة أن القدرة الخارجة تتناسب طردياً مع مقدار النفاذية للمرآة الامامية، إلا أن زيادة نفاذية المرآة يجعل على زيادة الفوتونات النافذة ونقصان عدد الفوتونات المنعكسة عن سطح المرآة وبالتالي يقلل من عدد الفوتونات المحفزة والذي بدوره يقلل القدرة الكلية داخل المرنان وبالنتيجة يؤدي إلى نقصان في القدرة الخارجة لليزر، لذلك يجب أن يكون نوع من التوافق بين مقدار النفاذية للمرآة الامامية (T_r) والقدرة الكلية للفوتونات المنبعثة داخل الوصل الفعال (P_{pho}) من أجل الحصول على أكبر خرج لليزر.

يتم تصميم المرنان بأبعاد معينة تعتمد على الطول الموجي لليزر الناتج بحيث يكون طول المرنان (L) مساوياً لأعداد صحيحة (n) من أنصاف الطول الموجي مكوناً ما يعرف بالموجات الواقفة فيحدث التداخل البناء ويحصل على حزمة من أشعة الليزر المتوازية.

(47)

$$L = m \frac{\lambda}{2} \quad \text{و} \quad v = m \left(\frac{c}{2L} \right) \quad \text{الترددات الرئيسية}$$

(L) طول المرنان ، (λ) طول موجة الليزر ، (m) عدد صحيح

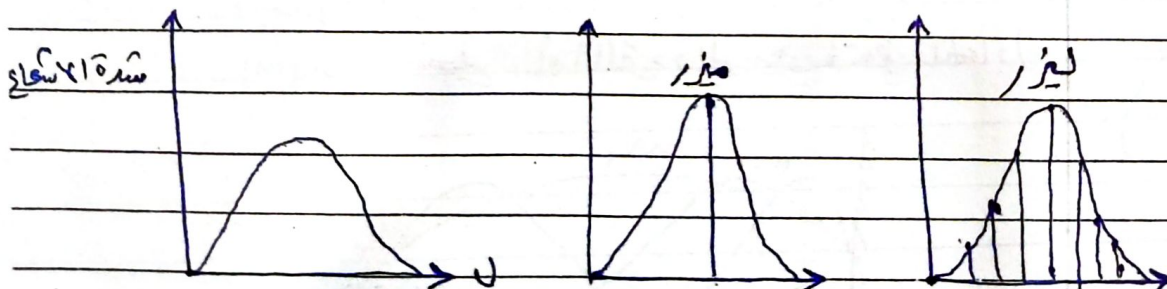
* أهمية المرنان في أجهزة الليزر ؟

- 1) يشكل مصدر التغذية الاسترجاعية في أجهزة الليزر وبذلك هو يساعد في عملية تصحيح ذرات الوصل الفعال ،
- 2) يساعد في الحصول على ضوء بدرجة عالية من الاتجاهية ،
- 3) زيادة فعالية الوصل الفعال ،
- 4) التوجيه والحفاظ على صبغة احادية الموجة لانبعاثاته ،

المذبذب :- هو جهاز أو تركيب يعيد جزء من خرج أي نظام إلى داخله بحيث تكون الطاقة الراجعة بنفس طور الطاقة الخارجة ،
الوصل الفعال لوحدة ← مكبر ، الوصل الفعال مع المرنان ← مذبذب ،

* يختلف تصميم المرنان في الليزر عنه بالمذبذب ففي المذبذب ونظراً لطول الموجة الميكروية فإنه يسمح بمذبذب صبغة واحدة تطابق تردد الانبعاث المحفز للموجة الميكروية ، أما في حالة الليزر ونظراً لقصر طول موجته تكون المسافة بين أي نظمتين مذبذبين صغيرة جداً وهذا يعني تواجد عدد كبير من صبغ المذبذب ضمن المنحنى الذي يمثل غلاف الخط الطيفي للانبعاث ،

$$L = m \frac{\lambda}{2} \Rightarrow m = \frac{2L}{\lambda}$$



* ان مرئان الليزر يختلف عن مرئان الميزر بما يلي :-

(أ) ان ابعاد مرئان الليزر يكون اكبر بكثير من طول موجة الليزر حيث يتراوح الطول الموجي عادة بين جرد من الميكرون الى بضعة عشرات من الميكرون .
ان التجاوييف الرنانة التي تقابل هذه الاطوال الموجية سيكون لها ربح ضعيف جداً لا يسمح للتذبذب الليزري بالحروث .

(ب) ان التجاوييف الليزرية يكون عادة مفتوحة اي لا يوجد لها جدران جانبية .
ان الغرض من استخدام التجوييف المفتوح في الليزر هو التخلص من العدد الكبير من الانماط المتذبذبة ضمن غلاف المنحني الطبيعي والابقاء على صيغ التذبذب والتي تكون منسقة باتجاه موازي لمحور التجوييف حيث تكون خسائرها قليلة بحيث تسمح بالتذبذب الليزري بالاستمرار والنمو .
أما بالنسبة للانماط الأخرى فإنها ستفقد كلياً بعد عبور واحد خلال التجوييف لذلك فإن التجوييف المفتوح هو التجوييف المناسب في الليزران .

* أنواع المرنانات :-

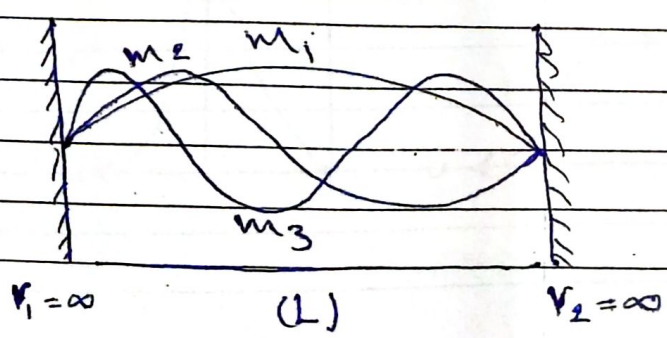
(أ) مرئان الهرذآئين المستويين المتقابلين (مرئان فابري - بيرو) :-

يتألف هذا المرنان من آئين مستويين متقابلين بشكل توازي احدهما الآخر يمكن تحديده صيغ التذبذب لهذا المرنان بتحقيق شرط المرنان ذي الطول (أ) مساوي لعدد صحيح من اضعاف طول الموجة

$$L = m \cdot \frac{\lambda}{2}$$

حيث (L) طول المرنان (λ) طول موجة الليزر .
(m) عدد صحيح . أما التردد الرئيسي فتعطي بالمعادلة :

$$\nu = m \left(\frac{c}{2L} \right)$$



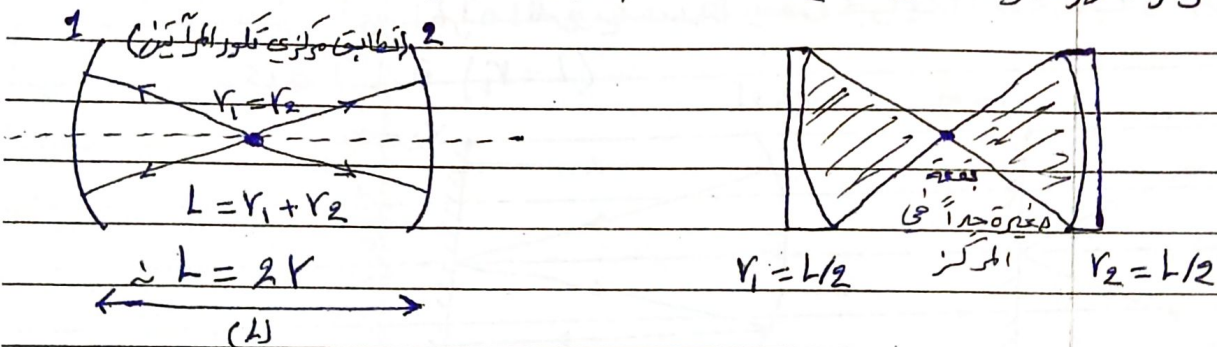
* ان هذا النوع من الهزان ينصف إما يلي :-

- 1) حساب المسطحة التوازي الهوائي اذ ان اي خطأ بسيط في تطابق محوري الهوائي
او المسافة بينهما يكون سبباً كبيراً في عدم نظام الاشعة وبالتالي زيادة الخسارة .
- 2) إثارة جميع ذرات الوسط الفعال .

2) الهزان الكروي (ذو الهرايا المقعرة) :- هناك نوعين منها :-

1) الهزان متحد المركز :- يتألف هذا الهزان من زوج من الهرايا المقعرة والمتساوية

في التكرار موضعين عن بعضهما البعض بحيث ينطبق مركز تكوير الهراة الاولى على مركز تكوير الهراة الثانية ، اي ان المسافة بينهما تساوي ضعف نصف قطر التكرار $L = 2r$

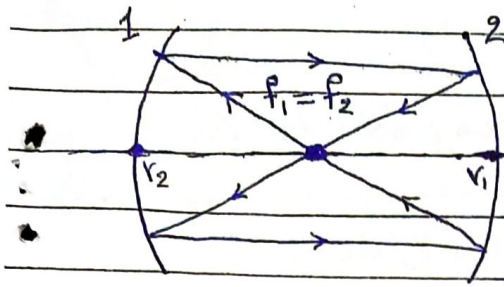


* من مساويء هذا النوع من الهزانات :-

- 1) حجم البقعة صغير جداً عند مركز التجويف .
- 2) تكون حساسية نوعاً ما لخطأ التراصيف .
- 3) لا يتم استغلال جميع مساحة الوسط الفعال .

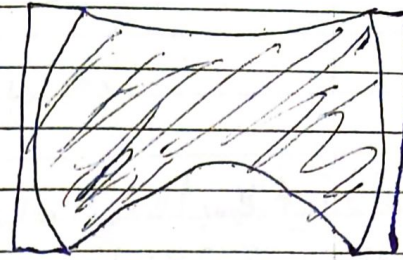
2) هزان متحد البؤرة :- يتألف هذا الهزان من زوج من الهرايا المقعرة

المتساوية في التكرار والموضوعين عن بعضهما البعض بحيث تكون بؤرة ^{الهراة} الأولى متطابقة مع بؤرة ^{الهراة} الثانية (أي $f_1 = f_2$) وينتج عن هذا الوضع سقوط مركز تكوير احدي الهرايين على قطب الهراة الاخرى . اي ان المسافة بين الهرايين تكون مساوية لنصف قطر تكوير احدي الهرايين $(L = r)$.
في هذا النوع يتم استغلال الوسط الفعال بنسبة افضل مقارنة مع الهزان متحد المركز .



$$L = f_1 + f_2 \Rightarrow L = 2f$$

$$r = 2f \text{ و } L = r$$



$$r_1 = L$$

$$r_2 = L$$

③ المرئان الكروي - المسوي - يتألف هذا المرئان من مرآة كروية مقعرة وأخرى

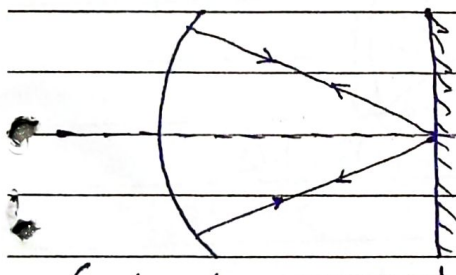
مستوية. عند فصل المرئتين عن بعضهما البعض بمسافة مساوية للبعد البؤري للمرآة الكروية، عندها يسمى التجويف نصف بؤري وطول المرئان في هذه الحالة $(L = r_1/2)$. أما عند وضع المرئتين عن بعضهما البعض بمسافة مساوية لنصف قطر تكور المرآة الكروية عندها يسمى التجويف نصف كروي وطول المرئان في هذه الحالة $(L = r_1)$.

$$r_1 = L$$

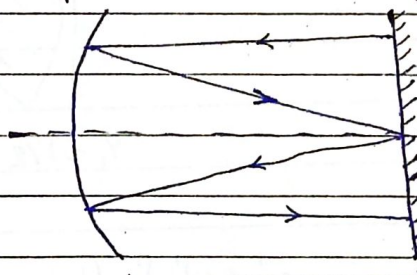
$$r_2 = \infty$$

$$r_1 = 2L$$

$$r_2 = \infty$$



مرئان نصف كروي $L = r_1$

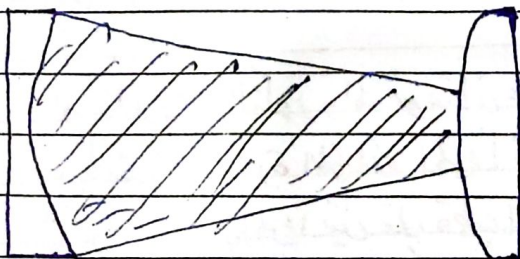


$$L = f_1 = r_1/2$$

مرئان نصف بؤري

④ المرئان المقعر - المحدب - يتألف هذا المرئان من مرآة كروية

مقعرة نصف قطرها أكبر من طول التجويف $(r_1 > L)$ وأخرى محدبة نصف قطرها يعطى بالعلاقة $(r_2 = L - r_1)$.



$$r_1 > L$$

$$r_2 = L - r_1$$

(51)

* حسابات مرآة الليزر النظرية :-

بالإمكان وصف حزمة الليزر الخارجة من منظومة الليزر والموضحة في الشكل أدناه بواسطة كميتين

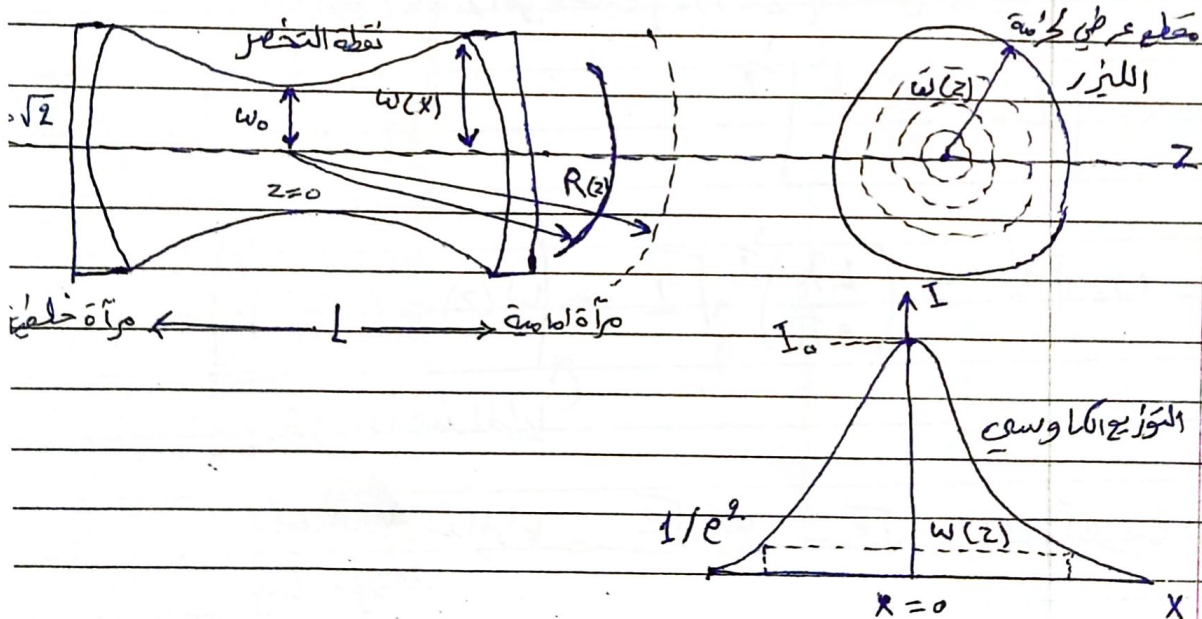
$R(z)$: نصف قطر تكور جبهة الموجة كدالة للمسافة (z).

$w(z)$: نصف قطر حزمة الليزر كدالة للمسافة (z).

من المعروف ان شدة استضاءة حزمة الليزر غالباً ما تكون على شكل غاوسي بمعنى ان شدة الاستضاءة (أ) تكون اعلى ما يمكن في مركز حزمة الليزر، وتقل تدريجياً كلما ابتعدنا عن مركز الحزمة لتصبح أقل ما يمكن عند الطرف الخارجي للحزمة وحسب العلاقة التالية :-

$$I = I_0 e^{-2 \frac{x^2}{w^2}}$$

(x) هي المسافة بين مركز حزمة الليزر وأي نقطة أخرى على المقطع العرضي لحزمة الليزر.



تعمل قيمة نصف قطر حزمة الليزر $w(z)$ كدالة للمسافة (z) كما يلي :-

$$w(z) = w_0 \left[1 + \left(\frac{\lambda z}{\pi w_0^2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

(1) طول موجي الضوء الليزر. (2) نصف القطر عند أي مسافة أخرى (z) ، w_0 نصف القطر عند

المرئانان أي عند $(z=0)$ والصيغة العامة تعطي بالعلاقة التالية:

$$\omega_0^2 = \frac{\lambda}{2\pi} \left[1(2r-1) \right]^{\frac{1}{2}}$$

في حالة المرئان متحد البؤرة ونحت شرط $(r_1=r_2)$ فإن $(L=r)$ وبذلك فإن قيمة (ω_0) تكون:

$$\omega_0^2 = \frac{\lambda}{2\pi} \left[1(2L-1) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\omega_0 = \left(\frac{L\lambda}{2\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

بتعويض معادلة (2) في (1) حصل

$$\omega(z) = \omega_0 \left[1 + \left(\frac{2z}{L} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

أن قيمة $\omega(z)$ عند المرأيا حيث $(z=L/2)$ تعطينا كما يلي:

$$\omega(z) = \omega_0 \left[1 + \left(\frac{2L}{2L} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\omega(z) = \omega_0 \sqrt{2} = \left(\frac{L\lambda}{2\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \sqrt{2} \Rightarrow \boxed{\omega(z) = \left(\frac{L\lambda}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}}$$

قيمة $\omega(z)$ عند المرأيا

$$\frac{\text{نصف القطر عند المرأيا}}{\text{نصف القطر عند المركز}} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = 1 \text{ أي أكبر بمقدار } \sqrt{2}$$

تعطي قيمة نصف قطر تكور جبهة الموجة $R(z)$ كدالة للمسافة (z) كما يلي:

$$R(z) = z \left[1 + \left(\frac{\pi \omega_0^2}{\lambda z} \right)^2 \right] \quad (4)$$

(53)

وحالة المرنان متحد البؤرة فإن قيمة $R(z)$ تأخذ الصيغة التالية بعد التعويض عن قيمة (ω) :-

$$R(z) = z \left[1 + \left(\frac{L}{2z} \right)^2 \right] \quad (5)$$

من خلال معادلة (5) نجد أن قيمة نصف قطر تكور جبهة الموجة $R(z)$:-

أ) عند مركز المرنان حيث قيمة $(z=0)$ فإن $(R(z)=\infty)$ أي إن جبهة الموجة تكون مستوية عند مركز المرنان .

ب) عند المراتب حيث قيمة $(z=L/2)$ فإن $(R(z)=L/2)$ أي إن نصف قطر تكور جبهة الموجة يساوي نصف قطر تكور المراتب .

مثال :- كم يصبح قطر نبضة الليزر عند وصولها إلى سطح القمر إذا علمت أن مقدار المسافة بين الأرض والقمر هي $(z=3.84 \times 10^8 \text{ m})$ والطول الموجي للليزر $(\lambda=1.06 \mu\text{m})$ وطول تجويف الليزر $(L=1.48 \text{ m})$

$$\omega_0 = \left(\frac{L\lambda}{2\pi} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{1.48 \times 1.06 \times 10^{-6}}{2 \times 3.14} \right)^{\frac{1}{2}} = 5 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$W(z) = \omega_0 \left[1 + \left(\frac{2z}{L} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 5 \times 10^{-4} \left[1 + \left(\frac{2 \times 3.84 \times 10^8}{1.48} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$W(z) = 259000 \text{ m} = 259 \text{ km}$$

$$\therefore \text{القطر} = 2 \times W(z) = 2 \times 259 = 518 \text{ km}$$

من خلال هذه النتيجة نجد أن هذا القطر كبير جداً ما يجعل نسبة الاستضاءة لوحدة المساحة قليلة جداً الأمر الذي لا يساعد على عكس إشارة كاشفه إلى الأرض على سطح الأرض .

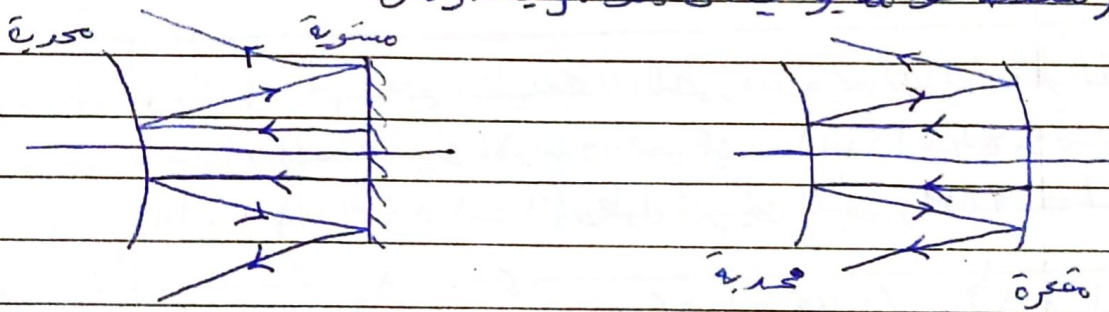
علاج هذه المشكلة تكون في تقليل قطر حزمة شعاع الليزر الواصلة إلى سطح القمر وذلك من خلال زيادة نصف قطر حزمة الليزر عند منطقة التخصر داخل المرنان البصري (ملا) والقياس إما بأختيار مرنان مناسب أو باستخدام موسع الحزمة داخل المرنان .

* استقرارية المرئان الليزري :- نصف الى قسمين :-

(1) المرئان المستقر :- هو المرئان الذي يبقى الشعاع الضوئي مقيداً داخل التجويف اذا انعكس ذهاباً واياباً بين المرآتيتين وبصورة مستمرة .

(2) المرئان غير المستقر :- هو المرئان الذي يحيد فيه الشعاع الضوئي باتجاه يتبعد عن محور المرئان بعدة عدة انعكاسات بين المرآتيتين .

يستخدم المرئان غير المستقر في ايزرات القدرة العالية مثل الليزر (CO) وليزر السيليكون (Nd) حيث تتذبذب الطاقة داخل المرئان عدة دورات ومن ثم تخرج خارج المرئان فإذا استمرت الاشعة بالتذبذب ذهاباً واياباً بين المرآتيتين فإن قدرة الليزر ستتضاعف مما يؤدي الى تلف مرآيا المرئان .



شروط استقرارية هذه المرئانات :-

ان استقرارية المرئان تعتمد على المواصفات الهندسية للمرئان اي على المقادير (L, R_1, R_2) ، ويعطى شرط الاستقرار بالعلاقة التالية :-

$$0 < g_1 g_2 < 1$$

(R_1) نصف قطر تكون المرآة الاولى
 (R_2) الثانية
 (L) طول التجويف .

$$g_1 = 1 - \frac{L}{R_1} \quad \text{و} \quad g_2 = 1 - \frac{L}{R_2}$$

يمكن تمثيل شرط الاستقرار بمخطط يعرف بمخطط الاستقرار والذي يتم فيه تمثيل قيم (g_1) على محور السينات و (g_2) على محور الصادات يتم رسم منحنى الى

$(g_1 g_2 = 1)$

55

$$g_1 \quad g_2 = \frac{1}{g_1}$$

$$0 \quad \infty$$

$$0.1 \quad 10$$

$$0.2 \quad 5$$

$$0.25 \quad 4$$

$$0.33 \quad 3$$

$$0.5 \quad 2$$

$$1 \quad 1$$

$$2 \quad 0.5$$

$$3 \quad 0.33$$

$$4 \quad 0.25$$

$$5 \quad 0.2$$

$$10 \quad 0.1$$

$$\infty \quad 0$$

