

## دراسة تأثير الضغط في شكل أهداب جهاز التداخل البصري

محمد تقي حسين ، سامي عبد الحسين هاتف\* ، محمد جواد هادي

وزارة العلوم والتكنولوجيا

\*الجامعة التكنولوجية

### الخلاصة

تم في هذا البحث تصميم وبناء منظومة أهداب التداخل البصري (Fabry Perot Interferometer) لغرض تحديد الأطوال الموجية ومعامل الانكسار بدقة تصل الى أجزاء النانومتر والتي تظهر الحاجة اليها في بعض الدراسات الطيفية وذلك من خلال تغيير الضغط المسلط على الوسط ولكون معامل الانكسار دالة للضغط عند ثبوت المسافة بين الناقتين .

استخدام ليزر الهيليوم - نيون ذو الطول الموجي (632.8) نانومتر كمصدر ضوئي متشاكه والليزر ذو الطول الموجي (532) نانومتر . أظهرت النتائج دقة في حساب الطول الى حدود (0.2) نانومتر لتغير في الضغط مقداره (100) ملم زئبق . حسب الطول الموجي ومعامل الانكسار عند تغير الضغط داخل المنظومة بطريقة التداخل الضوئي لكلا الطولين الموجيين .

### المقدمة

تظهر الحاجة في العديد من التطبيقات العملية لاسيما في التطبيقات الطيفية في الامتصاص والانبعاث، استخدام مصادر ذات أطوال موجية ودقيقة تصل الى أجزاء النانومتر للحصول على أداء أفضل أو لمعرفة طول موجي بهذه الدقة . ولأجل تحقيق ذلك صممت منظومة تداخل بصري (Fabry Perot Interferometer) لتوليد أهداب تداخل باستخدام طول موجي معين ، ومن ثم حساب عدد حلقات التداخل المتكونة وبتغيير

الضغط داخل حجرة التداخل (تفريغ أو ضخ) يتغير عدد الحلقات تبعاً للضغط ومن ثم يمكن حساب الطول الموجي المراد بدقة عالية جداً. أو توليد أطوال موجية مختلفة عنه الطول الموجي الأصلي بتغيير الضغط المسلط داخل الحجرة.

### 1. الوصف الرياضي :

تتصف جميع الموجات الضوئية بأنها موجات مستعرضة يهتز كل جزء منها على استقامة خط يتعامد مع اتجاه وتغطي إزاحة أية نقطة على الموجة (y) العلاقة (1):

$$Y(x) = A_0 \sin \frac{2\pi}{\lambda} x \dots\dots\dots [1]$$

اذ تمثل  $\Lambda_0$  سعة الموجة ،  $\lambda$  طول الموجة . وعندما تتحرك الموجة بسرعة ( v ) يدخل عامل الزمن وتصبح العلاقة:

$$y(x,t) = A_0 \sin \frac{2\pi}{\lambda} (x - vt) \dots\dots\dots [2]$$

اذ تمثل (v) سرعة المجموعة . ويمكن كتابة المعادلة أعلا لكي تكون :

$$E = E_0 \sin(\omega t - kx - \Phi) \dots\dots\dots [3]$$

### - توزيع الشدة للنظام الهدبي Intensity Distribution within Fring Systems

يعطى توزيع الشدة للنظام الهدبي بالعلاقة الآتية (2):

$$I = \frac{a^2 T^2}{(1-R)^2} \frac{1}{1 + \frac{4R}{(1-R)^2} \sin^2 \left( \frac{\delta}{2} \right)} \dots\dots\dots [4]$$

and

$$I = I_0 \frac{1}{1 + F \sin^2 \left( \frac{\delta}{2} \right)} \dots\dots\dots [5]$$

تمثل R معامل الانعكاسية ، F معامل النفاذية ،  $\delta$  فرق الطور بين أي شعاعين متتاليين ، a سعة الموجة الرئيسية الساقطة.

تدعى الكمية  $F = \frac{4R}{(1-R)^2}$  بمعامل الدقة (Coefficient of Finesse) وهي مقياس

لحدة أهداب التداخل . وتعطي شدة الحزمة الضوئية الساقطة ( $I_0$ ) بالعلاقة (3):

$$I_{\text{max}} = I_0 \frac{a^2 T^2}{(1-R)^2} \dots \dots \dots [6]$$

وتحدث أكبر شدة عندما تكون  $\delta = 0, 2\pi, 4\pi$  ومن ثم (4):

$$I_{\text{max}} = I_0 \frac{T_2}{(1-R)^2} \dots \dots \dots [7]$$

وتحدث أدنى قيمة شدة النافذة ( $I_{\text{min}}$ ) عندما  $\delta = \pi, 3\pi, 5\pi, \dots$ .

- قياس الطول الموجي بوساطة التداخل الضوئي

عند تحريك إحدى مرآتي Fabry-Perot ببطء من موضع إلى آخر تتحرك الأهداب

ومن ثم فإن عدد الأهداب التي تعبر مركز المجال سيكون دالة للمسافة التي تحركتها

المرآة بدلالة الطول الموجي ( $\lambda$ ) طبقاً للمعادلة الآتية :

$$\lambda = \frac{2d}{N} \dots \dots \dots [8]$$

اذ تمثل ( $d$ ) المسافة التي تحركتها المرآة و ( $N$ ) عدد الأهداب . ويكون الموضع

( $d_1$ ) يعطى بالعلاقة الآتية :-

$$2d_1 = N_1 \lambda \dots \dots \dots [9]$$

والموضع ( $d_2$ ) المناظر للهدب المضيء من الرتبة ( $N_2$ ) بالعلاقة .

$$2d_2 = N_2 \lambda \dots \dots \dots [10]$$

وبطرح المعادلتين نجد أن :

$$d_1 - d_2 = (N_1 - N_2) \frac{\lambda}{2} \dots \dots \dots [11]$$

وعنية فإن المسافة التي قطعها المرآة تساوي عدد الأهداب مضروبة في نصف الطول  
الموجي .

### - قياس معامل الانكسار بطريقة التدخل

إذا أدخلت قطعة من مادة شفافة سمكها (t) ومعامل انكسارها (n) في مسار إحدى الحزمتين المتداخلتين في مقياس التدخل ، المسار البصري يزداد لأن الضوء يتحرك بسرعة أقل في هذه المادة ومن ثم يصبح طول الموجه الموجه أقصر. فإذا فرضنا أن (ΔN) هو عدد الأهداب الذي يزاح به النظام الهدبي عند وضع المادة في مسار الأشعة فإن :

$$(n-1)t = (\Delta N)\lambda \dots \dots \dots [12]$$

وعليه يمكن تعيين معامل الانكسار (n) بقياس (λ, t, ΔN). إن تأثير هذه الطريقة كما لو قد تم تغيير طول المسار البصري ، إذ تتحرك أهداب التدخل خلال مجال الرؤية وعدد الأهداب التي تقاطع مجال الرؤية يعطي التغيير الفعال في المسار البصري والذي يتم من خلال حساب معامل الانكسار (5).

### 2. الجانب العملي

صنعت حاوية على شكل اسطوانة معدنية مجوفة من الحديد طولها (15) سم وقطرها الداخلي (6.25) سم و مسننة من الداخل ومن كلا الجهتين لكي تنزلق عليها حامله تثبيت النافذة التي تقيد في تغيير البعد المرأتين . تحوي الاسطوانة على فتحة لدخول وخروج الهواء (تفريغ أو ضخ). ثبتت الاسطوانة على حامل معدني من الوسط بحيث تثبت على جزء بصري يتحرك فوقه سكة معدنية خلال عملية الترصيف وكما انكسار الألمنيوم ومعامل التوهين واستخدام مطياف نوع (λ9) في فحص وقياس الخواص البصرية . يسجل الضغط الابتدائي (pi). عن طريق مقياس التفريغ ثم يسحب الهواء من داخل الحاوية ببطء ويتم خلاله تسجيل عدد الأهداب (N) عند الضغط النهائي (Pf) وهكذا يتم تسجيل الأهداب عند كل تغيير في مقدار الضغط عند استخدام ليزر الهليوم-نيون والليزر الأخضر ولمسافات بين النافذتين (2.5، 3) سم .

### 3. الحسابات والنتائج

1. حساب تغير معامل الانكسار مع الضغط : يعطي الطول الموجه بالعلاقة الآتية :

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$$

اذ تمثل  $\lambda_i$  طول الموجة في حالة الفراغ ،  $n$  معامل انكسار الوسط المار فيه الضوء .  
 فعند الضغط الابتدائي ( $P_i$ ) يكون عدد الأهداب التي تحسب هو  $N_i = \frac{2d}{\lambda_i}$  وعند الضغط  
 النهائي ( $P_f$ ) فان عدد الأهداب هو  $N_f = \frac{2d}{\lambda_f}$  ويمثل الفرق بين القيمتين ( $N_i - N_f$ ) عدد  
 الأهداب ( $N$ ) أي أن

$$N = \frac{2d(N_i - N_f)}{\lambda^0}$$

$$N_i - N_f = \frac{N\lambda^0}{2d}$$

51

ومن ثم يمكن حساب تغير معامل الانكسار لكل ضغط معين . يمثل الجدول (1) قيمة  
 معامل الانكسار لكل ضغط باستخدام ليزر الهليوم-نيون عندما كانت المسافة بين  
 الناقدتين (3,2.5,2) سم على التوالي ويوضح الشكل (1) العلاقة بينهما في حين يمثل  
 الجدول (2) والشكل (2) العلاقة نفسها عند الطول الموجي (532) نانومتر .  
**2. حساب الطول الموجي مع تغير الضغط**  
 حسب الطول الموجي عند الضغط من خلال المعادلة

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$$

ويمثل الجدول (3) قيمة الطول الموجي لكل ضغط باستخدام ليزر الهليوم - نيون .  
 ويوضح الشكل (3) العلاقة بينهما في حين يمثل الجدول (4) والشكل (4) العلاقة نفسها  
 عند الطول الموجي (532) نانومتر .  
**3. حساب قيمة الطول الموجي لكل معامل انكسار**

يمثل الجدول (5) حساب الطول الموجي لكل معامل انكسار ، ويوضح الشكل (5)  
 العلاقة باستخدام ليزر الهليوم - نيون ، في حين الجدول (6) والشكل (6) نفسها عند  
 الطول الموجي (532) نانومتر.

## التحليل ومناقشة النتائج

1. تتناسب قيمة معامل الانكسار طردياً مع الضغط المسلط .
  2. لا تتناسب قيمة معامل الانكسار عندما تتغير المسافة بين النافذتين لأن معامل الانكسار دالة للضغط وليس دالة للبعد .
  3. تتناسب قيمة الضغط (p) مع عدد الأهداب (N) فكلما ازداد الضغط يقل عدد الأهداب بأنها تمتد الى الخارج أي بمتابفة زيادة بين النافذتين والعكس صحيح .
  4. يتناسب الطول الموجي المقاس طردياً مع الضغط المسلط في داخل الحجرة .
  5. يمكن استخدام منظومة أهداب التداخل لحساب الطول الموجي بدقة ويمكن تصحيح الموجي المستخدم من خلال تغيير معامل الانكسار لكل ضغط والمسافة نفسها بين النافذتين .
  6. ان طريقة تحديد الطول الموجي بطريقة تغيير الضغط دقيقة جداً" وكانت قيمة قدرة التحليل  $RP=253 \times 10^3$ .
  7. عند تغير قيمة الضغط ( $\Delta p = 20 \text{ mmHg}$ ) سيكون تغير في الطول الموجي مقداره  $(\Delta \lambda = 0.05 \text{ nm})$  .
  8. عند تغير قيمة الضغط ( $\Delta p = 100 \text{ mmHg}$ ) فانها سوف تكافئ حركة المرآة بمقدار  $(0.5 \times 10^{-3} \text{ mm})$  .
- تتضح الفائدة من استخدام هذه الطريقة الجديدة في تعيين الأطوال الموجية المجهولة وبدقة تصل الى أجزاء النانومتر ومن ثم ايجاد بديل بسيط وعملي لجهاز (Monochrometer) من حيث اختيار طول موجي محدد وبدقة من خلال تغير الضغط المسلط علياً في داخل الحجرة وكذلك تحديد معامل الانكسار لوسط مجهول من خلال امرار ليزر ذي طول موجي معين في الحجرة ومن خلال الأهداب وعددها يمكن تحديد معامل الانكسار .

## المصادر

1. Halliday Resnick, (1988). Fundamental of Phsics, 3<sup>rd</sup> edition , Wiley International .

2. Hernandez, G. (1987), Fabry-Perot Interferometer, Oxford Univesity Press, London.
3. Subrahmanyam, N. and Bijlal, (1998), A Textbook of Optics.
4. Precision Interferometer Manual , (2001), Pasco scientific.

جدول ( 1 ) قيم معامل الانكسار لكل ضغط باستخدام ليزر الهيليوم - نيون (632.8) نانومتر

	$n_i$	$n_r$	P (mm Hg)	N (number)
d= 2cm	0.99717	0.99673	0	225
	0.99765	0.99717	100	195
	0.99812	0.99765	200	165
	0.99860	0.99812	300	135
	0.99907	0.99860	400	105
	0.99955	0.99907	500	75
	1.000025	0.99955	600	55
	1.000263	1.000025	700	25
	1.0005	1.000263	800	15
	1.000975	1.0005	900	11
1.00145	1.000975	1000	8	
d= 2.5 cm	0.99779	0.99703	0	225
	0.99817	0.99779	100	195
	0.99855	0.99817	200	165
	0.99893	0.99855	300	135
	0.99931	0.99893	400	105
	0.99969	0.99931	500	75
	1.000073	0.99969	600	55
	1.000263	1.000073	700	25
	1.000456	1.000263	800	15
	1.00083	1.000456	900	11
1.00122	1.00083	1000	8	
d= 3 cm	0.99816	0.9978	0	225
	0.998484	0.99816	100	195
	0.99809	0.998484	200	165
	0.999132	0.99809	300	135
	0.999456	0.999132	400	105
	0.99978	0.999456	500	75
	1.000104	0.99978	600	55
	1.000263	1.000104	700	25
	1.000428	1.000263	800	15
	1.00075	1.000428	900	11
1.001076	1.00075	1000	8	

مجلة ابن الهيثم للعلوم البصرية والتطبيقية  
المجلد 20 (1) 2007

جدول (2) قيم معامل الانكسار لكل ضغط باستخدام الليزر ذو الطول الموجي (532) نانومتر

	$n_i$	$n_r$	P (mm Hg)	N (number)	
d= 2cm	0.99767	0.99723	0	225	
	0.99807	0.997670	100	195	
	0.99847	0.99807	200	165	
	0.99886	0.99847	300	135	
	0.99926	0.99886	400	105	
	0.99969	0.99926	500	75	
	1.0000639	0.99966	600	55	
	1.000263	1.0000639	700	25	
	1.000467	1.000263	800	15	
	1.00087	1.000467	900	11	
	1.00127	1.00087	1000	8	
	d= 2.5cm	0.99818	0.99786	0	225
		0.99850	0.99818	100	195
		0.99882	0.99850	200	165
0.99914		0.99882	300	135	
0.99946		0.99914	400	105	
0.99978		0.99946	500	75	
1.00010		0.99978	600	55	
1.000263		1.00010	700	25	
1.00041		1.000263	800	15	
1.00073		1.00041	900	11	
1.00105		1.00073	1000	8	
d= 3cm		0.99853	0.99827	0	225
		0.99880	0.99853	100	195
		0.99906	0.99880	200	165
	0.99933	0.99906	300	135	
	0.99959	0.99933	400	105	
	0.99986	0.99959	500	75	
	1.000130	0.99986	600	55	
	1.000263	1.000130	700	25	
	1.00040	1.000263	800	15	
	1.00067	1.00040	900	11	
	1.00094	1.00067	1000	8	



جدول (3) قيم الطول الموجي لكل ضغط باستخدام ليزر الهيليوم - نيون (632.8) نانومتر

$d$	P(mm Hg)	$\lambda$ (nm)
d= 2 cm	100	631.009
	200	631.312
	300	631.610
	400	631.914
	500	632.212
	600	632.515
	700	632.815
	800	633.166
	900	633.416
	1000	633.717
d= 2.5 cm	100	631.401
	200	631.641
	300	631.882
	400	632.122
	500	632.363
	600	632.603
	700	633.846
	800	633.088
	900	633.33
	1000	633.572
d= 3 cm	100	631.635
	200	631.840
	300	632.046
	400	632.25
	500	632.455
	600	632.80
	700	632.865
	800	633.07
	900	633.274
	1000	633.477

جدول (4) قيم الطول الموجي لكل ضغط باستخدام الليزر الأخضر (532) نانومتر

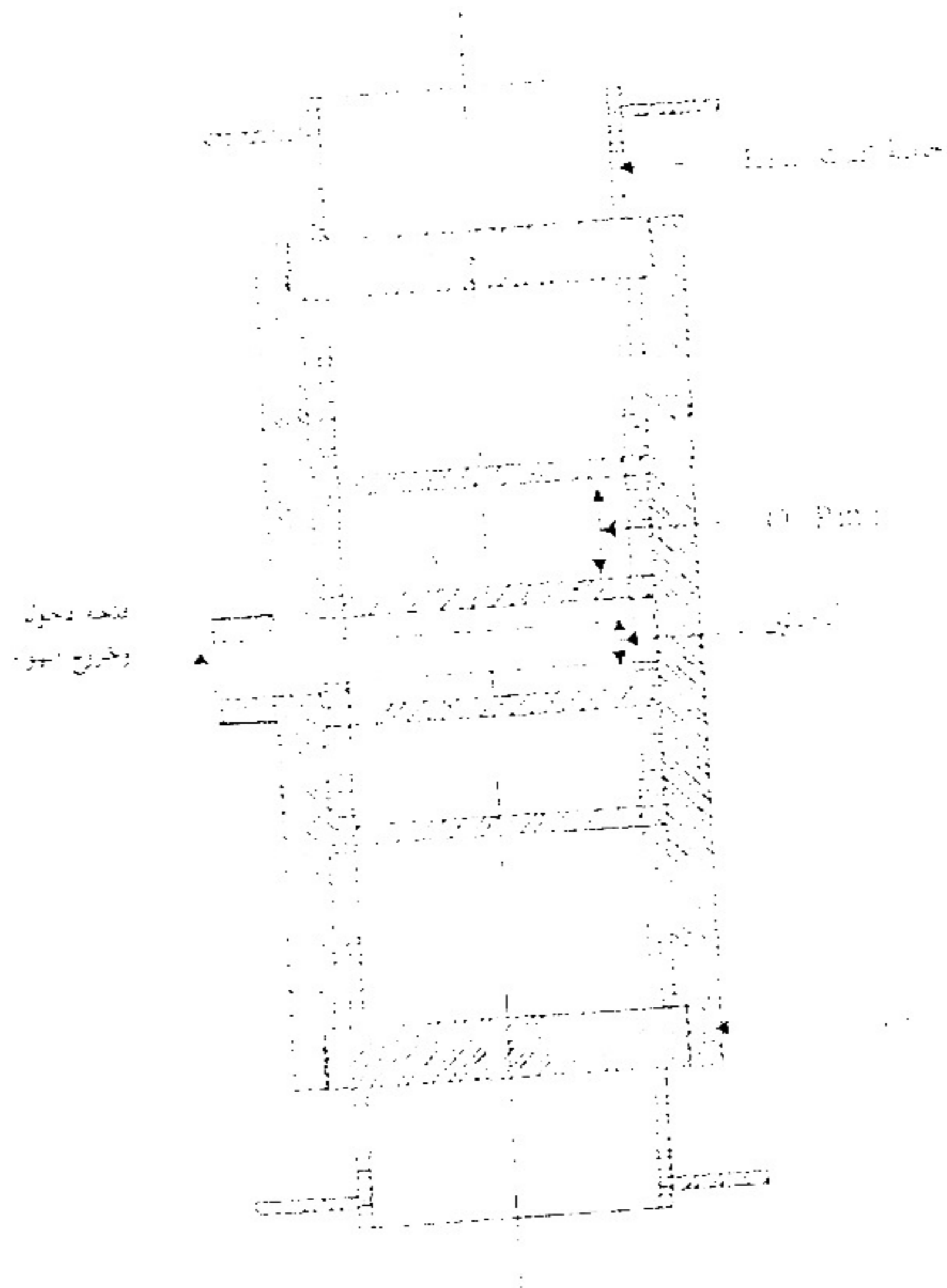
d= 2 cm	P(mm Hg)	$\lambda$ (nm)
	100	529.762
	200	529.975
	300	530.187
	400	530.394
	500	530.607
	600	630.817
	700	531.033
	800	531.247
	900	531.467
	1000	531.674
d= 2.5 cm	100	530.033
	200	530.203
	300	530.373
	400	530.543
	500	530.713
	600	530.883
	700	531.053
	800	531.217
	900	531.387
	1000	531.557
d= 3 cm	100	530.219
	200	530.362
	300	530.50
	400	530.644
	500	530.782
	600	530.925
	700	531.069
	800	531.212
	900	531.355
	1000	531.499

جدول (5) قيم معامل الانكسار كل طول موجي باستخدام ليزر الهيليوم - نيون (632.8) نانومتر

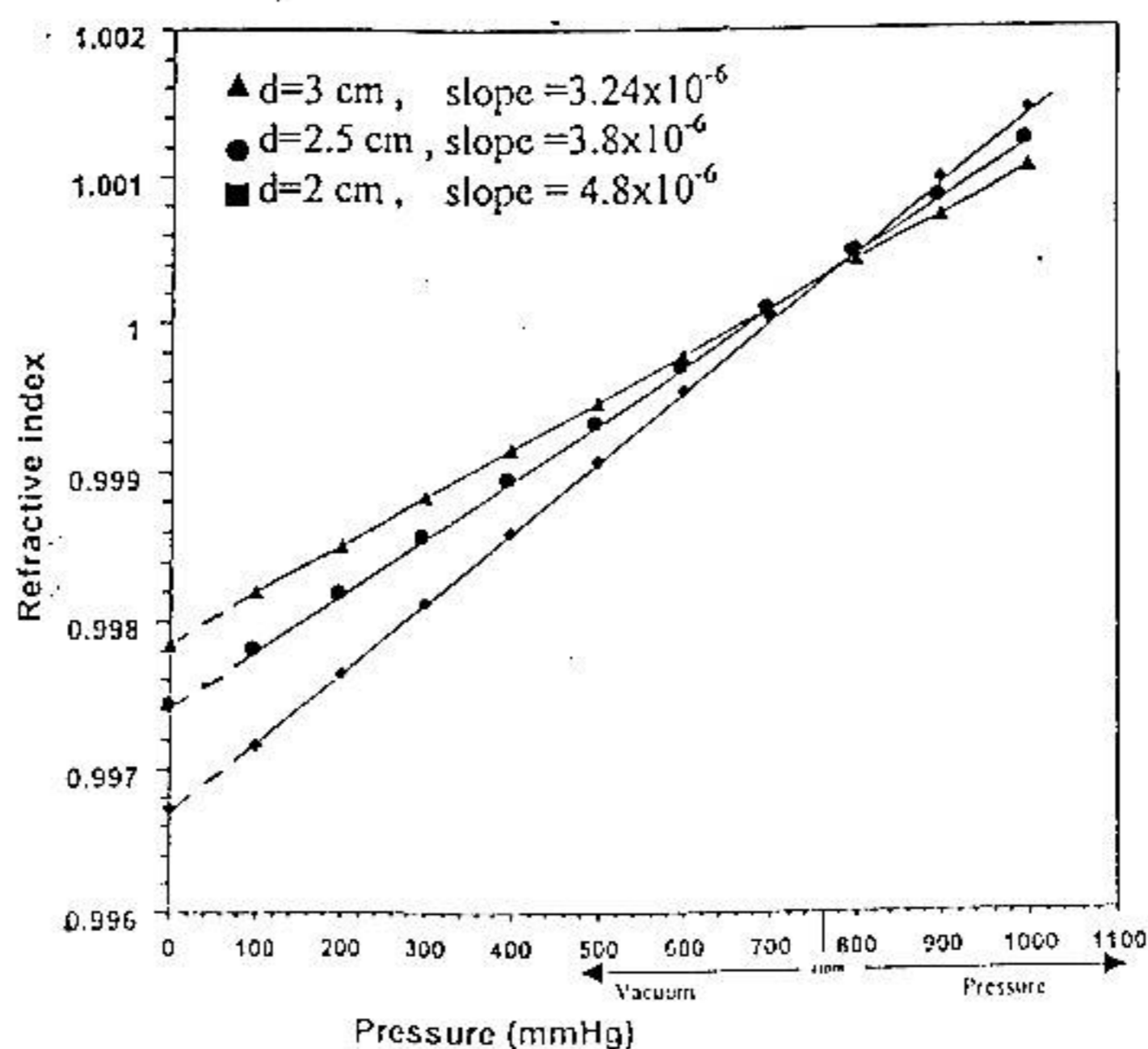
$d=2\text{ cm}$	$n_i$	$\lambda(\text{nm})$
	0.99717	631.009
	0.99765	631.312
	0.99812	631.610
	0.99860	631.914
	0.99907	632.212
	0.99955	632.515
	1.000025	632.815
	1.0005	633.166
	1.000975	633.416
	1.00145	633.717
$d=2.5\text{ cm}$	0.99779	631.401
	0.99817	631.641
	0.99855	631.882
	0.99893	632.122
	0.99931	632.363
	0.99969	632.603
	1.000073	633.846
	1.000456	633.088
	1.00083	633.33
	1.00122	633.572
$d=3\text{ cm}$	0.99816	631.635
	0.998484	631.840
	0.998809	632.046
	0.999132	632.25
	0.999456	632.455
	0.99978	632.80
	1.000104	632.865
	1.000428	633.07
	1.00075	633.274
	1.001076	633.477

جدول (6) قيم معامل الانكسار كل طول موجي باستخدام الليزر الأخضر (532) نانومتر

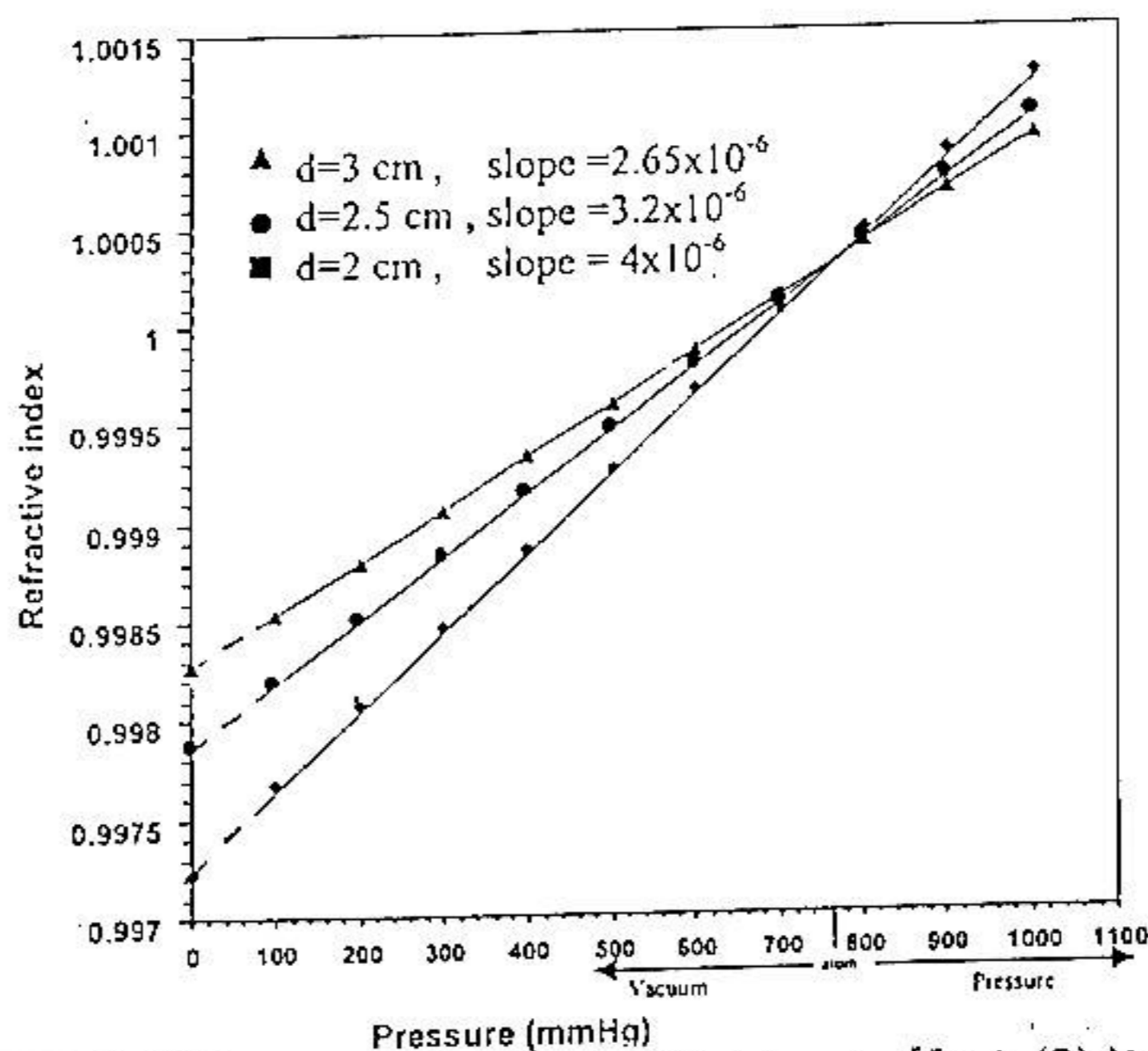
d= 2 cm	$n_i$	$\lambda$ (nm)
	0.99767	529.762
	0.99807	529.975
	0.99847	530.187
	0.99886	530.394
	0.9926	530.607
	0.99966	630.817
	1.0000639	531.033
	1.000467	531.247
	1.00087	531.467
	1.00127	531.674
d= 2.5 cm	0.99818	530.033
	0.99850	530.203
	0.99882	530.373
	0.99914	530.543
	0.99946	530.713
	0.99978	530.883
	1.0001	531.053
	1.00041	531.217
	1.00073	531.387
	1.00105	531.557
d= 3 cm	0.99853	530.219
	0.9988	530.362
	0.99906	530.50
	0.99933	530.644
	0.9996	530.782
	0.99986	530.925
	1.00013	531.069
	1.0004	531.212
	1.00067	531.355
	1.00094	531.499



شكل (أ) مخطط توضيحي لتشكل منبوبة الداخل لسوي بوز العود

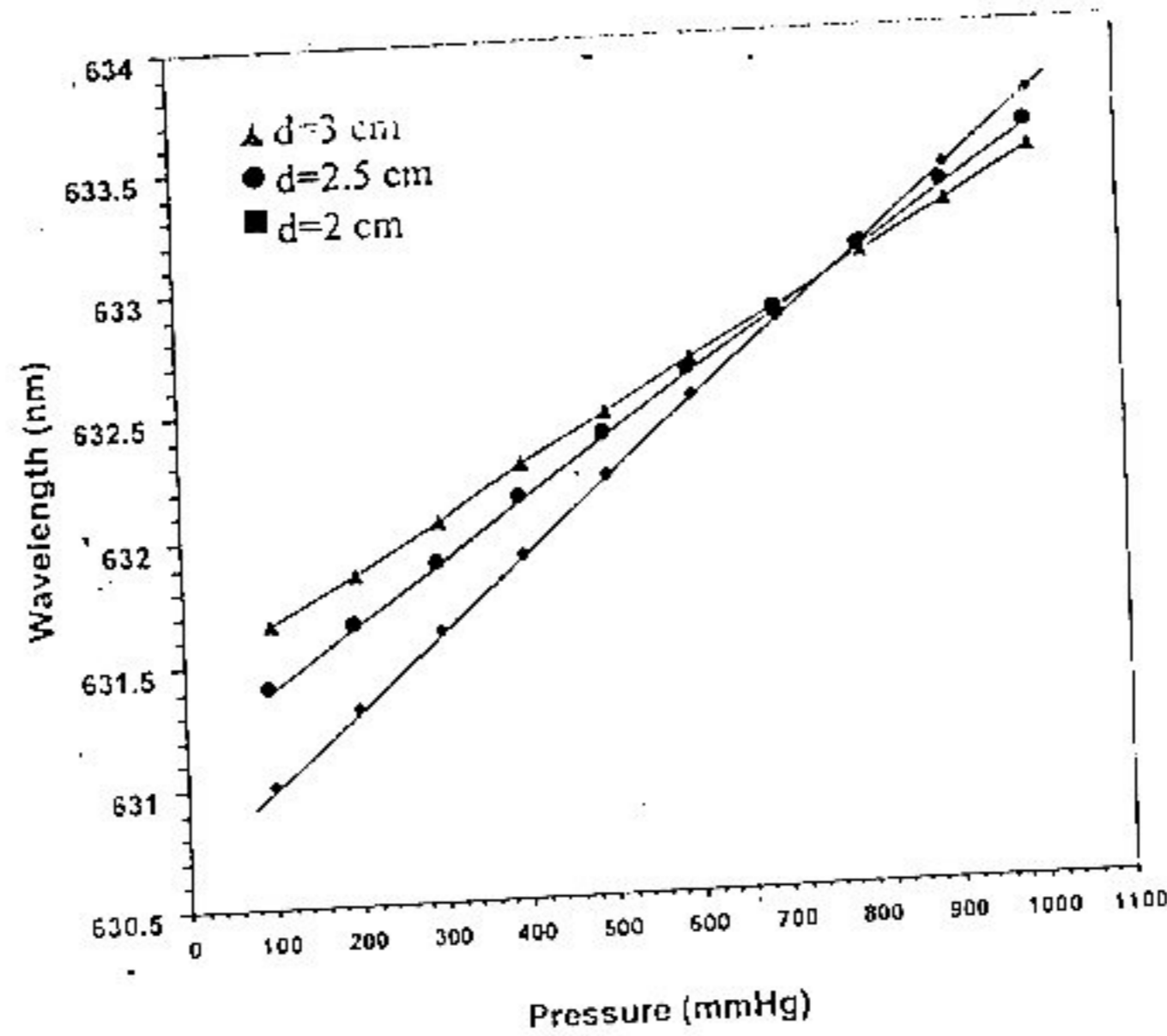


الشكل ( 2 ) العلاقة بين معامل الانكسار والضغط باستخدام ليزر الهيليوم - نيون

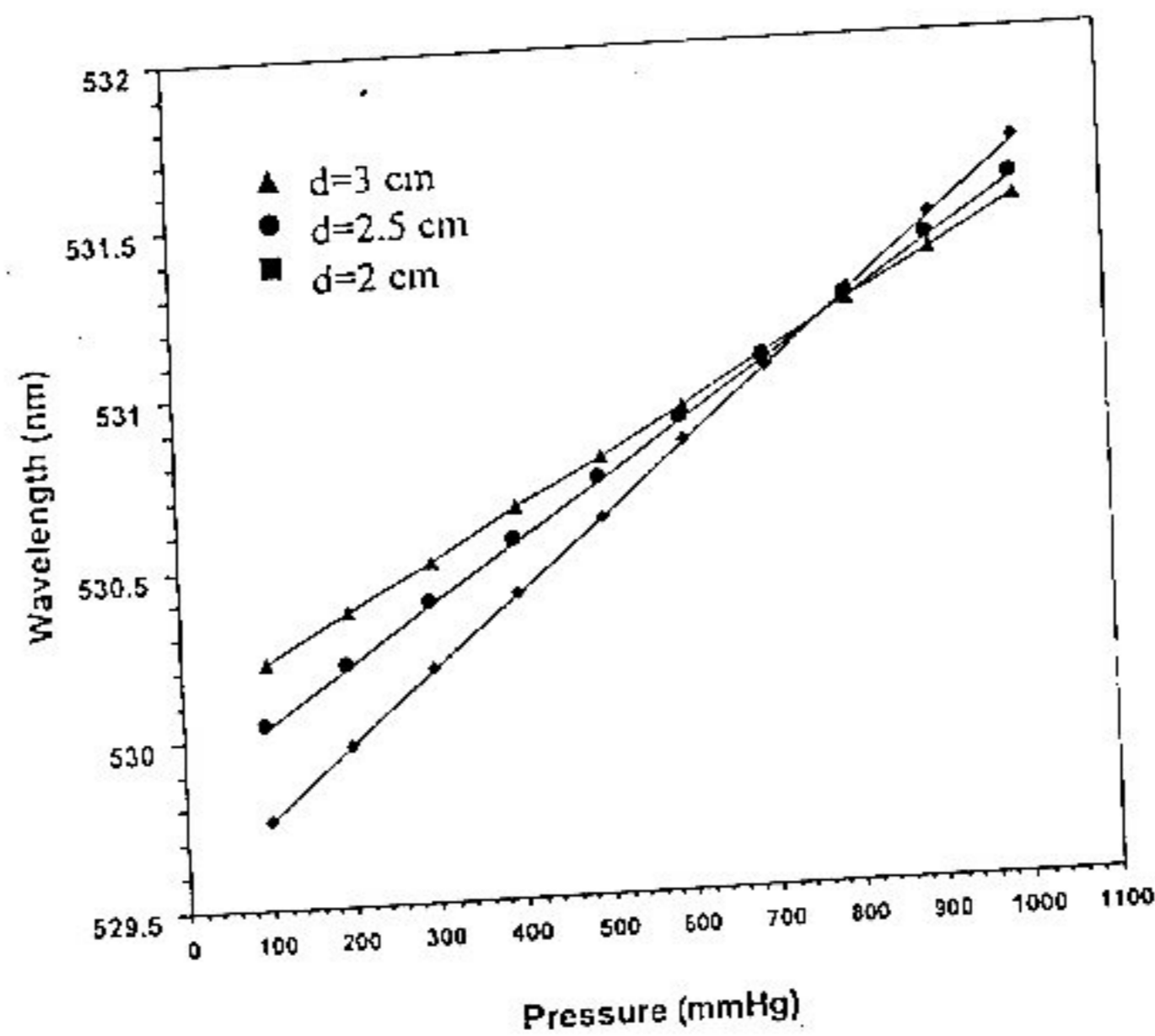


شكل (3) العلاقة بين معامل الانكسار والضغط باستخدام الليزر

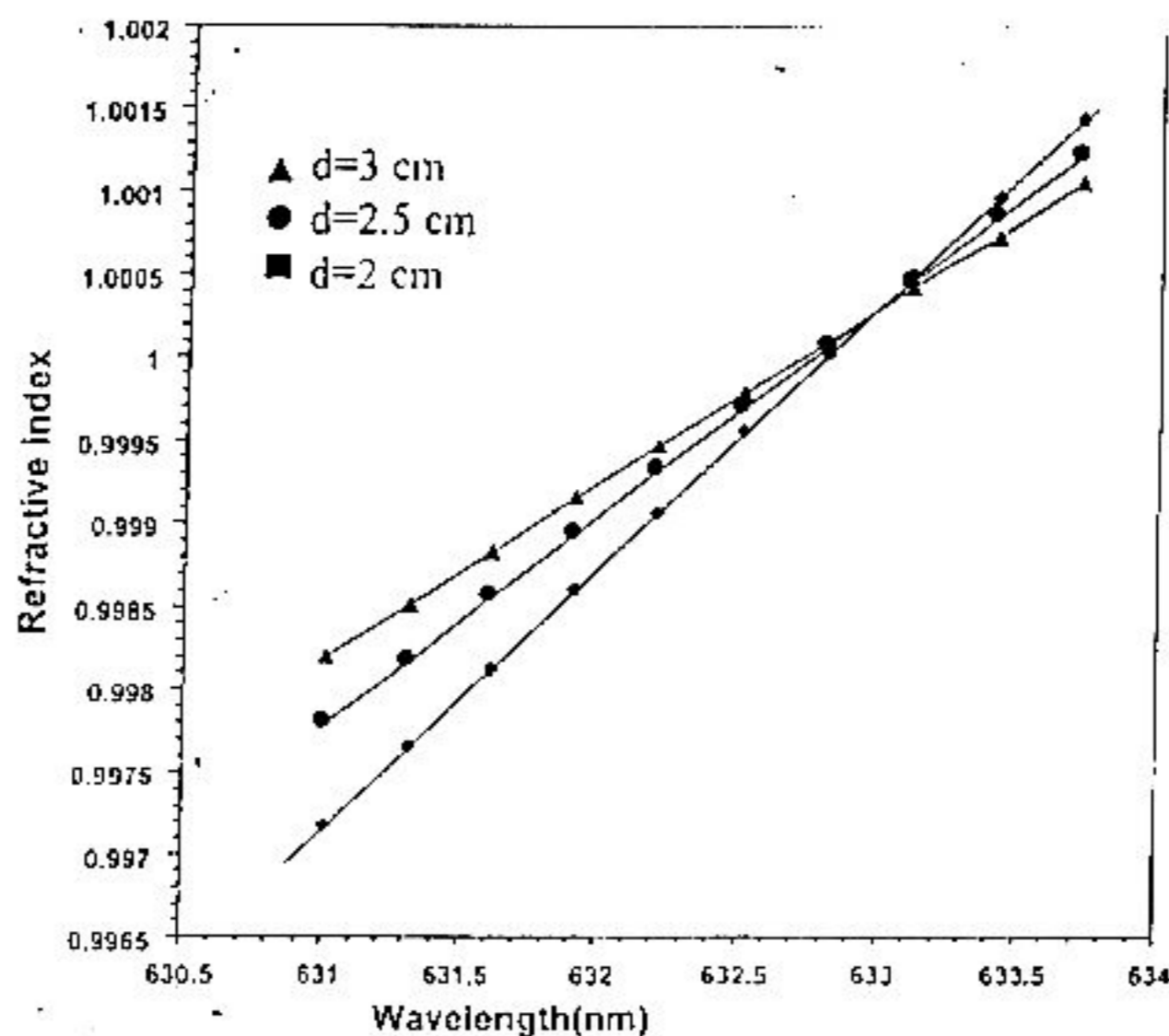
نو الطول الموجي (532)nm



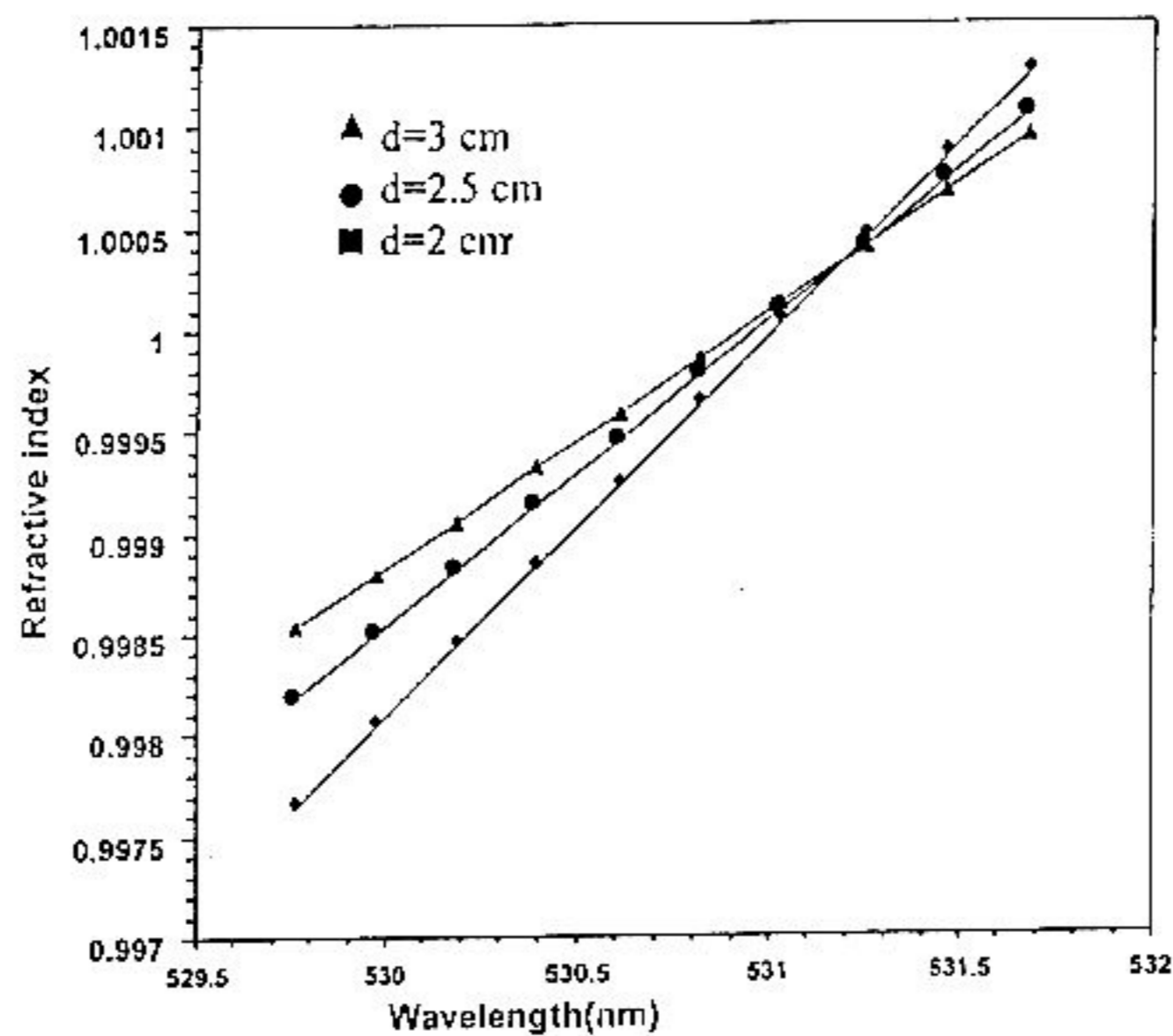
الشكل ( 4 ) العلاقة بين الضغط و الطول الموجي باستخدام ليزر الهيليوم - نيون



شكل (5) العلاقة بين الطول الموجي والضغط



الشكل ( 6 ) العلاقة بين الطول الموجي ومعامل الانكسار باستخدام ليزر الهيليوم نيون



شكل (7) العلاقة بين الطول الموجي ومعامل الانكسار باستخدام الليزر ذو الطول الموجي (232)nm



## **Effect of Pressure on Fabry- Perot Interferometer Fringes Pattern.**

**M.T.Hussain, S.A.H.Hatif\*, M.J.Hadi**  
**Ministry of Sciene and Technolog**  
**\*University of Technolog**

### **Abstract**

A design and construction of Fabry –Perot Interometer system were achived to spcify and calculate wavelengths to the neart nanometers for spectroscopic research investigation, this accuracy required for as the refractive index is a function of pressure on the medium when the space between the two windows is keptn constant .

He-Ne laser (632.8) nm and the green laser (532) nm were used as coherent sources.

Lasers of (632.8) & (532)nm respectively, were used as coherent sources. Results showed accuracy of (0.2)nm in determining the wavelength when (100) mm Hg difference in pressure was applied . The wavelength and the refractive index were calculated when preesure was varied the rough Fabrt –Perot interferometer for bth wavelengths.