

رقم الترتيب :
رقم التسلسل :

جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية الرياضيات و علوم المادة

قسم الفيزياء



مذكرة تخرج لنيل شهادة

ماستر أكاديمي

مجال : علوم المادة

فرع : فيزياء

التخصص : فيزياء إشعاعات، كاشف و بصريات الكترونية

من إعداد الطالب: مفتاح طه

الموضوع

بعض الطرق التقنية لقياس قرينة الانكسار في البلازما

نوقشت يوم : 2014/06/10

أمام لجنة المناقشة المكونة من :

رئيسا	جامعة ورقلة	أستاذ تعليم عال	شيحي إسماعيل
ممتحنا	جامعة ورقلة	أستاذ تعليم عال	عيادي كمال الدين
مقررا	جامعة ورقلة	أستاذة محاضرة ب	قريشة سليمة

2014/2013

الإهداء

إلى ولديَّ الكريمين أسأل الله أن يوفقني إلى برهما

إلى إخوتي:

زكرياء، الزهرة، سارة، إلهام، حاج معمر

إلى الأصدقاء:

عبد الحميد، طارق، مصطفى، منير، عمار، محسن، خالد

إلى الزملاء:

عبد الباقي، مختار، نصر الدين، حسن، عمار، توفيق

شكر و عرفان

الشكر أولاً و أخيراً لله عز وجل الذي كان خير معين لي في هذا البحث فوفقت بفضلته إلى تقديمه على هذه الصورة .

أتقدم بالشكر الجزيل إلى أستاذتي قريشة سليمة على قبولها مؤطراً لي ، فوفقت إلى جانبنا و منحتنا من جهدنا و وقتها الكثير في إنجاز هذا العمل.

نتقدم بفائق الشكر و التقدير إلى كل أعضاء لجنة المناقشة:

الأستاذ اسماعيل شبيبي ، على قبوله ترؤس لجنة مناقشتي، و الأستاذ كمال الدين عيادي على تشريفه لي بقبول مناقشة مذكرتي، مما يعطي عملي هذا قيمة أكبر. لا بد لنا و نحن نخطو خطواتنا الأولى في البحث العلمي من وقفة نعود فيها إلى أعوام خلت قضيناها في رحاب جامعتي الوادي و ورقلة مع أساتذتنا الكرام، الذين قدموا لنا الكثير، باذلين بذلك جهودا كبيرة في بناء جيل الغد لتبعث الأمة من جديد، نقدم أسمى كلمات الشكر و الامتنان و التقدير و الاحترام و المحبة إلى الذين حملوا أقدس رسالة في الحياة، إلى الذين مهدوا لنا طريق العلم و المعرفة، إلى جميع أساتذتنا الأفاضل.

مقدمة عامة

مقدمة عامة

تعد البلازما أحد أهم مواضيع الفيزياء الحديثة، ذلك أنه لم يدخل علم الفيزياء إلا في الثلث الأول من القرن الميلادي العشرين، لدراسة البلازما أهمية كبيرة ذلك أن 99% من مادة الكون بحالة بلازما؛ فالشمس والنجوم كرات هائلة من البلازما.

كثيراً ما تتم دراسة البلازما من خلال الإشعاع الكهرومغناطيسي الصادر عنها، عبر الأوساط المختلفة (الخلاء، الهواء، المواد الصلبة، الأجسام الحية ...)، و تختلف نفاذية هذه الأمواج من وسط لآخر، و هي تتعلق بشكل رئيس بطبيعة الوسط و بترددات الأمواج المستخدمة.

تعرض الأمواج الكهرومغناطيسية خلال انتشارها في الأوساط المادية إلى مجموعة من الظواهر الفيزيائية، أهمها التشتت، الإمتصاص، و الانكسار، مما يؤدي إلى تخامد شدة هذه الأمواج، تملك هذه الظواهر أهمية بالغة، ففي علم الضوء مثلاً تعتمد العديد من المنظومات الضوئية المختلفة (مجاهر ضوئية، مختلف العدسات، مواشير،) في نظام تمرير الضوء على عدة نماذج تجريبية للتحليل النوعي و الكمي للأوساط باستخدام الأشعة المرئية، فوق البنفسجية، تحت الحمراء، أو أشعة الليزر، ... حيث تعمل هذه النماذج على تبديد الضوء للحصول على طيفه و تسجيله، و من ثم الحصول على معلومات متنوعة عن مصدر الضوء أو عن خصائص الطريق الذي سلكه، و ذلك بتسجيل تفاصيل التداخل للضوء، هذه المعلومات تسمح بتحديد شدة إصدار منبع ضوئي أو امتصاص مادة وفق أطوال الموجات الضوئية الممتصة.

إن الخصائص الفيزيائية للأوساط المادية مرتبطة بالمؤثرات الخارجية، فالخصائص المختلفة للأوساط في الحقيقة هي استجابات لمثل هذه المؤثرات. نود في عملنا هذا دراسة إحدى الخصائص و هي قرينة الإنكسار لوسط البلازما.

تتضمن هذه المذكرةُ ثلاثةَ فصولٍ و خلاصةً عامةً.

الفصل الأول: سردنا فيه دراسة عامة حول البلازما؛ تاريخها و تعاريفها، و أشكالها، بعض خصائصها و أهم

المقادير في فيزياء البلازما.

الفصل الثاني: تطرقنا فيه بشكل موسع لكيفية لقياس قرينة الإنكسار في المواد في حالاتها الثلاثة؛ الصلبة،

السائل، الغازية.

الفصل الثالث: أدرجنا فيه بعض النماذج المستخدمة لقياس قرينة إنكسار البلازما. في الأخير حوصلنا ما قمنا

به في خلاصة عامة

الفصل الأول

عموميات حول البلازما

مقدمة:

إن معظم المواد التي تشكل الكون في حالة بلازما، و تشترك كل أنواع البلازما بأنها تخضع و تفسر بنفس الآليات و تديرها نفس القوانين الفيزيائية. تُعرف البلازما بالحالة الرابعة للمادة كونها تختلف عن الحالة الصلبة، السائلة، و الغازية؛ فهي عبارة عن حالة مخففة للمادة تشبه الغاز إلا أنها مؤلفة من جسيمات مشحونة و إلكترونات و أيونات موجبة متناسب معين يجعل الوسط إجمالاً متعادلاً كهربائياً [1].

1.1. لمحة تاريخية:

أول من اعتبر حالة مادية رابعة، هو الفيزيائي الإنكليزي Sir William Crookes عام 1879 م ، و هي تعرف اليوم بالبلازما، أُدخل مصطلح البلازما للفيزياء أول الأمر عام 1928م من قبل الفيزيائي الأمريكي Dr. Irving Langmuir في مقال له لوصف الغاز المؤين المحتوى في أنبوب التفريغ، لأنه رأى أنها تشبه بلازما الدم، و نظراً للأهمية الكبيرة لفيزياء الأوساط الطبيعية، و التطبيقات الصناعية تم تطويرها بشكل معتبر معتمدين على قوانين الفيزياء الحديثة.

2.1. تعاريف البلازما:

تعتبر البلازما الحالة الرابعة للمادة؛ فبتسخين الحالة الصلبة تصبح سائلة و مع زيادة التسخين تتحول إلى حالة غازية و عند درجات حرارة عالية جداً أكثر من 5000 k تصبح الطاقة الحركية للجسيمات من رتبة طاقة التأين للجسيمات المعتدلة و بهذا تكون المادة قد بلغت طور البلازما [2].

البلازما نادرة جداً في محيطنا القريب ، غير أنه من الممكن توليدها صناعياً، فالغاز في مصباح النيون و التفلور بلازما ، كما أن القوس الكهربائي المستخدم في عمليات اللحام، و اللهب الخارج من الصواريخ المنطلقة ، و الكرة المتهبة المتولدة عن القنبلة الذرية، جميعها أمثلة عن البلازما.

من خلال ما سبق يمكن أن نقدم للبلازما التعاريف التالية :

✓ البلازما (بالإنكليزية: Plasma) هي حالة متميزة من حالات المادة يمكن وصفها بأنها غاز متأين

تكون فيه الإلكترونات حرة و غير مرتبطة بالذرة أو بالجزئية [3] .

✓ البلازما خليط من الذرات المتعدلة كهربائيا و الإلكترونات السالبة و الأيونات الموجبة. تتناسب درجة التأين

طرديا مع درجة الحرارة. إن الغاز الإعتيادي يحتوي بعض الأيونات و الإلكترونات، لكنها غير كافية لتجعله بلازما،

فإذا سخن مثل هذا الغاز فإنه سيتحول تدريجيا إلى بلازما. دون أن ينتقل انتقالا حادا ، كما يحصل عند تحول

الصلب إلى سائل [4].

- كيف نميز البلازما عن الغاز الحار ؟

الفرق يكمن في الخواص الكهرومغناطيسية ، فالبلازما موصل كهربائي ، يسيطر على تصرفها حقلان كهربائي

ومغناطيسي، بينما يعدُّ الغاز الإعتيادي عازلاً كهربائياً، فهو لا يستجيب بشكل واضح لتأثير الحقل الكهربائي أو

المغناطيسي [4].

1.3. أشكال البلازما:

1.3.1 البلازما الطبيعية:

جل أنواع البلازما الطبيعية في حالة مثالية؛ حيث متوسط الطاقة الحركية الحرارية لمكوناتها يفوق متوسط الطاقة

الكامنة الكهربائية المتبادلة بين جسيماتها. ينقسم هذا النوع من البلازما إلى [3]:

✓ بلازما طبيعية كونية: تمثل البلازما الطبيعية الكونية النسبة الكبيرة في هذا الكون كالبلازما الموجودة على

سطح الشمس؛ فالغيوم المضيئة المحيطة بسطحها المشع تبلغ درجة حرارتها 5700K أما بلازما مركز الشمس درجة

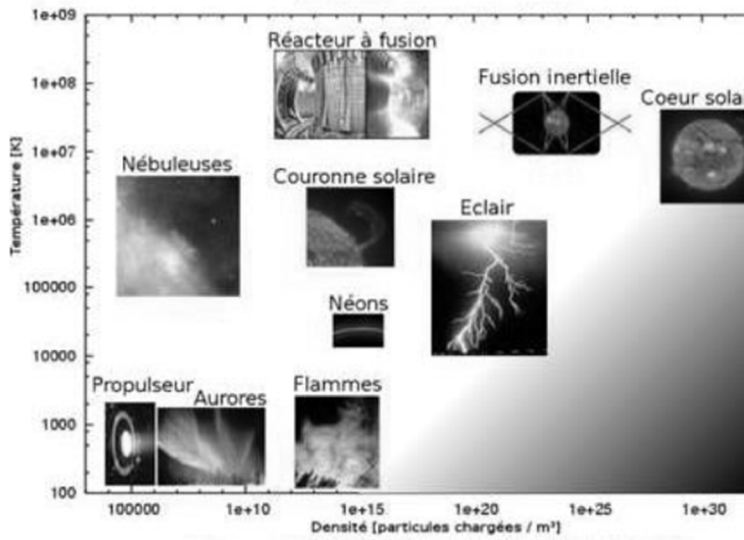
حرارتها 17 مليون كلفن، مثال آخر البلازما على سطوح النجوم حيث تبلغ درجة حرارتها 10^4 K بينما البلازما في

جوف النجوم حرارتها تقدر بـ 10^7 K ، بلازما الرياح الشمسية،

✓ بلازما طبيعية أرضية : تحدث على مستوى كوكب الأرض تمثل نسبة أقل من سابقتها من أمثلتها البلازما الموجودة في غلاف جو الأرض و المعروفة إسم الكرة المتأينة (الأيونوسفير)، البرق، الصواعق، الغاز في المصابيح الفوسفورية،

1. 3. 2 البلازما الصناعية:

البلازما نادرة جدا في محيطنا القريب، لذا لجأ الإنسان لتوليدها صناعيا فالغاز في مصابيح التألق(مصباح الفلوريسنت) بلازما، القوس الكهربائي المستخدم في عمليات اللحام، الاندماج النووي،...جميعها أمثلة عن البلازما[3]. الشكل (1) يبين بعض الأمثلة عن البلازما.



الشكل (1 . 1): مختلف اشكال البلازما

1. 4. بعض خصائص البلازما:

من أهم خصائص البلازما ناقلتها الكهربائية العالية، حتى أن الحقول الكهربائية الخارجية تلغي في وسط البلازما بفعل التيارات المتحرضة[4].

1.4.1 التوصيل الكهربائي في البلازما:

بما أن البلازما غاز عالي التأين، يضم عددا هائلا من الجسيمات المشحونة المتحركة بحرية داخلها، فإنها تعد موصلا جيدا للكهرباء. تتبادل هذه الجسيمات التأثير مع الحقل الكهرومغناطيسي الموضعي، كما أن الحركة المنظمة لها تحدث تيارات كهربائية و تغيرات لكثافة الشحنة تؤدي إلى نشوء حقول كهرومغناطيسية [3].

1.4.2 ذبذبات البلازما و حركة الموجة

من صفاتها المهمة أيضا قابليتها لحمل الذبذبات و بث الموجات. و يمكن أن تحدث أنواع مختلفة من السلوك التذبذبي، إلا أن هذه الذبذبات قد تكون معقدة جدا بسبب الميزة غير الخطية للمعادلات الهيدروديناميكية لها. لقد نوقشت الذبذبات الكهروستاتيكية في البلازما لأول مرة من قبل Tonks و Langmuir. في الحقيقة يوجد نوعان محتملان من الذبذبات الكهروستاتيكية، ذبذبات التردد العالي التي تكون سريعة جدا، إذ يصعب على الأيونات الثقيلة أن تتبعها، و ذبذبات الأيونات التي تكون بطيئة جدا، بحيث أن الإلكترونات تتوزع دائما حول الأيونات بنمط إحصائي [4].

1.5.1 المقادير في فيزياء البلازما:

1.5.1 نصف قطر ديبي :

قبل التطرق إلى نصف قطر ديبي Debye لابد من الإشارة إلى ظاهرة مهمة تحدث في البلازما؛ و هي ظاهرة الحجب، و المقصود به حجب شحنة من البلازما بواسطة سحابة من الشحنات المعاكسة. من هذه الظاهرة استنتج بعد ديبي الذي يعتبر احد أهم خصائص البلازما، حيث نصف قطر ديبي يشير إلى أقصر مسافة تتحرك فيها الالكترونات عشوائيا في البلازما و يعطى بالعلاقة التالية [5].

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{KT}{4\pi e^2 n_e}} \quad (SI) \approx 6.9 \sqrt{\frac{T}{n_e}} \quad (cgs)$$

حيث: T : درجة الحرارة بالكلفن، n_e : الكثافة الإلكترونية، K : ثابت بولتزمان

2.5.1 طول موجة ديبروغلي الحرارية :

يُعطى هذا الطول تقديرا للطبيعة الموجية الكمية لجسيمات البلازما ، و يعرف بـ [6] :

$$\Lambda = \sqrt{\frac{2\pi\hbar^2}{mKT}}$$

حيث: M : كتلة الجسيم ، $\hbar = \frac{h}{2\pi}$: ثابت بلانك المختزل

1. 3.5.1 طول لاندوا :

و يدعى البعد التقليدي للإقتراب للأدنى ، و هو يمثل المقدار الذي تتساوى فيه الطاقة الكامنة الكولومية المتوسطة

للتفاعل الثنائي مع الطاقة الحركية المتوسطة و يستخدم هذا الطول في تحليل ظواهر التصادمات، و إرتباطات الموضع

في البلازما [6]. يحدد بـ:

$$KT = \frac{e^2}{r_0} \quad \text{حيث: } r_0 = \frac{e^2}{k} \quad \text{ثابت بولتزمان ، } e \text{ الشحنة الإلكترونية، } T \text{ درجة الحرارة المطلقة}$$

1. 4.5.1 نصف قطر الكرة الإلكترونية:

يميز نصف قطر الكرة الإلكترونية البعد المتوسط بين إلكترونين و يعطى بالعلاقة التالية:

$$r_e = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi n_e}}$$

n_e : الكثافة الإلكترونية

1. 5.5.1 نصف قطر الكرة الأيونية:

يميز نصف قطر الكرة الأيونية البعد المتوسط بين أيونين ، تعطى العبارة بالعلاقة التالية:

$$r_i = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi n_i}}$$

n_i : الكثافة الأيونية

1. 5. 6. وسيط الترابط Γ :

هو مقياس مدى ترابط جسيمات البلازما، عندما يكون $\Gamma \geq 1$ فإن ذلك يدل على أن التزاوج شديد [15]، أما عندما يكون $\Gamma \ll 1$ فإن للطاقة الحركية الدور الأكبر في وصف سلوك الجسيمات؛ أي أن التزاوج بين هذه الجسيمات ضعيف [15]، حيث تتحرك الجسيمات بحرية كبيرة وبتصادمات قليلة ما يعني أن التأثير البيني بينها ضعيفا [8]، و يقال عن البلازما أنها مثالية [16].

$$\Gamma_{ee} = \frac{e^2}{KTr_e} \text{ بالنسبة للإلكترونات}$$

$$\Gamma_{ii} = \frac{(ze)^2}{KTr_i} \text{ بالنسبة للأيونات}$$

$$\Gamma_{ei} = \frac{ze^2}{KTr_{ei}} \text{ ، حيث: } \Gamma_{ei} = \frac{r_e+r_i}{2}$$

K : ثابت بولتزمان ، T : درجة الحرارة المطلقة

1. 5. 7. تردد البلازما:

عند حدوث اضطراب داخلي أو خارجي في البلازما فإنه يؤدي إلى إزاحة جسيماتها (إلكترونات، أيونات) عن وضع التوازن ذلك بسبب تراكم الشحنات الكهربائية، لكنها سرعان ما تعود لحالتها الطبيعية. هذا التصرف الذي تتميز به البلازما يؤدي إلى حركة جسيماتها حركة اهتزازية غير متخامدة، تتميز بنبض الحركة الإلكترونية ω_{pe} ونبض الحركة الأيونية ω_{pi} حيث [7] :

$$\omega_{pe} = \sqrt{\frac{4\pi e^2 n_e}{m_e}}$$

$$\omega_{pi} = \sqrt{\frac{4\pi(z e)^2 n_i}{m_i}}$$

حيث:

n_e : الكثافة الإلكترونية
 m_e : كتلة الإلكترون
 e : شحنة الإلكترون
 n_i : الكثافة الأيونية.
 m_i : كتلة الايون
 (ze) : شحنة الأيون

$$f_{pe,i} = \frac{\omega_{pe,i}}{2\pi}$$

كما تتميز هذه الحركة بالتردد الإلكتروني و الأيوني:

1. 5. 8. درجة الحرارة البلازما:

غالباً ما تملك الإلكترونات و الأيونات في البلازما توزيعين مختلفين لدرجة الحرارة؛ بسبب تواتر الصدمات بين الأيونات فيما بينها أو الإلكترونات فيما بينها، عندئذٍ كل نوع من الجزيئات يمكن أن يكون في حالة توازن حراري مستقل عن النوع الآخر [4].

1. 6. الإشعاع في البلازما:

إن الكشف عن البلازما و دراستها يتم بتشخيص الإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث عنها؛ ضوء، أشعة سينية، موجات راديوية، . . . إن هذا الإشعاع لا يرتبط بخصائص مشع معزول فقط، بل بخصائص البلازما المحيطة به، تعد الخطوط الطيفية للإمتصاص و الإنبعاث مفيدة لتشخيص الكثافة الإلكترونية و درجة الحرارة في البلازما. [4]

1. 7. معالجة البلازما:

مع أن التحليل النظري للبلازما بسيط نسبياً، ذلك أن القوى بين الجسيمات معروفة بدقة، و الوصف بالميكانيك التقليدي ممكن عموماً، إلا أن دراستها لم تتطور إلا مؤخراً. تستحيل معالجة البلازما بشكل كاف معالجة عينية بحتة، بل من الضروري استخدام النظرية الحركية. إن التعقيد في حالة البلازما بشتى أشكالها، قاد إلى عدد كبير من طرائق التحليل النظري المختلفة تماماً.

توجد ثلاث صياغات تقريبية توفر لنا النظرة الهامة لما يحدث داخل البلازما:

✓ نظرية التوازن: تستند إلى افتراض أن التصادمات بين الجسيمات المشحونة تكون كافية لتجعل توزيع الجسيمات في كيان البلازما خاضعا لتوزيع بولتزمان - ماكسويل السريع [3]:

$$N_j(\vec{v})dV_xdV_ydV_z = N_{0j}\left(\frac{m_p}{2\pi KT}\right)^{3/2} \exp\left(\frac{-m_p V^2}{2KT}\right) dV_xdV_ydV_z$$

حيث N_{0j} عدد الجسيمات من الصنف j لوحدة الحجم في البلازما و V_x ، V_y ، V_z مركبات السرعة و m_p كتلة الجسيمات من النوع j و T درجة الحرارة المطلقة.

- نظرية المدار: تعالج حركة الجسيمات المشحونة في حقول كهربائية و مغناطيسية مفترضة، قد تكون توابع للموضع و الزمن. تمثل هذه النظرية تقريبا جيدا لحركة جسيم في البلازما عندما لا تؤدي التصادمات بين الجسيمات الدور الرئيس، أي عندما يكون متوسط المسار الحر للتصادمات كبيرا مقارنة بالأبعاد المميزة للمدار؛ و تعالج التصادمات في هذه الحالة كإضطراب.

✓ المعالجة الهيدرومغناطيسية: حيث تستخدم المعادلات الكهرومغناطيسية الكلاسيكية (معادلات ماكسويل)، و تدمج مع المعادلات الكلاسيكية لحركة الموائع، و هي معالجة عينية للبلازما؛ و تعد تقريبا جيدا عندما يكون متوسط المسار الحر للتصادمات صغيرا جدا بالنسبة إلى المسافات الفيزيائية المهمة في منظومة البلازما. بفضل تطور علم الفلك الراديوي، ثم الأبحاث الفضائية، أمكن استغلال بلازما المحيط الأرضي (الأيونوسفير) و المغنطوسفير و الرياح الشمسية و هالة الشمس . . بصيغة أعم، يمكن القول أن البلازما اليوم تؤدي دورا جد مهم في الفيزياء الفلكية و الكونية، ذلك أن الجزء الأكبر من الكون مؤلف من مادة في حالة بلازما [7].

الفصل الثاني

قرينة الإنكسار في المواد

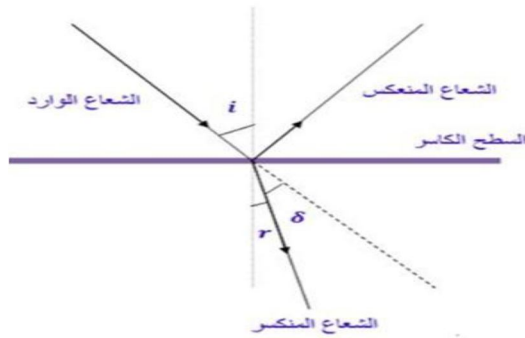
مقدمة:

يُعتبر الضوء جزء من الأمواج الكهرومغناطيسية التي تنتشر عبر الأوساط المختلفة، تتعرض هذه الأمواج خلال انتشارها في الأوساط المادية المختلفة إلى مجموعة من الظواهر الفيزيائية أهمها (الانكسار، الانعكاس، التداخل، الحيود، والاستقطاب،...). في هذا الفصل سنهتم بظاهرة الإنكسار و حساب قرائنه في الأوساط الثلاثة؛ الصلبة، السائلة، و الغازية.

1.1. سلوكيات الضوء عند الحد الفاصل بين وسطين:

1.1.1. الانعكاس و الإنكسار:

عند سقوط شعاع ضوئي على حد فاصل بين وسطين، قريتنا انكسارهما على التوالي n_1 ، n_2 بزواوية ورود θ_i مع الشعاع الناظم على السطحين جزءاً منه ينفذ إلى الوسط الثاني بزواوية انكسار θ_t ، بينما ينعكس جزءه الآخر في الوسط الأول بزواوية انعكاس θ_r ، الشكل (1) يوضح ذلك [9].



شكل (1.11): الأشعة الضوئية الواردة و المنعكسة و المنكسرة عند الحد الفاصل بين وسطين

2.1.11. الإنكسار:

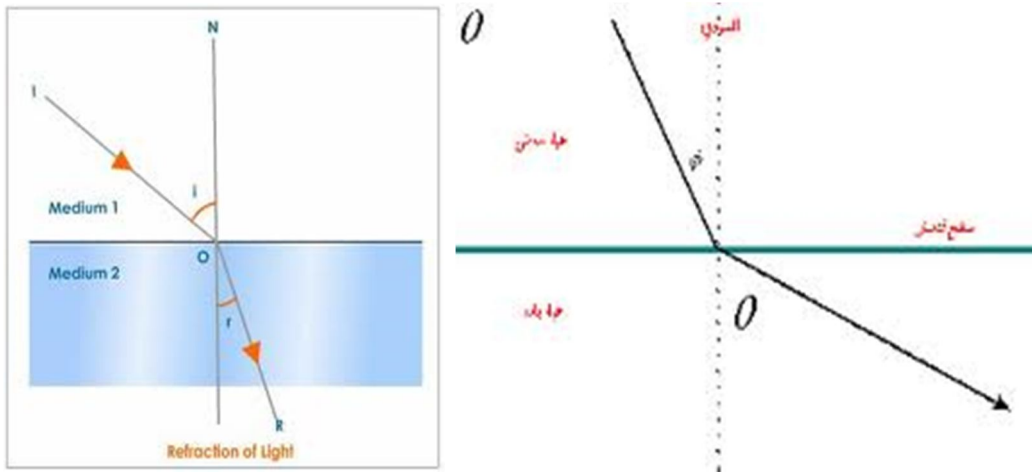
يُعرَّف الفيزيائيون انكسار الضوء على أنه انحراف موجة الضوء في وسط ما عند انتقالها إلى وسط آخر نتيجة التغيرات في سرعة هذه الموجة بين الوسطين.

3.1.11. الإنكسار الكلي:

الشكل (2) يوضح حالتين لإنكسار الضوء عند الحد الفاصل لوسطين.

الحالة الأولى: $n_2 > n_1$ عندئذ تكون: $\theta_r > \theta_t$ تحقق هذه الوضعية إنكسار للشعاع الضوئي الوارد في الوسط الثاني .

الحالة الثانية: $n_1 > n_2$: فإن زاوية الإنكسار تكون أكبر من زاوية الورود، و تسمى زاوية الورود بالحدية [9].



الشكل (2.11): حالي انكسار الشعاع الضوئي عند الحد الفاصل بين وسطين

2. II. قرنية الإنكسار:

تُعَرَّف قرنية الإنكسار لأي وسط بصري كنسبة بين سرعة الضوء في الفراغ و سرعته في وسط ما، تعطى

$$n = \frac{c}{v} \quad \text{بالعلاقة [10]:}$$

قرنية الإنكسار لأي وسط شفاف هي مقياس للكثافة البصرية، ذلك أن أي وسط له قرنية إنكسار عالية

نسبياً تكون كثافة البصرية كبيرة، و العكس صحيح [10]. إن قرنية الإنكسار لأي وسط تكون دائماً أكبر من

واحد صحيح، و ليس لها وحدة قياس تميزها [12]. الجدول التالي يوضح قيم قرائن الإنكسار لبعض

الأجسام [13].

قرنية الانكسار (n)	المادة	
1,309	الجليد	الأجسام الصلبة
1,434	الفلورايت	
1,544	الملح الصخري	
1,923	الزركون	
2,409	الفابوليت	
1,3290	الكحول المتيلى	الموائع في الدرجة 20° مئوية
1,4607	رابع كلور الفحم	
1,4721	الترينتين	
1,5012	البنزين	
1,6276	ثاني كبريت الفحم	

جدول (1): قرنية الإنكسار لضوء الصوديوم الأصفر $\lambda = 589 \text{ nm}$.

3.11. قوانين الإنكسار:

✓ القانون الأول: الشعاع الوارد و الشعاع المنكسر و الناظم المقام من نقطة الورود على السطح الكاسر تقع في مستوي واحد عمودي على السطح الفاصل بين الوسطين الشفافين.

✓ القانون الثاني: إن النسبة بين جيب زاوية الورود في الوسط الأول i الى جيب زاوية الانكسار في الوسط

الثاني r نسبة ثابتة لهذين الوسطين من أجل ضوء معين وحيد اللون ويرمز لها بالرمز $n_{2/1}$ مما سبق

نجد [16].

$$n_{2/1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin(i)}{\sin(r)}$$

و عليه فزاوية الورود i ترتبط بزاوية الانكسار r بالعلاقة:

$$n_1 \cdot \sin i = n_2 \cdot \sin r$$

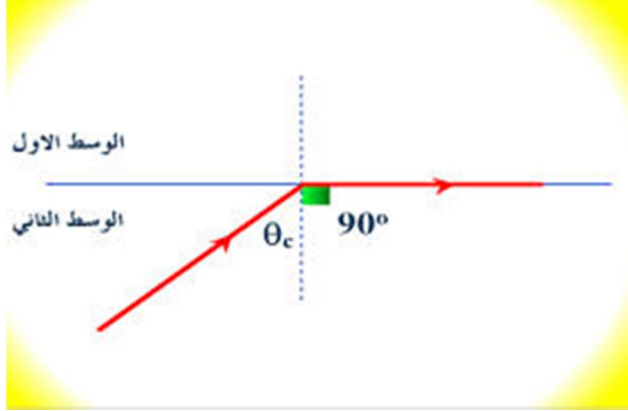
عندما تتناهى الزوايا في الصغر يصبح قانون (سنيل . ديكارت) كالتالي :

$$n_1(i) = n_2(r)$$

4.11. الزاوية الحرجة:

الزاوية الحرجة هي زاوية سقوط الشعاع الوارد في الحالة الخاصة؛ حيث ينتشر الشعاع المنكسر بشكل أفقي

موازٍ للحد الفاصل بين الوسطين الأول و الثاني (زاوية الإنكسار تساوي 90°) كما يوضحه الشكل (3) [22].



الشكل (3.11): الزاوية الحرجة

بالرجوع إلى قانون سنل ديكرت، يمكننا الحصول على علاقة الزاوية الحرجة θ_c :

$$\theta_c = \text{arc Sin} \left(\frac{n_t}{n_i} \right)$$

5.11. أنواع قرائن الإنكسار:

1.5.11. قرينة الإنكسار المطلقة (n) في درجة حرارة معينة (t):

يُعَدُّ معامل الإنكسار المطلق بأنه نسبة سرعة انتشار الضوء في الخلاء على سرعة انتشار الضوء في الوسط.

$$n = \frac{c}{v}$$

الجدول (2) يبين قرائن الإنكسار المطلقة لبعض المواد الضوئية العملية في درجة حرارة $20^0 c$ لضوء وحيد اللون

(نعتبره الشعاع الوحيد اللون البرتقالي الأصفر لعنصر الصوديوم) [14].

الوسط الضوئي	قرنية الانكسار (n)
الماء	1,3330
الكحول الايثيلي	1,3614
الكلوروفورم	1,4462
الجليسرين	1,4701
كبريت الفحم	1,6277
الماس	2,4173

2.5.11 قرنية الإنكسار المطلقة للأمواج الكهرومغناطيسية:

هي النسبة بين سرعة انتشار الأمواج الكهرومغناطيسية في الخلاء c إلى سرعتها v في وسط مادي.

$$n = \frac{c}{v} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \cdot \sqrt{\epsilon \mu} = \sqrt{\frac{\epsilon \mu}{\epsilon_0 \mu_0}} \quad \text{إذاً:}$$

$$\mu/\mu_0 = \mu_r \quad \text{و} \quad \epsilon/\epsilon_0 = \epsilon_r \quad \text{من جهة أخرى:}$$

حيث: ϵ_r و μ_r هما السماحية و النفاذية النسبيتان للوسط المادي

$$n = \frac{c}{v} = \sqrt{\epsilon_r \mu_r} \quad \text{ومنّه:}$$

و حيث أن μ_r لا تختلف كثيراً عن الواحد بالنسبة لأغلب المواد التي تنتشر بها الأمواج الكهرومغناطيسية لذا

يمكن أن نكتب معامل الإنكسار :

$$n \approx \sqrt{\epsilon_r}$$

الجدول (3) يوضح بعض قرائن الإنكسار المطلقة لعدة مواد بالنسبة للأمواج الكهرومغناطيسية [15].

المواد	n
الهواء	1,00029
كوارتز	1,51
زجاج التاج	1,52
كبريت الكربون	1,63
زجاج المها	1,65
الماس	2,417
الصبوديوم (سائل)	4,22

3.5.11 قرينة الإنكسار النسبي بين وسطين:

قرينة الإنكسار للوسط الأول: $n_1 = \frac{c}{v_1}$ حيث v_1 سرعة انتشار الضوء في الوسط المادي الأول.

قرينة الإنكسار للوسط الثاني: $n_2 = \frac{c}{v_2}$ حيث v_2 سرعة انتشار الضوء في الوسط المادي الثاني.

إذاً قرينة الإنكسار النسبية بين الوسطين [16]:

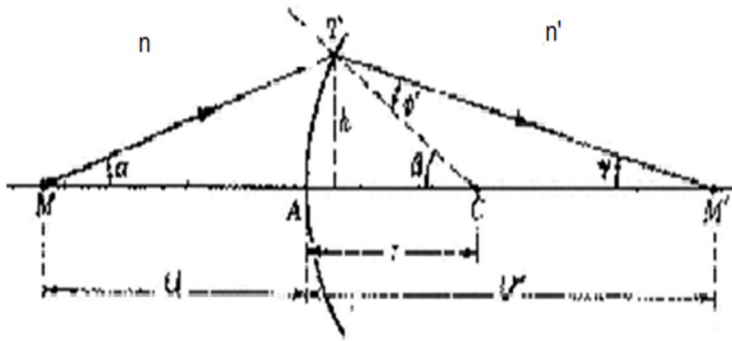
$$n_{2/1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\frac{c}{v_2}}{\frac{c}{v_1}} = \frac{c}{v_2} \cdot \frac{v_1}{c} = \frac{v_1}{v_2}$$

6.11. بعض أنواع الانكسارات:

1.6.11. الإنكسار عند الأسطح الكروية:

للأسطح الكرية قدرة كبيرة على تجميع أو تفريق الأشعة الساقطة عليها مكونة صورة حقيقية إما مكبرة أو مصغرة [17].

لتكن نقطة جسمية P على بعد u الى يسار سطح كروي ذي نصف قطر R ، الشكل (4) يوضح ذلك، و لتكن n و n' قرنتا انكسار الوسطين الأيسر و الأيمن على الترتيب [13]. عند سقوط شعاع ضوئي فإن أشعة متوازية تنكسر على السطح الكروي أما الجزء الآخر فيتجمع عند البؤرة في الوسط الثاني، كما يتقاطع الشعاع المنكسر مع المحور الأصلي عند النقطة M' .



الشكل (4.11): الإنكسار عند الأسطح الكروية

بتطبيق قانون سنل ديكارت عند موضع السقوط نجد [13] .

$$n \sin \theta = n' \sin \theta'$$

ولصغر الزوايا α و γ و θ فإنه يمكن كتابة :

$$\tan \theta = \frac{h}{R+\delta} \quad , \quad \tan \gamma = \frac{h}{V+\delta} \quad , \quad \tan \alpha = \frac{h}{\mu+\delta} \quad (*)$$

من هندسة الشكل نجد:

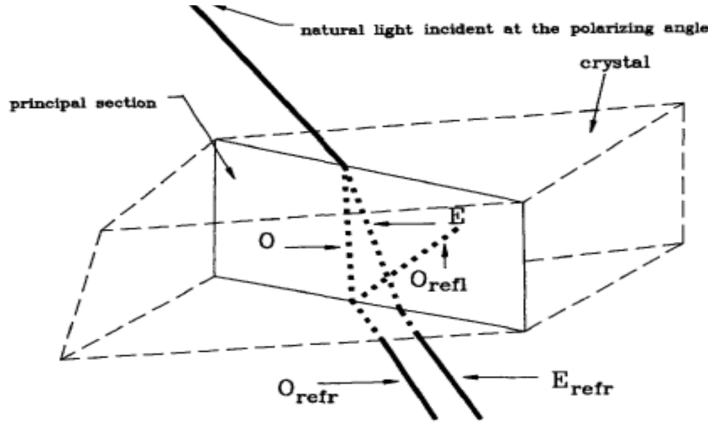
$$\tilde{\theta} = \frac{n}{\tilde{n}} (\alpha + \theta)$$

و باستخدام تقريب الزوايا الصغير للمعادلات (*), و بحذف h نجد:

$$\frac{n}{u} + \frac{\tilde{n}}{v} = \frac{\tilde{n}+n}{R}$$

2.6.11 الإنكسار المزدوج:

تنقسم البلورات ذات الإنكسار المزدوج، إلى بلورات أحادية المحور و بلورات ثنائية المحور [18]. عندما تسقط حزمة ضوئية غير مستقطبة على بلورة كالسيت أو كوارتز سيوجد إضافة إلى الحزمة المنعكسة، حزمتان منكسرتان [23] لذا سنحصل على سرعتين للأموح. كلا من O و E تصبح متساوية في اتجاه واحد يسمى المحور الضوئي. من جانب آخر يوجد في البلورات ثنائية المحور اتجاهان لا تعتمد فيهما سرعة الأمواج المستوية على اتجاه الإهتزازات الساقطة و يصنع هذان المحوران الضوئيان أحدهما مع الآخر زاوية تكون مميزة للبلورة و تتعلق إلى حد ما بالطول الموجي [18]، الشكل أدناه يوضح الإنكسار المزدوج.



الشكل (5.11): الانكسار المزدوج

1.2.6.11 معاملات انكسار البلورات أحادية المحور:

يوجد في البلورات أحادية المحور معاملات انكسار رئيسيين يعبر أحدهما عن سرعة الموجة E التي تنتشر في

اتجاه عمودي على المحور الضوئي و الآخر عن سرعة الموجة O و هما يكتبان على النحو التالي:

$$n_o = \frac{\text{السرعة في الفضاء}}{\text{سرعة الموجة } O}, \quad n_E = \frac{\text{السرعة في الفضاء}}{\text{النهاية العظمى لسرعة الموجة } E}$$

الجدول (4) يبين بعض قرائن الانكسار الرئيسية لبلورات الكالسيت و الكوارتز أحادية المحور للأطوال

الموجية [18].

العناصر	الطول الموجي بالانجستروم	الكالسيت		الكوارتز	
		n_o	n_E	n_o	n_E
AU	2000, 60	1,90303	1,57663	1,64927	1,66227
Cd	2265,03	1,8130	1,54914	1,61818	1,62992
Sn	3034, 12	1,71956	1,51366	1,57695	1,58720
Hg	4046, 56	1,68134	1,49468	1,55712	1,56671
Na	5892,90	1,56836	1,48641	1,54425	1,55336

He	7065,20	1,65720	1,48839	1,54049	1,54947
Rb	7947,63	1,64299	1,48212	1,53812	1,54792

الجدول (4): معاملات الانكسار الرئيسية لبلورات الكالسيت و الكوارتز أحادية المحور

2.2.6.11 معاملات إنكسار البلورات ثنائية المحور:

لانكسار البلورات ثنائية المحور ثلاث سرعات مستقلة عن بعضها البعض مما يؤدي إلى تناظر الإهتزازات

الموازية لكل من X، Y، Z على الترتيب لذا تكون:

$$n_a = \frac{V}{a} \quad n_b = \frac{V}{b} \quad n_c = \frac{V}{c}$$

حيث: V المسافة التي يقطعها الضوء في الفراغ خلال ثانية واحدة. أما a، b، و c فهي أنصاف محاور القطوع

الإهليلجية لصدر الموجة. الجدول (5) يعطي بعض قيم معاملات الإنكسار الرئيسية لبلورات ثنائية المحور لضوء

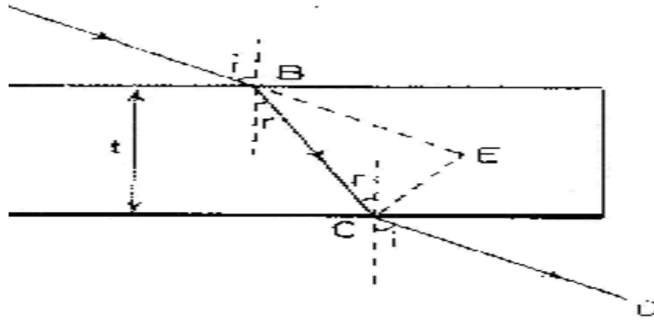
الضوءية [18].

العناصر	n_a	n_b	n_c
Araginite	1,5310	1,6820	1,6860
Lithargite	2,5120	2,6100	2,7100
Stibnite	3,1940	4,0460	4,3030
Anhydrite	1,5690	1,5750	1,6130
Sulfur	1,9500	1,0430	1,4002
Topaz	1,6190	1,6200	1,6272
Turquoise	1,5200	1,5230	1,5300

الجدول (5): بعض قيم معاملات الإنكسار الرئيسية لبلورات ثنائية المحور لضوء الصوديوم

3.6.11 الإنكسار عبر متوازي المستطيلات الزجاجي:

يُستخدم متوازي مستطيلات لدراسة انكسار الأشعة الضوئية، فإذا سقط شعاع ضوئي من الهواء على أي سطح له فسوف يعاني انكساراً في مساره، و يقترب فيه من العمود المقام عند نقطة السقوط B . عند خروج الشعاع إلى الهواء من السطح المقابل فسيُعاني إنكساراً أيضاً و يبتعد في مساره عن العمود المقام عند C نقطة خروج الشعاع من السطح ، و يكون شعاع الخروج موازاً لشعاع الدخول لكن بإزاحة عمودية على إتجاه السقوط، قيمة هذه الإزاحة المستعرضة تتعلق بعرض متوازي المستطيلات المستخدم، الشكل (6) يوضح ذلك [17].



الشكل (6.11) : الإنكسار خلال متوازي المستطيلات

يُعطى معامل الإنكسار بـ :
$$\frac{\text{العمق الحقيقي}}{\text{العمق الظاهري}} = \text{معامل الانكسار}$$

7.11 مقياس قرينة الإنكسار في المواد السائلة:

توجد عدة طرق لتعيين قرينة إنكسار السوائل نذكر منها :

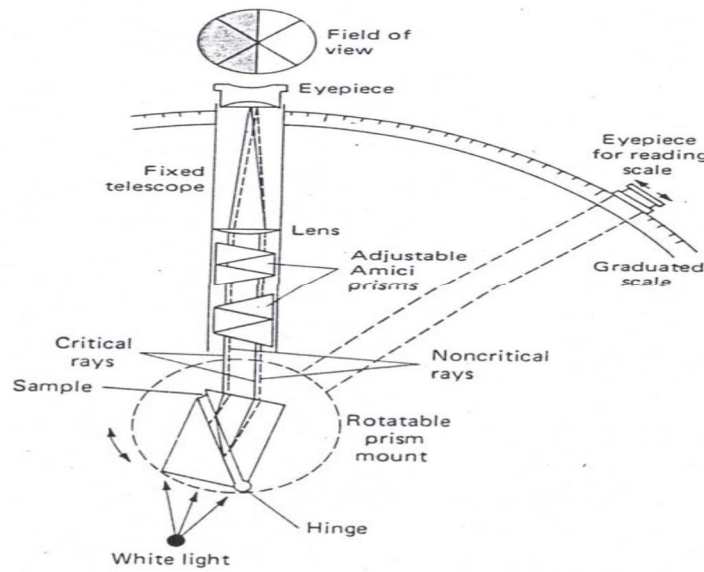
1.7.11 مقياس الإنكسار لآبي:

يُستخدم جهاز آبي في تعيين معاملات الإنكسار الضوئي في السوائل. يعتمد مبدأ عمله على فكرة الزاوية الحرجة. حيث يُرُكَّب موشور زجاجي يكون وجهه الأكبر أملساً و مصقولاً تماماً يتميز هذا الزجاج بالكثافة

الضوئية العالية و بمعامل إنكسار كبير [17]. كما تُثبت موشور آخر له خصائص الموشور الأول على مفصله بطريقة متماثلة مع سابقه، حيث يتم تحريكه بكيفية تجعل الوجهين الكبيرين في الموشورين يتواجهان و يتلاصقان في وضع العمل [19].

عند استخدام الجهاز توضع قطرة أو إثنان من السائل على الوجه الخشن للموشور الثاني ثم يُعاد إلى وضع

التثبيت كما في الشكل (7) لتحديد قيمة الزاوية الحرجة θ_c [17].



The Abbé refractometer.

الشكل (7.11): مقياس الإنكسار لآبي

في هذه الحالة ستكون زاوية إنكسار الشعاع الضوئي على الحد الفاصل بين العينة و الموشور الأول قريبة جداً

من الزاوية الحرجة بين المادتين (العينة و الزجاج) و عليه فإن:

$$\sin \theta_c = \frac{n}{n_g}$$

حيث: n قرينة انكسار العينة و n_g قرينة انكسار زجاج الموشور.

بمخرج الشعاع بزواوية θ_c فإن قرنية إنكسار الزجاج يتم تعيينه من قانون سنل، و من هندسة الشكل نستنتج قرنية انكسار آبي :

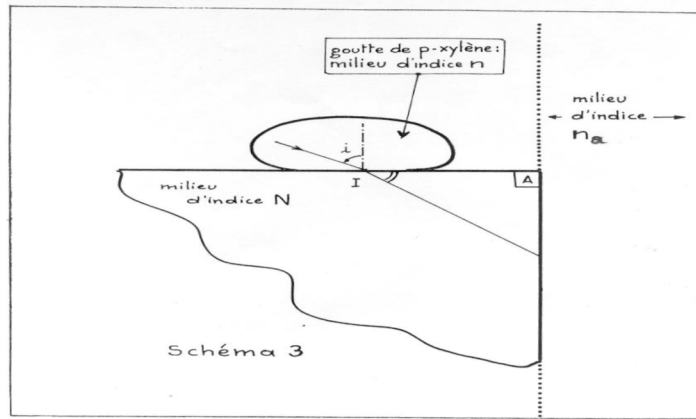
$$n_c = \frac{\sin \theta}{\sin(a + \theta_c)}$$

2.7.11 مقياس الإنكسار سائل باستخدام موشور قائم:

مبدأ عمله:

توضع قطرة من السائل المراد قياس معامل إنكساره و ليكن n' على أحد أضلع المثلث القائم لقاعدة الموشور ذو قرنية انكسار n حيث $n < n'$ كما هو مبين بالشكل (8). نستخدم شعاعاً ضوئياً وحيد اللون ليسقط مماساً للوجه الموضوع عليه القطرة فينكسر عند القطرة داخل الموشور بزواوية أكبر و هي الزواوية

المرجحة [20]:



الشكل (8.11): مقياس قرنية إنكسار سائل باستخدام موشور قائم

$$\tilde{n} = n \sin \theta_c \quad \text{لدينا:}$$

$$n \sin \left(\frac{\pi}{2} - \theta_c \right) = 1 \sin \theta_c$$

$$\tilde{n} = n \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \theta_c}{n^2}} \quad \text{إذاً:}$$

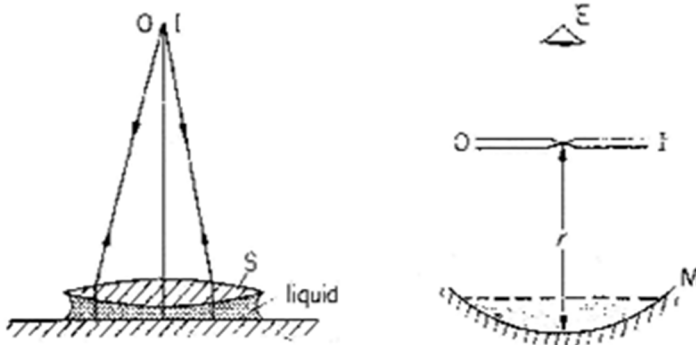
$$\tilde{n} = (n^2 - \sin^2 \theta_c)^{\frac{1}{2}} \quad \text{ومنه:}$$

3.7.11 مقياس الإنكسار سائل باستعمال مرآة مقعرة:

تُوضع مرآة مقعرة بوضع أفقي ثم يُعيَّن نصف قطر تكورها r_1 بطريقة انطباق المواضع (موضع جسم و صورته) الشكل (9) يوضح ذلك.

يُغطَّى سطح المرآة بالسائل المراد تعيين قرينة انكساره n يُعاد تعيين نصف قطر التكور r_2 من جديد. بعد ذلك يُستنتج معامل الانكسار على النحو التالي [17]:

$$n = \frac{r_1}{r_2}$$



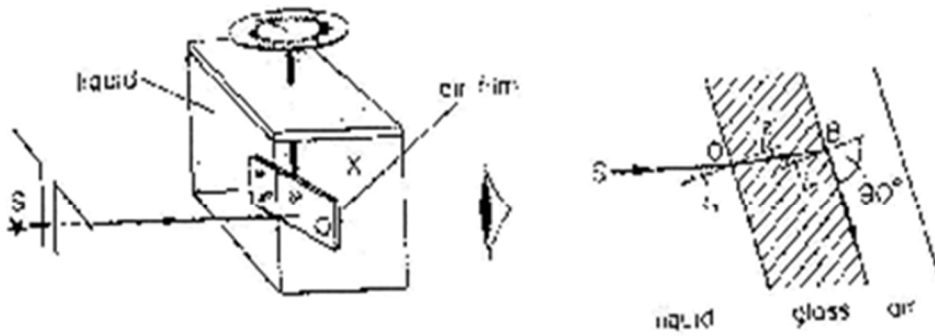
الشكل (9.11) تعيين قرينة انكسار سائل باستعمال مرآة مقعرة:

4.7.11 مقياس الانكسار السائل باستخدام جهاز الخلية الهوائية:

يُسقط شعاع من ضوء أحادي اللون في اتجاه المحور SO على الخلية، ثم تُرصد الأشعة النافذة خلال هذه الأخيرة، ومن ثمَّ إلى عين الراصد E. وإذا ما سقطت الأشعة عمودياً على سطح الخلية فإنها تنفذ إلى E أما إذا أُديرَت الخلية حول محورها الرأسي ناحية اليمين أو اليسار فإن الضوء يخفت في شدته إلى أن يختفي

فجأة في مجال الرؤية عند E؛ أي تكون زاوية السقوط هي الزاوية المرحجة الشكل (10)، عندئذ تُقاس الإزاحة الزاوية بين موضعى اختفاء الأشعة المنكسرة إلى اليمين أو اليسار و تُقسم على اثنين فتحصل على زاوية السقوط المرحج وتكن i_1 و منها نحسب قرينة انكسار السائل n بالعلاقة التالية [17].

$$n = \frac{1}{\sin r_1}$$



الشكل (10. II) تعيين معامل انكسار السائل باستخدام جهاز الخلية الهوائية

11.8. حساب قرينة الانكسار في المواد الصلبة:

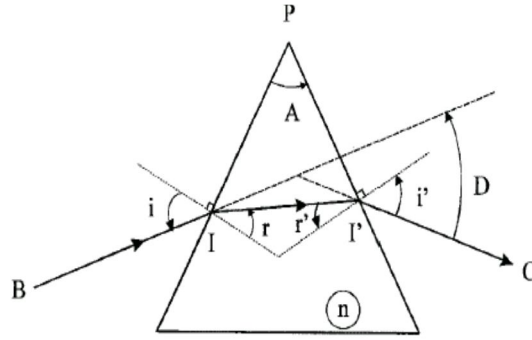
11.8. II الإنكسار في موثور:

يعتبر الموشور بأشكاله المختلفة من أكثر الأجهزة الضوئية فائدة و هو عبارة عن وسط محدود بسطحين

يصنعان زاوية A [13]، لتكن n قرينة انكساره، و لنفرض بأنه موجود في وسط له قرينة انكسار تساوي الواحد.

ليكن BC شعاع وارد يخضع لانكسارين و يبرز بانحراف زاوي قدره θ بالنسبة لاتجاه الورود. من الشكل (11)

يمكن استخلاص العلاقات التالية [21].



الشكل (11.11): الانكسار بواسطة موشور

بتتبع المسار الضوئي للشعاع الساقط والمنكسر و الخارج نجد:

$$\sin i = n \sin r \quad \text{شعاع الدخول B}$$

$$\sin i' = n \sin r' \quad \text{شعاع الخروج C}$$

الزاوية D و هي زاوية خارجة عن هذا المثلث ترتبط بكلا من زاوية السقوط وزاوية الخروج بالعلاقة:

$$D = (i - r) + (i' + r')$$

$$A = r + r'$$

$$\theta = i + i' - A \quad \text{تصبح قيمة زاوية الانحراف:}$$

العبارتان الأوليان هما ببساطة لقانون سنل المطبق على الانكسار في B.

من خلال المعادلات الثلاثة الأخيرة و المعادلة الأولى يمكننا إنشاء الشعاع لإيجاد زاوية الانحراف θ و عليه فإن:

$$\frac{d\theta}{di} = 0$$

$$\frac{d\theta}{di} = 1 + \frac{di'}{di} \quad (*)$$

ومن أجل $\frac{d\theta}{di} = 0$ ينبغي أن يكون :

$$\frac{d\tilde{i}}{di} = -1 \quad (**)$$

من المعادلتين (*) و (**) نستنتج أن:

$$\frac{d\tilde{i}}{di} = - \frac{\cos i \cos \tilde{r}}{\cos \tilde{i} \cos r}$$

من خلال ما أوردناه يمكن صياغة قرينة انكسار الموشور كما يلي:

$$n = \frac{\sin\left(\frac{A+\theta m}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$$

الجدول (6) يعطي بعض قيم قرائن الإنكسار لطيف الهيليوم بواسطة مواشير المواد الصلبة الشفافة [18].

المادة	الطول الموجي للون λ بالانجستروم					
	البنفسجي	الأزرق		الأصفر	البرتقالي	الأحمر
الزجاج الناجي	1,5380	1,5310	1,5260	1,5225	1,5216	1,5200
الصخري الخفيف	1,6040	1,5960	1,5910	1,5875	1,5867	1,5850
الكوارتز	1,5570	1,5510	1,5486	1,5438	1,5432	1,5420
الماس	2,4580	2,4439	2,4260	2,4172	2,4150	2,4100
الجليد	1,3170	1,3136	1,3110	1,3087	1,3080	1,3060
ثاني أكسيد التيتانيوم	3,3408	3,1031	2,9529	2,9180	2,8894	2,8535

9.11. مقياس قرنية الإنكسار في المواد الغازية:

تعتبر طريقة التداخل أفضل الطرق العملية لقياس قرنية انكسار الغازات، حيث يدخل الغاز بالتدريج في مسار الضوء و ذلك بالسماح له بالانسياب في أنبوبة مفرغة تمر الحزمة الضوئية فيها. لقد ابتكرت عدة صور لمقاييس الانكسار نذكر منها: مقاييس الانكسار لجامين، ماخ زيندر، و رايلي [18].

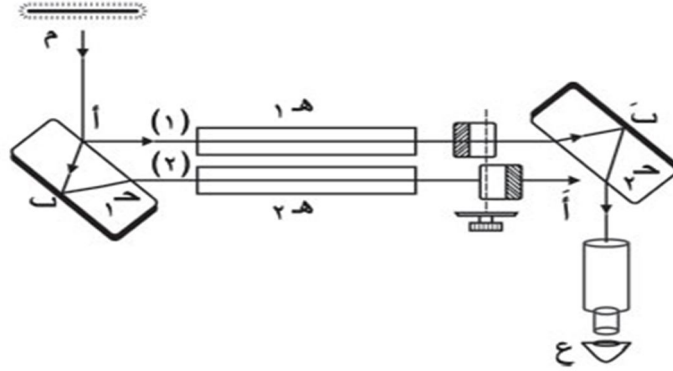
1.9.11. مقياس الإنكسار لجامين:

مبدأ العمل: في هذا الجهاز الشكل (12)، ينقسم ضوء وحيد اللون منبعث من مصدر عريض م إلى حزمتين متوازيتين ه₁، و ه₂ بفعل الانعكاس على وجهين متوازيين للوح زجاجي سميك (ا ، ب)، هذان الشعاعان يمران خلال لوح زجاجي مماثل آخر (ج ، ب)، و من خلال هذب التداخل (هدب برؤستر) يمكن تحديد قرنية الإنكسار. من الناحية التجريبية تُوضع أنبوتان متشابهتان مفرغتان ه₁، و ه₂ متساويتي الطول في مساري الحزمتين المتوازيتين و يدخل الغاز ببطء في الأنبوب ه₂.

نعدّ فرق عدد الأهداب Δm التي تعبر المجال من البداية إلى أن يصل الغاز إلى درجة الحرارة و الضغط المطلوبين عندئذٍ قرنية انكسار الغاز يُحسب بالعلاقة التالية [18].

$$(n - 1)t = (\Delta m) \lambda$$

حيث: Δm هو فرق عدد الاهداب ، t : درجة الحرارة ، λ : الطول الموجي

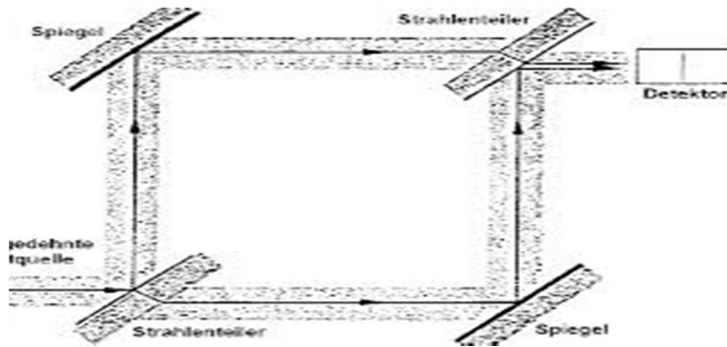


الشكل (12.11): مقياس الإنكسار لجامين

2.9.11 مقياس الإنكسار لماخ و زيندر:

مقياس الانكسار الذي ابتكره ماخ و زيندر يشبه مقياس الانكسار لجامين حيث أن مسيري الحزمتين الضوئيتين متشابه لكنهما أكثر تباعداً. أما دور القالبين الزجاجيين في جهاز جامين فيحقق بزوجين من المرايا في جهاز الانكسار لماخ و زيندر (أي أن الزوج M_1 ، M_2 يلعب دور القالب G_1 و الزوج M_3 ، M_4 يقوم بعمل القالب G_2)، سطح المرآة M_1 و M_4 نصف مفضضان، الشكل (13).

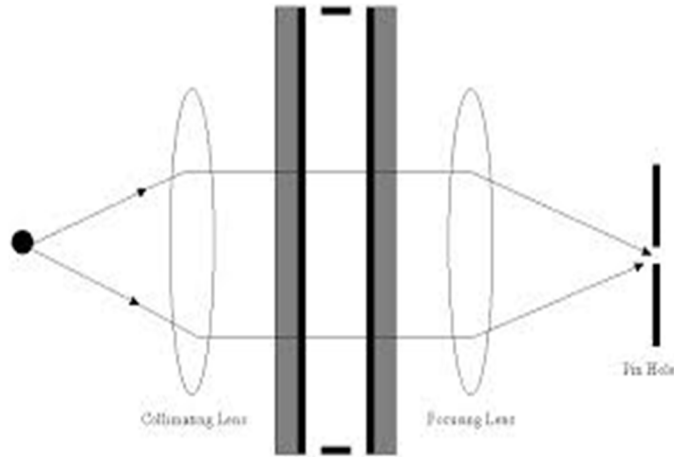
يستخدم هذا المقياس في دراسة التغيرات الطفيفة لقرينة الانكسار في مساحة كبيرة نسبياً [18].



الشكل (13.11): مقياس الانكسار لماخ و زيندر

3.9.11. مقياس الإنكسار لريلى:

مبدأ العمل: يسقط شعاع ضوء وحيد اللون منبعث من مصدر خطى بشكل حزمة متوازية على عدسة L_1 ، و بشق مزدوج واسع إلى حد كبير يُقسَم إلى حزمتين، و يمرر في أنبوبين متماثلين تماما فاللوحين المتوازيان، ثم تُجمع هاتان الحزمتان لكي تُشكل تداخلا بواسطة العدسة L_2 عندئذ تتشكل أهداب من خلالها يُستخلص معامل الانكسار، الشكل [18].



الشكل (14.11): مقياس الإنكسار لريلى

الفصل الثالث

حساب قرينة الإنكسار في البلازما

1.1.1. حساب قرينة الإنكسار في البلازما:

تُعالج البلازما ذات الكثافة المتوسطة أو أي تدفق ثابت للجسيمات باستخدام معادلات ماكسويل و الخصائص الكهرومغناطيسية للأمواج. إن اتجاه شعاع الليزر المتفاعل داخل البلازما يتعلق بقانون التشتت بداخلها حيث تُستعمل معادلات ماكسويل و معادلة الموجة لإيجاد علاقة التشتت التي تربط بين k و ω [31].

انطلاقاً من المعادلة الكهرومغناطيسية للموجة المخترقة للبلازما:

$$E(z,t) = E_0 e^{i(k_z z - \omega t)} \quad (1)$$

و انطلاقاً من معادلات ماكسويل:

$$\nabla \cdot E = 4\pi\phi \quad (2)$$

$$\nabla \times E = -\frac{1}{c} \frac{\partial B}{\partial t} \quad (3)$$

$$\nabla \times B = \frac{1}{c} \left(4\pi \vec{j} + \frac{\partial B}{\partial t} \right) \quad (4)$$

حيث ϕ : كثافة الشحنة الكهربائية، j : كثافة التيار الكهربائي

هذه العلاقات تعتبر أن: $K \cdot E = 0$ ، و بسبب التعادل الكهربائي في البلازما (الشحنة الإجمالية للبلازما

معدومة) فإن: $\phi = 0$. يمكن كتابة معادلة الانتشار للموجة كما يلي:

$$\nabla^2 E - \frac{4\pi}{c^2} \frac{\partial j}{\partial t} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = 0 \quad (5)$$

إذا كانت الموجة تنتشر في الفراغ يمكن حذف حد كثافة التيار من المعادلة أعلاه.

لأجل حل المعادلة (5) يجب الحصول على علاقة كثافة التيار في الحالات المختلفة. لوسط البلازما نعتبر عدم وجود حقول خارجية أو اصطدامات داخلها، تعطى علاقة كثافة التيار داخل البلازما بهذه الشروط بالشكل التالي:

$$j = en_i v_i - en_e v_e \quad (6)$$

n_i : الكثافة الأيونية

n_e : الكثافة الإلكترونية

بتطبيق قانون نيوتن على الجسيمات المشحونة نجد:

$$m_e \frac{dv_e}{dt} = -eE \quad (7) \quad \text{بالنسبة للإلكترونات:}$$

$$m_i \frac{dv_i}{dt} = ZeE \quad (8) \quad \text{و بالنسبة للأيونات:}$$

باشتقاق العلاقة (6) بالنسبة للزمن يكون لدينا:

$$\frac{\partial j}{\partial t} = e \left(n_i \frac{\partial v_i}{\partial t} - n_e \frac{\partial v_e}{\partial t} \right) \quad (9)$$

نعوض عن عبارتي تغير سرعة الإلكترونات و الأيونات بالنسبة للزمن من (7) و (8) في (9) فنجد:

$$\frac{\partial j}{\partial t} = e^2 \left(\frac{n_i Z}{m_i} + \frac{n_e}{m_e} \right) E \quad (10)$$

لكون كتلة الأيونات أكبر بكثير من كتلة الإلكترونات، سنهمل الحد الأول أمام الحد الثاني في المعادلة (10) وعليه ستصبح العلاقة الأخيرة من الشكل:

$$\frac{\partial j}{\partial t} = \frac{n_e e^2}{m_e} E \quad (11)$$

وبتعويض (11) في معادلة الانتشار للموجة نحصل على علاقة التشتت:

$$-K^2 - \frac{\omega_p^2}{c^2} + \frac{\omega^2}{c^2} = 0 \quad (12)$$

حيث ω_p هو توتر البلازما و له الصيغة التالية:

$$\omega_p = \sqrt{\frac{4\pi n_e e^2}{m_e}} \quad (13)$$

من خلال ما سبق يمكن كتابة قرينة الإنكسار في الوسط البلازمي كما يلي:

$$n = \frac{c}{\omega/k} = \frac{ck}{\omega} \quad (14)$$

و يمكن كتابتها أيضا من خلال علاقة التشتت كالتالي:

$$n^2 = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2} \quad (15)$$

$$\omega_p = \left(\frac{n_e e^2}{\epsilon_0 m_e} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (16) \quad \text{حيث أن:}$$

$$\omega = \left(\frac{n_c e^2}{\epsilon_0 m} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

بتعويض (16) و (17) في المعادلة (15) نجد أخيراً علاقة تربط بين قرينة الإنكسار في البلازما و كثافتها

الإلكترونية:

$$\boxed{n^2 = 1 - \frac{n_e}{n_c}} \quad (18) \quad (18)$$

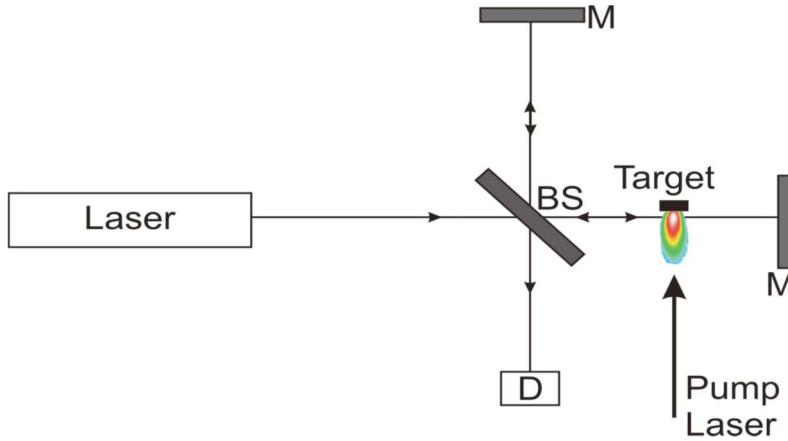
من خلال العلاقة (18) يمكننا القول أن قرينة الإنكسار البلازما ترتبط بكثافة الإلكترونات فيها، و بتحديد هذه

الأخيرة نتمكن من حساب قرينة الإنكسار .

2.111. أهم الطرق لقياس قرينة الانكسار في البلازما:

2.111.1 طريقة Michelson :

في مقياس تداخل Michelson الشكل (1) يوضح ذلك، يُستخدم ضوء الليزر He-Ne و الذي بدوره يعين معامل قرينة انكسار أحد غازات البلازما، يتجه هذا الأخير (شعاع الليزر) نحو مرآة نصف عاكسة BS ، فينقسم شعاع الضوء إلى موجتين تنتقل إحداهما إلى المرآة M_1 ، و الآخر يستمر في السير نحو المرآة M_2 و في طريقها تمر عبر منطقة الاختبار (البلازما) مرتين (أثناء الذهاب و أثناء الإياب)، يُؤمّن انقسام شعاع ضوء الليزر هذا تحالف الموجتين و تساويهما في فرق الطور في البداية (مرحلة الذهاب) ثم تندرجان في مرحلة الإياب بوجود فرق في الطور و متوجهان نحو الكاشف. و نظراً لاختلاف طول مساري الشعاعين يحدث فرق في طور الشعاعين عند الالتقاء، و يعين هذا الفرق في طور الشعاعين من شكل صورة التداخل الناتجة، و لكون الشعاع الأصلي ذاً طول موجة مختلف فإنه يحدث تغير في الطور بينهما يعني هذا تشخيص لشيء قد حدث خلال مساري الشعاعين و أدى إلى هذا الفرق عند الالتقاء؛ قد ينشأ هذا الفرق من اختلاف في طول المسارين (يمكن تجنب هذه الوضعية عملياً بوضع المرأتان على نفس البعد) كما قد يُفسر حدوث فرق الطور بين الشعاعين بوجود تغير في معامل الانكسار على مسار أحدهما بسبب وجود مادة مختلفة و هي البلازما [24].

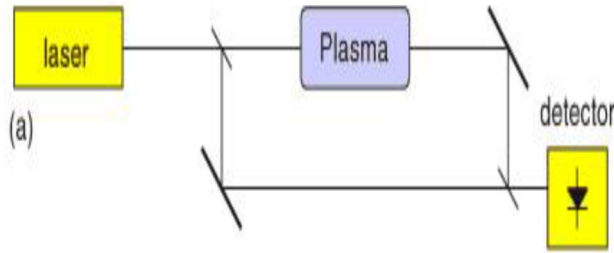


شكل (1): تداخل Michelson لقياس قرينة الانكسار في البلازما

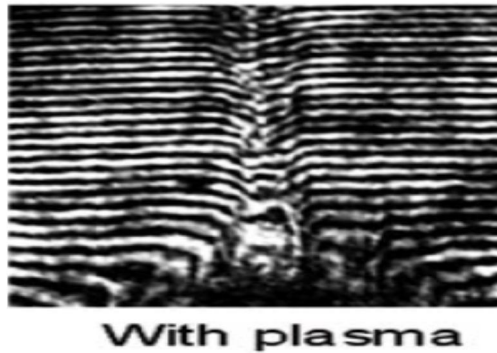
2.2.111 طريقة Mach-Zehnder:

تستند هذه التقنية على انتشار الأمواج الكهرومغناطيسية في البلازما الباردة و ذلك باستخدام علاقة تشتت الأمواج لحساب كثافة البلازما المتأينة، و يدخل في معظمها تردد الموجة و تردد البلازما و تردد الإصطدام [29]، كما أنها تعتمد على التداخل من خلال مرور الأشعة الليزرية في الوسط البلازمي؛ حيث ينقسم الشعاع الليزري إلى حزمتين متعامدتين بواسطة مرآة نصف عاكسة أحدهما يمر في الوسط البلازمي مباشرة (مرة واحدة) و الآخر يمر في وسط من الفراغ و يلتقيان عند كاشف مناسب فيحقق الشعاعان تداخلاً مشكلين فرق في الطور [25].

الشكل التالي يمثل تداخل Mach-Zehnder لقياس قرينة الانكسار في التبادل البلازمي.



الشكل (2): تداخل Mach-Zehnder لقياس قرينة انكسار البلازما



الشكل (3): يمثل صورة حقيقية لتداخل الأمواج لضوء الليزر المار داخل البلازما

من أجل بلازما بدون تصادمات و دون وجود حقل مغناطيسي، أو أن يكون الحقل الكهربائي للموجة يوازي شعاع الحقل المغناطيسي لها فإن تشتت البلازما الباردة يعطى بالعلاقة التالية:

$$\omega = \omega_p^2 + k^2 c^2 \quad (19)$$

حيث: ω_p توتر البلازما و k العدد الموجي

باعتبار البلازما تتشكل من إلكترونات حرة و جزيئات ثقيلة و أيونات نعتبرها ساكنة يمكن كتابة عبارة قرينة الانكسار لها كما يلي [27.26].

$$(n - 1) = (n - 1)_e + (n - 1)_i + (n - 1)_m \quad (20)$$

حيث أن:

$$(n - 1)_e = -\frac{e^2 \lambda^2 N_e}{2\pi m_e c^2} = -4.46 \times 10^{-14} \lambda^2 N_e \quad ([\lambda] = \text{cm}, [N_e] = \text{cm}^{-3})$$

$$(n - 1)_i = \eta \frac{1}{L} \left(A + \frac{B}{\lambda^2} \right) N_i$$

$$(n - 1)_m = \frac{1}{L} \left(A + \frac{B}{\lambda^2} \right) N_m$$

وبإهمال قرينة انكسار الأنوية و الجزيئات فإن قرينة انكسار البلازما ستأخذ الشكل التالي:

$$(n - 1) = (n - 1)_e \approx -\frac{1}{2} \frac{n_e}{n_c} \quad (21)$$

حيث:

n_c : كثافة الحرجة n_e : كثافة الإلكترونات في البلازما

إذا اعتبرنا التداخل في بعد واحد في بلازما ذات سمك ثابت (حيث تردد موجة الليزر أكبر بكثير من تردد البلازما) فإن عبارة فرق الطور للموجتين بين المسار في البلازما و المسار في الفراغ بدلالة قرينة الانكسار ستأخذ الصيغة التالية:

$$\Delta\phi = (n - 1) \frac{2\pi L}{\lambda} \quad (22)$$

الجدول (1) يمثل أنواع مصدر الليزر المستعمل و أطوال الأمواج و كثافة البلازما الواجب استعمالها [25].

Source	Wavelength λ	Frequency f	Cut-off-density $n_{co} (m^{-3})$
Microwave	3 cm	10 GHz	1.2×10^{18}
	8 mm	37 GHz	1.7×10^{19}
	4 mm	75 GHz	7.0×10^{19}
HCN-laser	337 μm	890 GHz	9.8×10^{21}
CO ₂ laser	10.6 μm	28 THz	9.9×10^{24}
He-Ne laser	3.39 μm	88 THz	9.7×10^{25}
	0.633 μm	474 THz	2.8×10^{27}

الجدول (2) يمثل الكواشف المناسبة لمختلف أنواع مصادر الليزر المستعمل [28].

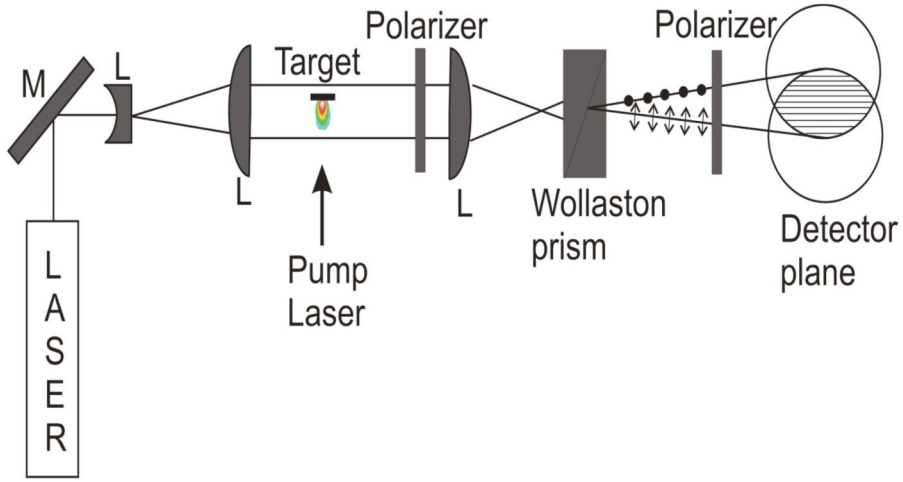
Available laser sources $\lambda \sim 3 \div 400 \mu\text{m}$ (MIR \div FIR)

Spectral Range	Laser Source	λ (μm)	Power (mW)	Detector
MIR	He-Ne	3.39	1-10	InAs
				InAs
	CO	5.4	1-2 (W)	InSb HgCdTe
				HgCdTe
	CO ₂	10.6	1-100 (W)	HgCdTe
				HgCdTe
FIR	CH ₃ OD	47-57	0.1-0.5W	
	CH ₃ OH	119	0.1-0.5W	DLATGS(deuterated L-alanine doped triglycine sulphate)
	CH ₂ F ₂	185	0.1-0.5W	
	DCN	195	0.1-1W	InSb He-cooled
	HCN	337	0.1-1W	
	HCOOH	433	0.1-1W	

3.2.111. طريقة Nomarski:

يعتمد أساساً على موشور ولاستون لتقسيم أشعة الليزر. يُستخدم عموماً من أجل التداخل حيث تنفذ منه أشعة الليزر بفرق في الطور يمكن من خلاله حساب كثافة البلازما و قرينة الانكسار لها.

تجريبياً يمر ضوء شعاع الليزر على مستقطب وفق اتجاه مسارات مختلفة، ثم يوجه منه شعاعان أحدهما يمر على البلازما و الآخر في الفراغ، و من ثم تمر جميع الأشعة على مستقطب ثاني يؤدي إلى جمعها لتتوجه مباشرة نحو موشور ولاستون، لتخرج منه نحو كاشف مناسب يعطي صورة للتداخل بها أهدب مضيئة و مظلمة ، بينهما فرق في الطور. جميع هذه المراحل مبينة في الشكل (4) [24، 30].



شكل (4): تداخل Nomarski لقياس قرينة الانكسار في البلازما

فرق الطور في هذا النموذج يُعطى بالعلاقة التالية:

$$\Delta\phi = \frac{2\pi L}{\lambda} (n - 1) \quad (23)$$

خاتمة عامة

خاتمة العامة

تعتبر قرينة الانكسار أحد أهم مقادير و خصائص الوسط البلازمي، من خلالها يمكن التعرف على مميزات هذا الوسط، يمكن حساب من قرينة الانكسار خلال المعادلة الكهرومغناطيسية للموجة و معادلة انتشارها الناتجة من معادلات ماكسويل، كما يمكن تحديدها من خلال حساب الفرق في الطور بين أهداب التداخل لضوء الليزر النافذ داخل الوسط البلازمي.

في هذه المذكرة عرضنا بشكل وجيز هذا المقدار المهم (قرينة الانكسار) من خلال تعريفها في الأوساط المختلفة للحالة الفيزيائية، بما فيها الوسط البلازمي الذي نجحنا عليه من خلال التطرق للقوانين و المعادلات التي تحكم هذا الوسط، و إرفاق الدراسة النظرية بعدة طرق تجريبية مختلفة لقياس قرينة الانكسار مع شرح كل طريقة.

قائمة المراجع

- [1] إبراهيم محمد علي الجوادي علا الدين عبد الله النعيمي و قاسم محمود علي، الفيزياء التطبيقية الحديثة ، دار الجيل للنشر و الطباعة و التوزيع، بيروت، الطبعة الثانية 2005 .
- [2] وليد مصطفى صهيوني ، مقدمة في فيزياء البلازما ، يونيو 2006 ، سلطنة عمان.
- [3] إسماعيل شبحي، حساب دوال توزيع الحقل الكهربائي الموضوعي ومشتقاتها داخلا لبلازما باستخدام المحاكاة العددية مونتي كارلو تطبيق على طيف الهليوم ، رسالة دكتوراه دولة ، جامعة منتوري ، 2005 قسنطينة
- [4] قريشة سليمة، مساهمة في دراسة توزيعات المشتقات الفضائية للحقول الكهربائية الموضوعية في البلازما ، رسالة ماجستير ، جامعة قاصدي مرياح، 2008 ورقة
- [5] سهيلة عسكري، حساب دوال توزيع مشتقات الحقول الموضوعية وتطبيق على طيف الهليوم ، رسالة ماجستير، المركز الجامعي بالوادي ، 2011.
- [6] عبيد سعيدة، دراسة في ثلاثة ابعاد للمقادير الكهربائية في جهاز الرش المهبطي المغنطوني باستعمال طريقة الحجوم المنتهية، رسالة ماجستير ، جامعة قاصدي مرياح، 2012 ورقة .
- [7] قريشة سليمة، إستخدام نموذج الجسيمات المستقلة لحساب دوال توزيع المشتقات الفضائية للحقل الكهربائي الأيوني الموضوعي في البلازما ، أطروحة دكتوراه ، جامعة قاصدي مرياح، 2013 ورقة.
- [8] محاضرات الدكتور إبراهيم سعد الله في فيزياء البلازما السنة الأولى ماستر 2012، جامعة الوادي.
- [9] ليلي بوراس، " دراسة تأثير معاملات شبكة براغ المنظمة على تحسين الانتقائية الطيفية في الموجهات الضوئية المدججة" مذكرة ماجستير، جامعة قاصدي مرياح 2006 ورقة.
- [10] العبادي، "دراسة تأثير أشعة كاما على بعض الخواص الفيزيائية للبوليستارين" رسالة ماجستير، جامعة بغداد، (1995) كلية التربية الثانية.

- [11] زقو سمية، " دراسة أثر التحزيم على كابل الالياف البصرية الناقلة للإشعاع الشمسي المركز في المجال المرئي"، مذكرة ماجستير، جامعة قاصدي مرياح ورقلة،
- [12] الدكتور طاهر تيردار، كتاب الضوء الهندسي ، ديوان المطبوعات الجامعية بن عكنون الجزائر
- [13] كتاب الفيزياء الحديثة للجامعات (الجزء الثاني . الضوء و الإشعاع) ترجمة : عبد الرزاق قدورة ، وجبة السمان ، أحمد محمود الحصري .
- [14] د. عدنان محاسب جمار أبو النعاج الضوء الهندسي (الحرارة وتطابقتها) الفيزياء (1)
- [15] الفيزياء العامة (الجزء الثاني . الحقول والأمواج) ترجمة بوجانة عاشور الطبعة الثانية 1989
- [16] د .يحيى مصطفى سليمان , كتاب الضوء الهندسي و ط 1 جامعة تشرين , عام 1984
- [17] د. سعود بن حميد اللحياني، كتاب البصريات، من جامعة أم القرى.
- [18] فرانسيس أجينكنيز . هارفي إهوايت، كتاب أساسيات البصريات، دار ماكجروهيل للنشر.
- [19] أ.د. فريد رفيق زقوت، " إستخدام الأجهزة المخبرية وصيانتها"، جامعة الأزهر بغزة، فبراير 2009
- [20] حمدي محمد أبو العلا كتاب الضوء الهندسي.

[21] OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE Université Bordeaux 2006/2007 .

[22] Al-Bermany A. (2004) "Study of Gamma effect on some physical properties for - xanthan cellulose polymer" M.Sc. thesis, science college, Babylon University.

[23] Buchwald (1989), Chaps 1,2 page 44.

[24] Harilal S. S. and M. S. Tillack. Laser plasma density measurements using interferometry. University of California, San Diego.

[25] Plasma physics ,An Introduction to Laboratory ,Space and Fusion Plasmas.

[26] Investigation of first and second ionization on optical properties of atmospheric plasmas Optics Communications 285 (2012) 453–458.

[27] A uniform description of the gas and plasma flow fields' refractive index Optics Communications 283 (2010) 4214–4218.

[28] Giudicotti L. 2010 Interferometry .Consorzio RFX, Associazione EURATOM-ENEA sulla Fusione, Corso Stati Uniti 4, 35127 Padova,Italy.

[29] Heald, M.A. and Wharton, C.B. (1965). Plasma diagnostics with microwaves, Wiley, New York.

[30] Friedrich-Schiller-1987 Investigation of a Z-pinch plasma as waveguide for laser-wakefield acceleration. Universität Jena

Physikalisch-Astronomische Fakultät submitted by.

[31] Copyright by Parrish Clawson Brady 2008.

ملخص:

تعتبر قرينة الإنكسار أحد أهم مقادير و خصائص وسط البلازما، لقد تمكنا من حساب قرينة الانكسار من خلال المعادلة الكهرومغناطيسية للموجة و معادلة انتشارها الناتجة من معادلات ماكسويل، كما تعرفنا على بعض طرق لحسابها؛ عرضنا طريقة Michelson، طريقة Mach-Zehnder، و طريقة Nomarski، حيث يمكن تحديدها من خلال حساب الفرق في الطور بين أهداب التداخل لضوء الليزر النافذ داخل وسط البلازما، لقد تبين لنا من خلال هذه النماذج أن قرينة الإنكسار تتعلق بتركيز الإلكترونات والأيونات و الفرق في الطور و نوع البلازما المستخدمة و الكاشف المستعمل.

Abstract :

The refractive index is considered one of the most important properties of a plasma medium. We were able to calculate the refractive index through the electromagnetic equation of the wave and the equation of propagation resulting from Maxwell's equations. We also dealt with some models to perform these calculations: Michelson's method, the method of Mach-Zehnder, and that of Nomarski which can be determined by calculating the phase difference between interference fringes of a laser light passing through a plasma medium. We show using these models that the refractive index is related to the concentration of electrons and ions, the phase difference, the type of plasma used and the detector type.

Keywords : plasma, refractive index, Michelson model, Mach-Zehnder model, Nomarski model....