

## تصميم وتصنيع مطياف (تشيرني - تيرنر) والية تقليل الزيغ الكروي للمطياف

رائد احمد نوري الوزان

ياسر عبد الجواد الجوادي

اثيل مازن محمد الاغا

مركز التطوير والبحث/ شركة اندور التكنولوجية/  
بلفاست/ المملكة المتحدة

قسم الفيزياء/ جامعة الموصل/ كلية العلوم

p-ISSN: 1608-9391

e-ISSN: 2664-2786

### Article information

Received: 10/ 6/ 2022

Accepted: 17/ 7/ 2022

DOI:

10.33899/rjs.2022.176076

### corresponding author:

اثيل مازن محمد الاغا

[atheel.20scpl@student.uomosul.edu.iq](mailto:atheel.20scpl@student.uomosul.edu.iq)

ياسر عبد الجواد الجوادي

[yasseraljwaady@uomosul.edu.iq](mailto:yasseraljwaady@uomosul.edu.iq)

رائد احمد نوري الوزان

[raiedalwazzan@gmail.com](mailto:raiedalwazzan@gmail.com)

### الملخص

يعد الفحص الطيفي للمعلومات الفيزيائية للبلازما وغيرها من المصادر المضيئة إحدى تقنيات التشخيص الأولية من أجل فهم أفضل للأنظمة الحقيقية. تستخدم التحولات الذرية ذات الأطوال الموجية الضوئية بانتظام كمؤشرات لمعلومات البلازما مثل درجة الحرارة والكثافة في مجموعة متنوعة من أجهزة البلازما. تؤدي احتياجات دراستنا الحالية في فيزياء البلازما إلى تصميم وبناء مقياس طيف ضوئي فعال. ان تقنية الانبعاث الطيف البصري من اهم التقنيات لتحديد درجة حرارة الإلكترون وكثافته. تم العمل في هذا البحث على تصميم وتصنيع مطياف من نوع (تشيرني - تيرنر) مصنع محليا ويتميز بكلفته القليلة. ان التحكم بالحركة الدقيقة للمحز من خلال استخدام مايكرومتر يدوي. تم استخدام مرأتان مقعرتان الأولى ذات بعد بؤري مقداه (15.375 cm) والمرأة الثانية ذات بعد بؤري مقداه (16.825 cm) مصنوعتان من مادة الكوارتز و تم معالجة الزيغ الكروي بواسطة جعل زاوية السقوط وزاوية الحيود اقل ما يمكن. تم تركيز مدخل الضوء في المطياف ومعايرة موقع المرايا مع حركة محزز الحيود لمسح الاطوال الموجية وتحليل الضوء الى مكوناته الاصلية حيث تم معايرة مواقع المرايا مع محزز الحيود الى موقع الكاميرا أولا بطريقة يدوية باستعمال ضوء ليزر احمر اللون ذات طول موجي (650nm) وثانيا باستخدام كاميرا (CCD) لتحديد موقع الصورة النهائية.

الكلمات الدالة: مطياف، الزيغ الكروي، العدد البؤري.

### المقدمة

أن أول إشارة إلى التحليل الطيفي البصري لدينا في العصر الحديث هي ظاهرة الألوان في البصريات هو (إسحاق نيوتن) والتي يصف فيها تجاربه الشهيرة مع الموشور وعمود ضوء الشمس القادم من خلال الفتحة الموجودة في مصراع النافذة. كان هناك الكثير من التخمين الفلسفي في ذلك الوقت، حيث عمل (ويليام هايد ولأستون) (1766-1828) لاستخدام عدسة لتركيز صور شق ضيق مضاء بضوء الشمس من خلال موشور على شاشة يبدو أن (ولأستون) قد لاحظ الخطوط المظلمة عبر الطيف المستعرض لاتجاه التشنت لكنه نسبها إلى التقسيمات بين الألوان. قد يُغفر له ذلك، لأنه باستخدام عدسة واحدة كان القرار الطيفي مثير للسخرية. في نفس الوقت تقريباً اكتشف ويليام هيرشل (1738-1822) الأشعة تحت الحمراء من خلال ارتفاع درجة حرارة لمبة مقياس الحرارة عندما أمسكها خلف الجزء الأحمر من الطيف في مطيافه (James, 2007).

يعتبر مقياس طيف (تشييرني \_ تيرنر) شائعاً كأداة مستخدمة لقياس شدة الإشعاع الذي تم تصويره عبر بُعد مكاني واحد. تم استخدام تصميمات حديثة تتميز بشبكة ثابتة وكاشف ثنائي الأبعاد. حيث يُقترح ترتيب مطياف (تشييرني \_ تيرنر) غير المتماثل المعدل مع محزوز مستوي ثابت لتصحيح الانحرافات على منطقة طيفية واسعة من خلال التحليل واعتماد تصحيح الانحراف لأطوال موجية مختلفة. حيث تم مقارنة أداء ترتيب هذا المطياف مع أداء ترتيب مطياف (تشييرني \_ تيرنر) الحالي الذي يستخدم محزوز حيود متحرك لمقياس الطيف وكانت النتائج مقبولة (Xue et al., 2009).

ان مطيافاً صغيراً ومنخفض التكلفة من تشييرني - تيرنر قادر على العمل في نطاق طيفي من حوالي (350-900) نانومتر. اذ يتم استخدام مجموعة محرك الجيب لخطي مقياس الطول الموجي وان حل مشكلة معايرة الطول الموجي. حيث تكون المعايرة باستخدام مصادر الضوء ذات خطوط انبعاث الطول الموجي المعروفة وطريقة ملائمة متعددة الحدود لإيجاد العلاقة بين أطوال موجات الحيود وأرقام البكسل. كان (FWHM 0.1 nm) للعرض الكامل في نصف كحد أقصى عند عرض فتحة المدخل التي كان مقدارها 170 مايكرومتر متطورة بما يكفي للعمل بشكل جيد في مختبر الأبحاث لكنها بسيطة وغير مكلفة بما يكفي لتكون في متناول الاستخدام التعليمي (Mohammadi et al., 2010).

ان اهم المشاكل التي تواجه المطياف هي الاستجماتزم حيث يتم حل هذه المشكلة بواسطة التصميم تم الكشف عن تصميم بصري منخفض التكلفة، ونطاق عريض ومطياف عملي مصحح للإستجماتزم. حيث تم استخدام عدسة أسطوانية جاهزة لإزالة اللابورية على النطاق الترددي الكامل. أظهرت النتائج أنه تم تحقيق دقة طيفية أفضل من 0.1 نانومتر وأكثر من 50% معدل نقل عبر عرض نطاق 400 نانومتر متمركز عند 800 نانومتر (Lee et al., 2010).

يتم إنشاء مطياف (تشييرني \_ تيرنر) المتقاطع الخالي من الإستجماتزم باستخدام برنامج (ZEMAX) ثم يتم تحسين الهيكل للأنظمة البصرية لهذا المطياف المتقاطع، حيث تبين أن مطياف (تشييرني \_ تيرنر) الخالي من الإستجماتزم لديه أداء بصري فائق. يشير هذا إلى أن هذا المطياف لا يمتلك فقط تركيزاً أفضل للطاقة على طول اتجاه الشق وهو أمر مفيد لمقاييس الطيف التي تتطلب سعة مكثف أكبر ولكن أيضاً قطر بقعة أصغر على طول الاتجاه العمودي للشق مما يدل على تحقيق دقة طيف أفضل (An et al., 2013).

تم البحث عن تصميم مطياف التصوير عالي الكفاءة باستخدام محزوز مستوي ومنخفض التكلفة. من أجل تصحيح الانحرافات جيداً ووفقاً لتوجيهات نظرية الانحراف، يُقترح تعديل نظام مطياف (تشييرني \_ تيرنر) باستخدام عدسات الإمالة المدمجة حيث يظهر التصميم الجديد لمقياس طيف التصوير بالأشعة تحت الحمراء للموجة القصيرة الذي يعمل بين أطوال موجية تتراوح من (1 إلى 2.5) مايكرومتر. يتم تصحيح الانحرافات بشكل جيد وأداء وظيفة تحويل التعديل (MTF) هو نفس أداء أنظمة حواجز شبكية محدبة. من الواضح أن مزايا التصميم المقترح باستخدام محزوز مستوية هي أن كفاءة الانعراج مرتفعة بينما التكلفة منخفضة جداً (Zhong et al., 2015).

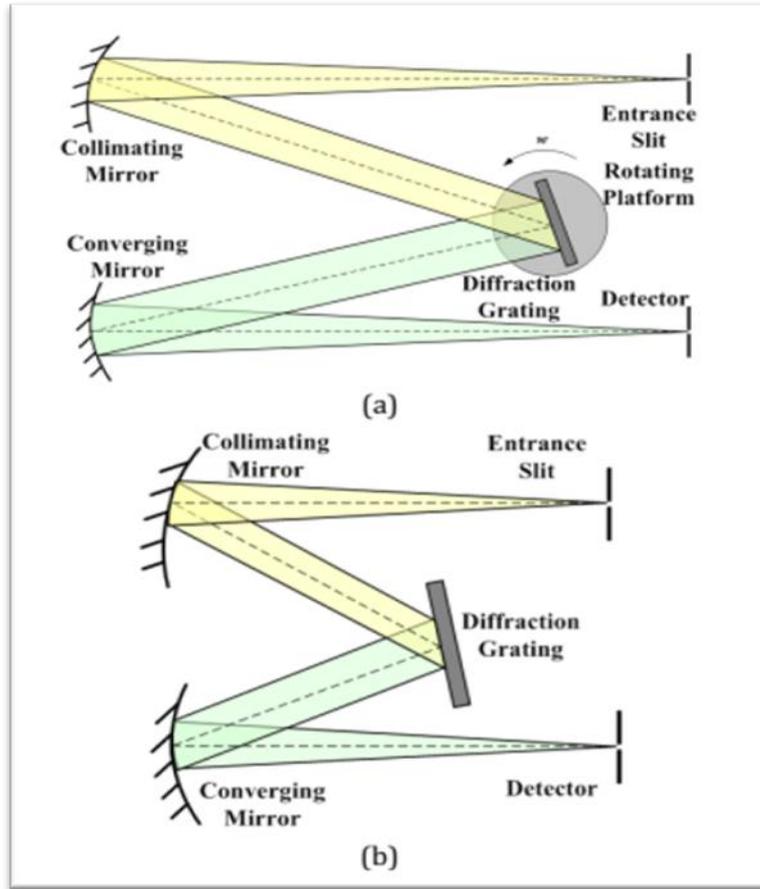
يتم تطوير تصاميم المطياف من خلال التصميم الهندسي وكذلك حركة المحرز او جعل المرايا متحركة تشير الدراسة إلى وجود مطياف (تشيروني \_ تيرنر) المتقاطع مع مرايا متعددة لتوسيع الطيف الذي يتم فحصه. يكون التصميم مع مرأتين متحركتين ومرآة مستوية ثابتة تم إثباته تجريبياً لتقديم نطاق طيفيين إضافيين، مما يؤدي إلى ثلاثة أضعاف النطاق الطيفي لمقياس طيف (تشيروني \_ تيرنر) الأصلي. الاتجاه المتحرك للمرآة المستوية ومستوى السقوط متعامدين وبالتالي تأثير يتم تقليل حركة المرآة على تكرار الطيف بالإضافة إلى مزايا الفعالية من حيث التكلفة والفحص السريع. يتم تطبيق آلية حركة المرآة المبلغ عنها بالإضافة إلى مزايا الفعالية من حيث التكلفة والتفتيش السريع ويتم تطبيق آلية حركة المرآة المبلغ عنها على مقياس الطيف العامة لتوسيع التغطية الطيفية دون التضحية بالدقة (Sze et al., 2018).

ان اختراع جهاز اقتران الشحنات (Charge-Coupled-Device) (CCD) في عام 1969 من قبل (جورج سميث وويلارد بويل) حيث تطورت الابتكارات الإضافية في مطياف التصوير حيث كانت للتطورات الهائلة في تقنية كاشف CCD اثر كبير على تصاميم المطياف وكذلك سرعة ودقة القياس. يفشل مقياس الطيف الحديث من نوع (تشيروني \_ تيرنر) الذي يمكن القول إنه الأداة الأكثر استخداماً في التحليل الطيفي البصري في ثلثية الاحتياجات المتزايدة التي يطلبها باحثو اليوم فلا بد من إضافة تصاميم جديدة وزيادة حجم المطياف لكي يكون أكثر فاعلية. يرتبط أداء التصوير في مطياف نوع (تشيروني \_ تيرنر) بمدى نجاحه في تشتيت الطيف ومدى إمكانية حل نقاط المصدر الموجودة عمودياً على طول مستوى الشق مكانياً. التحليل الطيفي متعدد القنوات والتصوير الفائق الطيفي وتقنيات التصوير الطيفي واسع المجال (McClure, 2014).

يتم تقديم دراسة لاستبانة الطيف ومدى الطول الموجي والانحراف الأولي لمطياف (تشيروني \_ تيرنر) غير المتماثل المتقاطع من خلال استنتاج العلاقة بينها وبين المعلمات الهيكلية للمقياس الطيفي بطريقة جديدة في التفكير تعتمد على نماذج هندسية بسيطة ولكنها فعالة. يتم التحقق من التحليل في تجربة ومحاكاة أجريت على برنامج التصميم البصري (ZEMAX) والنتائج التي يتم الحصول عليها تتفق مع التحليل. بسبب التحليل تم إعطاء المعلمات الأولية المصممة لمقياس الطيف ثم تحسينها بواسطة (ZEMAX) بتعليمات الدراسة، تم إجراء تعديل بسيط في المحاذاة الفعلية للحصول على مقياس الطيف النهائي المطلوب.

قام مقياس الطيف بقياس القمم المميزة الأربعة الأخيرة من طيف رامان CCL4 بنجاح، مما يوضح توفر إرشادات مهمة لتصميم ومحاذاة مقياس طيف (تشيروني \_ تيرنر) غير المتماثل المتقاطع (Tang et al., 2015).

يتميز مقياس طيف (تشيروني \_ تيرنر) بانحرافات كبيرة ناتجة عن المرايا الكروية خارج المحور يصعب تصحيحها خارج المحور مما يؤثر على جودة التصوير بمقياس الطيف ويحد من تطبيقه في مجال التحليل. يتم اقتراح طريقة للتخلص من الانحرافات المنهجية بتكلفة منخفضة لمقياس طيف (تشيروني \_ تيرنر) عالية الدقة. إنه يصحح الانحرافات عند الطول الموجي لمركز المسح بواسطة معادلة Shafer ويقلل من الانحرافات على مدى طيفي واسع ويصحح انحناء المجال عن طريق تحسين موضع الخطوط النقطية. إنه يصحح الإستجماتزم عند الطول الموجي لمركز المسح عن طريق إضافة عدسة أسطوانية بين المرآة المتقاربة وكاميرة CCD ويمنع الإستجماتزم على النطاق الطيفي الواسع عن طريق ضبط الزاوية النسبية بين العدسة الأسطوانية ومستوى الصورة. إنه يحسن جودة الصورة ودقة مقياس الطيف التقليدي كما في الشكل (1). يتم تطوير أداة على أساس الطريقة المقترحة تشير تحليلات المحاكاة والنتائج التجريبية إلى أن الطريقة المقترحة يمكن أن تثبت بشكل كبير انحراف مقياس الطيف وتضغط عرض البقعة بنسبة (91.4%) وتصل إلى دقة (0.0192) نانومتر هو أعلى بنسبة (15.8%) من مقياس الطيف غير المعدل (Li et al., 2020).

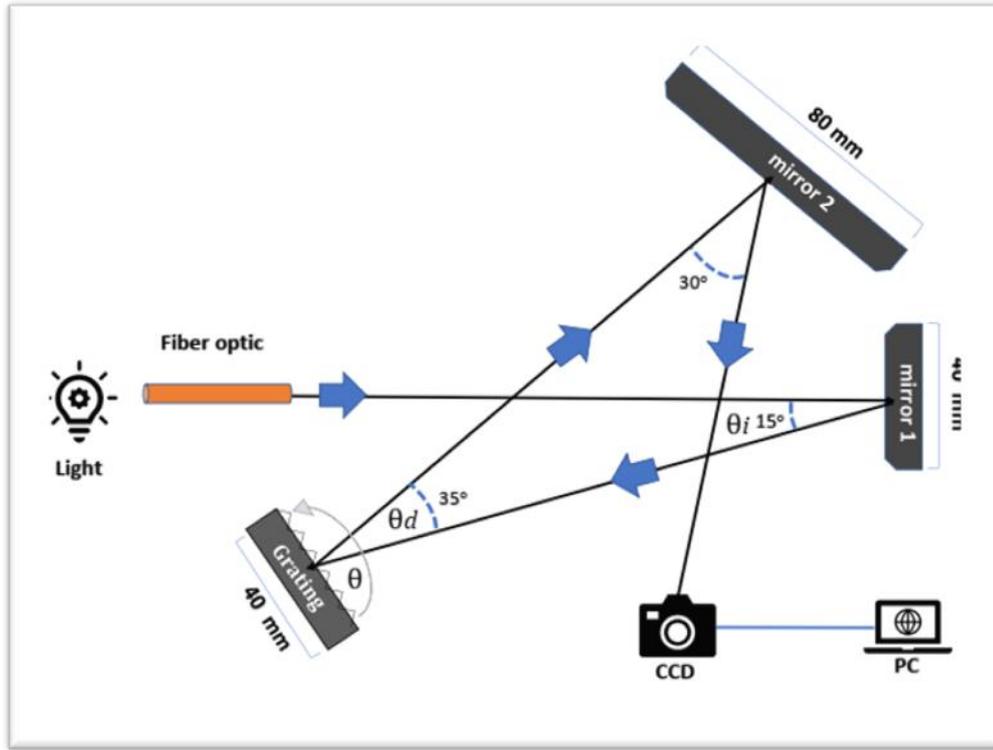


الشكل 1: رسم تخطيطي بصري (a) مطياف تشيرني \_ تيرنر عالي الدقة (b) مطياف تشيرني \_ تيرنر التقليدي ( Li et al., 2020 )

#### المواد والأساليب البحثية:

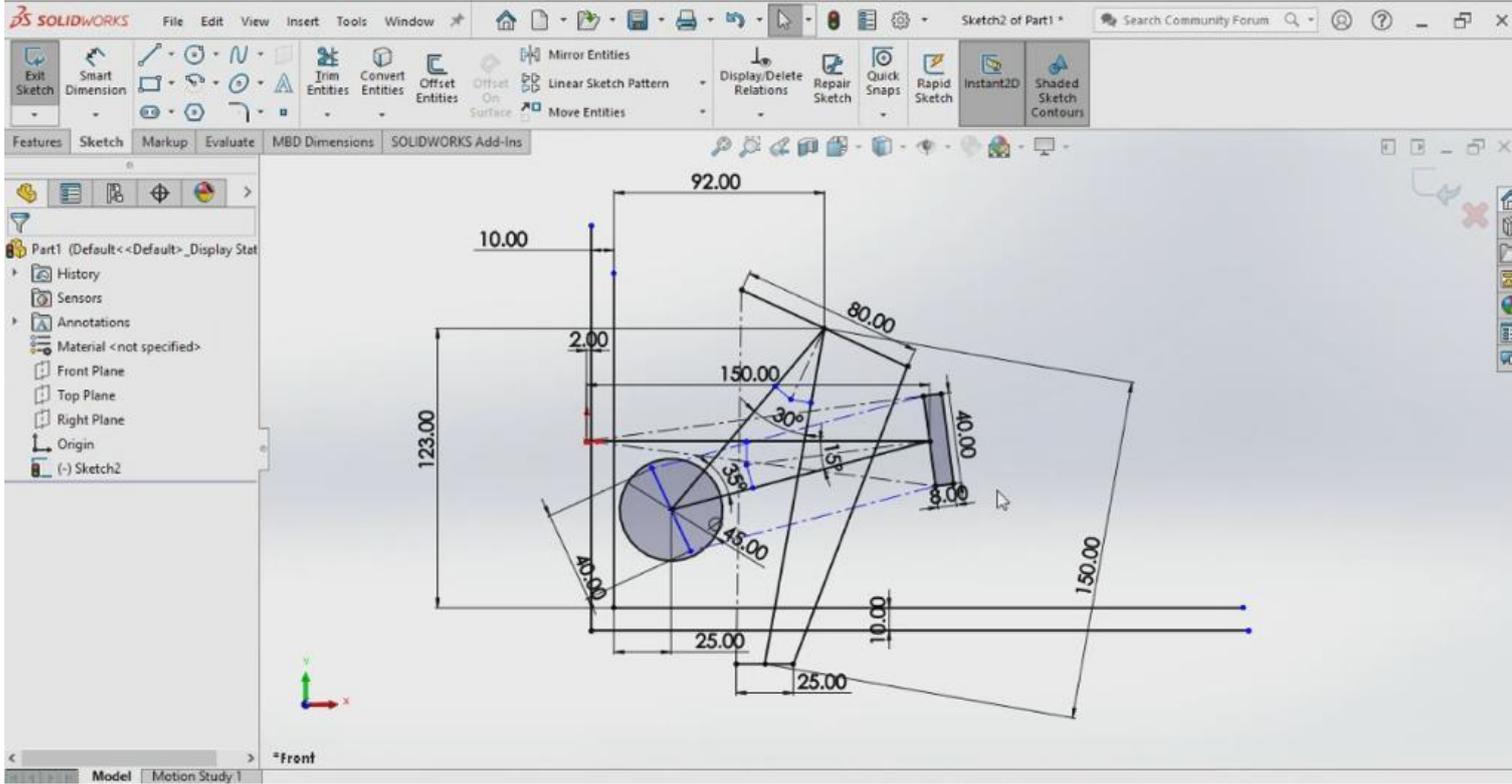
الشكل (2) يوضح المخطط التفصيلي لتصميم المطياف من نوع (تشيرني \_ تيرنر) حيث تم تصميم البعد البؤري للمطياف (150mm). تم استخدام برنامج (solid work) كما في الشكل (3) هو تطبيق يستخدم للتصميم الميكانيكي حيث يتيح للمصممين رسم الأفكار بسرعة وتجربة الميزات والأبعاد والإنتاج والنماذج والرسومات التفصيلية. تم تصميم الصندوق الخارجي من مادة الالمنيوم التي تكون متوفرة محليا وكذلك معامل التمدد للألومنيوم قليل الذي يختلف عن بعض العناصر. يتركب المطياف من محرز حيود حيث تعتبر المحززات اهم عنصر في تصميم المطياف ويتم ادخال الضوء الى هذا المطياف عن طريق ليف بصري حيث تم جعل قاعدة الليف قابلة للتغير الى أكثر من نوع من الليف البصري حسب الحاجة. يتم استخدام الليف البصري (fiber m14L01) متعدد النمط لنقل (يونس،2006) (الانبعاثات الضوئية الناتجة من بلازما غاز الارجون) وهذا النوع من الألياف يكون نصف قطره يصل إلى (62.5 micron) يتم نقل العديد من الأنماط للإشارات الضوئية من خلال الليفة الضوئية الواحدة مما يجعل استخدامها أفضل في المطياف. تنقل الإشارات الضوئية الى المرآة الأولى (mirror 1) التي تكون بقياس (40mm) حيث تنتج هذه المرآة شعاع ضوئي منعكس بزواوية قدرها (15°) موازي منعكس الى محرز الحيود يعمل محرز الحيود الى تحليل الضوء فيسقط الضوء المحلل على المرآة الثانية (mirror2) التي يكون حجمها ضعف المرآة الأولى (80mm) ذلك لتجميع اكبر قدر من الضوء المحلل بزواوية قدرها (30°). يتم تركيز الضوء على كاميرة (CCD) حيث يتم ربط الكاميرا مع البرنامج الخاص على جهاز الكمبيوتر حيث يتم الكشف عن الطيف المحلل. تم التغلب على التأثير البصري الموجود في اغلب

الأجهزة البصرية والمرايا والعدسات والتلسكوبات المعروف بـ (الزيغ الكروي) التي يحدث بسبب زيادة انكسار أشعة الضوء الساقطة على عدسة أو التي تنتج من انعكاس أشعة الضوء عندما تسقط على مرآة بالقرب من حافتها مقارنة بالأشعة التي تسقط قرب المركز. حيث يتم الأخذ بالاعتبار موقع المرايا وكذلك البعد البؤري لها وموقع مصدر الضوء لكي يتم تحديد الشروط للقضاء على الزيغ الكروي. يمكن التخلص من هذا التأثير بواسطة تعديل السطح الكروي وتشكيله في شكل قطع مكافئ بواسطة الصقل والتلميع وهذه الطريقة التي يتم اتباعها من قبل المصانع لإنتاج المرايا المستخدمة في الرصد الفلكي. يمكن معالجة الزيغ الكروي مراعاة أن تكون الأشعة الضوئية التي تسقط على العدسة قريبة من المحور الرئيس وتستخدم العديد من العدسات في الأدوات العالية الدقة حيث تستخدم غالباً خمس عدسات أو أكثر لتكوين صور واضحة ودقيقة كما موضح بالشكل (4) (Smith,1922). ان استخدام كاشف جهاز اقتران الشحنات (CCD) (Charge-Coupled-Device) الذي يعتبر أسهل أنواع الكواشف الضوئية صنفاً، وله حساسية ضوئية أفضل عن منتجات أخرى كالموسفت، ولكن بسبب حساسيته تنتقل الشحنة الكهربائية خلاله بطيئاً نسبياً. وقد استخدم بسرعة في الدراسات الفلكية،

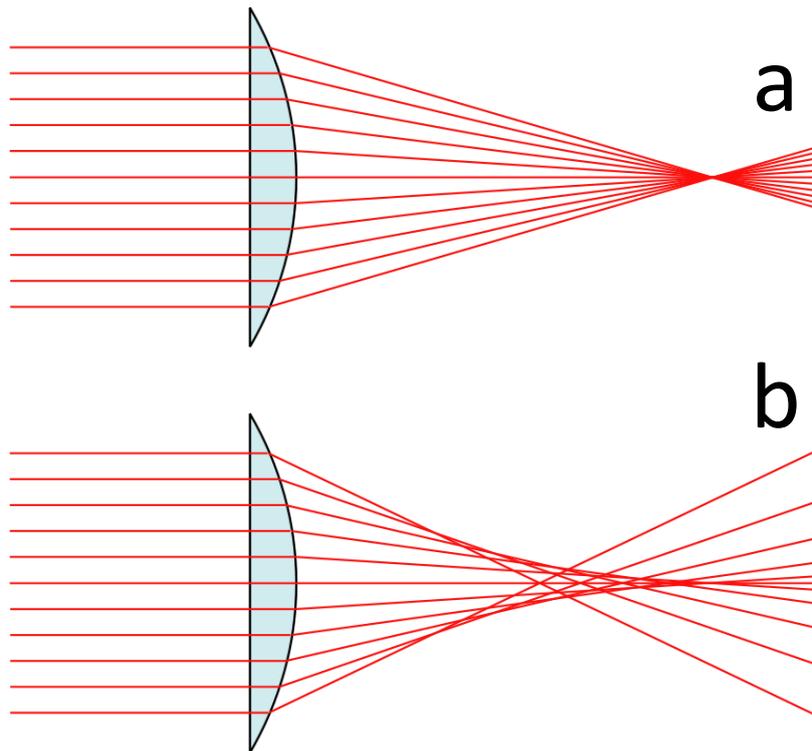


الشكل 2: يوضح المخطط التفصيلي لمكونات المطياف

وفي الاستشعار عن بعد بواسطة الأقمار الصناعية، كما عم الاستخدام في الكاميرات الرقمية. يتم ترتيب مجسات (CCD) في مصفوفات على لوائح (موزعة توزيعاً سطوياً)، وتستخدم في كاميرات الفيديو والكاميرات الرقمية. كما عم استخدامات تلك المصفوفات في الهواتف المحمولة ذات كاميرا رقمية. وتستخدم مصفوفات هذه المجسات في أجهزة الفاكس، وفي المطيافات، وفي الماسحات الضوئية.



الشكل 3: طريقة التصميم بواسطة برنامج (solid work) لموقع المحزز والمرايا مع البعد البؤري



الشكل 4: يوضح الزيغ الكروي. (a) تجميع الاشعة الواردة للعدسة في نقطة على المحور البصري. (b) عدسة بها زيغ كروي لعدم تجميع الاشعة الواردة في نقطة واحدة

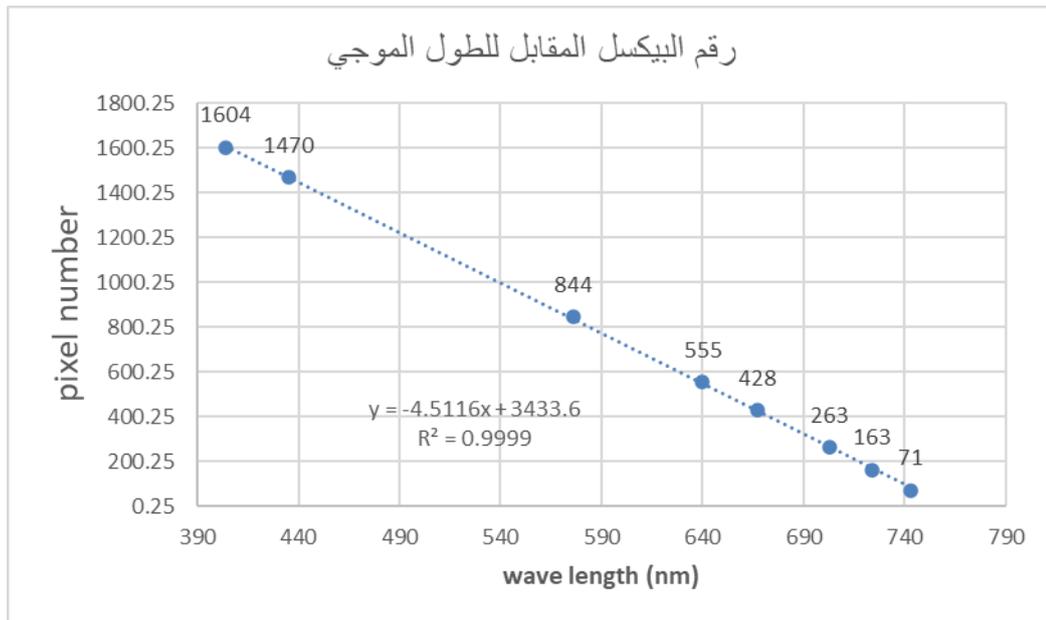
## النتائج والمناقشة

### 1- معايرة المحاور

من الضروري في أجهزة الطيف إجراء معايرة الطول الموجي للتحقق من صحة الطيف المقاس بواسطة مقياس الطيف. بالنسبة لمقياس الطيف الذي يستخدم كاشف (CCD). تتطلب مهمة معايرة الطول الموجي على مدى طيفي ممتد جمع جميع الأطياف الجزئية من مصادر الضوء المتعددة الأساسية التي تكون معروفة عالمياً، مثل الزئبق ومصباح النيون. تتم المعايرة بمراعاة مواقع المرآتات وكذلك اتجاه محرز الحيود مع المرآة الأولى وكذلك المرآة الثانية مع كاميرا (CCD). وفقاً للاستجابة المقاسة وقم الشدة للخطوط الطيفية الخمسة المعروفة للنيون، يتم وصف العلاقة بين رقم البيكسل وطول الموجة على أنها معادلة رقم (1) متعددة الحدود من الدرجة الثالثة على النحو التالي: (Sze and Wei, 2018)

$$\lambda = C_0 + C_1X + C_2 X^2 + C_3 X^3 \quad \dots\dots\dots(1)$$

حيث يشير  $\lambda$  إلى الطول الموجي عند رقم البيكسل  $X$ . يشير المعامل الأول  $C_0$  إلى الطول الموجي عند عدد البيكسل صفر. يشير المعامل الثاني  $C_1$  إلى العرض الطيفي لبيكسل واحد، بينما المعاملان الثالث والرابع  $C_2$  و  $C_3$  حيث يرمزان إلى الحدود التربيعية والتكعيبية لإكمال كثير الحدود على التوالي. من معايرة النطاق الأصلي يمكن توضيح العلاقة بين البيكسل والطول الموجي بالشكل (5). يتم اختيار درجة  $(C^0 - 5)$  لتبريد الكاميرا من خلال اعدادات البرنامج الخاص بها وهذا يعمل على ثبات درجة حرارة الكاميرا اثناء الحصول على القراءات.

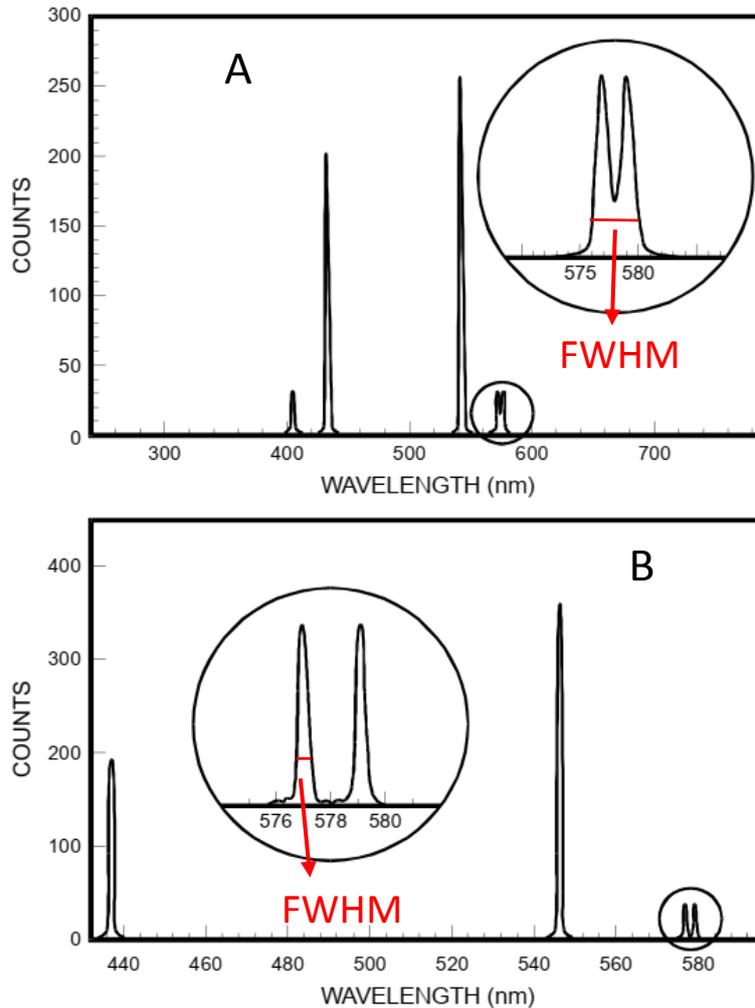


الشكل 5: العلاقة بين الطول الموجي وموقع البيكسل في كاميرا CCD

### 2- عرض النطاق الترددي الطيفي

قد يكون عرض النطاق الطيفي النموذجي نانومتراً واحداً ومع ذلك يمكن اختيار قيم مختلفة لتلبية الحاجة إلى التحليل. يعمل النطاق الترددي الأضيق على تحسين الدقة، ولكنه يقلل أيضاً من نسبة الإشارة إلى الضوضاء يتميز تشتت أحادي اللون بأنه عرض نطاق الألوان لكل وحدة عرض شق 1 نانومتر من الطيف لكل مم من عرض الشق. هذا العامل ثابت بالنسبة للشبكة ولكنه يختلف باختلاف الطول الموجي للمحزر. إذا تم استخدام محرز في وضع عرض النطاق الترددي الثابت فيجب أن يتغير عرض

الشق مع تغير الطول الموجي. يعتمد التشنت على الطول البؤري وترتيب المحرز نطاق الطول الموجي قد يغطي نطاق ضبط أحادي اللون الطيف المرئي جزءًا من كلا الطيفين القريبين من الأشعة فوق البنفسجية (UV) والأشعة تحت الحمراء (IR) (الراوجي وعبد، 2018) أو أحدهما، على الرغم من أن أحادية اللون مبنية لمجموعة كبيرة ومتنوعة من النطاقات الضوئية ولعدد كبير من التصميمات. يوضح الشكل (6) عرض النطاق الترددي للطيف لمصباح الزئبق باستخدام نوعين من المحرز الأول (400 1/mm) والثاني (1200 1/mm).



الشكل 6: يوضح عرض النطاق الترددي لمصباح الزئبق باستخدام (A) لمحز (400 1/mm) (B) لمحز (1200 1/mm)

### 3- العدد البؤري او النسبة البؤرية (F/#):

الفتحة هي العدسة أو المرآة الرئيسية التي تجمع الضوء إلى التركيز. يقاس قطر الفتحة  $D$  يقاس بالبوصة، ملليمترات، سنتيمترات أو حتى أمتار. كلما كانت الفتحة أكبر زاد الضوء الذي يجمعه النظام كما يمكن رؤية أدق التفاصيل. العدد البؤري  $F$  هو مقياس سرعة والوضوح البصري النظام. إنها نسبة المسافة البؤرية إلى حجم الفتحة. حيث تشمل الانظمة على نوعين من العدد البؤري هما:

i. الأنظمة السريعة لها عدد بؤري صغيرة مثل  $F/1$  ،  $F/2$  ،  $F/3$

ii. الأنظمة البطينة على عدد بؤري كبيرة مثل  $F/8$  ،  $F/15$  ،  $F/20$  ،

يمكن حساب العدد البؤري للمطياف المستخدم في هذا البحث عن طريق المعادلة رقم (2) (Smith, 2007):

$$N = F / f / D \quad \dots\dots\dots(2)$$

حيث ان  $N$  الرقم البؤري (بلا أبعاد)

$f$  - البعد البؤري

$D$  - قطر المرآة

يتم حساب العدد البؤري من خلال مساحة المرآة الأولى (mirror 1) والتي تساوي  $(16 \text{ cm}^2)$  لكن أولاً يجب إيجاد قطر المرآة من

خلال عمل دائرة مساحتها  $(16 \text{ cm}^2)$  من المرآة كما موضح بالشكل (7) وباستخدام قانون قطر الدائرة الموضح بالمعادلة (3)

(Smith and Leversha., 2007).

$$D = \sqrt{\frac{\text{area} * 4}{\pi}}$$

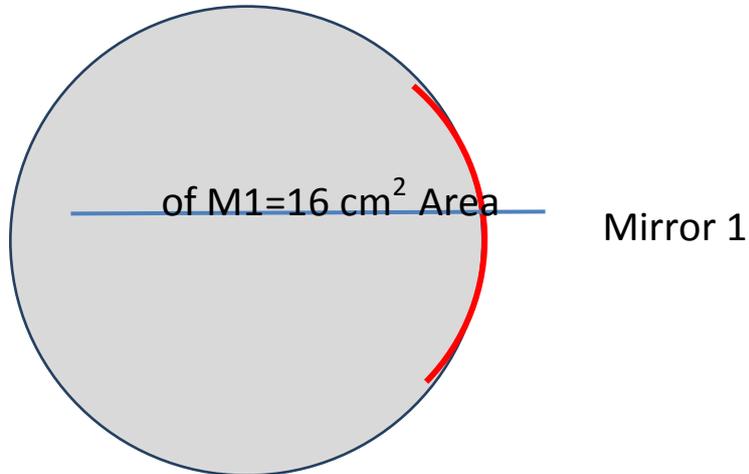
$$D = \sqrt{(16 * 4 / 3.14)} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$D = 4.51 \text{ cm}$$

$$N = f / D$$

$$N = 15 / 4.51$$

$$N = f / \# = 3.3$$



الشكل 7: يوضح كيفية حساب قطر الدائرة من خلال مساحة المرآة الأولى

يوضح (الجدول 1) مقارنة بين مطياف (oriel 125mm) (MODEL 77400) المصمم عالمياً ومطياف (150mm)

المصمم في هذا البحث. يمنحك الطول البؤري مقسوماً على فتحة المرآة أو العدسة الرقم المعروف باسم النسبة البؤرية. عادةً ما يتم

كتابته، على سبيل المثال،  $f/6$ ، حيث يكون الطول البؤري أطول بست مرات من الفتحة، ولهذا السبب يُشار إليه أحياناً بالرقم

البؤري. هذه سمة مهمة للمطياف وغالباً ما يتم ذكرها في مواصفات الجهاز. بشكل عام يكون المطياف ذات الأرقام البؤرية

الصغيرة قصيرة ومضغوطة ولديها مجال رؤية واسع وصورة ساطعة في حين أن تلك التي تحتوي على أرقام  $f$  كبيرة تكون طويلة

نسبياً ولديها مجال رؤية أضيق ولكنها تعمل بشكل أفضل عند التكبير العالي. يعد صنع عدسة أو مرآة ذات نسبة بؤرية قصيرة

أكثر صعوبة من صنع عدسة أطول، لذلك يجب تقديم تنازلات أو زيادة التكلفة وقد لا تعمل بشكل جيد

في القوى العالية. أما بالنسبة للبعد البؤري بين الجهازين في المقارنة فإن البعد البؤري القصير أي ذو الأرقام والمقياس المنخفض،

يُنتج صورة بمنظور عريض حيث تبدو عناصر الصورة صغيرة داخل إطارها. على العكس فإن البعد البؤري الطويل أي ذو الأرقام

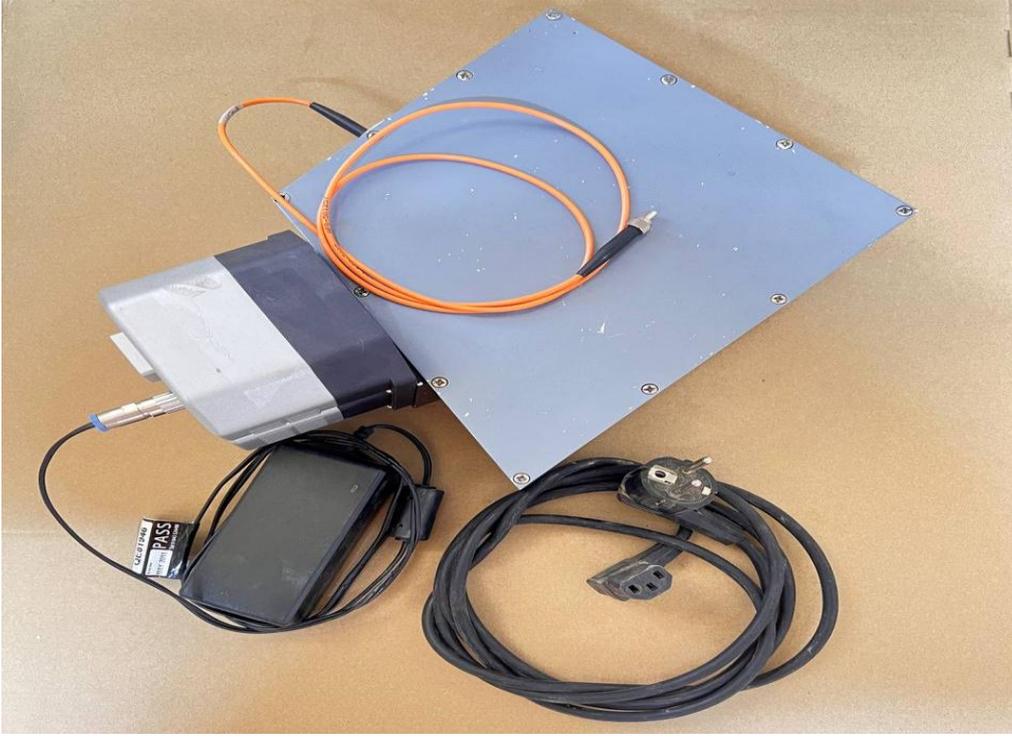
والقياسات المرتفعة، يُنتج صور بمنظور ضيق، حيث تبدو عناصر الصورة أكبر داخل الإطار. للحصول على تحليل طيفي واسع في المطياف يجب زيادة البعد البؤري للمطياف لكي يتم رؤية أكبر عدد من الأطوال الموجية عند تحليل الضوء . (Chang *et al.*, 1989)

الجدول 1: مقارنة بين مطياف (150mm) المصنع محليا مع ومطياف (oriel 125mm)

150 mm spectrograph		125 mm spectrograph oriel	
Design	Crossed Czerny-Turner	Design	Crossed Czerny-Turner
<b>F/number</b>	<b>3.3</b>	<b>F/number</b>	<b>3.7</b>
<b>Focal length</b>	<b>145 mm</b>	<b>Focal length</b>	<b>120 mm</b>
Stray light	0.2	Stray light	0.1
Grating type	Plane, (ruled or holographic)	Grating type	Plane, (ruled or holographic)
Drive	Micrometer, calibrated	Drive	Micrometer, calibrated
Wavelength reproducibility	1 nm with standard micrometer 0.1 nm with digital micrometer (With 1200 l/mm grating)	Wavelength reproducibility	1 nm with standard micrometer 0.1 nm with digital micrometer (With 1200 l/mm grating)
Weight	(2.5 kg)	Weight	(1.5 kg)

#### الاستنتاجات

تم تصميم مطياف بصري لحساب درجة حرارة البلازما الموضح بالشكل (8). تم استخدام برنامج (solid work) لتصميم المكونات الداخلية للمطياف وإعطاء المواقع المثالية للمرايا ومحز الحيوود. تم تقليل تأثير الزيغ الكوري الحاصل في المطياف بواسطة جعل الزوايا بين مكونات المطياف البصري اقل ما يمكن. تم حساب العدد البؤري للمطياف باستخدام قوانين الدائرة. وأخيرا تم مقارنة المطياف المصمم (150 mm spectrograph) مع مطياف (125 mm spectrograph oriel). المقارنة كانت من حيث التصميم والعدد البؤري والبعد البؤري والضوء الشارد ونوع محرز الحيوود ومحرك المحرز والوزن.



الشكل 8: يوضح جهاز المطياف الذي تم تصنيعه

#### المصادر العربية

- يونس، وطفاء خيرى (2006). استخدام الليف البصري في قياس معامل انكسار الزيوت. مجلة علوم الرافدين، 17(2)، 11-12.  
الراوجي، هيثم عبد الحميد؛ عبد، ايمان يونس (2018). التفريغ الراديوي تحت تأثير المجال المغناطيسي. 27(2)، 364-377.

#### المصادر الاجنبية

- An, Y.; Sun, Q.; Liu, Y.; Li, C.; Wang, Z. Q. (2013). The design of astigmatism-free crossed Czerny-Turner spectrometer. *Optik.*, **124**(16), 2539-2543.  
Chang, C.W.; Su, D.C. (1989). An improved technique of measuring the focal length of a lens. *Optics communicat.*, **73**(4), 257-262.  
James, J. (2007). "Spectrograph Design Fundamentals". Cambridge University Press.  
Lee, K.S.; Thompson, K.P.; Rolland, J.P. (2010). Broadband astigmatism-corrected Czerny-Turner spectrometer. *Optics Expr.*, **18**(22), 23378-23384.  
Li, S.; Zhao, W.; Xu, H.; Qiu, L.; Wang, Y. (2020). Optical system design of aberration-corrected Czerny-Turner imaging spectrometer with high resolution. *Optics Communicat.*, **459**, 125015.  
McClure, J.P. (2014). "The Schmidt-Czerny-Turner Spectrograph". In Photonic Innovations and Solutions for Complex Environments and Systems (PISCES) II Vol. 9189 p. (91890C). International Society for Optics and Photonics.  
Mohammadi, H.; Eslami, E. (2010). Investigation of spectral resolution in a Czerny Turner spectrograph. *Instrum. Experiment. Techniq.*, **53**(4), 549-552.  
Smith, G.; Leversha, G. (2007). "Euler and Triangle Geometry". *Mathematical Gazette* 91, November, 436-452 pp.

- Smith, T.T. (1922). Spherical aberration in thin lenses. *Physic. Rev.*, **19**(3), 276.
- Smith, W.J. (2007). "Modern Optical Engineering", 4<sup>th</sup> ed., McGraw-Hill Professional, 183 p.
- Sze, J.R.; Wei, A. C. (2018). Crossed Czerny–Turner spectrometer with extended spectrum using movable planar mirrors. *Appl. Spectrosc.*, **72**(5), 776-786.
- Tang, M.; Fan, X.; Wang, X.; Xu, Y.; Que, J.; He, J. (2015). General study of asymmetrical crossed Czerny–Turner spectrometer. *Appl. Optics*, **54**(33), 9966-9975.
- Xue, Q.; Wang, S.; Lu, F. (2009). Aberration-corrected Czerny-Turner imaging spectrometer with a wide spectral region. *Appl. Optics*, **48**(1), 11-16.
- Zhong, X.; Zhang, Y.; Jin, G. (2015). High performance Czerny–Turner imaging spectrometer with aberrations corrected by tilted lenses. *Optics Communicat.*, **338**, 73-76.
- 

## The Design and Manufacturing of a Czerny-Turner Spectrometer and a Spherical Aberration Reduction Mechanism for the Spectrometer

**Atheel M. Alaqa**                      **Yaser A. Al-jwaady**  
*Department of Physics/ College of Science/ University of Mosul*  
**Raied A. Al-Wazzan**  
*Development Centre/ Andor Technologies/ Belfast/ UK*

### ABSTRACT

One of the most important diagnostic tools for a better understanding of actual systems is the spectroscopic examination of the physical properties of plasma and other bright sources. Atomic transitions of optical wavelengths are frequently used in a range of plasma devices as indicators of plasma characteristics like temperature and density. The design and construction of an effective spectrophotometer were motivated by the requirements of our ongoing plasma physics research. One of the most crucial methods for figuring out the density and temperature of electrons is the optical spectroscopic emission method. This study focused on the design and production of a low-cost Cherny-Turner spectrometer that could be produced locally. Using a manual micrometer, the slit's exact movement is managed. Two quartz concave mirrors, one with a focal length of 15.375 cm and the other with a focal length of 16.825 cm, were employed. The spherical aberration was then treated by lowering the angle of incidence and angle of diffraction as much as feasible. The spectrometer's light input was focused, and the mirror positions were calibrated. The positions of the mirrors were calibrated with the diffraction grating to the location of the camera, first manually using a red laser light with a wavelength (650nm), and then using a CCD camera to locate the final image. With the movement of the diffraction grating to scan the wavelengths and analyze the light to its original components.

**Keywords:** Spectroscopy, spherical aberration, focal number.