وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة بابل

كلية التربية للعلوم الصرفة

قسم الفيزياء

ظاهرة الشفق القطبي

بحث تخرج مقدم الى مجلس كلية التربية للعلوم الصرفة جامعة بابل وهو جزء من متطلبات نيل درجة البكالوريوس في قسم الفيزياء.

من قبل الطالبة

حوراء وليد سلمان

بإشراف

أ.د. شروق صباح

٢٠٢٦ م

1447 هـ

الآية القرآنية

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِأُولِي الْأَلْبَابِ ﴾

صدق الله العلي العظيم

[آل عمران: 190]

الإهداء

الحمد لله على لحظة الإنجاز والحمد لله عند البدء وعند الختام...

إلى

والدي لمن أضاء دربي وقدوتي في كل خطوة أخطوها

إلى

أمي الحضن الدافئ وسمائي التي لم تتركني يوماً ولا يكتمل يومي بدونها

إلى

إخواني وأخواتي هم وقفوا معي دائماً وساندوني خلال مسيرتي التعليمية

إلى

جميع أساتذتي الأعزاء الذين علموني وأرشدوني ووجهوني

أهديكم جميعاً العمل المتواضع وثمرة جهدي والله ولي التوفيق...

شكر وتقدير

الحمد لله أولاً وآخراً، حمد الشاكرين الذاكرين على نعمه التي لا تُعد ولا تُحصى، وفضله الذي أعانني ووفقني لإتمام هذا البحث العلمي المتواضع، فله الحمد حتى يرضى، وله الحمد إذا رضي، وله الحمد بعد الرضا.

ثم انطلاقاً من قوله (صلى الله عليه وآله وسلم): "من لا يشكر الناس لا يشكر الله"، أتقدم بوافر الشكر وعظيم الامتنان إلى:

أهدي شكري وتقديري إلى عمادة الكلية الموقرة وكادرها الإداري والعلمي، لما قدموه لنا من بيئة أكاديمية رصينة كانت خير عون لنا في مسيرتنا الدراسية.

إلى أساتذتي الأفاضل في قسم الفيزياء، الذين لم يبخلوا علينا بعلمهم وتوجيهاتهم القيمة، فكانوا نبراساً يضيء لنا دروب المعرفة والبحث العلمي.

كما أتقدم بأسمى آيات الشكر والتقدير والعرفان إلى أستاذتي الفاضلة الدكتورة (شروق صباح)، التي تفضلت بقبول الإشراف على هذا البحث. فلقد كانت خير موجه ومعين بآرائها السديدة وملاحظاتها الدقيقة وصبرها الطويل، فجزاها الله عني خير الجزاء وأدامها ذخراً للعلم والعلماء.

ختاماً، أسأل الله العلي القدير أن يوفق الجميع لما يحب ويرضى، وأن يكون هذا العمل خالصاً لوجهه الكريم ونافعاً لطلبة العلم.

قائمة المحتويات

العنوان	رقم الصفحة
الآية القرآنية	أ
الإهداء	ب
شكر وتقدير	ت
قائمة المحتويات	ث
قائمة الاشكال	ج
الخلاصة	ح
الفصل الأول	13-1
أهمية البحث والحاجة اليه	2
المقدمة	3
الشمس ومصدر الطاقة في النظام الشمسي	4
تركيب الشمس وطبقاتها	5
النشاط الشمسي	6
الرياح الشمسية وتأثيرها على الأرض	7
العلاقة بين الشمس والشفق القطبي	8
مفهوم ظاهرة الشفق القطبي	9
تاريخ ظاهرة الشفق القطبي	10
أنواع الشفق القطبي	11
كيف تحدث ظاهرة الشفق القطبي	13-12
الفصل الثاني.	20-14
ألوان الشفق القطبي	17-15
العوامل المؤثرة على الوان الشفق القطبي	18
افضل الاوقات لمشاهدة الشفق القطبي	19
فوائد متابعة الشفق القطبي	20
ايجابيات وسلبيات الشفق القطبي	20
الخاتمة	21
المصادر	23-22

قائمة الاشكال

رقم الشكل	عنوان الشكل	رقم الصفحة
(1-1)	مقارنة بصرية بين الأنماط الخمسة الرئيسية للشفق القطبي: (1) القوسي، (2) الستائري، (3) المنتشر، (4) البقعي، (5) الإكليلي	12
(2-1)	ظاهرة الشفق القطبي	13
(1-2)	لون الشفق القطبي الأخضر	15
(2-2)	لون الشفق القطبي الاحمر	16
(4-2)	لون الشفق القطبي الازرق	16
(5-2)	لون الشفق القطبي البنفسجي	17

الخلاصة

يتناول هذا البحث دراسة ظاهرة الشفق القطبي بوصفها إحدى أبرز الظواهر الطبيعية الناتجة عن التفاعل بين النشاط الشمسي والبيئة الفضائية المحيطة بالأرض. وقد بيّن البحث أن الشمس تمثل المصدر الأساسي للطاقة في النظام الشمسي، وأن ما ينبعث عنها من رياح شمسية وجسيمات مشحونة يُعد العامل الرئيس في نشوء هذه الظاهرة.

كما أوضح البحث أن الشفق القطبي ينتج عن اصطدام الجسيمات المشحونة القادمة من الشمس بذرات الغازات في الغلاف الجوي، مثل الأكسجين والنيتروجين، مما يؤدي إلى انبعاث أضواء ملونة تختلف حسب نوع الغاز وارتفاع التصادم ومستوى الطاقة. وقد تم استعراض الأنواع المختلفة للشفق القطبي وأشكاله المتعددة، إضافة إلى تفسير ألوانه والعوامل المؤثرة فيها، مثل النشاط الشمسي والارتفاع وطبيعة الغازات.

وبيّن البحث كذلك العلاقة الوثيقة بين الشفق القطبي والطقس الفضائي، حيث يُعدّ مؤشرًا مهمًا على النشاط الشمسي والعواصف الجيومغناطيسية التي قد تؤثر على الأقمار الصناعية وأنظمة الاتصالات. كما تم التطرق إلى أفضل الأوقات والأماكن لمشاهدة هذه الظاهرة، مما يعكس أهميتها العلمية والسياحية في آنٍ واحد.

ويستنتج البحث أن الشفق القطبي ليس مجرد ظاهرة جمالية، بل هو نتيجة سلسلة معقدة من العمليات الفيزيائية التي تعكس الترابط بين الشمس والأرض، وأن دراسته تُسهم في فهم أعمق لفيزياء الفضاء وتساعد في التنبؤ بالتغيرات التي قد تؤثر على التكنولوجيا الحديثة، مما يؤكد أهمية الاستمرار في البحث العلمي في هذا المجال.

الفصل الاول

المفاهيم الأساسية والفيزيائية لظاهرة الشفق القطبي

أهمية البحث والحاجة اليه

فهم ظاهرة الشفق القطبي كواحدة من أهم الظواهر الطبيعية المرتبطة بفيزياء الفضاء.

1. توضيح العلاقة بين النشاط الشمسي وتأثيره على كوكب الأرض.
2. التعرف على دور الرياح الشمسية والغلاف المغناطيسي في حدوث الظاهرة.
3. المساهمة في دراسة الطقس الفضائي والتنبؤ بالعواصف الشمسية.
4. حماية الأنظمة التكنولوجية مثل الأقمار الصناعية والاتصالات من التأثيرات الفضائية.
5. دعم الأبحاث العلمية المتعلقة بالغلاف الجوي والفضاء الخارجي.
6. توفير مادة علمية مبسطة ومفيدة للطلبة والباحثين.
7. زيادة الوعي العلمي حول الظواهر الكونية وتأثيرها على الحياة.
8. إبراز القيمة الجمالية والسياحية لظاهرة الشفق القطبي.

1-1 المقدمة

تُعدّ الشمس المصدر الرئيسي للطاقة في النظام الشمسي، إذ تُشع كميات هائلة من الطاقة على شكل ضوء وحرارة وجسيمات مشحونة تُعرف بالرياح الشمسية. وتمتد تأثيرات هذه الطاقة إلى مختلف الكواكب، ولا سيما كوكب الأرض، حيث تتفاعل مع غلافه المغناطيسي مسببةً العديد من الظواهر الفيزيائية في الفضاء القريب من الأرض، والتي يُطلق عليها مجتمعةً مصطلح الطقس الفضائي.

ومن أبرز هذه الظواهر ظاهرة الشفق القطبي، التي تُعدّ من أكثر الظواهر الطبيعية جمالًا وإثارة، إذ تظهر على شكل أضواء ملونة في السماء، خاصة في المناطق القريبة من القطبين. وينتج هذا الشفق عن تفاعل الجسيمات المشحونة القادمة من الشمس مع المجال المغناطيسي للأرض، حيث يتم توجيهها نحو المناطق القطبية لتصطدم بذرات الغازات في الغلاف الجوي، مما يؤدي إلى انبعاث الضوء بألوان مختلفة.

ولا يمكن فهم هذه الظاهرة بشكل دقيق دون التطرق إلى مصدرها الأساسي، وهو الشمس، وما يرتبط بها من نشاطات فيزيائية مثل الرياح الشمسية والانفجارات الشمسية. لذلك، يستعرض هذا الفصل في بدايته الخصائص الأساسية للشمس وتركيبها ونشاطها، تمهيدًا لفهم آلية حدوث الشفق القطبي والعوامل المؤثرة فيه، وبما يُسهم في بناء تصور علمي متكامل حول هذه الظاهرة [1][2].

2-1 الشمس ومصدر الطاقة في النظام الشمسي

تُعدّ الشمس النجم المركزي في النظام الشمسي، وهي المصدر الأساسي للطاقة التي تعتمد عليها جميع الكواكب، بما في ذلك الأرض، في استمرار وجودها واستقرار أنظمتها البيئية. تقع الشمس على بُعد يقارب 150 مليون كيلومتر من الأرض، وتُصنّف ضمن النجوم متوسطة الحجم من النوع الطيفي (G-type main-sequence star)، إلا أنها بالرغم من ذلك تُعدّ ذات تأثير هائل على البيئة الكونية المحيطة بها. تتكون الشمس أساسًا من غازي الهيدروجين والهيليوم، حيث يشكّل الهيدروجين النسبة الأكبر من كتلتها، ويُعدّ الوقود الأساسي للتفاعلات النووية التي تحدث في مركزها.

تحدث في نواة الشمس تفاعلات الاندماج النووي، وهي عملية فيزيائية يتم فيها دمج نوى ذرات الهيدروجين لتكوين الهيليوم، مما يؤدي إلى تحرير كميات هائلة من الطاقة وفق معادلة أينشتاين لتكافؤ الكتلة والطاقة كما في المعادلة (1-1) الآتية:

$$E = mc^2 \dots\dots\dots (1-1)$$

حيث ان:

E تمثل الطاقة، m تمثل الكتلة، C هي سرعة الضوء في الفراغ

وتنتقل هذه الطاقة من النواة إلى الطبقات الخارجية للشمس على شكل إشعاع وحرارة، ثم تنبعث إلى الفضاء الخارجي على هيئة ضوء مرئي وأشعة فوق بنفسجية وأشعة سينية، إضافة إلى تدفقات من الجسيمات المشحونة [1].

ولا يقتصر تأثير الشمس على تزويد الأرض بالضوء والحرارة فحسب، بل يمتد ليشمل التحكم في ما يُعرف بالطقس الفضائي، وهو مجموعة من الظواهر التي تنتج عن التفاعل بين النشاط الشمسي والبيئة الفضائية المحيطة بالأرض. وتشمل هذه الظواهر العواصف الشمسية والتغيرات في المجال المغناطيسي الأرضي، والتي يمكن أن تؤثر على الأقمار الصناعية وأنظمة الاتصالات وشبكات الطاقة. ومن هذا المنطلق، تُعدّ دراسة الشمس أمرًا ضروريًا لفهم العديد من الظواهر الطبيعية، وعلى رأسها ظاهرة الشفق القطبي، التي تُعدّ انعكاسًا مباشرًا لتأثير النشاط الشمسي في الغلاف الجوي للأرض [2].

3-1 تركيب الشمس وطبقاتها

تتكون الشمس من بنية طبقية معقدة، حيث تختلف كل طبقة عن الأخرى من حيث درجة الحرارة والكثافة وطبيعة العمليات الفيزيائية التي تحدث فيها. تبدأ هذه الطبقات من النواة، التي تُعدّ مركز الشمس ومصدر طاقتها الأساسي، حيث تصل درجة الحرارة فيها إلى ما يقارب 15 مليون درجة مئوية، وتحدث فيها تفاعلات الاندماج النووي التي تُنتج الطاقة. وتحيط بالنواة المنطقة الإشعاعية، التي تنتقل فيها الطاقة على شكل إشعاع كهرومغناطيسي، وقد تستغرق الفوتونات آلاف السنين لعبور هذه المنطقة بسبب كثافة المادة فيها [2].

تلي ذلك المنطقة الحملية، وهي الطبقة التي تنتقل فيها الطاقة عن طريق تيارات الحمل الحراري، حيث ترتفع البلازما الساخنة إلى الأعلى ثم تبرد وتهبط مجددًا، مكوّنةً حركة ديناميكية مستمرة. أما الغلاف الضوئي فهو الطبقة التي تُعدّ سطح الشمس المرئي، وتبلغ درجة حرارته حوالي 5500 درجة مئوية، وهو المصدر الرئيسي للضوء الذي نراه من الشمس.

وفوق الغلاف الضوئي توجد طبقة الغلاف اللوني، التي تظهر بلون أحمر خافت خلال الكسوف الشمسي، تليها طبقة الإكليل الشمسي، وهي الطبقة الخارجية التي تمتد لمسافات كبيرة في الفضاء، وتتميز بدرجات حرارة مرتفعة جدًا تصل إلى ملايين الدرجات. ويُعدّ الإكليل المصدر الرئيسي لانبعاث الرياح الشمسية، التي تلعب دورًا محوريًا في التأثير على الغلاف المغناطيسي للأرض. إن فهم هذه الطبقات يُعدّ أساسًا لفهم كيفية انتقال الطاقة من داخل الشمس إلى الفضاء، وبالتالي تفسير العديد من الظواهر المرتبطة بها مثل الشفق القطبي [3].

4-1 النشاط الشمسي

تتميّز الشمس بنشاط ديناميكي متغير يُعرف بالنشاط الشمسي، وهو مجموعة من الظواهر الفيزيائية التي تحدث على سطح الشمس وفي غلافها الجوي، وتتغير شدتها بشكل دوري فيما يُعرف بالدورة الشمسية التي تمتد عادةً لنحو 11 عامًا. ومن أبرز مظاهر هذا النشاط البقع الشمسية، وهي مناطق داكنة تظهر على سطح الشمس نتيجة انخفاض درجة حرارتها مقارنة بالمناطق المحيطة، وتُعدّ مؤشرًا على شدة النشاط الشمسي [4].

كما تشمل مظاهر النشاط الشمسي التوهجات الشمسية، وهي انفجارات مفاجئة تُطلق كميات هائلة من الطاقة والإشعاع خلال فترة زمنية قصيرة، إضافة إلى الانبعاث الكتلي الإكليلي، الذي يتمثل في قذف كميات ضخمة من البلازما والجسيمات المشحونة إلى الفضاء. وتُعدّ هذه الظواهر من أهم مصادر الرياح الشمسية عالية الكثافة، والتي يمكن أن تصل إلى الأرض وتؤثر على مجالها المغناطيسي.

وقد أثبتت الدراسات الحديثة أن النشاط الشمسي له تأثير مباشر على البيئة الفضائية المحيطة بالأرض، حيث يؤدي ازدياده إلى حدوث عواصف مغناطيسية تُعرف بالعواصف الجيومغناطيسية، والتي يمكن أن تؤثر على عمل الأقمار الصناعية وأنظمة الملاحة والاتصالات. كما أن هذا النشاط يُعدّ العامل الأساسي في زيادة شدة الشفق القطبي، حيث يؤدي إلى تدفق أكبر من الجسيمات المشحونة نحو الغلاف الجوي. لذلك، يُعدّ فهم النشاط الشمسي أمرًا ضروريًا لتفسير التغيرات التي تطرأ على الشفق القطبي [5].

5-1 الرياح الشمسية وتأثيرها على الأرض

الرياح الشمسية هي تدفق مستمر من الجسيمات المشحونة، مثل الإلكترونات والبروتونات، تنبعث من الإكليل الشمسي وتنتشر في جميع الاتجاهات داخل النظام الشمسي. وتتحرك هذه الجسيمات بسرعات عالية قد تصل إلى مئات الكيلومترات في الثانية، مما يجعلها قادرة على الوصول إلى الأرض خلال فترة زمنية قصيرة نسبيًا.

عند وصول الرياح الشمسية إلى الأرض، تواجه الغلاف المغناطيسي، وهو مجال مغناطيسي يحيط بالكوكب ويعمل كدرع واقٍ يحميه من الإشعاعات والجسيمات الضارة. يقوم هذا المجال بانحراف معظم الجسيمات المشحونة، إلا أن جزءًا منها يتم توجيهه على طول خطوط المجال المغناطيسي نحو المناطق القطبية. وهناك، تدخل هذه الجسيمات إلى الغلاف الجوي العلوي وتبدأ بالتفاعل مع مكوناته [5].

وتؤدي التغيرات في شدة الرياح الشمسية إلى حدوث اضطرابات في الغلاف المغناطيسي تُعرف بالعواصف الجيومغناطيسية، والتي قد يكون لها تأثيرات ملحوظة على الأنظمة التكنولوجية الحديثة، مثل تعطّل الأقمار الصناعية أو انقطاع الاتصالات. كما تُعدّ هذه التفاعلات الأساس الفيزيائي لحدوث ظاهرة الشفق القطبي، حيث تُسهم في نقل الجسيمات المشحونة إلى المناطق التي تظهر فيها هذه الظاهرة. ومن هنا، يتضح أن الرياح الشمسية تمثل حلقة الوصل الأساسية بين الشمس والأرض في سياق تفسير الشفق القطبي [6].

6-1 العلاقة بين الشمس والشفق القطبي

ترتبط ظاهرة الشفق القطبي ارتباطًا مباشرًا بالنشاط الشمسي، حيث تُعدّ نتيجة للتفاعل بين الرياح الشمسية والغلاف المغناطيسي للأرض . فعندما تزداد شدة النشاط الشمسي، نتيجة التوهجات أو الانبعاثات الكتلية، يزداد تدفق الجسيمات المشحونة نحو الأرض [6].

وعند دخول هذه الجسيمات إلى الغلاف المغناطيسي، يتم توجيهها نحو المناطق القطبية، حيث تتسارع وتصطدم بذرات الغازات في الغلاف الجوي، مثل الأكسجين والنيتروجين، مما يؤدي إلى إثارتها . وعند عودتها إلى حالتها الطبيعية، تُطلق هذه الذرات طاقة على شكل ضوء مرئي يظهر بألوان مختلفة [7].

وقد أظهرت الدراسات الحديثة أن شدة الشفق القطبي واتساع نطاقه يعتمدان بشكل كبير على مستوى النشاط الشمسي، حيث تؤدي الزيادة في سرعة وكثافة الرياح الشمسية إلى تعزيز التفاعلات داخل الغلاف المغناطيسي، مما ينتج عنه عواصف جيومغناطيسية تزيد من وضوح الشفق وانتشاره نحو خطوط عرض أقل بعيدًا عن القطبين . كما بيّنت الأبحاث أن التغيرات في المجال المغناطيسي الأرضي الناتجة عن هذه العواصف تؤثر في حركة الجسيمات المشحونة وتوزيعها داخل الغلاف المغناطيسي، وهو ما ينعكس بشكل مباشر على شكل الشفق القطبي وكثافته [6].

إضافةً إلى ذلك، تُظهر الملاحظات المعتمدة على الأقمار الصناعية أن هناك ارتباطًا زمنيًا واضحًا بين حدوث الانبعاثات الكتلية الإكليلية وظهور الشفق القطبي، حيث يمكن رصد زيادة نشاط الشفق بعد وصول هذه الانبعاثات إلى الأرض بفترة زمنية قصيرة [7].

وهذا ما يؤكد أن الشفق القطبي ليس ظاهرة عشوائية، بل هو نتيجة مباشرة لسلسلة من العمليات الفيزيائية المرتبطة بالنشاط الشمسي.

وعليه، فإن دراسة العلاقة بين الشمس والشفق القطبي تُعدّ من الموضوعات الأساسية في فيزياء الفضاء، إذ تسهم في فهم التفاعل بين الشمس والأرض، كما تساعد في التنبؤ بالظواهر المرتبطة بالطقس الفضائي وتأثيراتها على الأنظمة التكنولوجية الحديثة، مثل الأقمار الصناعية وشبكات الاتصالات والطاقة الكهربائية [6].

7-1 مفهوم ظاهرة الشفق القطبي

تُعدّ ظاهرة الشفق القطبي من الظواهر الطبيعية المدهشة التي تظهر على شكل خليط من الألوان المتداخلة والمتوهجة في السماء، مشكلةً مشهداً جمالياً خلاباً يُشاهد غالباً في المناطق القريبة من القطبين الشمالي والجنوبي للكرة الأرضية. ويُطلق على هذه الظاهرة عدة تسميات مثل الأضواء القطبية أو الفجر القطبي، وتتميّز بتعدد أشكالها البصرية وتغيرها المستمر، حيث قد تظهر على هيئة أقواس أو ستائر ضوئية متموجة، أو على شكل بقع منتشرة متفاوتة الشدة، مما يعكس طبيعتها الديناميكية وتأثرها بالظروف الفيزيائية المحيطة [8].

وتتخذ هذه الظاهرة أنماطاً مختلفة، من أبرزها أقواس الشفق القطبي التي تشبه الستائر المتحركة في السماء، وتمتاز بسرعة تغيرها وسطوعها العالي، بحيث يمكن في بعض الحالات الاستفادة من ضوئها في الإضاءة. كما يظهر نوع آخر يُعرف بالشفق النشِر، والذي يُعدّ أكثر توهجاً وانتشاراً، وغالباً ما يترافق مع سماء صافية تُتيح رؤية النجوم بوضوح. كذلك يوجد الشفق المنتشر الذي يتكوّن من بقع ضوئية متعددة ذات سطوع أقل نسبيًا، ويُعدّ من أكثر الأنماط شيوعًا [8].

ولا يقتصر الشفق القطبي على كونه ظاهرة جمالية فحسب، بل يُعدّ أيضاً ظاهرة فيزيائية معقّدة ترتبط بتفاعلات بين الغلاف المغناطيسي للأرض والجسيمات المشحونة القادمة من الشمس، حيث تنعكس هذه التفاعلات على شكل ألوان متعددة مثل الأخضر والأحمر والبنفسجي، تبعاً لنوع الغازات الموجودة في الغلاف الجوي وارتفاع حدوث التصادمات، مما يجعل الشفق القطبي مثالاً واضحاً على تفاعل الظواهر الكونية مع الغلاف الجوي للأرض [9].

8-1 تاريخ ظاهرة الشفق القطبي

تُعدّ ظاهرة الشفق القطبي من أقدم الظواهر الطبيعية التي لفتت انتباه الإنسان منذ العصور القديمة، حيث سجّلت الحضارات القديمة مشاهداتها لهذه الأضواء الغامضة في السماء وفسّرتها بطرق أسطورية ودينية. فقد اعتقد الإغريق والرومان أن هذه الأضواء تمثل رسائل من الآلهة، بينما ربطتها بعض الشعوب الإسكندنافية بالحروب أو أرواح المحاربين، في حين اعتبرها الصينيون القدماء تنانين نارية في السماء [9].

وقد ظهر أول تفسير علمي لهذه الظاهرة في القرن السابع عشر، عندما أطلق العالم غاليليو غاليلي اسم "Aurora Borealis" على الشفق القطبي الشمالي، نسبة إلى إلهة الفجر الرومانية "أورورا". ومع تطور العلوم في القرنين الثامن عشر والتاسع عشر، بدأ العلماء في ربط هذه الظاهرة بالمجال المغناطيسي للأرض والنشاط الشمسي، حيث تم اقتراح أن الأضواء ناتجة عن تفاعلات في الغلاف الجوي.

وفي القرن العشرين، ومع التقدم الكبير في علوم الفيزياء والفضاء، تم فهم الشفق القطبي بشكل أدق، خاصة بعد تطور دراسة الغلاف المغناطيسي واكتشاف دور الرياح الشمسية. وقد ساهمت الأقمار الصناعية والبعثات الفضائية في تأكيد أن هذه الظاهرة تنتج عن تفاعل الجسيمات المشحونة القادمة من الشمس مع الغلاف المغناطيسي للأرض [8].

أما في العصر الحديث، فقد أصبح الشفق القطبي مجالًا مهمًا من مجالات دراسة الطقس الفضائي، حيث يهتم العلماء بمراقبته لفهم تأثير النشاط الشمسي على الأرض، خاصة فيما يتعلق بالأقمار الصناعية وشبكات الاتصالات والطاقة. كما أصبح الشفق القطبي ظاهرة سياحية عالمية تستقطب الزوار إلى المناطق القطبية لمشاهدته والاستمتاع بجماله الفريد [9].

9-1 أنواع الشفق القطبي

تُصنَّف ظاهرة الشفق القطبي إلى عدة أنواع وفقًا لأشكالها البصرية وطبيعة ظهورها في السماء، حيث تختلف هذه الأنواع في الشكل والسطوع والحركة تبعًا لظروف النشاط الشمسي والتفاعلات داخل الغلاف المغناطيسي [10][11].

ومن أبرز هذه الأنواع:

1. **الشفق القوسي:**

يظهر هذا النوع على شكل أقواس ممتدة عبر السماء، ويُعدّ من أكثر الأنواع شيوعًا وانتظامًا، حيث يكون مستقرًا نسبيًا مقارنة بغيره، وقد يمتد لمسافات طويلة مع انحناء يشبه القوس [10].

2. الشفق الستائري:

يظهر على شكل ستائر ضوئية متموجة ومتحركة، تشبه الأقمشة المتدلية، وتُعدّ من أجمل أشكال الشفق وأكثرها ديناميكية، إذ تتغير بسرعة وتتحرك باستمرار بفعل التغيرات في تدفق الجسيمات المشحونة [11].

3. **الشفق المنتشر:**

يظهر هذا النوع على شكل توهج ضبابي خافت يغطي مساحات واسعة من السماء دون حدود واضحة، وغالبًا ما يكون أقل سطوعًا ولا يمكن تمييز تفاصيله بسهولة [10].

4. **الشفق البقعي:**

يتكوّن من بقع ضوئية منفصلة تظهر بشكل متقطع، وتختلف في شدة إضاءتها، وقد تتحرك أو تتغير مواقعها مع الزمن [11].

5. **الشفق الإكليلي:**

يظهر عندما تكون خطوط المجال المغناطيسي موجهة مباشرة نحو الراصد، فيبدو الشفق وكأنه يتجمع في نقطة واحدة مشعّة في السماء، مع امتدادات ضوئية في جميع الاتجاهات [10].

وكما هو موضح في الشكل (1-1):

شكل (1-1): مقارنة بصرية بين الأنماط الخمسة الرئيسية للشفق القطبي: (1) القوسي، (2) الستائري، (3) المنتشر، (4) البقعي، (5) الإكليلي.[5]

1-10 كيف تحدث ظاهرة الشفق القطبي

تنتج ظاهرة الشفق القطبي عن تفاعل معقّد بين الجسيمات المشحونة المنبعثة من الشمس، وخاصة ما يُعرف بـ الرياح الشمسية، والغلاف المغناطيسي الخاص بالأرض. تنطلق هذه الجسيمات بسرعات عالية نحو الفضاء، وعندما تصل إلى حدود الغلاف المغناطيسي، تُحرف وتُجمع على خطوط المجال المغناطيسي، خاصة في المناطق القطبية حيث تكون القوة المغناطيسية أضعف نسبيًا [12].

حين تتحرك هذه الجسيمات المشحونة داخل المجال المغناطيسي للأرض، تتسارع الإلكترونات نحو الغلاف الجوي العلوي عند ارتفاعات تتراوح بين 80 و 300 كم فوق سطح الأرض. هناك، تصطدم هذه الإلكترونات بذرات الغازات مثل الأكسجين والنيتروجين، مما يرفع الإلكترونات في ذرات الغازات إلى مستويات طاقة أعلى. وعندما تعود الذرات إلى حالتها الطبيعية، تطلق الطاقة على شكل ضوء مرئي. هذا الإطلاق الضوئي هو ما نراه كألوان مختلفة في الشفق القطبي، وتختلف الألوان باختلاف نوع الغاز وارتفاع التصادمات [13].

يزداد نشاط الشفق القطبي عندما يكون هناك نشاط شمسي قوي، مثل الانبعاث الكتلي الإكليلي أو فترات كثافة عالية للرياح الشمسية، مما يؤدي إلى زيادة عدد الجسيمات المشحونة التي تصطدم

بالغلاف الجوي، كما موضوح في الشكل (1-2) وبالتالي زيادة سطوع الشفق وأبعد امتداده نحو خطوط العرض الدنيا.

الشكل (1-2)، ظاهرة الشفق القطبي.[13]

الفصل الثاني

(الاطار النظري لظاهرة الشفق القطبي)

1-2 ألوان الشفق القطبي

تُعد ظاهرة الشفق القطبي من الظواهر الفيزيائية الضوئية التي تحدث في طبقات الغلاف الجوي العليا نتيجة تفاعل الجسيمات المشحونة القادمة من الرياح الشمسية مع الذرات والغازات الموجودة في الغلاف الجوي للأرض. وتختلف ألوان هذه الظاهرة باختلاف نوع الغاز، وارتفاع التفاعل، ومستوى الطاقة الناتج عن النشاط الشمسي، مما يجعلها واحدة من أكثر الظواهر الطبيعية تنوعًا بصريًا [14]. ومن ابرز الوان هذه الظاهرة ما يأتي:

1-1-2 اللون الأخضر

يُعتبر اللون الأخضر أكثر ألوان الشفق القطبي شيوعًا، وينتج عندما تتصادم الإلكترونات النشطة مع ذرات الأكسجين في الطبقات المتوسطة من الغلاف الجوي على ارتفاع يقارب 100 إلى 240 كم. وعند عودة ذرات الأكسجين إلى حالتها الطبيعية، تُطلق طاقة على شكل ضوء أخضر واضح كما موضح في الشكل (2-1) [15].

الشكل (2-1)، لون الشفق القطبي الأخضر.

2-1-2 اللون الأحمر

يظهر اللون الأحمر غالبًا في الطبقات العليا من الغلاف الجوي، حيث تحدث التفاعلات على ارتفاعات كبيرة تصل إلى أكثر من 240 كم. وينتج هذا اللون من إثارة ذرات الأكسجين عند طاقات عالية، وغالبًا ما يكون أقل شيوعًا من اللون الأخضر كما موضح في الشكل (2-2) [16].

الشكل (2-2)، لون الشفق القطبي الاحمر.[16]

3-1-2 اللون الأزرق

ينتج اللون الأزرق عند تفاعل الإلكترونات مع جزيئات النيتروجين في الطبقات المنخفضة من الغلاف الجوي، حيث تكون كثافة الهواء أعلى، ويُعد هذا اللون أقل وضوحًا وأندر مقارنة بالألوان الأساسية الأخرى كما موضح في الشكل (2-3) [17].

الشكل (2-3)، لون الشفق القطبي الازرق.[17]

4-1-2 اللون البنفسجي

يتكون اللون البنفسجي نتيجة تفاعلات بين الإلكترونات وجزيئات النيتروجين، وأحيانًا مع تأثيرات من الأكسجين، وغالبًا ما يظهر خلال فترات النشاط الشمسي القوي كما موضح في الشكل (2-4) [18].

الشكل (2-4)، لون الشفق القطبي البنفسجي.[18]

5-1-2 اللون الأصفر والوردي

تظهر هذه الألوان نتيجة امتزاج عدة أطوال موجية من الضوء الناتجة عن تفاعلات متعددة بين الأكسجين والنيتروجين، وغالبًا ما تُرى عند أطراف الشفق القطبي أو في حالات النشاط الجيومغناطيسي المتوسط [19].

2-2 العوامل المؤثرة على الوان الشفق القطبي

تتأثر ألوان الشفق القطبي بعدة عوامل فيزيائية ترتبط بطبيعة التفاعلات بين الجسيمات المشحونة القادمة من الشمس ومكونات الغلاف الجوي للأرض. ومن أبرز هذه العوامل ما يأتي:

1. الارتفاع

يُعد الارتفاع الذي تحدث فيه التصادمات بين الجسيمات الشمسية وغازات الغلاف الجوي من أهم العوامل التي تحدد لون الشفق القطبي، إذ تتفاعل الغازات المختلفة بشكل مغاير عند مستويات ارتفاع مختلفة، مما يؤدي إلى ظهور ألوان متعددة [14].

2. نوع الغاز

يتكون الغلاف الجوي بشكل رئيسي من الأكسجين والنيتروجين، وعند إثارة هذه الغازات بواسطة الجسيمات المشحونة فإنها تُصدر ألوانًا مختلفة؛ فالأكسجين يُنتج اللونين الأخضر والأحمر، في حين يُنتج النيتروجين اللونين الأزرق والبنفسجي [15].

3. مستوى النشاط الشمسي

يؤثر النشاط الشمسي بشكل مباشر في شدة وألوان الشفق القطبي، حيث تؤدي زيادة النشاط الشمسي إلى زيادة عدد الجسيمات المشحونة وطاقة تصادمها، مما ينتج عنه ألوان أكثر سطوعًا وتنوعًا [16].

طاقة وسرعة الجسيمات المشحونة

تلعب طاقة وسرعة الجسيمات القادمة من الرياح الشمسية دورًا مهمًا في تحديد شدة اللون ونوعه، إذ تؤدي الجسيمات ذات الطاقة العالية إلى إثارة أقوى للغازات وبالتالي إنتاج ألوان أكثر وضوحًا [17].

2-3 افضل الاوقات لمشاهدة الشفق القطبي

تُعدّ فترة فصل الشتاء من أفضل الأوقات لمشاهدة الشفق القطبي، حيث تكون الليالي أطول وأكثر ظلامًا، مما يوفّر ظروفًا مثالية لرؤية هذه الظاهرة بوضوح. وتمتد هذه الفترة عادةً من شهر سبتمبر إلى شهر أبريل، إذ تزداد فرص ظهور الشفق القطبي خلال هذه الأشهر بسبب قلة ضوء الشمس في المناطق القطبية [17].

كما تلعب الظروف الجوية دورًا مهمًا في إمكانية مشاهدة الشفق القطبي، إذ يُشترط صفاء السماء وخلوها من الغيوم للحصول على رؤية واضحة. كذلك يُفضّل الابتعاد عن المدن والمناطق المضيئة لتقليل التلوث الضوئي، والتوجه إلى مناطق مظلمة لمتابعة الشفق بشكل أفضل [20].

بالإضافة إلى ذلك، يرتبط ظهور الشفق القطبي بمستوى النشاط الشمسي، حيث تزداد فرص مشاهدته خلال فترات النشاط الشمسي المرتفع. لذلك يُنصح بمتابعة التوقعات الخاصة بالشفق القطبي قبل الخروج للرصد، لاختيار الوقت الأنسب الذي تكون فيه الرؤية أوضح [19].

2-4 أماكن ظهور الشفق القطبي

يظهر الشفق القطبي بشكل رئيسي في المناطق القريبة من القطبين الشمالي والجنوبي، حيث يكون المجال المغناطيسي للأرض أقوى ويعمل على توجيه الجسيمات المشحونة القادمة من الشمس نحو هذه المناطق. وتُعرف هذه المناطق باسم "الأحزمة الشفقية"، وهي مناطق بيضوية الشكل تحيط بالقطبين.

ومن أشهر الأماكن التي يمكن مشاهدة الشفق القطبي فيها: آيسلندا، النرويج، كندا، وفنلندا، حيث تتميز هذه المناطق بصفاء السماء وقلة التلوث الضوئي، مما يزيد من وضوح هذه الظاهرة.

كما يمكن أن يمتد ظهور الشفق القطبي إلى مناطق أبعد عن القطبين في حالات النشاط الشمسي القوي، حيث تزداد شدة الرياح الشمسية وتؤثر على نطاق أوسع من المجال المغناطيسي للأرض [18].

2-4 فوائد متابعة الشفق القطبي

تُعدّ متابعة الشفق القطبي وسيلة مهمة لفهم تأثير الغلاف المغناطيسي للأرض بشكل مرئي، إذ تُظهر هذه الظاهرة كيفية تفاعل الجسيمات المشحونة القادمة من الشمس مع المجال المغناطيسي الأرضي، مما يوضح الترابط بين الشمس والأرض كنظام متكامل.

كما تُسهم دراسة الشفق القطبي في تعزيز الأبحاث العلمية المتعلقة بالغلاف الجوي العلوي، حيث تساعد العلماء على فهم التغيرات التي تحدث في هذه الطبقات نتيجة النشاط الشمسي، وهو ما يدفع وكالات الفضاء إلى إرسال الأقمار الصناعية لدراسة هذه الظاهرة بشكل أدق.

بالإضافة إلى ذلك، يُعدّ الشفق القطبي مؤشرًا على النشاط الشمسي، مما يساعد في التنبؤ ببعض الاضطرابات التي قد تحدث في الغلاف الجوي العلوي، رغم عدم وجود دليل قاطع على تأثيره المباشر في أنماط الطقس على سطح الأرض [21].

2-5 ايجابيات وسلبيات الشفق القطبي

تُعدّ ظاهرة الشفق القطبي من الظواهر الطبيعية الجميلة التي تضفي مشهداً جمالياً مميزاً في السماء، كما تُسهم في دعم الدراسات العلمية المتعلقة بالغلاف الجوي والنشاط الشمسي. ومع ذلك، فإن الظاهرة قد ترتبط بحدوث عواصف شمسية قوية يمكن أن تؤثر في بعض الأنظمة التكنولوجية مثل الأقمار الصناعية وشبكات الاتصالات، مما قد يؤدي إلى اضطرابات تقنية في بعض الحالات [22].

يتضح مما سبق أن الشفق القطبي ظاهرة طبيعية معقدة تجمع بين الجمال البصري والتفسير العلمي، حيث تتنوع ألوانه نتيجة تفاعل الجسيمات المشحونة مع غازات الغلاف الجوي، كما تتأثر هذه الألوان بعدة عوامل مثل الارتفاع ونوع الغاز والنشاط الشمسي. إضافةً إلى ذلك، فإن متابعة الشفق القطبي تُسهم في فهم الظواهر الفضائية والغلاف الجوي، رغم ما قد يرافقه من تأثيرات محتملة على بعض الأنظمة التكنولوجية.

الخاتمة

في ختام هذا البحث، تبيّن أن ظاهرة الشفق القطبي تُعدّ من الظواهر الطبيعية المعقّدة التي تعكس تفاعلات فيزيائية دقيقة بين الشمس والأرض، حيث تبدأ هذه الظاهرة من النشاط الشمسي وما يصاحبه من انبعاثات للجسيمات المشحونة، لتصل آثارها إلى الغلاف المغناطيسي للأرض، ومن ثم إلى الغلاف الجوي في المناطق القطبية.

وقد أظهر البحث أن الشمس تمثل المصدر الأساسي للطاقة في النظام الشمسي، وأن ما يصدر عنها من رياح شمسية وتوهجات وانبعاثات كتلية يلعب دورًا رئيسيًا في نشوء الشفق القطبي. كما تم توضيح كيفية انتقال هذه الجسيمات وتوجيهها عبر المجال المغناطيسي للأرض، لتصطدم بذرات الغازات مثل الأكسجين والنيتروجين، مما يؤدي إلى ظهور الألوان المتعددة التي تميز هذه الظاهرة.

كما تناول البحث العوامل المؤثرة في ألوان الشفق القطبي وشدته، مثل الارتفاع ونوع الغاز ومستوى النشاط الشمسي، إضافة إلى توضيح أنماطه المختلفة وأماكن ظهوره وأفضل الأوقات لمشاهدته. ولم يقتصر الأمر على الجانب العلمي فقط، بل تم التطرق إلى الأهمية التطبيقية لهذه الظاهرة، خاصة في مجال دراسة الطقس الفضائي وتأثيراته على الأقمار الصناعية وأنظمة الاتصالات.

وعليه، يمكن التأكيد أن الشفق القطبي ليس مجرد ظاهرة جمالية، بل هو مؤشر علمي مهم لفهم العلاقة بين الشمس والأرض، ودليل واضح على الترابط بين مكونات النظام الشمسي. كما أن دراسته تُسهم في تطوير المعرفة العلمية والتقنية، وتساعد في التنبؤ بالظواهر الفضائية التي قد تؤثر على حياة الإنسان.

وفي ضوء ذلك، يُوصى بمواصلة الدراسات والأبحاث في هذا المجال، لما له من أهمية علمية وتطبيقية متزايدة في ظل التطور التكنولوجي والاعتماد الكبير على الأنظمة الفضائية في العصر الحديث.

المصادر

[1]M. Aschwanden, Physics of the Solar Corona, Springer, 2019.

[2] C. J. Schrijver and G. L. Siscoe, Heliophysics, Cambridge University Press, 2018.

[3] H. E. Mason, “Solar Physics and the Corona,” Astronomy Review, 2017.

[4] M. Lockwood, “Solar Influence on Earth,” Royal Society A, 2019.

[5] B. T. Tsurutani et al., “Solar Activity Effects,” JASTP, 2020.

[6] H. E. Spence et al., “Auroral Processes,” Space Science Reviews, 2018.

[7] D. J. Knipp, Space Weather Physics, McGraw-Hill, 2011.

[8] R. H. Eather, Majestic Lights: The Aurora in Science, History, and The Arts, Washington, DC: American Geophysical Union, 1980.

[9] C. S. Savage, Aurora: The Mysterious Northern Lights, San Francisco: Sierra Club Books, 1994 / Firefly Books, 2001.

[10] C. T. Russell, J. G. Luhmann, and R. J. Strangeway, Space Physics: An Introduction, Cambridge University Press, 2016.

[11] E. Fries-Christensen, M. Lockwood, and M. A. Stamper, “Solar Activity and Terrestrial Climate,” Space Science Reviews, vol. 95, pp. 1–24, 2001.

[12] M. D. Desai and J. A. Tylka, “Solar Energetic Particles,” in Space Storms and Space Weather Hazards, Springer Praxis Books, 2008.

[13] J. A. Van Allen, “The Radiation Belt and Magnetosphere,” Scientific American, vol. 218, no. 3, pp. 40–51, 1968.

[14]Chamberlain, J. W., Physics of the Aurora and Airglow, Academic Press, 1995, pp. 45–52.

[15] Kivelson, M. G. & Russell, C. T., Introduction to Space Physics, Cambridge University Press, 1995, pp. 310–318.

[16] NASA, Auroras: Northern and Southern Lights, NASA Publications, 2024, pp. 1–6.

[17] Eather, R. H., Majestic Lights: The Aurora in Science, History and the Arts, American Geophysical Union, 1980, pp. 60–68.

[18] Brekke, A., Physics of the Upper Polar Atmosphere, Wiley, 2013.

[19] European Space Agency, Aurora Borealis and Space Weather, ESA Report, 2023, pp. 3–9.

[20] NASA, Aurora Viewing Conditions, NASA Publications, 2024, pp. 3–6.

[21]NASA, Aurora, NASA Science, Retrieved 5/6/2021;

Geology Website, تعرف على سبب ظهور الشفق القطبي وكيفية تكونه, Available at: geolougy.com

[22]NASA, Solar Storms and Their Effects on Earth, NASA Science, 2024, pp. 4–7.

Ministry of Higher Education
and Scientific Research

University of Babylon

College of Education for Pure
Sciences

Department of Physics

Polar Aurora Phenomenon

A Graduation Research Submitted to the Council of the College of Education for Pure Sciences – University of Babylon, as a Partial Fulfillment of the Requirements for the Bachelor's Degree in the Department of Physics.

By the Student

Hawraa Waleed Salma

Supervised

Prof. Dr. Shorouq Sabah

2026 A.D. **1447 A.H.**