

Lebensräume von Gasteilchen in hohen Atmosphärenschichten - Fluoreszenz am Beispiel der Polarlichter

Fluoreszenz:

- Name vom Mineral Fluorit
- Anregung durch: Energieabsorption, meist in Form von Licht (Photonen)
- Bei Absorption von Licht einer bestimmten Wellenlänge (=Anregungslicht), bei verschiedenen Molekülen gleichzeitige Emission von Licht mit größerer Wellenlänge beobachtbar → Fluoreszenz
- Elektronen der fluoreszierenden Moleküle absorbieren Photonen und gelangen dadurch auf ein höheres Energieniveau. Die Elektronen können sich jedoch nicht auf diesem Niveau halten und fallen deshalb praktisch augenblicklich auf ihr ursprüngliches Energieniveau zurück → setzen ihre Energie u.a. in Form von Licht frei. Energie nicht nur als Licht freigesetzt, deshalb ist das emittierte Licht etwas energieärmer als das Anregungslicht
- Energieärmere Lichtstrahlung besitzt jedoch eine größere Wellenlänge und deshalb auch eine andere Lichtfarbe als energiereichere Lichtstrahlung. Das emittierte Fluoreszenzlicht besitzt oft eine um etwa **20-50 nm** größere Wellenlänge als das Anregungslicht. Diese Differenz in der Wellenlänge zwischen den beiden Lichtarten wird als Stokes-Differenz bezeichnet.
- andere Wellenlänge, weil Energie verloren geht durch: Wärme, Wechselwirkungen mit umgebenden Molekülen, Molekül verliert Schwingungsenergie (Wedler)

Stokes-Regel:

- erklärt Energiedifferenz zwischen Anregungs- und Aussendungslicht. Die Stokesverschiebung geht auf den Mathematiker und Physiker Sir George Gabriel Stokes zurück. Dieser erkannte 1852 die Gesetzmäßigkeit, dass das von fluoreszierenden Stoffen wieder emittierte Licht eine größere elektromagnetische Wellenlänge hat als das vom Stoff absorbierte und dadurch die Fluoreszenz erregende Licht. (auch Rotverschiebung genannt, weil rotes Licht eine größere Wellenlänge hat)
- andere Wellenlänge, weil Energie verloren geht bzw sich aufteilt durch: Wärme, Wechselwirkungen mit umgebenden Molekülen, Molekül verliert Schwingungsenergie
- In manchen Fällen kann es abweichend von dieser grundsätzlichen Regel auch vorkommen, dass das wieder emittierte Licht in seiner Wellenlänge nicht verändert wurde. In diesen Fällen spricht man vom Auftreten einer Resonanzfluoreszenz.

Beispiele für Fluoreszenz:

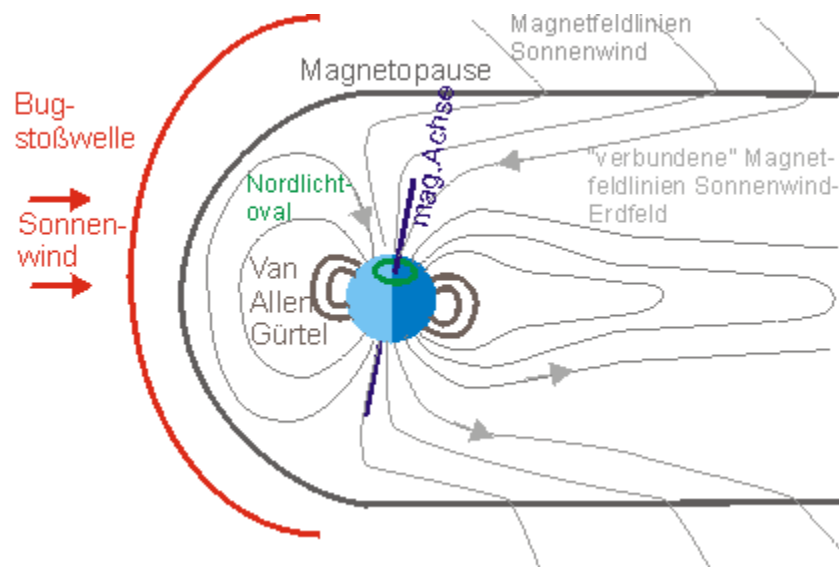
- Beleuchtung: auch Displays und Bildschirme
- Dekoration, Signal, Kunst: in Stoffen, Farben Stiften mit UV-Licht Leuchten sichtbar gemacht. auch schon in Getränken: Gin Tonic → leuchtet grün wegen Chinin
- Medizin & Biochemie: z.B. als Detektor an große Moleküle gehängt
- Minerale, Gesteine: Beispiel von vorher, Fluorit
- Flora & Fauna: Korallenfische, viele Pilze und Moose
- kosmische Strahlung: z.B. Polarlichter

Historisches:

- erste Berichte bereits 540.v.chr. etwa im Alten Testament, aber auch Aufzeichnungen aus China; Japan und auch griechische Gelehrte haben sich damit beschäftigt.
- weil die Menschen es nicht verstanden, galt es als etwas Überirdisches und wurde oft als böses Omen gesehen. So sollte es z.B. Krieg und Unheil vorhersagen.
- bis in die Neuzeit nur Berichte und keine wissenschaftlichen Erklärungen
- 1716 englischer Astronom erkennt Zusammenhang zwischen Leuchterscheinung und Veränderungen im Magnetfeld, durch eine zitternde Magnetnadel. Infolgedessen viel Forschung über Magnetfelder (Humboldt und Gauß), aber Leuchten nicht erklärt. Erst 150 Jahre Erkenntnis von Angstrom, dass Licht nicht von Sonne reflektiert, sondern von selbstleuchtenden Gasteilchen stammt (ermittelt durch Spektralanalyse des Lichtes). Um 1900 wurde herausgefunden, wie die Teilchen angeregt werden.

Entstehung der Polarlichter:

- Ursprung hat das besondere Licht in der Korona, der äußersten Sonnenhülle. Dort bei 1-2 Millionen Grad Celsius zerbricht die Hülle der Wasserstoff-Atome → es entstehen freie Elektronen und Protonen. Wie Wärme und Licht strahlt dann die Sonne auch diese elektrisch geladenen Partikel radial in den Weltraum - als "Sonnenwind". Teilchen haben eine Geschwindigkeit von 300-800 Kilometer pro Sekunde (!), ausgerechnet: brauchen 4 Tage zur Erde.
- Teilchenfluss gewaltig: wenn man eine Hindernis von 1cm² 50.000km vor der Erde aufstellen würde würden in 1 Sekunde mehr als 100 Millionen Teilchen darauf treffen → enorme Kraft schafft es, das Magnetfeld der Erde zu beeinflussen.
- Feldlinien normalerweise symmetrisch verlaufen, Sonnenwind drückt sie in Polnähe nach hinten weg → es entsteht eine Art Schweif. Das Gebilde nennt sich Magnetosphäre.
- Kann man sich vorstellen wie einen großen Stein(Erde mit Magnetosphäre) in einem Fluss: Wind strömt an beiden Seiten vorbei und schließt sich hinten wieder.
- Teilchen können nicht quer in Magnetfeld eindringen; sickern beim Vorbeiströmen am Schweif in diesen ein. Sammeln sich in zentralem Bereich in der sogenannten Plasmaschicht (wirklich Plasma – Aggregatzustand, vollständig ionisiert: Atomkern und Elektronen bewegen sich getrennt)
- Plasmaschicht an den Polen mit Erde verbunden → dadurch entstehen elektrische Felder, die die Elektronen entlang der Feldlinien zur Erde hin beschleunigen. Können bei hohen geographischen Breiten in die Atmosphäre eindringen.



Quelle: https://www.leifiphysik.de/sites/default/files/medien/sonnew_beweggeladteilch_aus.gif

Längsschnitt, im Querschnitt wäre die Magnetosphäre kreisförmig; Sonne muss man sich ganz links vorstellen, von dort kommt der Sonnenwind.

Teilchen dringen auf Nachtseite in Atmosphäre ein → deshalb dort die Polarlichter

Lichtentstehung:

- Lichtentstehung wie bei Fluoreszenz → eingedrungene, schnelle Elektronen treffen auf Luftbestandteile (Atome, Moleküle)
- Stoßenergie hebt Elektronen der Atome in einen höheren Energiezustand, beim Zurückfallen in Grundzustand wird Energie wieder in Form von Licht abgegeben; ist das, was wir als Polarlicht wahrnehmen
- Elektronen aus Plasmaschicht primäre Elektronen, haben sehr hohe Energie und „schlagen“ Elektronen aus Luftbestandteilen (Sekundärelektron). Primäres E kann mehrere Stöße herbeiführen bevor Energie verbraucht ist → Teilchenlawine. Je effektiver, umso tiefer E in Atmosphäre eindringt
- Stöße passieren in 100-500km Höhe. Zusammensetzung Luft:
 - 100km: O₂ 21%, N₂ 78%
 - 400km: O₂ und N₂ nimmt ab, atomarer Sauerstoff nimmt zu → zwischen 300-400km Hauptbestandteil (entsteht in Thermosphäre durch chemische Reaktion von O₂ mit UV)
 - ab 500km: atomarer O nimmt ab, H und He
 → Grund liegt in genau dieser Teilchenkonzentration: wenn Teilchen auf unserer Höhe angeregt würde, würde es sofort mit einem anderen T. zusammenstoßen, weil Konzentration so hoch ist, und seine Anregungsenergie sofort verliert. Oberhalb von 100km Luftdruck ein Millionstel von Normaldruck, Zeit zwischen Stößen auch über eine Million mal größer → Atome genug Zeit um Anregungsenergie in Form von Licht abzustrahlen.
- Farbe des Lichtes hängt von Stoßpartner ab: typisch grünes Licht von Sauerstoffatomen (emittiert Licht mit 557,7nm), auch Rot (entsteht in höheren Atmosphärenschichten, 630nm), auch blaue und violette Phänomene – kommen von angeregten Stickstoffmolekülen

Geographische Verteilung

- in hohen Breiten 66,5° nördlicher Breite bzw. südlicher Breite (Z.B.: Finnland, Grönland, Alaska...) → dort Feldlinien aus der Plasmaschicht, an denen Elektronen sich entlang bewegen
- nicht an Polen und Äquator, weil dort die Feldlinien nicht mehr in die Plasmaschicht reichen (paradoxe Weise keine Polarlichter an Polen)
- da sich Erde dreht (um magnetischen Pol), entsteht ein ringförmiges Gebiet in dem die Lichter auftreten können → Polarlichtoval (nicht rund weil Erde keine Kugel und Schweifform der Magnetosphäre) ; dort treten fast jede Nacht Polarlichter auf
- zu Polen und Äquator hin nimmt Häufigkeit ab
- Mitteleuropa im Durchschnitt 1-3 Nächte pro Jahr; Mittelmeerländer 1x alle 15-20 Jahre

Nebenerscheinungen:

- durch den Einfall der Elektronen gibt es eine erhöhte Anzahl an ionisierten Sauerstoff- und Stickstoffmolekülen. Diese Schicht, die besonders reich an geladenen Teilchen ist, heißt Ionosphäre.
- Dadurch nimmt in der unteren Ionosphäre (100-120km) ein elektrischer Strom gewaltig zu, der sogenannte „polare Elektronenjet“. Dieser Stromfluss sorgt für variierende Magnetfelder, die sich mit den konstanten Magnetfeldern der Erde überlagern können.
- Folgen: erste beobachtete Folge (von A.v.Humboldt) zitternde Kompassnadel während eines Polarlichtes (Bezeichnung „magnetischer Sturm“ kommt daher). Außerdem kommt es zur Veränderung der Reflexionseigenschaften von Radiowellen: Kurzwellenempfang wird gestört, UKW können Überreichweiten erreichen. Z.B. 1980er Taxifahrer in Helsinki konnte Kollegen aus Hamburg hören.
- Wie alle aus der Physik wissen sollten, können variierende Magnetfelder in langen elektrischen Leitern Spannungen induzieren. Es entstehen Überspannungen z.B. in Hochspannungsleitungen und Tiefseekabeln, die auch Sicherungen ansprechen können → früher in Regionen wo häufig Polarlichter (Skandinavien, Kanada) immer wieder Stromnetze zusammenbrachen. Effekt auch bei Ölpipelines in Alaska erkennbar: An Verbindungsstücken starke Korrosion (wegen Strom der bei magnetischen Stürmen in den Rohren entstand) – nichtleitende Übergangstücke eingebaut.

Einteilung:

- Nach Form, Dauer und Helligkeit
- internationaler Standard IBC (international brightness coefficient), I so hell wie Milchstraße, IV wie Vollmond.
- verschiedene Gestalten: „ruhiges Polarlicht“ (vorher gesehen) kann über 10 Minuten völlig ruhig stehen. Oft auch mehrere Bögen hintereinander. Durch Störung oder Strömung im Sonnenwind kommt es zu Verformungen - Beulen und Falten im Bogen → auch Band genannt (diese wellenartige Strukturen ändern oft schnell Farbe, Form und Helligkeit)
- Corona: wenn Beobachter nach oben schaut und das Polarlicht es genau im Zenit sieht. Scheint dann, als würden Strahlen in einem Punkt zusammenlaufen.

- dünne, schleierartige Polarlichter werden Vorhänge genannt. Oft sehr weitläufig und nehmen weite Teile des Himmels ein; so blass, dass helle Sterne hindurchscheinen.

Südlicht/Nordlicht:

Aufteilung für Leuchterscheinungen auf Süd/Nordhalbkugel. Bild von vorher, Teilchen aus Plasmaschicht kommen auf ihrem Weg sowohl an Süd- als auch Nordpol – die beiden Phänomene treten also immer gemeinsam auf. (Seefahrer nannten die zwei Erscheinungen „aurora borealis“ (=Nordlicht) und „aurora australis“) Bezeichnung Polarlicht vermeidet Einseitigkeit.

Quellen:

Bücher:

- K. Schlegel; Vom Regenbogen zum Polarlicht, Spektrum; Spektrum 1995
- G. Wedler; Lehrbuch der physikalischen Chemie; 6. Auflage; Wiley-VCH 2012
- B. Mackowiak; Astronomie; Naumann & Göbel 2012

Internet:

- <http://www.geo.de/GEO/natur/kosmos/neue-explosionen-auf-der-sonne-1686.html?p=2>
- <http://www.mikroskopie.de/kurse/fluoreszenz/elektron.html>
- <https://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/bewegte-ladungen-feldern/ausblick/polarlicht>