

Sternspektren

Autor(en): **Steinlin, U.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **8 (1963)**

Heft 79

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-900186>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

STERNSPEKTREN

Von U. STEINLIN

I. ENTSTEHUNG UND AUSSEHEN EINES SPEKTRUMS

Licht ist – zusammen mit anderen Strahlungen – eine elektromagnetische Schwingung, eine Wellenbewegung, die wir analog einer Wasserwelle auffassen mögen. Während aber die Wasserwellen eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit von vielleicht einem Meter pro Sekunde haben, ist die der elektromagnetischen Wellen 300 000 km pro Sekunde, und während Wasserwellen eine Wellenlänge (Distanz von einem Wellenberg zum nächsten) von etwa 10 cm (kleine Kräuselwellen) bis zu 20 Metern (Ozeanbrandung) haben, ist die Wellenlänge des Lichtes etwa 0.0004 bis 0.0007 mm. Nur in einem Punkte wird der Vergleich mit den Wasserwellen etwas schwieriger: bei diesen wissen wir genau, dass es die einzelnen Wasserteilchen sind, die in einem wogenden See auf und nieder schwingen. Bei elektromagnetischen Wellen hingegen, gibt es kein materielles «tragendes Medium».

Licht ist nicht allein eine elektromagnetische Schwingung, es ist nur derjenige Ausschnitt aus einer langen Skala von Schwingungen, den unser Auge aufnehmen kann. Andere Schwingungen, die sich vom für uns sichtbaren Licht nur durch ihre Wellenlänge unterscheiden, sind etwa folgende :

| <u>Strahlung</u> | <u>Wellenlänge in cm</u> | |
|-----------------------|--------------------------|--------------------|
| Radiostrahlung | 2 000 000 | – 1000 |
| Radarstrahlung | 1 000 | – 0.1 |
| Wärmestrahlung | 0.1 | – 0.000 5 |
| Infrarotstrahlung | 0.000 5 | – 0.000 078 |
| Sichtbares Licht | 0.000 078 | – 0.000 036 |
| Ultraviolettstrahlung | 0.000 036 | – 0.000 002 |
| Röntgenstrahlung | 0.000 002 | – 0.000 000 002 |
| Gamma-Strahlung | 0.000 000 002 | – 0.000 000 000 05 |

Lässt man einen schmalen Lichtstrahl durch ein Prisma fallen (Abbildung 1), wird er beim Eintritt in das Glas und beim Austritt aus ihm umso stärker gebrochen, je kürzer seine Wellenlänge ist – violettes Licht also am stärksten, rotes am wenigsten. Auf einem Schirm oder

einer Photoplatte hinter dem Prisma erhalten wir, wenn das einfallende Licht weiss war (Sonnenlicht etwa), statt eines weissen Flecks ein farbiges Band. Neben den äussersten Farben rot und violett liegen, für unser Auge zwar unsichtbar, auf geeigneten Photoplatten aber leicht zu registrieren, der infrarote bzw. ultraviolette Teil des Spektrums – so nennt der Fachmann dieses farbiges Band. Ein Prisma ist wegen der das Licht entsprechend seiner Wellenlängen zerlegenden Wirkung das wesentliche Zentralstück eines Spektralapparates.

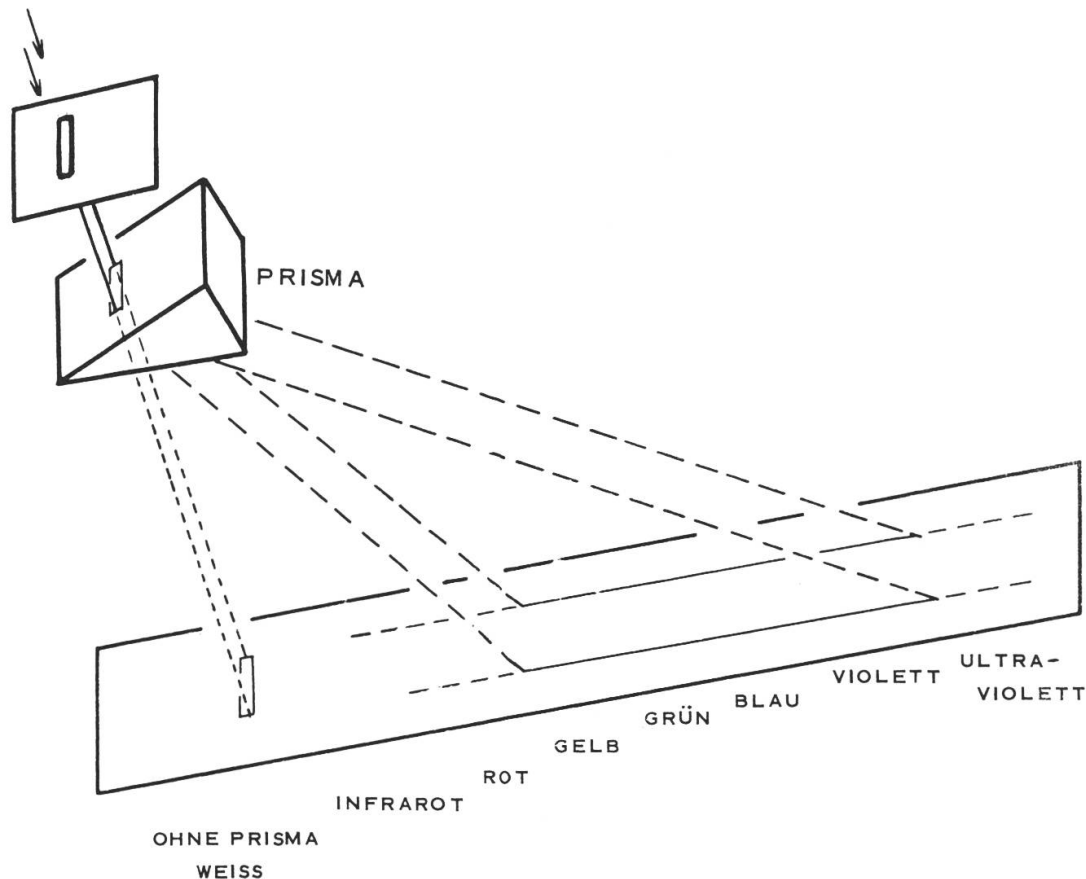


Abbildung 1 – Zerlegung weissen Lichtes durch ein Prisma. Die Blende schneidet aus dem einfallenden Licht ein schmales Band aus, das ohne Prisma auf dem Bildschirm einen weissen Fleck bilden würde. Bringt man das Glasprisma hinter die Blende, wird das Licht umso mehr nach rechts abgelenkt, je kürzer seine Wellenlänge ist; auf dem Bildschirm sehen wir ein regenbogenfarbiges Band von Rot bis Violett. Infrarot und Ultraviolett sind nicht mit blossem Auge, wohl aber auf Photoplatten, die anstelle des Bildschirmes eingesetzt werden, zu sehen.

Weisses Licht ist also eine Mischung von Licht aller möglichen Wellenlängen, aller möglichen Farben, im richtigen Mischungsverhältnis. Ein Uebergewicht eines bestimmten Wellenlängengebietes lässt einen glühenden Körper farbig erscheinen – ein rotglühendes Eisen

zum Beispiel sendet viel mehr rote als blaue Strahlung aus. Immer aber, wenn wir das Licht eines festen glühenden Körpers in einen Spektralapparat fallen lassen, erhalten wir ein kontinuierliches Spektrum, ein farbiges Band, in dem alle Wellenlängen vertreten sind (Abbildung 2 a).

Nicht so im Spektrum eines glühenden Gases – dies sieht ganz anders aus. Von dem regenbogenartigen Band bleiben nur einige sehr schmale Linien übrig. Ein Gas sendet Licht nur in einigen wenigen, ganz genau bestimmten Wellenlängen aus – etwa in einer Wellenlänge im roten Bereich, eine «rote Linie», eine zweite im gelben Bereich, eine im grünen – und dazwischen nichts: das Spektrum besteht aus wenigen oder – je nach dem Gas, das leuchtet – aus vielen hunderten oder gar tausenden von Linien (Abbildung 2 b). Wie sieht nun ein Sternspektrum aus? Kontinuierliches Spektrum oder Linienspektrum? Meistens keines von beiden – oder beides, wie man lieber sagen will: ein normaler Stern zeigt ein kontinuierliches Spektrum, durchsetzt mit vielen dunklen Linien, die, wie man bei einiger Aufmerksamkeit schnell herausfinden kann, genau dort stehen, wo sonst die hellen Linien eines Gasspektrums ihren Platz haben. Um ein solches Spektrum zu verstehen, müssen wir einiges wenig über die Entstehung des Lichtes wissen, und das führt uns in das Gebiet des Atombaues, in die Physik. In einigen Stichworten soll hier das Wissen von der Strahlung der Atome zusammengefasst werden – dies kann auf so knappem Raume natürlich nur lückenhaft geschehen. Der Leser, der sich für eine ausführlichere Darstellung interessiert, greift am besten zu einer der gut verständlichen Einführungen in die Atomphysik, wie sie ja mehrfach existieren.

Ein Atom besteht aus einem Kern, aufgebaut aus schweren Elementarteilchen: Protonen und Neutronen, und einer Anzahl von leichten Elektronen, die um ihn kreisen wie die Planeten um die Sonne. Das einfachste Atom, an das wir uns im folgenden halten, ist das des Wasserstoffs: ein einziges Elektron umkreist den aus einem Proton bestehenden Kern. Die Wege des Elektrons sind dabei nicht beliebig – es steht ihm eine ganz bestimmte Anzahl von Bahnen zur Verfügung, unter denen es eine auswählen kann und zwischen denen es zuweilen hin und her springt. Jeder Bahn entspricht eine gewisse Energiestufe: das Atom kann einen bestimmten Energiebetrag aufnehmen, indem das Elektron in eine äussere Bahn aufsteigt, und ihn wieder abgeben durch ein Zurückfallen auf die innere Bahn. Jedem einzelnen Uebergang entspricht ein ganz bestimmter Energiebetrag. Energie kann also vom Atom nicht in beliebiger, vor allem nicht in beliebig kleiner Menge aufgenommen und abgegeben werden, sondern nur in gewissen, den Energiestufen entsprechenden «Portionen», Energiequanten.

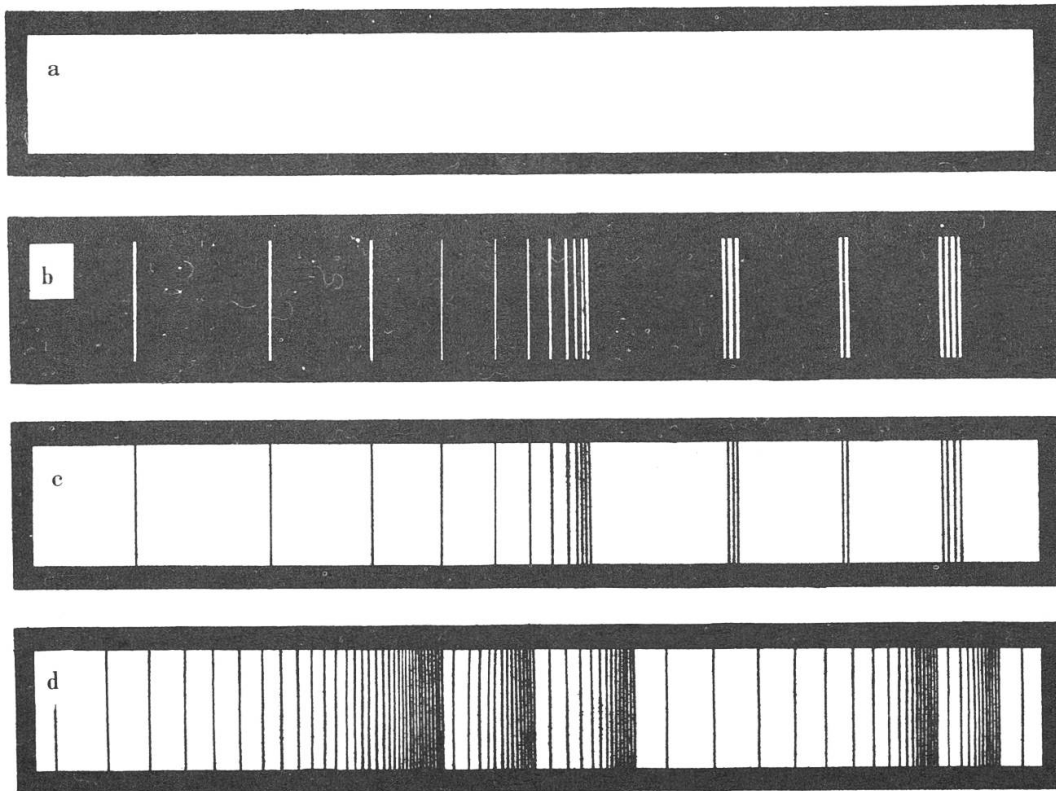


Abbildung 2 – a) kontinuierliches Spektrum eines glühenden Körpers. b) Emissionslinienspektrum eines glühenden Gases. c) Absorptionslinienspektrum desselben Gases wie in b). d) Bandenspektrum eines Moleküls (in Absorption).

Was für Energie wird nun vom Atom umgesetzt? Zunächst bei der Energieabgabe: Das Elektron springt beispielsweise von der drittinnersten Bahn auf die zweitinnerste, energieärmere, und gibt ein der Energiedifferenz entsprechendes Quant ab: diese Energie läuft als Lichtwelle, als rotes Licht, in den Weltraum hinaus – im Spektrum des Wasserstoffgases erscheint eine rote Spektrallinie (wobei natürlich der Energiebetrag von einem einzigen Atom viel zu klein wäre, um gesehen zu werden. Erst die Strahlung von ungezählten Atomen, die alle ihre Elektronen von der dritten auf die zweite Bahn fallen lassen, und die überschüssige Energie « abstrahlen », gibt eine erkennbare Spektrallinie). Andere Elektronen mögen in der vierten Bahn sein, und auch sie können in die zweite hinüberwechseln. Die Energiedifferenz zwischen den Bahnen und damit das abgegebene Energiequant ist grösser, wir beobachten eine kurzwelligere, grüne Strahlung. Die Wellenlänge ist ein Kennzeichen der Energie des Quants – je kurzwelliger, umso energiereicher. Der Uebergang von der fünften in die zweite Bahn liefert eine blaue Strahlung, eine dritte Linie im Wasserstoffspektrum. Und da die Energiedifferenzen zwischen immer höheren Bahnen immer kleiner

werden, liegen die weiteren Linien näher und näher beisammen, sie bilden eine Serie, in unserem Beispiel die sogenannte Balmer-Serie (Abbildung 2 b, linke Seite des Spektrums). Natürlich kann das Elektron aus höheren Bahnen nicht nur in die zweite Bahn herabsteigen. Zur ersten Bahn ist die Energiedifferenz besonders gross und den Uebergängen zu ihr entspricht eine analoge Linienserie im Ultraviolett (Lyman-Serie). Uebergänge von äusseren Bahnen in die dritte geben eine Serie von Linien im infraroten Teil des Spektrums.

Der Uebergang des Elektrons von höheren zu tieferen Energieniveaus (der spontan und von aussen unbeeinflussbar erfolgt) liefert also Licht. Wie aber wird das Elektron erst einmal in die höhere Bahn «hinaufgebracht», um «herabfallen» zu können? Bei tiefer Temperatur laufen die Elektronen in den Atomen des Wasserstoffs alle in der ersten Bahn und nichts geschieht. Wird das Gas jedoch erwärmt, dann beschleunigen seine Moleküle ihre dauernde Bewegung und stossen dabei mehr und mehr zusammen. Je höher die Temperatur, je grösser die Geschwindigkeit, umso häufiger und kräftiger sind die Stösse und umso grösser ist die Wahrscheinlichkeit, dass bei einem solchen Zusammenstoss das Elektron aus seiner Grundbahn heraus in eine höhere Bahn geworfen wird. Umso zahlreicher sind aber damit die Möglichkeiten, zurückzufallen und dabei Licht auszusenden – umso heller wird das Gas leuchten.

Es gibt aber noch einen anderen Weg für das Atom, Energie aufzunehmen. Wo es sich auch befinden mag – es wird meistens aus allen Richtungen von Lichtwellen, die von anderen Atomen ausgesandt wurden, umflutet – ein dichter Hagel von Energiequanten aller möglichen Energiebeträge (Licht aller möglichen Wellenlängen) bestürmt es. Aus diesem Ansturm kann es sich dasjenige Quant herauspicken, das einem passenden Bahnwechsel (von der Bahn, auf der sein Elektron eben läuft, zu einer höheren) entspricht, und die Energie dieses Quants benützen, um den höheren Zustand zu erreichen. Das Energiequant, die Lichtwelle, ist damit «absorbiert», ausgelöscht. Wesentlich ist dabei, dass nur das Quant, das genau der Energiedifferenz zwischen den Bahnen entspricht, verwendbar ist; alle anderen sind für das Atom nutzlos. Das heisst, dass aus dem Licht aller Wellenlängen (das ein kontinuierliches Spektrum bildet) von den Wasserstoffatomen das Licht genau jener Wellenlänge herausabsorbiert wird, das sie ihrerseits beim umgekehrten Uebergang wieder aussenden können. Im kontinuierlichen Spektrum treten, wenn das Licht durch Wasserstoff hindurchgegangen ist, an den Stellen dunkle Absorptionslinien auf, wo im Spektrum des selbst leuchtenden Wasserstoffs helle Linien (Emissionslinien) standen (Abbildung 2 c).

Das Wasserstoffatom mit seinem einzigen Elektron hat ein verhältnismässig einfaches Spektrum. Je höher wir in der Reihe der chemischen Elemente kommen, umso mehr Elektronen umkreisen den Atomkern, und umso mehr Uebergänge zwischen verschiedenen Energieniveaus werden möglich. Das Spektrum des Eisens zum Beispiel zeigt viele tausende von Linien, jede einzelne aus der Theorie des Atombaus berechenbar. Bei diesen Elementen sind die einzelnen Linien oft noch in mehrere, sehr eng beieinanderliegende Komponenten aufgespalten, in Dubletts, Triplets etc. (Abbildung 2b und 2c, rechte Seite). Erst recht kompliziert werden die Verhältnisse bei der von Molekülen statt von einzelnen Atomen ausgesandten Strahlung. In einem Molekül können nicht nur die Elektronen ihre Bahn wechseln, sondern gleichzeitig können sich die Schwingungen, die die zwei oder mehr Atome des Moleküls gegeneinander, und die Rotationen, die sie umeinander ausführen, ändern. Auch dabei handelt es sich um Aenderungen des Energiegehaltes der Gebilde, und die überschüssige Schwingungs- und Rotationsenergie wird zusammen mit der des Elektronen-Energieniveaus als Strahlung ausgesandt oder durch Absorption von Strahlung aufgenommen. Dies gibt – an der Stelle eines einzigen Ueberganges, einer einzigen Linie beim einzelnen Atom – eine grosse Zahl möglicher Uebergänge, möglicher Spektrallinien, die sich nach ganz bestimmten, berechenbaren Anordnungsgesetzen zu Gruppen, sogenannten Banden, zusammenschliessen. Abbildung 2d zeigt, wie ein Molekülspektrum etwa aussehen kann.

Setzt man ein glühendes Gas unter zunehmenden Druck, der die Atome oder Moleküle in immer engeren Kontakt bringt, dann kann das Atom seine Strahlung nicht mehr ganz unbeeinflusst von seinen Nachbarn abgeben, es wird von ihnen gestört. Der bei jedem Uebergang abgegebene oder aufgenommene Energiebetrag kann dann ein wenig variieren, die Wellenlänge der Strahlung kann einmal ein bisschen grösser, ein andermal ein bisschen kleiner sein als im Idealfall des stark verdünnten Gases mit seinen grossen Abständen von Atom zu Atom. Die Spektrallinien sind dann nicht mehr scharf, sondern breit und verwaschen. In einer Flüssigkeit oder in einem festen Körper sind die Atome noch viel enger zusammengedrängt, sie beeinflussen sich gegenseitig noch sehr viel stärker, und wir sehen überhaupt keine einzelne Linie mehr, sondern über das ganze Spektrum «verschmierte» Strahlung: das kontinuierliche Spektrum, von dem wir am Anfang ausgegangen sind:

Ein kontinuierliches Spektrum kann aber auch noch auf andere Weise zustande kommen. Das Elektron des Wasserstoffatoms kann, wie oben ausgeführt, durch Absorption von Strahlung die Energie gewinnen, um

beispielsweise von seinem zweiten Energiezustand in den dritten, vierten etc. hinaufzusteigen. Dem entspricht eine Serie von Absorptionslinien. Diese Uebergänge erreichen aber eine Grenze dadurch, dass sich schliesslich das Elektron ganz vom Atom löst – zurück bleibt ein seines Elektrons beraubtes Atom, ein sogenanntes Ion. Der «Ablösungsenergie» oder «Ionisationsenergie» des Atoms entspricht eine Spektrallinie, die einen Schlusspunkt hinter die Linien der betreffenden Serie setzt, die Seriengrenze. Nun kann aber das Atom nicht nur Strahlung absorbieren, deren Quanten gerade den Ablösungsenergiebetrag mit sich führen, sondern auch noch energiereichere. Der Ueberschuss an Energie über die Ablösungsenergie hinaus wird einfach dem Elektron als kinetische Energie mitgegeben. Das Elektron verlässt das Atom mit umso höherer Geschwindigkeit, je grösser dieser Ueberschuss war. Die Geschwindigkeit kann aber jeden beliebigen Betrag haben – das heisst, dass das Atom jegliche Strahlung absorbieren kann, deren Quanten mehr Energie mit sich führen als zur Ablösung des Elektrons nötig ist. So kommt eine kontinuierliche Absorption zustande, die sich von der Seriengrenze aus gegen kürzere Wellenlängen hin erstreckt. Umgekehrt kann das seines Elektrons beraubte Atom, das Ion, ein zufällig in seiner Nähe vorbeifliegendes einzelnes Elektron einfangen, um wieder «komplett» zu werden. Dabei wird Energie frei und als Strahlung aussendbar, nämlich das Aequivalent der vorher verbrauchten Ablösungsenergie, die ihren festen Wert hat, plus die kinetische (Bewegungs-) Energie des Elektrons vor dem Einfang durch das Ion. Letztere kann aber auch wieder beliebige Werte haben, und das Energiequant, das ausgesandt wird, kann also dementsprechend alle möglichen Energiemengen (aber alle grösser als die Ablösungsenergie) mit sich führen. Die Wellenlänge der entstehenden Strahlung kann somit alle möglichen Werte jenseits der Wellenlänge der unveränderten Ablösungsenergie haben. Für das Spektrum heisst das aber, dass sich an die Serie der Emissionslinien jenseits der Seriengrenze eine kontinuierliche Emission, das «Grenzkontinuum», anschliesst.

Hat das Wasserstoffatom sein einziges Elektron verloren, ist es ionisiert, dann ist es für den Spektroskopiker völlig uninteressant geworden, denn es kann ohne ein Elektron ja weder Strahlung aussenden noch absorbieren. Anders alle andern Elemente, die mehrere Elektronen (Uran hat deren 92!) um ihren Kern kreisen lassen. Ist ein Atom eines höheren Elementes etwa eines Elektrons beraubt, ist es also ein Ion, dann können sehr wohl die noch zurückgebliebenen Elektronen ihre Sprünge hin und her zwischen verschiedenen Energieniveaus ausführen. Dadurch aber, dass eines der Elektronen fehlt, verändern sich die Energieniveaus des Ions gegenüber dem kompletten Atom ein wenig,

und die Linien des Ions sind darum etwas verschieden von denen des Atoms. Und so kann es noch weiter gehen: ein Atom kann auch zwei, drei und noch mehr Elektronen verlieren, zweifach, dreifach etc. ionisiert sein, und jeder dieser Zustände hat sein eigenes Linienspektrum.

Soviel über Spektren im allgemeinen. In einem zweiten Teil sollen die Spektren verschiedener Typen von Sternen betrachtet werden.

RÉSUMÉ

LES SPECTRES STELLAIRES

(Article pour débutants.)

La lumière, comme d'autres rayonnements (rayonnement radio, radar, roentgen etc.), est une oscillation électromagnétique. Le prisme décompose un faisceau lumineux en un spectre étalé selon la longueur d'onde du rayonnement. Les corps solides et fluides portés à incandescence émettent dans toutes les longueurs d'onde et produisent ainsi un spectre continu; les gaz ne rayonnent que dans des longueurs d'onde isolées et bien définies, on obtient alors un spectre discontinu ou spectre de raies. Chaque raie spectrale correspond à une transition de l'électron dans les atomes du gaz d'un niveau d'énergie à un autre, inférieur au premier. Le phénomène inverse se produit lorsque l'atome absorbe l'énergie correspondant à la même longueur d'onde qu'auparavant, permettant ainsi à l'électron de remonter au niveau énergétique initial. Les molécules émettant ou absorbant de l'énergie rayonnante donnent naissance à des spectres de bandes, dans lesquels les raies s'arrangent en groupes très serrés.

Dans un prochain article on traitera des spectres des différents types d'étoiles.

Adresse des Verfassers :

Astronomisch-meteorologische Anstalt, Binningen-Basel.