

**Zeitschrift:** Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft  
**Herausgeber:** Schweizerische Astronomische Gesellschaft  
**Band:** - (1949)  
**Heft:** 25

**Artikel:** Über den Nachweis von Magnetfeldern auf Himmelskörpern  
**Autor:** Klüber, H. von  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-900579>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 13.02.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# ORION

Mitteilungen der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft  
Bulletin de la Société Astronomique de Suisse

SCHAFFHAUSEN

OKTOBER 1949

N<sup>o</sup> 25

## Ueber den Nachweis von Magnetfeldern auf Himmelskörpern

Von Prof. Dr. H. VON KLÜBER

### I. Teil

Im «Orion» Nr. 19, 1948, erschien eine kurze Notiz über den zum ersten Male geglückten Nachweis von Magnetfeldern auf gewissen Fixsternen.

Die moderne Astro-Spektroskopie vermag in der Tat unter gewissen Bedingungen das Vorhandensein etwaiger Magnetfelder, ihre Polarität und ihre Stärke, auf andern Himmelskörpern recht sicher nachzuweisen. Die Möglichkeit, einen solchen Nachweis überhaupt führen zu können, mutet im ersten Augenblicke sehr überraschend an. Darum wird ein knapp zusammenfassender Bericht, wie solche Beobachtungen gemacht werden und welche Resultate dabei bisher erzielt wurden, vermutlich unsere Leser interessieren. Folgendes sind in kurzen Zügen die spektroskopischen Grundlagen für derartige Untersuchungen, auf die wir etwas ausführlicher eingehen möchten, um unsern Lesern selber Verständnis der interessanten Methode und kritische Wertung der Resultate nahezubringen. Denn man bemerkt nicht selten, dass die Tragfähigkeit und Beweiskraft derartiger schwieriger Beobachtungsergebnisse seitens der Theorie und in den Lehrbüchern weit überbelastet wird.

Die vielfältigen Spektrallinien (Fraunhoferlinien, Absorptionslinien) in den Spektren der Sonne und der Fixsterne entstehen bekanntlich nach dem für diese Betrachtungen ausreichenden klassischen Bilde des Bohr'schen Atommodells dadurch, dass eines der um den Atomkern kreisenden Leuchtelektronen durch die vom heissen Sterninnern herkommende Energiestrahlung von seiner bisherigen Bahn in eine andere mit grösserem Radius gehoben wird, wobei gegen die Anziehungskräfte des Kernes Arbeit geleistet werden muss. Die dazu aufzuwendende Energie wird dem kontinuierlichen Spektrum des Himmelskörpers entnommen, fehlt also nunmehr in diesem und die betreffende Linie erscheint als dunkle Absorptionslinie auf der helleren Umgebung des kontinuierlichen Spektrums. Die Schärfe und die genau bestimmte Wellenlänge der Linie, damit also auch ihre genau definierte Lage im Spektrum, kommen dadurch zustande, dass zufolge der sog. Quantenregeln nur ganz bestimmte Elektronenbahnen möglich sind. Deswegen können auch nur ganz bestimmte Energiedifferenzen beim Elektronensprung von einer Bahn in die andere auftreten. Die einzelnen

Elektronenbahnen bilden sozusagen verschiedene Energieniveaus und die Spektroskopie stellt denn auch tatsächlich in einer leicht verständlichen Symboldarstellung die einzelnen Spektrallinien als Elektronensprünge oder sog. Elektronenübergänge zwischen bestimmten Energieniveaus dar.

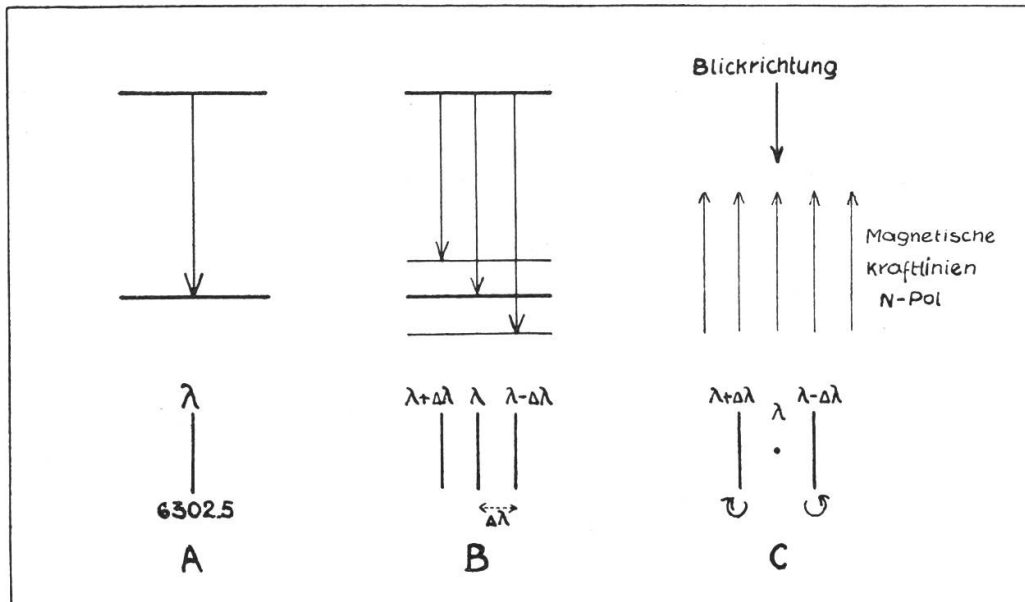


Abb. 1

Um für das Folgende anschaulicher zu bleiben, betrachten wir jetzt zunächst den einfachen Fall einer Emissionslinie, also die Entstehung einer *hellen* Linie. Es findet dabei der umgekehrte Vorgang statt wie bei der Absorption, d. h. ein Leuchtelektron fällt von einer kernferneren Bahn auf eine kernnähere. Die dabei frei werdende Energie wird als helle Emissionslinie ausgestrahlt. Unser Beispiel der Abb. 1 A zeigt nun links einen solchen ganz einfachen Fall für eine im Zusammenhang mit unserm Thema besonders interessierende rote Spektrallinie des Eisens mit der Wellenlänge  $\lambda$  6302.5 Angström-Einheiten. Wir sehen dort symbolisch durch leicht verständliche Pfeildarstellung, wie diese Eisenlinie entsteht durch Elektronenübergänge von einem oberen, kernferneren Niveau zu einer unteren, kernnäheren Bahn. Den eigentlichen Atomkern, das Anziehungszentrum für das Elektron, muss man sich weit unterhalb des Bildes in der Papierebene vorstellen.

Wenn wir das gleiche, eben betrachtete Atom nun in ein Magnetfeld bringen, so werden durch dieses die verschiedenen möglichen Atombahnen, eben die Quantenbahnen, in verschiedener, aber durch die Theorie heutzutage wohl vorherbestimmbarer charakteristischer Weise verändert. Manche Niveaus ändern sich gar nicht, wie zum Beispiel das obere Niveau in unserer Abbildung 1 B, andere spalten symmetrisch zu ihrer früheren Lage in zwei nahe benachbarte neue Niveaus oder Quantenzustände auf, wie es z. B. Abb. 1 B für das untere Niveau zeigt. Die Niveaus vieler Linien

zeigen noch ganz andere, viel kompliziertere Aufspaltungsbilder. In unserem Beispiel werden nun zwischen den neuen, im Magnetfeld entstandenen Niveaus wieder Elektronenübergänge stattfinden können. In unserm gezeichneten Beispiel bedeutet das, dass statt der im feldfreien Zustande einfachen Linie jetzt deren 3 auftreten werden, die einander eng benachbart sind. Da die neuen Niveaus ziemlich eng beieinander liegen und symmetrisch zum ursprünglichen Niveau, liegen auch die neuen Linien wieder eng beieinander und symmetrisch beiderseits der ursprünglichen Linie. Die Grösse dieser Linienaufspaltung, in unserer Abb. 1 B mit  $\Delta\lambda$  bezeichnet, lässt sich aus den spektroskopischen Daten der betreffenden Spektrallinie, die man meistens kennt (d. h. aus ihren sog. Quantenzahlen), ihrer Wellenlänge und den magnetischen Kräften, die am Ort des leuchtenden Atoms herrschen, nach einer sehr einfachen Schlussformel berechnen. Umgekehrt kann man also aus der Aufspaltung einer bestimmten Linie, also aus der auftretenden Grösse  $\Delta\lambda$  sehr einfach die an ihrem Entstehungsorte herrschenden magnetischen Kräfte, oder, wie der Physiker sagt, die sog. magnetische Feldstärke berechnen.

Esgibt aber gleichzeitig noch ein weiteres wichtiges und beobachtungstechnisch sehr nützlich Kriterium für das Vorhandensein von Magnetfeldern am Orte einer solchen Linienaufspaltung. Bei allen diesen spektroskopischen Leuchtvorgängen handelt es sich doch um Elektronenbewegungen im Elektronensystem der Atome. Es ist nun aus der Elektrodynamik wohlbekannt, dass die Bahnen bewegter Elektronen in einem Magnetfelde in ganz bestimmter Weise beeinflusst und verändert werden. Das trifft notwendigerweise auch für die Leuchtelektronen eines Atoms zu: sie stellen sich im Magnetfelde so ein, dass sie entweder in Richtung des Magnetfeldes schwingen oder dass sie in kreisförmigen Bahnen mit Ebenen senkrecht zur Feldrichtung umlaufen. Diese bevorzugten Bewegungstypen lassen sich sogleich auch an dem von ihnen ausgesandten Lichte, also an den von ihnen erzeugten Spektrallinien erkennen. Denn für gewöhnlich, ohne Anwesenheit eines Magnetfeldes, erfolgen die Lichtschwingungen in einer Spektrallinie ungeordnet und ausserordentlich schnell wechselnd nach allen Richtungen. Da in Anwesenheit des magnetischen Feldes aber die Elektronen nur noch in bestimmten Formen schwingen, so trifft das gleiche auch auf die von ihnen ausgestrahlten Lichtschwingungen zu. Auch sie erfolgen jetzt entweder linear in Richtung des Magnetfeldes und man nennt diese Lichtform alsdann linear polarisiert, oder in Kreisbahnen mit Ebenen senkrecht zur Richtung des Magnetfeldes und man spricht dann von zirkular polarisiertem Lichte. Diese Kreisbahnen können in beiden Richtungen, im Uhrzeigersinn und umgekehrt, durchlaufen werden und die beiden dabei resultierenden Lichtarten unterscheiden sich wiederum von einander. Man spricht von rechts und links zirkular polarisiertem Lichte. Für das freie Auge unterscheiden sich polarisierte Lichtarten nicht von gewöhnlichem Lichte, mit ganz ein-

fachen Methoden der Kristalloptik kann man aber solche Polarisationen leicht nachweisen und die einzelnen Arten von einander unterscheiden.

Wenn wir also ausser der schon geschilderten Aufspaltung auch noch den Polarisationszustand der aufgespaltenen Linien beachten (was optisch sehr einfach ist), so können wir zusätzlich auch noch eine Aussage machen über die Polarität des betreffenden Magnetfeldes, d. h. wir können entscheiden, ob wir auf einen Nord- oder einen Südpol blicken. Richtung und Stärke eines Magnetfeldes pflegt man bekanntlich symbolisch durch Richtung und Zahl der sog. Kraftlinien darzustellen. Blicken wir beispielsweise von oben her auf einen auf uns zuweisenden magnetischen Nordpol, also direkt in die auf uns zuweisenden magnetischen Kraftlinien hinein (sog. Longitudinaleffekt), so stellen sich Aufspaltung und Polarisation unserer Eisenlinie so dar, wie Abb. 1 C es schematisch zeigt. Am alten Orte der ursprünglichen Spektrallinie erfolgen die Schwingungen in Richtungen parallel zum Felde, in den beiden seitlich neu aufgetretenen Komponenten tritt rechts bzw. links zirkular polarisiertes Licht auf. Da sich uns das Licht als ein senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung schwingender Vorgang darstellt, die Elektronenschwingungen der Mittelkomponente aber in der Blickrichtung erfolgen, so wird in *dieser* Lage die Mittelkomponente ganz unsichtbar. Drehen wir die Richtung des Magnetfeldes um, so vertauscht sich der Drehsinn der beiden Seitenkomponenten. Wir leiten also daraus die wichtige Tatsache ab, dass der Drehsinn der Seitenkomponenten uns sogleich die Polarität des Magnetfeldes angibt. Blicken wir auf das Magnetfeld unter anderem Winkel als senkrecht, wie wir es eben annahmen, so ändern sich die Polarisationsverhältnisse nach einfachen geometrischen Regeln. Aus einer Analyse der Polarisationsverhältnisse der einzelnen Komponenten kann man also auch ein Bild von der Richtung des ganzen Magnetfeldes gewinnen.

Die hier an einem einfachen Beispiel geschilderten Vorgänge können sich bei vielen Spektrallinien je nach den Elektronenkonfigurationen im Innern der verschiedenen Atome bedeutend komplizieren. Für astrophysikalische Zwecke wird man sich aber bevorzugt solche Linien mit einfacher Gesetzmässigkeit und grossen Aufspaltungsbeträgen aussuchen, so wie sie eben unsere Abb. 1 veranschaulicht. Gerade diese als Beispiel dargestellte Linie ist bisher für die grosse Mehrzahl aller magnetischen Felduntersuchungen auf der Sonne vorwiegend benutzt worden.

Die ganze geschilderte Erscheinung, Linienaufspaltung und Polarisation der entstandenen Komponenten im Magnetfeld nennt man den Zeeman-Effekt der Spektrallinien.

Was wir eben am Beispiel der Emissionslinien kennen lernten, kann man mit geringen Aenderungen auch auf die Absorptionslinien der Sternspektren übertragen.

Wir wenden uns nunmehr der astrophysikalischen Anwendung des Zeeman-Effektes zu. Die ersten Magnetfelder, die auf dem

Mt. Wilson-Observatorium durch G. E. Hale und seine Mitarbeiter um das Jahr 1907 einwandfrei auf Himmelskörpern durch ihre Zeeman-Effekte nachgewiesen wurden, waren die seither wohlbekannten Magnetfelder, die ohne Ausnahme in ziemlich bedeutender Stärke bis zu einigen Tausend Gauss in allen Sonnenflecken ihren Sitz haben. Selbst für diese starken Felder aber wird die Linienaufspaltung zufolge des Zeeman-Effektes, also die Grösse  $\Delta\lambda$  unserer Abb. 1 B, nur Bruchteile von Angström-Einheiten betragen. Das entspricht auf den photographischen Spektralaufnahmen selbst der ganz grossen, modernen Sonnenspektrographen (Turmteleskope) nur Bruchteilen eines Millimeters. Unsere Leser mögen daraus ersehen, wie schwer und wie unsicher es schliesslich wird, kleine Felder von 50 oder gar 20 Gauss zu messen, die für manche Untersuchungen von besonderem Interesse sind.

Wir wissen heute, dass die magnetischen Kraftlinien eines Sonnenfleckes, durch die man wiederum Stärke und Richtung seines Magnetfeldes symbolisch darzustellen pflegt, in dichtem Bündel und vorwiegend radial aus der Sonnenoberfläche herauskommen. Wenn ein Fleck also in der Nähe der Sonnenmitte steht, so haben wir z. B. für die uns schon bekannte Eisenlinie  $\lambda$  6302.5 A. E. das Aufspaltungsbild unserer Abb. 1 C zu erwarten, da wir direkt parallel in die Kraftlinien hineinblicken. Im allgemeinen wird wegen der Kleinheit der Aufspaltung aber nur eine Verbreiterung der Spektrallinie erkennbar sein. Um die gesuchte Grösse  $\Delta\lambda$  sicherer messen zu können und auch gleichzeitig die Polarisation zu erfassen, bedient man sich ganz allgemein für derartige Messungen eines kleinen Kunstgriffes: durch gewisse, in den Lichtweg gesetzte doppelbrechende Kristallplättchen (sog. Viertelwellenlängenplättchen) und durch Polarisationsfolien, die nur noch eine bestimmte Schwingungsrichtung des Lichtes durchlassen, gelingt es leicht, eine der beiden Seitenkomponenten des Zeeman-Effektes durch Ausnützung ihrer Polarisation im Spektrum ganz auszulöschen, ohne das Aussehen des Spektrums sonst im geringsten zu verändern. Die je nach ihrem Polarisationszustande dann noch im Spektrum übrig bleibende Komponente täuscht dann am Orte des Magnetfeldes im Spektrum sozusagen eine kleine Seitenverschiebung der betreffenden Spektrallinie um  $\Delta\lambda$  vor. Solche Linienverschiebungen können nun aber sehr sicher und einfach gemessen werden. Die Feststellung eines Magnetfeldes wird somit einfach auf die Feststellung einer kleinen Linienverschiebung im Spektrum zurückgeführt.

Zusammenfassend sieht also die spektroskopische Messung von Magnetfeldern auf Himmelskörpern etwa so aus: das zu untersuchende Licht des Gestirns wird durch ein bestimmtes Kristallplättchen und durch einen Polarisator geleitet, dann durch einen sehr leistungsfähigen Spektrographen zerlegt und danach werden an vorher sorgsam ausgesuchten Spektrallinien Linienverschiebungen ( $\Delta\lambda$ ) mit hoher Präzision gemessen. Die Grösse der Verschiebung lässt die Feldstärke und die Richtung der Verschiebung die Pola-



rität des Feldes sogleich ableiten. Beachtet man noch den gesamten Polarisationszustand der aufgespaltenen Linie, so bekommt man zusätzlich auch noch Auskunft über die Neigung des Feldes zur Gesichtslinie.

Das Aussehen einer Spektralaufnahme, wie sie für die Messungen von Magnetfeldern in Sonnenflecken üblich sind, zeigt Abb. 2 nach Aufnahme eines kräftigen Fleckenfeldes am Einsteinturm des Observatoriums in Potsdam. Um die Linienverschiebung im Spektrum recht deutlich zu machen, wurde hierbei die oben erwähnte

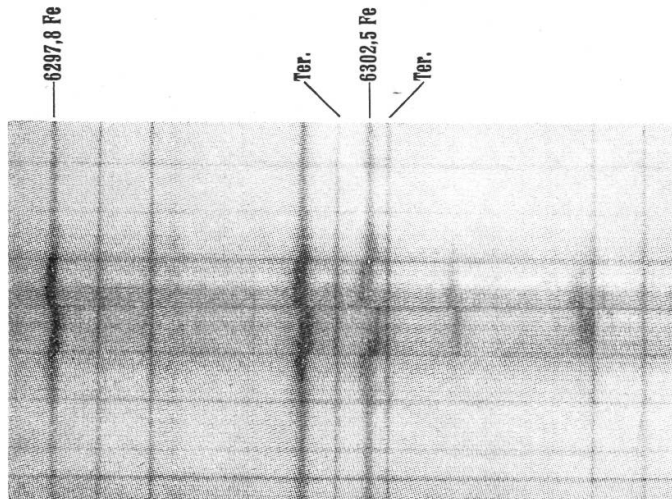


Abb. 2

Kristallplatte vor dem Spektrographenspalt in ganz schmalen Streifen zerlegt und so angeordnet, dass in schmalen Streifen übereinander abwechselnd bald nur die eine, bald nur die andere der beiden seitlichen Zeeman-Komponenten allein im Spektrum sichtbar bleibt. Die Linienverschiebung tritt dadurch sehr deutlich in Form einer Art von Mäandermuster hervor. Die beiden schmalen, mit «Ter» bezeichneten Linien entstehen erst in der Atmosphäre unserer Erde durch Absorption des Sonnenlichtes an Sauerstoff-Molekülen, dürfen also natürlich keinen Zeeman-Effekt zeigen und sie bilden dadurch eine vorzügliche Kontrolle der ganzen optischen Einrichtung. (Schluss folgt.)