Über Wellenlängenänderung in den H I- und He I-ähnlichen Spektren infolge der elektromagnetischen Verschiebung des Grundterms

Von Victor von Keussler
Fraunhofer-Institut, Freiburg i. Br.

(Z. Naturforschg. **4 a**, 158 [1949]; eingeg. am 24. Januar 1949)

Die wasserstoff- und heliumähnlichen Spektren der Elemente der ersten Reihe des periodischen Systems sind im extremen Vakuumultraviolett bis zur siebenten Ionisierungsstufe bei ausgezeichneter Linienschärfe photographiert worden[1]. Die genaue Ausmessung der Wellenlängen wird jedoch durch das Fehlen geeigneter Bezugslinien in diesem Gebiet erschwert. Es sind daher auf Grund der Sommerfeld-Unsöld-Diracschen Theorie mit Hilfe der Formel von Penney[2] die Wellenlängen der Linien der H I-ähnlichen Spektren berechnet und sodann als Normalen zur Ausmessung der He I-ähnlichen Spektren und anderer Linien benutzt worden. Nur ganz wenige Linien sind in höheren Ordnungen, bezogen auf Normallinien von Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff, gemessen worden. Die Genauigkeit dieser Messungen ist aber sehr hoch zu bewerten, da sie in hohen Gitterordnungen ausgeführt und die benutzten Normallinien ihrerseits an interferometrisch gemessene Eisennormallinien angeschlossen sind.

Am sichersten ist die Wellenlänge der Linie $1s\,^2S_{1/2} - 2p\,^2P_{1/2,\,3/2}$ in Li III von Edlén[3] bestimmt worden. Er erhielt dabei aus der fünften bis zwölften Ordnung folgende Werte in Å mit in Klammern beigefügter Ordnung: 134,998 *(5)*; 995 *(6)*; 997 *(7)*; 995 *(8)*; 001 *(9)*; 995 *(10)*; 997 *(12)*. Diese beobachteten Werte sind durchweg größer als der auf Grund der Sommerfeld-Unsöld-Diracschen Theorie sich ergebende Wert 134,994 Å. Die Differenz könnte nach Edléns Meinung auf „einer unsymmetrischen Verbreiterung der deutlich diffusen Linie" beruhen. Die Größe der Abweichung beträgt $\Delta\lambda = 0{,}002_9 \pm 0{,}000_6$ Å, was $\Delta\nu = 15{,}_9 \pm 3{,}_3\ \mathrm{cm}^{-1}$ entspricht.

Die von Edlén festgestellte Wellenlängenabweichung befindet sich in bemerkenswertem Einklang mit neueren experimentellen und theoretischen Ergebnissen. Lamb und Retherford[4] haben mit Hilfe von Zentimeterwellen mit großer Präzision bei Wasserstoff einen geringeren Abstand $2s\,^2S_{1/2} - 2p\,^2P_{3/2}$ festgestellt, als von der bisherigen Theorie verlangt wurde. Diese Tatsache ist von Bethe[5] auf die Verschiebung des $2s\,^2S_{1/2}$-Terms infolge Wechselwirkung zwischen Elektron und Strahlungsfeld in quantitativer Übereinstimmung mit der gemessenen Differenz zurückgeführt worden. Nach der Betheschen Theorie ist auch eine Verschiebung des einfachen Grundterms $1s\,^2S_{1/2}$ der H I-ähnlichen Sprektren im Sinne abnehmender Ionisierungsspannung zu erwarten. Im Anschluß an die von Bethe angegebenen Näherungsformeln erhält man bei der Kernladungszahl Z für die Verschiebung $\Delta\nu$ der $1s\,^2S_{1/2}$-Terme

$$[\Delta\nu]_{\mathrm{cm}^{-1}} = 0{,}0835\, Z^4 (3{,}31 - \lg_{10} Z^2)\,.$$

Für Li III ergibt sich demnach $\Delta\nu = 16{,}0\ \mathrm{cm}^{-1}$, in Übereinstimmung mit dem aus Edléns Messungen abgeleiteten Frequenzunterschied.

Somit können infolge des Vorhandenseins der elektromagnetischen Termverschiebung die Linien der H I-ähnlichen Spektren nicht ohne weiteres als Bezugslinien verwendet werden. Eine genaue Vermessung ihrer Wellenlängen ist unerläßlich. Nach der angeführten Beziehung nimmt jedoch die Wellenlängenänderung mit wachsender Kernladungszahl allmählich ab.

Auch bei den Grundtermen $1s^2\,^1S_0$ der Reihe der He I-ähnlichen Spektren ist eine Abweichung zwischen den experimentell ermittelten und den nach der Hylleraasschen Formel unter Anbringung einer relativistischen Korrektion berechneten Werten von der zu erwartenden Größenordnung vorhanden[6]. Der Sinn der Abweichung entspricht der Theorie von Bethe, doch ist die Genauigkeit für einen quantitativen Vergleich noch zu gering.

[1] F. Tyrén, Z. Physik **109**, 722 [1938]; Nova Acta Reg. Soc. Sci. Upsaliensis Ser. IV, **12**, Nr. 1 [1940].
[2] W. G. Penney, Philos. Mag. J. Sci. **9**, 661 [1930].
[3] B. Edlén, Nova Acta Reg. Soc. Sci. Upsaliensis Ser. IV, **9**, Nr. 6 [1934].
[4] W. E. Lamb jr. u. R. C. Retherford, Physic. Rev. **72**, 241 [1947].
[5] H. A. Bethe, Physic. Rev. **72**, 339 [1947].
[6] H. A. Robinson, Physic. Rev. **51**, 14 [1937]; F. Tyren[1] [1940].

BESPRECHUNGEN

Die Kettenreaktion des Urans und ihre Bedeutung. Von Otto Hahn. Deutscher Ingenieur-Verlag G.m.b.H., Düsseldorf 1948. 46 S. mit 5 Bildern und 1 Taf., Preis DM 3.90, für VDI-Mitglieder DM 3.50.

Die kleine Schrift stellt die erweiterte Fassung eines 1947 vom Verf. gehaltenen Vortrags dar. Sie behandelt zunächst das Wesen der Uran-Spaltung und der Uran-Kettenreaktion, um dann auf den Uranbrenner (Uran-pile) und besonders auf die Möglichkeiten einer friedlichen Ausnutzung der in diesem freiwerdenden Atomenergie einzugehen. Nach Ansicht des Verf. wird die bei der gesteuerten Kettenreaktion entstehende Wärme wohl in wenig Jahren für die Warmwasserversorgung von großen Fabrikanlagen und Städten zur Verfügung stehen, dagegen die Einrichtung von Kraftzentralen für die Belieferung von elektrischem Strom noch längere Zeit auf sich warten lassen. Abschließend wird auf die Gewinnung künstlicher radioaktiver Elemente und ihre Anwendung auf den verschiedensten Gebieten der reinen Forschung, der Biologie und Medizin sowie der Technik hingewiesen.

Das lebendig und leicht faßlich geschriebene Büchlein ist auf Grund der hervorragenden Sachkenntnis seines Verf. sehr geeignet, einem größeren Leserkreis eine klare und nüchterne Vorstellung von den

Möglichkeiten der praktischen Verwertung der Atomenergie zu vermitteln.

Hochstromkohlebogen. Von W. Finkelnburg. (Technische Physik in Einzeldarstellungen, 6. Heft.) Springer-Verlag Berlin, Göttingen, Heidelberg, I. F. Bergmann, München 1948. 221 S. mit 132 Abb., 8°, Preis br. DM 22.50.

Der Hochstromkohlebogen, als Quelle höchster bisher erreichter Temperaturen und größter Strahlungsdichte, hat während des Krieges eine sehr rasche und technisch bedeutsame Entwicklung durchlaufen, an der der Verf. des vorliegenden Buches maßgeblich beteiligt ist. Dieser hat darüber hinaus auch die theoretischen Grundlagen dieser neuartigen Entladungsform nach den verschiedensten Richtungen hin durchforscht und dürfte der beste Kenner auf diesem Gebiete sein; es ist deshalb sehr zu begrüßen, daß er in dieser Monographie seinen Erfahrungsschatz sowie eine vollständige Übersicht sämtlicher bisherigen Ergebnisse als Grundlage für die weitere Forschung zur Verfügung gestellt hat.

Der Stoff gliedert sich in vier größere Abschnitte: Allgemeine Eigenschaften und Betriebsbedingungen des Hochstromkohlebogens; Die physikalischen Eigenschaften des Hochstromkohlebogens; Bogenmechanismus und Theorie des Hochstromkohlebogens; Die technischen Anwendungen des Hochstromkohlebogens. Den Hauptteil des Buches bildet der zweite Abschnitt, in dem die elektrischen Eigenschaften (Stromspannungskurven, Potentialverteilung, Zischvorgänge), die Strahlung (Ausbeute, Leuchtdichte, Winkelverteilung, Energieverteilung, spektroskopische Analyse) in den verschiedenen Spektralbereichen, die Temperatur und sonstige Eigenschaften des Hochstromkohlebogens (Materialtransport, Druckabhängigkeit, magnetische und chemische Eigenschaften) behandelt werden. Die im folgenden Abschnitt dargestellten Ansätze zu einer Theorie des Hochstromkohlebogens beschäftigen sich im wesentlichen mit den für den Bogen entscheidenden Vorgängen im Gebiet des Anodenfalls; sie können noch keineswegs als abgeschlossen gelten. Die zuletzt behandelten, hauptsächlichen technischen Anwendungsgebiete sind: Scheinwerfer mit hoher Leistung, Kinoprojektion, Strahlungsquelle für das langwellige UV, Schweißtechnik und chemische Reaktionen bei hohen Temperaturen.

Gustav Kortüm, Tübingen.

Die Spiralnebel. Von Heinrich Vogt. Carl Winter Universitätsverlag, Heidelberg 1946. 167 S., Preis DM 8.50.

Das Buch gibt einen Überblick über die gegenwärtigen kosmogonischen und kosmologischen Theorien, die durch die Beobachtungen an Spiralnebeln in den Tiefen des Universums in neuerer Zeit angeregt worden sind. Nachdem die Spiralnebel als selbständige Milchstraßen, d. h. Ansammlungen von Milliarden einzelner Sterne, erkannt waren, und nachdem die Riesenteleskope Amerikas sie in immer wachsender Zahl bei abnehmender Helligkeit bis in Abstände von 500 Millionen Lichtjahren erkennen ließen, erforderte dieses ungeheuer erweiterte Weltall eine Deutung. Das Problem der Spiralnebel als der Bestandteile des Universums ist faszinierend durch seine Ausmaße. Es müßte uns über die Ausdehnung der Welt in Raum und Zeit eine Antwort geben; es ist aber auch außerordentlich schwierig und führt nur bei äußerster Schematisierung und Vereinfachung der wahren Verhältnisse zu mathematischen Lösungen. Ihrer Gültigkeit ist dann durch die gemachten Voraussetzungen eine Grenze gesetzt. Trotzdem liegt es in der Natur der Forschung, solche Lösungen zu suchen und aus dem Widerspruch ihrer Konsequenzen mit der Erfahrung neue Probleme aufzuwerfen.

Das Buch von Vogt bietet eine übersichtliche Einführung in diese Gedankenwelt. Es verbindet Vollständigkeit und Objektivität mit klarer, flüssiger Darstellung. Wenn in den kosmologischen Feldtheorien die strengen Ableitungen vermieden sind, so war das unvermeidlich. Das Buch hätte sich sonst zu einem umfangreichen mathematischen Werk entwickelt und seinen großen Vorzug, einen leicht faßlichen Überblick über die Ergebnisse und die Voraussetzungen der Theorien zu geben, verloren.

Die ersten sechs Kapitel führen uns in die wichtigsten Beobachtungsergebnisse der Nebelforschung ein. Wir lernen die Methoden kennen, nach denen die Entfernungen und die Ausmaße der entfernten Milchstraßen bestimmt werden. Bei der Berechnung ihrer Massen bedient man sich des Virialsatzes der Mechanik, der die Beziehung zwischen der kinetischen und der potentiellen Energie eines abgeschlossenen Systems von Punkten regelt, wobei hier als Punkte die einzelnen Milchstraßen gelten. Da die Nebel durchaus nicht gleichmäßig dicht verteilt, sondern in Haufen gesammelt auftreten (wie z. B. der Comahaufen mit 1000 Milchstraßen), so werden sie einem abgeschlossenen System von Punkten ohne äußere Einflüsse gleichgesetzt. Aus den Bewegungen seiner Glieder ergibt sich dann die Gesamtmasse des Haufens und damit auch die Durchschnittsmasse eines Nebels zu 10^{11} Sonnenmassen. Hieraus schließt man dann, daß die einzelnen Spiralnebel sich auch in bezug auf die Masse von unserer Milchstraße nicht wesentlich unterscheiden.

Die räumliche Verteilung der Nebel und die durchschnittliche Dichte des erforschten Weltalls ist für alle kosmologischen Betrachtungen von größter Bedeutung. Sie ergibt sich zu $3{,}5 \cdot 10^{-29}\,\mathrm{g\,cm^{-3}}$. Daß diese Dichte innerhalb des durch die Beobachtung erfaßten Raumes als gleichmäßig angesehen werden kann, läßt sich nicht streng nachweisen. Erst die Beobachtungen an dem großen 5-Meter-Spiegel auf dem Mt. Palomar, der in weitere Tiefen des Weltalls eindringen soll, können diese Frage entscheiden.

Die Rotverschiebung in den Spektren der Nebel und ihr Zusammenhang mit den Entfernungen wird im 11. Kapitel des Buches behandelt. Den Deutungen der Hubbleschen Beziehung zwischen Entfernung und Rotverschiebung ist das folgende Kapitel gewidmet. Ist die Nebelflucht eine reelle Erscheinung, so haben wir es mit einem nicht-statischen Universum zu tun; ist die Expansion nicht reell und durch an-

dere Ursachen vorgetäuscht, so spricht man von einem statischen Universum; die Entscheidung darüber, welche der beiden Möglichkeiten der Wirklichkeit entspricht, kann aus den Beobachtungen bisher nicht erbracht werden. So weit reicht die kritische Darstellung der Beobachtungsergebnisse. Sie nimmt den größten Teil des Buches ein. Wie wir sehen, sind die Grundlagen aller Theorien, die zu ihrer Deutung erdacht werden können, noch sehr unsicher. Bei der Annahme des Weltpostulats, daß die Fluchtbewegung der Spiralnebel in allen Punkten der Welt dasselbe Bild ergeben müsse, diskutiert der Verf. zunächst die Folgerungen aus der Hubbleschen Beziehung (in der Form einer Differentialgleichung $\frac{1}{r}\frac{dr}{dt} = \alpha$, wo r die Entfernung und α die Hubblesche Konstante ist). Er fragt nach der wirksamen Kraft, die dieser Gleichung genügt. Sie kann sowohl eine anziehende als eine abstoßende Kraft sein. Ist die Nebelflucht reell, das Weltpostulat erfüllt und die Gravitation wirksam, so muß man dieser eine zusätzliche, dem Abstande der Nebel proportionale, abstoßende Kraft hinzufügen. Diese Kraft ist dann äquivalent der Einführung des sog. Λ-Gliedes in die Gleichungen der allgemeinen Relativitätstheorie. Dieses Glied hatte Einstein seinerzeit, ohne direkte Begründung weder durch die Theorie noch durch die Beobachtung, versuchsweise in seine Feldgleichungen eingeführt. Es hat zu weitgehenden Spekulationen Veranlassung gegeben. Die Beziehung dieses Gliedes, wenn es positiv angenommen wird, zu einer abstoßenden Kraft in den Gleichungen der gewöhnlichen Newtonschen Dynamik, wird vom Verf. klargestellt. Hier handelt es sich um die Darstellung seiner eigenen Arbeiten. In den relativistischen Gleichungen ermöglicht dieses Glied eine statische Lösung, die freilich instabil ist.

Auch die Untersuchungen von Dirac und Jordan über eine mögliche säkulare Abnahme der Gravitationskonstanten, die der Raumkrümmung des Weltalls umgekehrt proportional sein müßte, werden vom Verf. kurz behandelt. Eingehender bespricht er die Deutungsversuche der Nebelflucht von v. Weizsäcker aus einer Urexplosion, die vor etwa 10^9 Jahren erfolgt sein müßte.

Das Schlußkapitel ist der Dynamik eines einzelnen Spiralnebels gewidmet. Hier stehen sich z. Zt. fünf verschiedene Auffassungen gegenüber, von denen die letzte, die kinematische Theorie von Milne, vom Verf. nicht besprochen wird. Sie war zur Zeit der Abfassung des Buches noch nicht genügend durchgearbeitet. Die vier anderen Theorien stammen von B. Lindblad, H. Bucerius, Jeans und von Vogt selbst. Die beiden ersten versuchen die Entstehung der Spiralarme bei einem Nebel mit Hilfe der Newtonschen Dynamik allein zu erklären. Bei Lindblad sind dieselben gleichzeitig die Bahnkurven der vom Kern losgelösten Materie, sie winden sich um den Kern in der Rotationsrichtung desselben, während ihre Ansatzpunkte an der Rotation nicht teilnehmen, sondern im Raume als eine Art stehender Wellen festliegen. Bei H. Bucerius nehmen sie dagegen an der Rotation des Kerns teil, die Arme winden sich in umgekehrter Richtung um den Kern und sind nicht die Bahnen der herausgeworfenen Materie, sondern Synchronen oder momentane geometrische Örter von Massen, die den Kern zu verschiedenen Zeiten verließen. Die Theorie von Vogt nimmt zusätzlich zur Gravitation eine in größeren Entfernungen einsetzende Repulsivkraft an, um die Form der Spiralarme zu erklären. Die Jeanssche Idee, die von Wellmann zu einer Theorie ausgearbeitet wurde, ersetzt die Repulsivkraft durch eine säkulare Massenabnahme des Nebels.

Leider gestatten die Beobachtungen der Rotation der Nebel bisher noch nicht die Frage zu entscheiden, welcher Rand des elliptisch gesehenen Nebels der uns nähere ist. Damit ist es auch unmöglich, festzustellen, in welcher Richtung die Arme den Nebel umkreisen, mit oder gegen die Rotation des Kerns. So müssen auch in der einfacheren Frage der Dynamik eines einzelnen Nebels mehrere gleichwertige Deutungen nebeneinander bestehen.

E. Schoenberg, München.

Allgemeine Meteorologie. Einführung in die Physik der Atmosphäre. Von Dr. Hellmuth Berg. Ferd. Dümmlers Verlag, Bonn 1948. Din A 5, 337 S. mit 86 Abb., Preis brosch. DM 14.60.

Das vorliegende Buch füllt als knappe Einführung eine stark empfundene Lücke in glücklicher Weise aus, weil es in straffer Beschränkung auf das Grundsätzliche den Raum für einen Gesamtüberblick gewinnt. Bei übersichtlicher Gliederung des Stoffes vermitteln gut beschriftete Abbildungen und zahlreiche einfache Tabellen dem Studenten das Gefühl für die quantitative Seite der Erscheinungen und dem Vertreter anderer Disziplinen die Grundlage für rasche Orientierung. 60 Seiten sind den Kapiteln „Atmosphärische Optik", „Atmosphärische Akustik", „Elektrische und magnetische Erscheinungen" und „Hohe Stratosphäre" gewidmet, deren Einbeziehung nur begrüßt werden kann. Allerdings können hier einige Punkte nicht unwidersprochen bleiben:

Daß die primäre kosmische Strahlung aus vier Elektronenkomponenten bestehe (S. 227), widerspricht mehreren Erfahrungen. Viele Autoren nehmen nur primäre Protonen an. — Die solaren Wellen- und Korpuskularstrahlen, welche erdmagnetische Störungen auslösen, entstammen nicht abgeschleuderten Protuberanzen (S. 231). Sie entstehen bei den sog. chromosphärischen Eruptionen, das sind Strahlungsausbrüche, deren Mechanismus noch nicht bekannt ist. Schließlich können diese in durchschnittlich 20 Stdn. von der Sonne zur Erde fliegenden Korpuskeln nicht die Energie $5 \cdot 10^9$ eV haben, welche die Störmersche Theorie für einzeln fliegende Protonen vorschreibt, damit sie in Mitteleuropa das Magnetfeld der Erde durchdringen können. Die Erforschung dieser Dinge ist noch völlig im Fluß. Ref. möchte deshalb ausdrücklich auf die Sorgfalt hinweisen, mit welcher der eigentliche Stoff des Buches behandelt ist, das nicht nur dem Studenten sehr willkommen sein wird.

Alfred Ehmert, Weißenau.

Satz und Druck: Hoffmannsche Buchdruckerei Felix Krais Stuttgart
Verantwortlich für den Inhalt: H. Friedrich-Freksa und A. Klemm