

VERSAMMLUNGSBERICHTE

Physikalische Gesellschaft zu Berlin und Deutsche Gesellschaft für technische Physik

in Verbindung mit dem Verband Deutscher Elektrotechniker.

Gemeinsame Sitzung am 10. März 1937

im Neuen Physikalischen Institut der T. H. Berlin.

Prof. Dr. I. Zenneck, München: „Die Erforschung der Ionosphäre.“

Die Feststellung, daß kurze elektrische Wellen durch atmosphärische Schichten in großer Höhe wieder zur Erde zurückreflektiert werden können, ist für die Erforschung des Ionisationszustandes dieser höchsten Atmosphärenschichten („Ionosphäre“, 90–400 km Höhe) von großer Bedeutung geworden. Das zur Untersuchung benutzte Verfahren ist das des „Echolots“, das vom Vortr. am Beispiel der Ausmessung von Meerestiefen erläutert wird: Die Zeit zwischen dem Abgang eines elektrischen Wellenzuges (Signal) und der Rückkehr des reflektierten Wellenzuges (Echo) ist ein Maß für die Entfernung der reflektierenden Schicht von der Erdoberfläche (wenn man die Geschwindigkeit der elektrischen Wellen als konstant ansetzt, was im allgemeinen sicher gilt). Diese Zeitdifferenz ist nun außerordentlich klein, von der Größenordnung 10^{-5} s, sie wird daher mit Oscillographen gemessen, wobei Sender und Empfänger so synchronisiert werden, daß auf dem Oscillographenschirm sich ein stehendes Bild ergibt. Die Verbesserungen dieser Methodik in den letzten Jahren sowie ihre Verbindung mit automatischer Registrierung werden ausführlich besprochen. Bei diesen Messungen zeigte sich zunächst, daß elektrische Wellen verschiedener Wellenlänge λ in verschiedener Höhe reflektiert werden; zur Reflektion einer Welle von bestimmten λ ist nämlich eine ganz bestimmte Trägerkonzentration N notwendig nach der Gleichung $N = \frac{\pi \cdot mc^2}{e^2} \cdot 1/\lambda^2$. Variiert man die Wellenlänge und mißt man gleichzeitig die zugehörigen Schichthöhen, so erhält man die gesuchte Kurve $N = f(h)$, die zu jeder Höhe h die Trägerkonzentration N angibt. Im allgemeinen Fall beginnt die Trägerkonzentration in etwa 70–80 km Höhe merkbar zu werden und rasch zu einem Maximum bei etwa 100 km Höhe anzusteigen; diese Schicht mit maximaler Trägerkonzentration wird im allgemeinen als E-Schicht bezeichnet. In größerer Höhe wird dann die Trägerkonzentration zunächst wieder kleiner, sie steigt aber meist bei sehr viel größerer Höhe, z. B. 200 km, nochmals auf viel größere Werte zu einem 2. Maximum an, dies ist die sogenannte F-Schicht. Beide Hauptmaxima sind sehr häufig in mehrere Maxima unterteilt, z. B. die F-Schicht in eine F_1 - und eine F_2 -Schicht, die sich sehr verschiedenartig verhalten können. Um den Ausdruck „ionisierte“ Schicht zu rechtfertigen, gibt Vortr. einige Zahlenwerte über den Ionisationszustand an: In der E-Schicht sind etwa 10^8 Ionen/cm³ vorhanden bei einer Gasdichte von schätzungsweise 10^{14} Molekülen/cm³, allerdings ist die für die Reflektion wichtige Zahl freier Elektronen merklich kleiner, vielleicht 10^4 /cm³; in der F-Schicht kann man mit 10^6 – 10^8 Elektronen/cm³ rechnen bei einer Gasdichte von schätzungsweise $5 \cdot 10^{10}$ Molekülen/cm³, es liegt also in beiden Fällen tatsächlich eine weitgehende Ionisation vor.

Die tägliche Änderung der Ionisierung wird im Kurvenbild gezeigt und diskutiert; sie weist auf einen Zusammenhang mit der Sonnenstrahlung hin und scheint in ihrem Verlauf bezüglich der F₂-Schicht nur durch starke Erwärmungen dieser Schicht (bis auf 900°) erklärbar zu sein, doch muß eine Bestätigung dieser Angaben durch anderweitige Untersuchungen abgewartet werden. Sehr interessant sind ferner kurzzeitige Störungen der Schichten, deren Dauer zwischen wenigen Sekunden und einigen Minuten liegen kann. Hier liegen anscheinend Zusammenhänge mit Durchgängen von Meteoren oder Staubmassen vor, die Ionenbildung bewirken und damit durch Anlagerung der freien Elektronen die Schicht vorübergehend zerstören. Die Geschwindigkeiten dieser Änderungen sind groß, sind aber von gleicher Größenordnung wie die Geschwindigkeiten von Luftstörungen, die im Zusammen-

hang mit Meteordurchgängen durch die Ionosphäre bereits beobachtet sind. Wichtig für die Struktur der Schichten ist die Tatsache, daß in einigen Fällen gleichzeitige Reflektion an zwei Schichten beobachtet wird; da nur Totalreflektion möglich ist, läßt sich diese Erscheinung nur durch „Löcher“ in der unteren Schicht, also eine wolkige Struktur erklären. Die bei weitem wichtigste abnormale Erscheinung ist aber das Auftreten einer sehr dünnen starken E-Schicht bei Nacht (abnormale E-Schicht), wo die Trägerkonzentration in der E-Schicht normalerweise gleich Null ist. Vergleichende Beobachtungen am Kochelsee und in Berlin (gleicher Längengrad) ergaben keine Übereinstimmung.

Die Ursache für das Vorhandensein der Ionisation in den oberen Atmosphärenschichten ist in erster Linie in der UV-Strahlung der Sonne zu suchen (bei totaler Sonnenfinsternis Abklingen der Ionisation auf 0). Aber plötzliche Änderungen am Tage, die nach Norden hin stark zunehmen, ebenso wie das Auftreten der abnormalen E-Schicht, weisen auf noch andere Ursachen hin, die wohl in Analogie zum Nordlicht als Korpuskularstrahlung anzunehmen sind; die ungewöhnliche Schärfe der abnormalen E-Schicht wäre dann aus Reichweiteüberlegungen verständlich. Ob es sich dabei um Elektronen oder Ionen (z. B. α -Strahlen) handelt, läßt sich vorläufig noch nicht entscheiden.

In der Diskussion geht Vortr. etwas näher auf den Reflexionsvorgang ein, vor allem auf die Frage, wie weit sich die Verzögerung der Welle in der Nähe der reflektierenden Schicht auf die Genauigkeit der Entfernungsmessung dieser Schicht auswirkt.

Physikalisch-Technische Reichsanstalt, Berlin.

Colloquium am 22. Januar 1937.

Doz. Dr. E. Justi und Dr. H. Scheffers, Physikalisch-Technische Reichsanstalt, Berlin: „Neue Versuche über das Wesen der elektrischen Leitfähigkeit der Metalle.“

Es wurden die Metallproben bis auf 1,8° abs. (–269,4°) abgekühlt und gleichzeitig in ein starkes Magnetfeld (bis zu 35000 Gauß) gebracht. Die stäbchenförmigen Metallproben waren Einkristalle aus reinstem Gold und Wolfram. Nach den Vorstellungen der Elektronengastheorie, der gemäß im Metall die abgespaltenen Valenzelektronen nach Art von Gas-molekülen frei zwischen Atomrümpfen (Metallionen) umher-schwirren sollten, war folgendes zu erwarten: Steht das Magnetfeld senkrecht auf der Stäbchenachse, durch die der zur Widerstandsmessung benötigte Strom fließt, so werden die Elektronen nach der bekannten Ampèreschen Schwimmerregel senkrecht zur Stromrichtung und senkrecht zum Magnetfeld aus ihrer Bahn abgelenkt, und infolgedessen tritt eine Widerstands-vermehrung auf. Diese sollte aber gegen den Widerstand ohne Magnetfeld klein sein und außerdem nicht mehr zunehmen, wenn das Magnetfeld einen Wert von etwa 1000 Gauß überschreitet. Statt dessen beobachteten die Autoren eine Widerstandszunahme, die beschleunigt (quadratisch) mit der angelegten Feldstärke zunimmt und beispielsweise bei Wolfram bei 4,2° abs. und 25000 Gauß mehr als das 1000fache des ursprünglichen Widerstandes beträgt. Die Experimente enthüllten gleichzeitig auch den Grund, warum die Theorie des freien Elektronengases versagt; die Widerstandszunahme zeigte sich nämlich von dem Winkel abhängig, den jeweils das Magnetfeld mit den Kristallachsen des Einkristallstäbchens bildete, eine Erscheinung, die bisher den Experimentatoren entgangen war. Nach der phänomenologischen Theorie der Kristallphysik sollte sich nämlich jedes regulär kristallisierende Metall — dazu gehört bekanntlich die überwiegende Mehrzahl der Metalle — isotrop verhalten; jede Anisotropie schließt ein Gas von freien Elektronen aus, da ja ein Gas durch seinen isotropen Charakter gekennzeichnet ist. Wenn man beobachtet, daß ein im Magnetfeld um seine Würfelkante gedrehtes Wolframkristallstäbchen bei einer Umdrehung um 360° 4 Maxima und 4 Minima der Widerstandszunahme zeigt, daß bei solchen Metallen regelmäßig Minima der Widerstandszunahme auftreten, wenn das Magnetfeld auf einer ausgezeichneten Kristallfläche senkrecht steht, wenn man konstatiert, daß die Symmetrien dieser Widerstandsdiagramme mit denjenigen der Laue-Rückstrahl-Diagramme genau überein-

stimmen und daß das flächenzentrierte Gold seiner verwickelteren Elementarzelle entsprechend kompliziertere Widerstandsdiagramme zeigt als das raumzentrierte Wolfram, so muß man daraus schließen, daß das Kristallgitter für die elektrische Leitung eine ausschlaggebende Bedeutung besitzt. Man kommt dann zu der Vorstellung, daß bei solchen Versuchen die Wärmebewegung des Gitters eingefroren ist, wodurch sich erst ein scharf definiertes Gitter ergibt, und daß sich dann die Elektronen vorzugsweise in Ebenen bewegen, die mit den auch mechanisch feststellbaren Spaltflächen übereinstimmen; ähnliche Gedanken sprach rein theoretisch schon 1912 J. Stark aus, der statt eines Elektronengases einen Elektronenkristall annahm. Eine solche Vorstellung ist für den Fall des Wolframs mit befriedigenden quantitativen Erfolgen von M. Kohler durchgerechnet worden; nimmt man eine anisotrope Bindung der Elektronen an, so versteht man nicht nur den hohen Betrag der Widerstandszunahme, die Anisotropie und das Fehlen der von der Gastheorie geforderten Sättigung der Widerstandszunahme bei höheren Feldern, sondern auch den sog. Longitudinaleffekt; Justi und Scheffers haben nämlich auch gefunden, daß das raumzentrierte Wolfram keine Widerstandszunahme zeigt, wenn Stromrichtung und Magnetfeldrichtung zusammenfallen, während bei flächenzentrierten Metallen auch hier beträchtliche Widerstandszunahmen auftreten. Man darf hoffen, daß die Theorie aus diesen Experimenten grundlegende Schlüsse über das Wesen des metallischen Zustandes ziehen wird.

Physikalische Gesellschaft zu Berlin und Deutsche Gesellschaft für technische Physik.

Sitzung am 24. Februar 1937

in der Technischen Hochschule Berlin-Charlottenburg.

Prof. W. Grotrian: „Zur Deutung der physikalischen Vorgänge beim Ausbruch der Nova Herculis.“

Am 13. Dezember 1934 leuchtete im Sternbild des Herkules ein neuer Stern auf, dessen Helligkeit schon nach wenigen Tagen so groß war wie die des Sirius. Über diese „Nova Herculis“ (im folgenden NH abgekürzt) ist bereits ein so umfangreiches Beobachtungsmaterial zusammengetragen, daß man sich ein einigermaßen gesichertes Bild von den physikalischen Vorgängen machen kann, die sich auf diesem Stern vor etwa 1350 Jahren abgespielt haben. Die Entfernung der NH konnte nämlich zu 415 parsec¹⁾ (entsprechend 1350 Lichtjahren) gemessen werden. Die Bezeichnung „neuer Stern“ ist nicht ganz richtig, denn an der gleichen Stelle, wo die NH beobachtet wird, befand sich vor dem Erscheinen der Nova auch schon ein Stern mit sehr geringer Helligkeit, die sog. Pränova.

Nach kurzer Wiederholung der zum Verständnis notwendigen astronomischen Begriffe berichtet Votr. zunächst kurz über den Zustand der Pränova. Aus ihrer scheinbaren Helligkeit und ihrer Entfernung ergibt sich ihre absolute Helligkeit und aus spektralen Beobachtungen ihre Spektralklasse (Temperatur). Die Einordnung dieses Sterns in das Russellsche Diagramm (absolute Helligkeit als Funktion der Spektralklasse) ergibt: Die Pränova war ein Stern, der in seinen Eigenschaften offenbar unserer Sonne sehr ähnlich gewesen ist, vielleicht hatte er eine etwas niedrigere Temperatur (5500°). Dieser Stern hat nun, wie seine „Lichtkurve“, d. h. der zeitliche Verlauf seiner scheinbaren Helligkeit, zeigt, innerhalb von einigen Tagen seine Leuchtkraft um das 300 000fache gesteigert, seine Leuchtkraft hat dann aber nicht, wie sonst bei den Novae üblich, sehr schnell wieder abgenommen, sondern ist einen Monat lang konstant geblieben (Januar 1935), dann während zweier weiterer Monate langsam (Februar und März 1935) und erst im folgenden Monat schnell abgefallen (April 1935); ganz unerwartet stieg dann aber seine Helligkeit von einem Minimum (Anfang Mai 1935) nochmals stark an bis zu einem über längere Zeit konstanten Wert; erst seit Ende 1936 scheint seine Helligkeit erneut abzufallen.

Eine Helligkeitszunahme kann bei einem Stern entweder auf einer Zunahme der leuchtenden Fläche (Radius) oder auf

einer Temperaturerhöhung beruhen. Die Temperatur der NH wurde aus dem Spektrum dauernd bestimmt: im Maximum der Lichtkurve betrug sie etwa 18 000°, was zur Erklärung des Helligkeitsanstiegs auf das 300 000fache allein nicht ausreicht; man muß deshalb eine Vergrößerung des Sterndurchmessers auf 100 Sonnenradien, also den halben Durchmesser der Erdbahn, annehmen. Die Geschwindigkeit der ausgeschleuderten Materie, die die Vergrößerung des Sterns bedingt, läßt sich dabei zu etwa 350 km/s angeben (Violettsverschiebung der Absorptionslinien). Daß nun nicht bei immer weiterer Ausdehnung der ausgeschleuderten Materie eine immer weitere Steigerung der scheinbaren Helligkeit der NH eintritt, liegt daran, daß wir nicht den äußersten Rand dieser ausgeschleuderten Materie sehen, sondern die sog. Photosphäre, d. h. die Kugel, für die durchsichtige Materie in die undurchsichtige übergeht.

Votr. geht dann näher auf das Aussehen des Nova-spektrums und die Veränderungen in diesem Spektrum ein, die seit dem Nova-Ausbruch beobachtet wurden. Das Spektrum gleicht zunächst durchaus dem eines normalen Sterns, d. h. auf starkem kontinuierlichen Untergrund zeigt es Absorptions- und Emissionslinien. In der weiteren Entwicklung werden dann die Emissionslinien relativ zum Kontinuum immer stärker und stärker, im Minimum der Lichtkurve ist das kontinuierliche Spektrum fast völlig verschwunden, es treten „verbotene“ Linien auf und die für planetarische Nebel charakteristischen Wasserstofflinien: der Strom der ausgeschleuderten Materieteilchen hat stark nachgelassen, infolge immer weiterer Ausbreitung hat sich die ausgeschleuderte leuchtende Materie jetzt so weit verdünnt, daß die Veränderungen, die mit dem eigentlichen Stern vorgegangen sind, der Beobachtung zugänglich werden. Die Temperatur der Nova Herculis zu diesem Zeitpunkt ergibt sich schätzungsweise zu 70 000°. Bei der geringen Leuchtkraft, die Anfang Mai noch bestand, muß sich der Stern außerordentlich zusammengezogen haben (etwa 2,7 Erdradien!). Diese Abschätzung des Durchmessers wurde unter der Voraussetzung gemacht, daß die Masse des alten Sterns im wesentlichen erhalten geblieben ist; die ausgeschleuderte Materie beträgt tatsächlich, wie eine einfache Rechnung zeigt, nur einen kleinen Bruchteil der vor dem Ausbruch vorhandenen. Aus Gewicht und Durchmesser bestimmt sich die Dichte der NH zu etwa 40 000 g/cm³. Die NH gehört also jetzt dem Typus der „weißen Zwerge“ an.

Besonders interessant ist die Frage der Energiebilanz beim „Zusammenklappen“ der Pränova zum weißen Zwerg. Bei diesem Vorgang leistet die Gravitation eine Arbeit von etwa 10⁵⁰ erg, der Vorgang der Materieausschleuderung verbraucht von diesen 10⁵⁰ erg nur einen sehr kleinen Bruchteil, nämlich 10⁴⁶ erg (1/1000 %!), der Rest der Energie muß demnach als potentielle Energie in der Materie selbst stecken. Dieser überraschende Befund scheint nach einer Theorie von Hund verständlich zu werden, in der der Zustand der Materie bei sehr hohen Drucken und Temperaturen behandelt wird. Die Anwendung seiner Überlegungen auf die NH ergibt einen Energieinhalt von 10¹⁷ erg/g; multipliziert man diese Zahl mit der Sternmasse, so kommen ziemlich genau die obigen 10⁵⁰ erg heraus.

Ein Sonderproblem bietet der bisher gänzlich außer Betracht gebliebene Wiederaufstieg der Lichtkurve der NH ab Juni 1935 (vgl. weiter oben). Die Erklärung hierfür sieht Votr. in der starken UV-Strahlung des weißen Zwergs, welche die umgebende Gaswolke zum Leuchten anregt. Diese Anregung erreicht erst allmählich durch Einstellen eines Gleichgewichtszustandes zwischen eingestrahlt und abgestrahlt Licht ihren Maximalwert (Thomsonsche Theorie der Anregung eines Gases durch Röntgenstrahlen); der so berechnete Helligkeitsanstieg stimmt mit dem gemessenen fast quantitativ überein.

Die Geschichte der NH ist hiermit aber noch nicht zu Ende: im Juli 1936 wurde sie von verschiedenen Seiten unzweifelhaft als Doppelstern festgestellt. Eine reelle Doppelsternbildung liegt natürlich im Bereich der Möglichkeit, doch scheint dem Votr. aus verschiedenen Gründen eine Erklärung dieses Befundes als rein optisches Phänomen wahrscheinlicher. Der Zentralstern wird nämlich bei seiner starken Zusammenziehung eine sehr schnelle Rotation erhalten haben, die zu einer starken Abplattung geführt hat (Linsenform). Er wird aus diesem Grunde praktisch nur senkrecht zu seiner Äquatorebene aus-