

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 52 (1961)
Heft: 3

Artikel: Ergebnisse der Radio-Astronomie
Autor: Waldmeier, M.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916811>

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: 16.05.2025

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

Empfangs- und Sendeanlagen als eine Art aktive Relaisstationen in Bahnen von etwa 1600 km mittlerer Höhe in Umlauf gesetzt werden. Man nimmt an, Fernschbilder oder mindestens 1000 simultane Telefongespräche oder mehrere hundert gleichzeitiger Fernschreibsendungen auf Distanzen von über 5000 km übertragen zu können.

Nie ist die technische Entwicklung mit so gewaltigen Anstrengungen vorwärts getrieben worden wie in unseren Tagen. Sie hat unserem Zeitalter den

Stempel aufgeprägt. Grundlegende Änderungen der Lebensformen von Menschen und Völkern werden die Folge sein. Dies ist unser Geschick, es nach bestem Können zu meistern unsere Aufgabe. Wir müssen dabei die Masstäbe anwenden, die sich für diese Erde eignen. Aber es ist gut, wenn wir wissen, dass es auch kosmische Masstäbe gibt.

Adresse des Autors:

Prof. Dr. F. Tank, Frohburgstrasse 174, Zürich 6/57.

Ergebnisse der Radio-Astronomie

Vortrag, gehalten an der 24. Hochfrequenztagung des SEV vom 26. Oktober 1960 in Bern,
von M. Waldmeier, Zürich

523.164

Die thermische Radioemission ist proportional der Temperatur und deshalb besonders stark bei der Sonne $T = 6000^\circ\text{K}$ und der Sonnenkorona ($T = 2 \cdot 10^6^\circ\text{K}$), (Fig. 5). Von noch grösserer Intensität ist eine nicht thermische Komponente, die von Plasmaschwingungen der Korona stammt. Auch die von den «Radionebeln» ausgehende kosmische Strahlung ist nicht thermischer Natur; diese Radioquellen sind Gasnebel mit grossen turbulenten Geschwindigkeiten oder auch anomale Sternsysteme. Der interstellare Wasserstoff emittiert eine Linie bei 21 cm Wellenlänge. Ihre Dopplerverschiebungen haben zur Erforschung des Aufbaues und der Kinematik des Milchstrassensystems viel beigetragen. Die Radarmethode ist in der Astronomie zur Zeit auf den Mond, die Venus und die Sonne beschränkt. Laufzeitmessungen und Frequenzverschiebungen haben eine Kartographie der Mondoberfläche ermöglicht und die Laufzeit der Venusechos hat die astronomische Einheit viel genauer zu bestimmen gestattet, als astrometrische Beobachtungen.

L'émission radioélectrique thermique étant proportionnelle à la température, le rayonnement du soleil et surtout de la couronne solaire, dont les températures montent à 6000°K respectivement à $2 \cdot 10^6^\circ\text{K}$, est particulièrement haut. Mais la composante non thermique, qui est due à des oscillations de plasma de la couronne a une intensité même plus élevée. Le rayonnement cosmique émis par les «radionébuleuses» est non plus d'origine thermique; ces sources d'émissions radioélectriques sont où des nébuleuses de gaz animées de grandes vitesses turbulentes où des systèmes stellaires anomaux. L'hydrogène interstellaire émet à une longueur d'onde de 21 cm une raie, qui présente un moyen important pour l'exploitation de la voie lactée. Les effets Doppler de cette raie ont donné des dates concernant la structure et le mouvement de notre système stellaire. Jusqu'à présent la méthode «radar» est limitée à la lune, à la Venus et au soleil, en ce qui concerne l'astronomie. On a déjà réussi d'obtenir par les mesures de la durée des échos ainsi que des variations de fréquence une cartographie de la surface lunaire, et également de la durée de propagation des échos de la Venus de déterminer l'unité astronomique beaucoup plus précis que par des observations astrométriques.

Physikalische Grundlagen

Nach dem Planckschen Strahlungsgesetz emittiert ein heisser Körper elektromagnetische Strahlung jeder Wellenlänge, wenn auch mit sehr verschiedener Intensität. Diese ist bei einer vorgegebenen Wellenlänge λ nur eine Funktion der Temperatur T und hängt insbesondere nicht von der chemischen Konstitution des Strahlers ab:

$$I_\lambda = \frac{2 h c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h c}{k \lambda T}} - 1}$$

wobei h die Plancksche, k die Boltzmannsche Konstante und c die Lichtgeschwindigkeit bedeuten. Für das Gebiet der langen Wellen, wie sie im Radiogebiet vorliegen, vereinfacht sich die Strahlungsformel zu:

$$I_\lambda = \frac{2 k c}{\lambda^4} T$$

bzw. in der Frequenzskala:

$$I_\nu = \frac{2 k \nu^2}{c^2} T$$

Da die Intensität bei fester Frequenz der Temperatur proportional ist, kann man statt jener in

anschaulicher Weise die Äquivalenttemperatur angeben.

Die Radio-Astronomie ist durch unsere Atmosphäre auf die Wellenlängen von einigen Millimetern bis zu etwa 10 m beschränkt. Die kurzwellige Grenze ist durch den H_2O -Gehalt bedingt, die langwellige durch die Ionosphäre, welche die kosmische Strahlung grösserer Wellenlänge ins Universum zurückschickt, wie sie terrestrische Wellen zur Erde reflektiert. Satelliten und Raumstationen werden gestattet, das Radiospektrum nach beiden Seiten zu erweitern.

Da die Radiowellen millionenmal länger sind als die Lichtwellen, ist das Auflösungsvermögen eines Radio-Teleskopes auch millionenmal kleiner als dasjenige eines gleich grossen optischen Teleskops. Ein solches von 100 cm Durchmesser besitzt im optischen Gebiet ein Trennungsvermögen von $0,1''$, bei $\lambda = 10$ cm dagegen müssen zwei punktförmige Strahlungsquellen schon 7° auseinander stehen um getrennt «gesehen» werden zu können. Grosse Radio-Teleskope sind nicht nur notwendig, weil die kosmischen Radioemissionen schwach sind, sondern auch um genaue Positionen der Radioquellen zu bestimmen. In vielen Fällen ist das angestrebte Ziel nur mit Interferometeranlagen bis zu mehreren Kilometern Ausdehnung erreichbar und

auch damit nicht mit der wünschbaren Genauigkeit.

Radar-Astronomie

Die Echomethode ist im Bereich der Kurzwellen bereits 1927 zur Erforschung der Ionosphäre eingesetzt worden. Auf höheren Frequenzen werden auch Reflexionen an Meteoriten und Polarlichtstrahlen erhalten. Um Reflexionen von ausserirdischen Objekten aufzunehmen, muss die Wellenlänge so kurz gewählt werden, dass der Strahl die Ionosphäre unbehindert durchsetzt. Echos vom Mond wurden erstmals 1946 erhalten, solche von der Venus 1959 und solche von der Sonne 1960. Da die Intensität des reflektierten Signals mit der vierten Potenz der Entfernung abnimmt, sind bereits für das Venus-experiment 10⁷-mal grössere Sendeleistungen notwendig als für die Mondechos. In den nächsten Jahren dürften auch Echos von Mars, Jupiter und Saturn erreichbar sein. Die Laufzeitmessungen geben ein vorzügliches Mittel zur Entfernungsbestimmung im Planetensystem. Sie dürften mit einer Genauigkeit von 1 : 10⁹ messbar sein, während bei Längenmessungen ein Fehler von 1 : 10⁶ kaum unterschritten werden kann. Die relativen Distanzen der Planeten sind durch ihre Umlaufzeiten und das dritte Keplersche Gesetz sehr genau bekannt; es genügt deshalb, eine einzige Entfernung absolut zu messen. Schon das erste Venusexperiment hat die Genauigkeit der Entfernungsbestimmung um eine Grössenordnung verbessert. Für die Sonnenparallaxe = Winkel, unter dem der Äquatorradius der Erde aus 1 astronomischen Einheit (= mittlere Entfernung Sonne – Erde) Entfernung erscheint, ergab sich $8,8021'' \pm 0,0001''$. Die astrometrische Bestimmung hat $8,80''$ geliefert; die Genauigkeit des Resultates mag daraus beurteilt werden, dass noch vor wenigen Jahren mit dem Wert $8,79''$ gerechnet worden ist.

Während die optische Helligkeit des Mondes gegen den Rand nur wenig abfällt, zeigt das Reflexionsvermögen im Radiogebiet einen sehr starken Randabfall. Eine kleine Zentralzone des Mondes weist spiegelnde Reflexionen auf. Von einem kurzen Impuls kommen zuerst das Echo von der Zentralzone an, später die Echos von immer weiter aussen liegenden Ringzonen und zuletzt diejenigen vom Mondrand. Die Echos erfahren auch eine Dopplerverschiebung, bedingt durch die Libration des Mondes; diese wächst vom Zentralmeridian zum Rand. Jedes Element der Mondoberfläche hat eine für dieses charakteristische Laufzeit und Frequenzverschiebung. Eine Analyse des Echos nach Laufzeit und Frequenzverschiebung liefert somit eine Kartographie des Mondes in einer Feinheit, wie sie bei direkter Abtastung der Mondoberfläche nur mit einem Riesenteleskop von sehr grossem Auflösungsvermögen möglich wäre. Nach demselben Prinzip hofft man, auch eine Kartographie der Sonnenkorona, der Venus und des Mars erhalten und die Rotation der Venus bestimmen zu können.

Radio-Astronomie der Planeten

Die Intensität der Eigenstrahlung der Planeten liefert ihre Temperatur. Da die thermische Strahlung ν^2 proportional ist, beobachtet man diese mit Vorteil im Gebiet der cm-Wellen. Dabei ergab

sich für die Temperatur der Nachtseite der Venus 500 °C; dies steht in Widerspruch mit der optischen Bestimmung, die aus der infraroten Eigenstrahlung einen Wert von 260 °C ergeben hat. Der Widerspruch klärt sich dadurch auf, dass die Radiowellen von der Oberfläche des Planeten kommen, die Radiotemperatur sich also auf diese bezieht, die optische Emission dagegen von der Atmosphäre stammt. Für Jupiter ergab sich eine absolute Temperatur von 145 °. Beide Messungen beziehen sich auf die Wellenlänge von 3 cm.

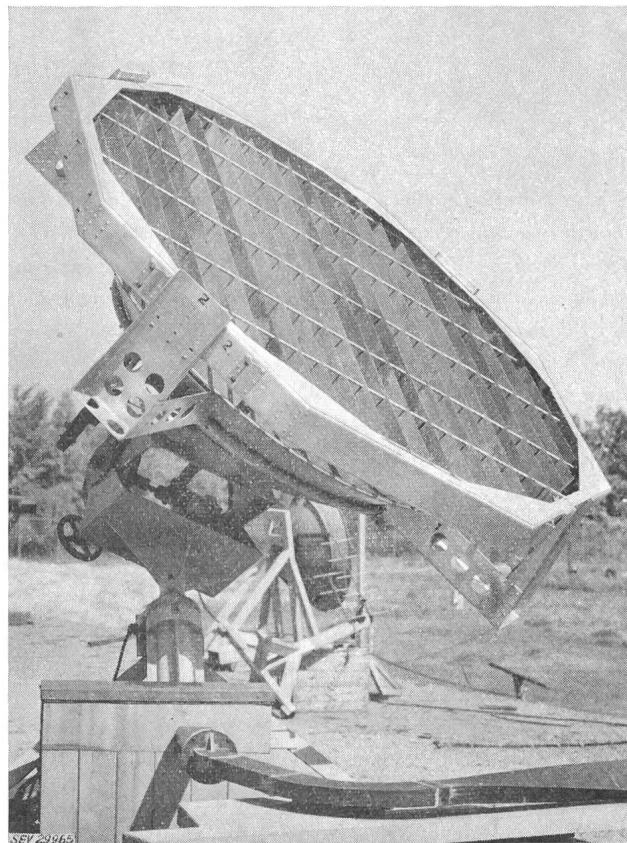


Fig. 1

Ein kleines Radioteleskop für den Empfang der Radioemissionen der Sonne auf der Wellenlänge von 10 cm. Aufgesetzt ist eine $\lambda/4$ -Platte für Polarisationsmessungen.

Neben der thermischen Emission zeigt Jupiter eine sporadische, die aus einzelnen Strahlungsausbrüchen besteht. Die Rotationsdauer dieser Strahlungsherde beträgt $9^h 55^m 28,8^s$ und ist so konstant, dass sie vermutlich ihren Sitz in der festen Oberfläche des Planeten haben müssen. Es dürfte sich um etwa 6 Herde handeln, und man denkt dabei etwa an vulkanische Tätigkeit grössten Stils. Eine visuelle Beobachtung dieser Tätigkeit ist nicht möglich, da die Jupiteratmosphäre optisch dick ist und deshalb seine Oberfläche verborgen bleibt. Aus der Abnahme der Strahlungsausbrüche mit zunehmender Sonnentätigkeit lässt sich auf eine Ionosphäre des Jupiter schliessen, deren Elektronendichte mit der Sonnenaktivität zunimmt und welche den Austritt der Jupiterstrahlung umso mehr behindert, je stärker sie ionisiert ist.

Radio-Astronomie der Sonne

Schon die ersten Messungen im Gebiet der Meterwellen ergaben für die Äquivalenttemperatur der

solaren Strahlung etwa 10^6 °K. Da die leuchtende Oberfläche der Sonne (die Photosphäre) aber eine Temperatur von nur 6000 °K aufweist, kann die beobachtete Strahlung nicht von dieser stammen. Andererseits besitzt die Sonnenkorona eine Temperatur von $2 \cdot 10^6$ °K, so dass es naheliegend war, diese für die solare Strahlung verantwortlich zu machen. Dass dies zutrifft, konnte durch theoretische Überlegungen bestätigt werden, die zeigten, dass die Korona, die optisch praktisch durchsichtig ist und damit nur sehr schwach strahlt, im Gebiet der Meterwellen optisch dick ist und damit strahlen muss wie ein Körper von $2 \cdot 10^6$ °K.

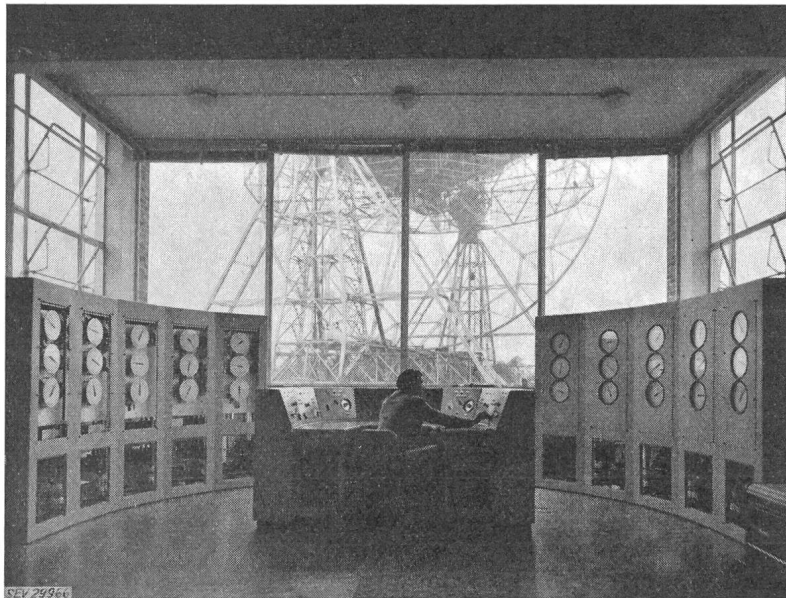


Fig. 2
Der Kommandoraum des Radio-Teleskops von Jodrell-Bank (Manchester)

Die langen Wellen stammen aus der äusseren, die kürzeren aus der inneren Korona. Im Gebiet der dm-Wellen fällt die Äquivalenttemperatur mit abnehmender Wellenlänge ab, beträgt bei 20 cm noch etwa 10^5 °K, bei 10 cm 40 000 °K, und bei den Millimeterwellen noch 7000 °K. Mit abnehmender Wellenlänge wird die Korona durchsichtiger, die Strahlung wird ein Gemisch des Beitrages der Korona und der darunter liegenden Chromosphäre, deren Temperatur nur etwa 10 000 °K beträgt. Für sehr kurze Wellen sind Korona und Chromosphäre transparent, so dass die Strahlung aus der Photosphäre stammt. Die Äquivalenttemperatur nähert sich somit mit abnehmender Wellenlänge dem Wert von 6000 °.

Die Radiosonne ist deshalb ein Bild der Korona; sie hat ein nebliges Aussehen ohne feste Begrenzung und ragt weit über den optischen Sonnenrand hinaus. Da die Korona nahezu isotherm ist, erscheint der zentrale Teil der Radiosonne von konstanter Helligkeit. Mit abnehmender Wellenlänge wird die Radiosonne kleiner und erreicht im Millimetergebiet den Durchmesser der optischen Sonne. Gleichzeitig verändert sich die Helligkeitsverteilung auf der Scheibe; wenn mit abnehmender Wellenlänge die Korona beginnt, transparent zu werden, ist ihre optische Dicke längs der Sehstrahlen nach dem Sonnenrand am grössten. Im Dezimetergebiet besitzt deshalb die Radiosonne einen hellen Ring, der sich um den visuellen Sonnenrand legt. Dieser verschwindet im Gebiet der Millimeterwellen wieder.

Die thermische Strahlung der Sonne ist stets vorhanden. Da die Temperatur der Photosphäre und Chromosphäre nicht, diejenige der Korona nur wenig variiert, ist sie überdies zeitlich konstant. Die Gesamtstrahlung der Sonne zeigt aber starke Variationen von Jahr zu Jahr, von Tag zu Tag, von Stunde zu Stunde oft sogar von Sekunde zu Sekunde. Der stets vorhandenen thermischen Grundstrahlung sind somit zeitweise andere, variable Komponenten überlagert, die im Metergebiet millionenmal intensiver sein können als jene.

Eine langsam variable Komponente erscheint am deutlichsten im Gebiet um 10 cm. Ihre Veränderung im Laufe von Tagen und Jahren ist ein getreues Abbild der Variationen der Sonnenfleckenhäufigkeit. Die Flecken selber sind jedoch an der Erzeugung dieser Komponente nicht beteiligt. Über den Flecken ist die Materie der Korona verdichtet; diese Kondensationen entstehen mit den Flecken, überleben diese jedoch um Wochen oder Monate. Die Kondensationen sind optisch dicker als die ungestörten Gebiete der Korona und strahlen deshalb stärker. Die Kondensationen sind Erscheinungen der innersten Korona; nur selten erreichen sie eine Höhe von 100 000 km. Es ist deshalb verständlich, dass die 10-cm-Strahlung, die etwa aus dem Niveau

von 20 000 km stammt, so eng mit den Sonnenflecken korreliert ist, dass die längeren Wellen, die aus sukzessive grösseren Höhen stammen, welche räumlich weit von den Flecken getrennt sind, auch einen schwächeren Zusammenhang mit diesen aufweisen. Die langsam variable Komponente ist eine thermische Strahlung der koronalen Kondensationen.

Eine ähnliche langsam variable Komponente wird im Gebiet der Meterwellen beobachtet. Während diejenige des Dezimetergebietes nur etwa ebenso intensiv ist wie die Grundstrahlung, übertrifft diejenige des Metergebietes die Grundstrahlung nicht selten um das hundert- bis tausendfache. Statistisch ist auch sie eng an die Sonnenaktivität gebunden, im Einzelfall aber ist der Zusammenhang mit den Sonnenflecken ziemlich locker. Einzelne unbedeutende Flecken können von einer starken Radiostrahlung begleitet sein, andere viel grössere können einer solchen völlig ermangeln. Während die thermische Strahlung der Kondensationen nach allen Richtungen emittiert wird, ist die variable Komponente der Meterstrahlung stark gebündelt und verlässt die Korona fast nur in radialer Richtung. Von einem «Radiofleck» bekommt man deshalb die Strahlung nur etwa während 3 Tagen, wenn er sich dem Zentrum der Sonnenscheibe am nächsten befindet.

Diese Radioflecken können heute sowohl im Dezimeter- wie im Metergebiet interferometrisch lokalisiert, in ihrer Entwicklung und in ihrem Zusammenhang mit den optischen Beobachtungen studiert werden.

Auf allen Frequenzen kann die solare Strahlung unvermittelt stark ansteigen. Strahlungsstöße können eine Dauer von weniger als einer bis zu vielen Sekunden haben, Strahlungsausbrüche eine solche von Minuten bis Stunden. Generell gesprochen, sind sie mit den Eruptionen der Sonne gekoppelt, die ebenfalls plötzlich erscheinen und eine Dauer von einigen Minuten bis zu einigen Stunden haben. Im Dezimetergebiet ist jeder Strahlungsausbruch durch eine Eruption verursacht, wobei der Intensitätsverlauf von jenem und der Helligkeitsverlauf von dieser sehr ähnlich sind. Umgekehrt gibt es viele Eruptionen, welche im Dezimetergebiet von keinem Strahlungsausbruch begleitet sind. Auch im Metergebiet kann die eine Eruption von einem Strahlungsausbruch begleitet sein, eine andere nicht, ja es gibt «Geräuschstürme», ohne dass auf der Sonne optisch auffällige Vorgänge stattfinden. Auch den kurzen Strahlungsstößen kann kein optisches Phänomen zugeordnet werden.

Fig. 3

Das 32-Element-Interferometer des Radiophysics Laboratory in Sydney



Einen besseren Einblick in den Mechanismus der Strahlungsausbrüche, als Registrierungen auf festen Frequenzen liefern können, erhält man aus Spektrogrammen, wobei ein grösserer Spektralbereich mehrmals pro Sekunde abgetastet wird. Die Strahlungsstöße haben ein schmales Frequenzband, sind fast monochromatische Stöße von 5 oder weniger MHz Breite. Sie sind stationär oder verschieben sich nach kleineren Frequenzen. Eine solche Frequenzverschiebung ist charakteristisch für die

wäre dann keine thermische Strahlung – für eine solche wäre seine Intensität viel zu hoch – sondern eine Plasmaschwingung der Korona. Diese Vorstellung erfährt eine kräftige Unterstützung durch die Beobachtung, dass im Spektrogramm häufig zwei Strahlungsausbrüche sichtbar sind, von denen der eine die doppelte Frequenz des andern hat, also seine Oberschwingung ist. Unklar ist noch, warum die beiden Frequenzen gleich intensiv sind und warum eine dritte Oberschwingung fehlt.

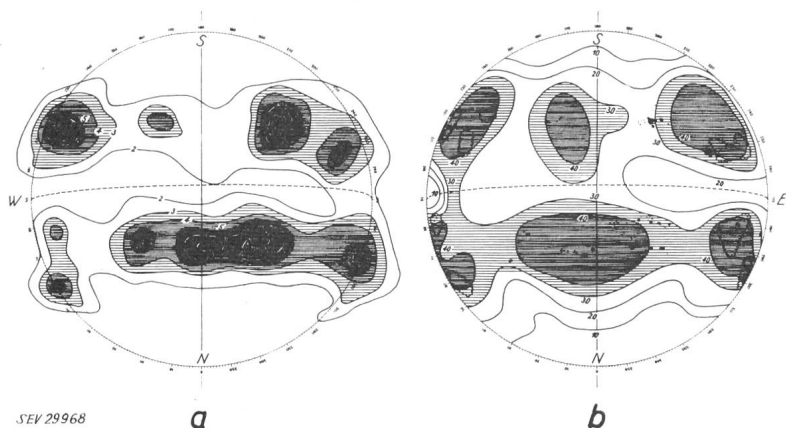


Fig. 4

Radiobild der Sonne bei $\lambda = 21$ cm (a) und optisches Bild der Korona bei $\lambda = 5303 \text{ \AA}$ (b) vom 24. Oktober 1957

Strahlungsausbrüche, bei denen sich die Frequenz beispielsweise in 10 min von 200 nach 100 MHz verschieben kann. Da die hohen Frequenzen innen, die niedrigeren weiter aussen in der Korona erzeugt werden, kann die Frequenzverschiebung als ein Wandern der Strahlungsquelle von innen nach aussen gedeutet werden. Der Frequenzverschiebung entspricht eine Bewegung von etwa 2000 km/s. Da die Korpuskeln, welche von der Eruption ausge-

transversalen Verschiebungen der Strahlungsquelle interferometrisch gemessen und die hohen Geschwindigkeiten bestätigt werden.

Die galaktische Strahlung

Die erste Beobachtung von Radiowellen aus dem Weltall im Jahre 1931 betraf die Strahlung aus dem Zentrum des Milchstrassensystems. Längs des ganzen Bandes der Milchstrasse ist die Strahlung relativ

stark, fällt mit zunehmendem Abstand von derselben ab, auf hohen Frequenzen sehr schnell, auf niedrigen langsam. Auf 1200 MHz hat die Strahlungsintensität bereits bei der galaktischen Breite 5° auf die Hälfte ihres Wertes auf der Milchstrasse selbst abgenommen, auf 18 MHz dagegen erst bei der galaktischen Breite 40° .

Wie das schimmernde Band der Milchstrasse aus Millionen von Sternen resultiert, die das Auge nicht einzeln zu sehen vermag, so vermutete man, ist die galaktische Radiostrahlung die Summe der Beiträge vieler hypothetischer «Radiosterne», die zu dicht stehen, um mit dem schwachen Auflösungsvermögen der Radioteleskope einzeln erkannt zu werden. Als erster Radiostern wurde 1946 die Cygnusquelle entdeckt mit einem Durchmesser $< 6'$. Heute sind einige tausend bekannt. Mit gesteigertem Auflösungsvermögen konnten die oberen Grenzen für die Durchmesser der Radiosterne gesenkt und ihre

novae identifiziert, bei andern ein solcher Ursprung wahrscheinlich gemacht werden.

Die Verteilung der Radionebel am Firmament zeigt wohl einige starke und dementsprechend vermutlich nahe Objekte in der Nähe des Milchstrassengürtels, im übrigen aber eine fast gleichförmige

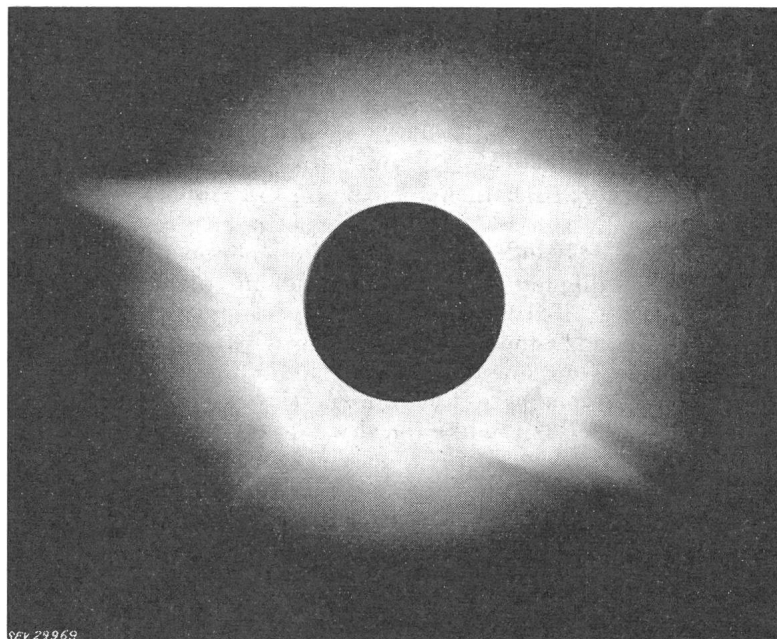


Fig. 5

Die Sonnen-Korona

Quelle der solaren Radioemission
Aufgenommen während der Sonnenfinsternis
vom 25. Februar 1952

wahren Durchmesser schliesslich gemessen werden. Die intensiveren Quellen haben Durchmesser von einigen Bogenminuten, sind also keine punktförmigen Radiosterne, sondern Radionebel. Nur wenige derselben konnten mit optischen Objekten identifi-

Verteilung an der Himmelskugel. Daraus muss man schliessen, dass nur eine kleine Zahl der Radionebel zu unserer Milchstrasse gehören, die meisten aber ausserhalb der unsrigen stehen und deshalb auch keinerlei Orientierung nach der Milchstrasse

aufweisen. Wie unser Sternsystem mit seinen Sternen und Nebeln als ganzes aus grosser Entfernung gesehen als Radionebel erscheinen müsste, werden auch wir die extragalaktischen Sternsysteme als Radionebel erkennen. Zahlreiche der näheren Sternsysteme wurden auf den Radiokarten des Himmels wieder gefunden. Sternsysteme von etwa gleicher Grösse und gleichem Sternreichtum zeigen ähnliche Radioemission. In dieser Hinsicht verhält sich unsere Milchstrasse ganz normal.

Daneben gibt es Sternsysteme, die eine millionenmal stärkere Radioemission liefern, als nach ihrer Grösse hätte erwartet werden können. Dies sind stets anomale Systeme, Zwillingssysteme oder vielleicht Systeme im Zusammen-

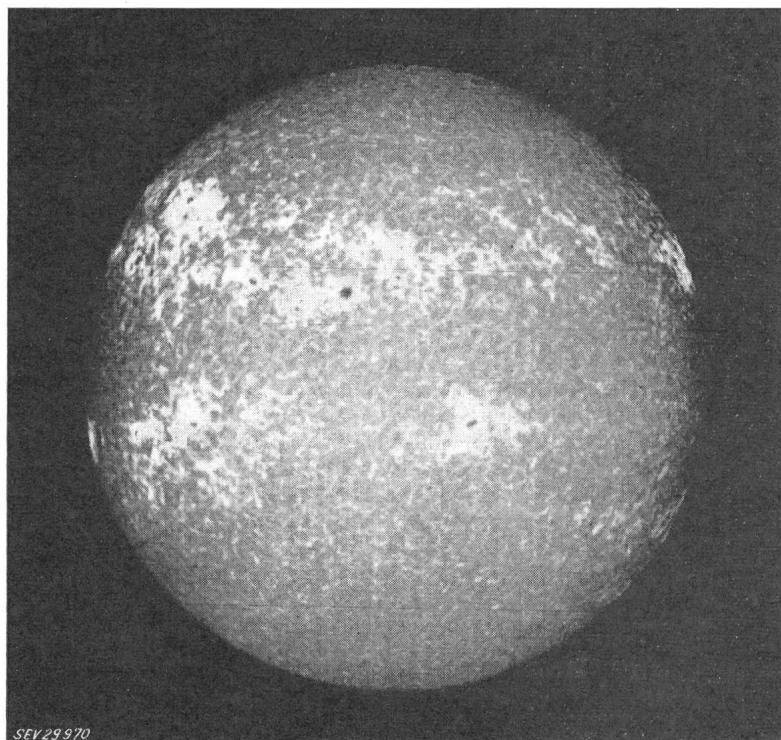


Fig. 6

Die Sonne mit Flecken und ausgedehnten Fackelgebieten

Diese gestörten Regionen verursachen eine zusätzliche Radioemission der Sonne

ziert werden. Bei diesen handelt es sich um Gasnebel mit grossen und turbulenten Bewegungen oder um solche in schneller Expansion. Einige dieser Gasnebel konnten als Überbleibsel von Super-

stoss. Kürzlich konnte eine Radioquelle im Bootes mit einem solchen Sternsystem identifiziert werden, welches 6 Milliarden Lichtjahre von uns entfernt ist und sich mit 46 % der Lichtgeschwindigkeit von uns

entfernt. Bei mancher heute noch nicht identifizierbaren Radioquelle dürfte es sich um anomale Sternsysteme handeln, die durch ihre kräftige Radiostrahlung leicht nachweisbar, aber zu weit entfernt sind, um selbst mit dem grössten optischen Teleskop erfasst werden zu können.

Die Wasserstoffstrahlung

Der weite Raum zwischen den Sternen ist teilweise von interstellarem Gas erfüllt. Dieses besteht vorwiegend aus Wasserstoff. Seine Dichte ist aber selbst in den Wasserstoffwolken unvorstellbar gering: ein oder einige wenige Atome pro cm^3 . Dieser Wasserstoff ist optisch in keiner Weise erkennbar. Bei der Temperatur des Weltraumes befinden sich alle Atome im Grundzustand und können nur in dem vom Erdboden aus unzugänglichen ultravioletten Spektralbereich absorbieren und emittieren. Der Grundzustand des Wasserstoffs besteht aber aus zwei Komponenten, entsprechend den beiden durch das magnetische Moment des Protons bedingten Einstellmöglichkeiten des Elektrons. Die Energiedifferenz beim Übergang zwischen diesen Hyperfeinstrukturniveaus ist sehr klein, die zugehörige Wellenlänge, optisch gesprochen, somit sehr gross, nämlich 21,1 cm. Allerdings beträgt die Übergangswahrscheinlichkeit nur 10^{-15} s^{-1} , d. h. das im oberen Niveau des Grundzustandes befindliche Atom geht durchschnittlich erst nach 10 Millionen Jahren auf das untere über. Trotzdem ist die Linie 1951 entdeckt worden.

Die Wasserstoffemission ist die einzige Emissionslinie im ganzen Spektrum der kosmischen Radiowellen. Eine Linie gestattet sehr genaue Bestimmungen der Radialgeschwindigkeiten mit Hilfe des Dopplereffektes; darin liegt die Bedeutung der Wasserstofflinie.

Die Linie erscheint nur in der Richtung zum galaktischen Zentrum und in der Gegenrichtung

einfach, symmetrisch und unverschoben. In den übrigen Richtungen zeigt sie längs des galaktischen Äquators ein variables Aussehen: sie besteht aus mehreren, mehr oder weniger deutlich voneinander abgetrennten Linien mit verschiedener Intensität und verschiedener Linienverschiebung. Die Linie verändert ihr komplexes Aussehen kontinuierlich und systematisch längs der Milchstrasse. Die Dopplerverschiebungen sind verursacht durch die gegenseitigen Lageveränderungen, welche ihrerseits durch die differentielle Rotation der Milchstrasse bedingt sind. Diese, ein diskusförmiges Gebilde von 10^5 Lichtjahren Durchmesser rotiert um ihre kurze Achse, aber nicht wie ein Rad, sondern innen schneller als aussen. Die Sonne, die etwa 27 000 Lichtjahre vom Zentrum entfernt ist, braucht rund 100 Millionen Jahre für einen Umlauf. Dieses Bild liefert für jede beliebige Richtung in der galaktischen Ebene eine Beziehung zwischen der Entfernung und der Radialgeschwindigkeit gegenüber der Sonne. Jedem Teilmaximum im beobachteten komplexen Linienprofil kann somit eine Wasserstoffwolke in der beobachteten Richtung und in der durch die Dopplerverschiebung gegebenen Entfernung zugeordnet werden. Diese Wasserstoffwolken sind zu langen Strängen aneinandergereiht, die sich spiralförmig um den Kern des Systems winden. In diesen Spiralarmen liegen aber auch die Sterne, die aus der interstellaren Materie entstanden sind.

Damit hat die Radio-Astronomie in wenigen Jahren in überzeugender Weise zu einem Ergebnis geführt, das zwar schon lange vermutet und mit optischen Methoden vielfach angestrebt worden war: unser Sternsystem, das Milchstrassensystem ist ein Spiralnebel.

Adresse des Autors:

Prof. Dr. M. Waldmeier, Direktor der Eidg. Sternwarte, Schmelzbergstrasse 25, Zürich 6.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Bildung einer Internationalen Studiengruppe für Flügelmesstechnik

532.575.56

Im Jahre 1959 wurde eine internationale Studiengruppe für Flügelmesstechnik (International Current-Meter Group, ICMG) von Ingenieuren ins Leben gerufen, die sich aktiv mit Flügelmesstechnik zur Durchflussmessung befassen. Das Hauptziel der ICMG ist der Informationsaustausch über neue Messmethoden, sowie die Zusammenarbeit ihrer Mitglieder bei Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Die Flügelmesstechnik ist eine der ältesten Methoden, die in nationalen und internationalen Abnahmeregeln zur Messung grosser Durchflussmengen festgelegt wurden. Besonders auf dem europäischen Kontinent, wo diese Messart zur Durchflussmessung in Wasserkraftwerken fast ausschliesslich Verwendung findet, wurden wertvolle Erfahrungen gesammelt.

Schon lange sind sich die Fachleute bewusst, dass gewisse Aspekte über die Eichung und das Verhalten der Flügel näherer Abklärung bedürfen. Es sind darüber seit langem in mehreren Ländern Untersuchungen im Gange, und es ist nun die Aufgabe der ICMG, diese zu koordinieren. Unter dem Vorsitz von Prof. H. Gerber, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich, wurde von Fachleuten aus sieben Län-

dern ein Forschungs- und Entwicklungsprogramm aufgestellt und eine Arbeitsaufteilung vorgenommen. Die Mitglieder der ICMG treffen sich alljährlich, um die Fortschritte festzustellen und die Ergebnisse zu diskutieren, welche die ICMG durch das National Engineering Laboratory, East Kilbride, Schottland, publizieren will.

Die ICMG ist im wesentlichen eine Arbeitsgruppe, die aus Fachleuten besteht, die direkt mit den erwähnten Problemen in Berührung kommen. Sie unterscheidet sich darin von den verschiedenen nationalen und internationalen Normungsorganisationen, doch werden enge Kontakte aufrecht erhalten durch Mitglieder, die in solchen Organisationen vertreten sind. Die Bildung der Internationalen Studiengruppe für Flügelmesstechnik wurde mit der Hoffnung verknüpft, dass sich ein vertieftes Verständnis der Möglichkeiten und Begrenzungen dieser schon lange bekannten Durchfluss-Messtechnik ergeben werde. Sie soll auch dazu beitragen, neue Entwicklungen von fortschrittlichen Anwendungsmethoden und Messgeräten zu fördern. Berichte über aussergewöhnliche Verhaltensweise von Flügeln oder Erfahrungen bei Messungen werden mit Interesse entgegengenommen. Einsendungen sind zu richten an: Dr. F. A. L. Winternitz, Secretary ICMG, National Engineering Laboratory, East Kilbride, Glasgow (Scotland).

H. Gerber