

Isartalsternwarte

Der „unsichtbare“ Himmel

Freitag, 21.02. 2025

Radioastronomie, Mikrowellen

A. Einleitung

Beim Einführungsvortrag am 31.01. sind wir mit den Grundlagen der nichtoptischen Astronomie bekannt gemacht worden. Mit dem heutigen Vortrag werden wir in die verschiedenen Bereiche des elektromagnetischen Spektrums einsteigen. Dabei soll es um die kosmische Radiostrahlung und um die Mikrowellen gehen.

B. Hauptteil

1. Erste Anfänge

1.1. James Clerk Maxwell (1831 – 1879), schottischer Physiker:

Ihm glückte es, die elektrischen und die magnetischen Kräfte theoretisch zu beschreiben und zu verknüpfen. In seinen „Feldgleichungen“ konnte er nachweisen, dass es sich beim optischen Licht um „elektromagnetische Strahlung“ handelt. Damit legte er den Grundstein für die künftige, nichtoptische Astronomie.

1.2. Heinrich Hertz (1857 – 1894):

Im Jahr 1887 erzeugte dieser deutsche Physiker in seinem Labor zum ersten Mal künstliche Radiostrahlung. Dies gelang ihm in der geschickten Kombination von einer Spule und zweier Kondensator-Kugeln – in einem so genannten „Schwingkreis“ ist es nämlich möglich, elektromagnetische Schwingungen zu erregen, die bei hinreichend großer Energie und Frequenz abgestrahlt werden. Diese Schwingungen können in einem anderen, räumlich entfernten Schwingkreis gleicher Eigenschaften Resonanzen anregen, die sich wiederum auswerten und messen lassen. Unsere gesamte Radio- und Funktechnik beruht letztlich auf diesem Prinzip. Schon kurze Zeit nach der Entdeckung des Herrn Professor Hertz regte sich bei vielen Astronomen der Verdacht, dass möglicherweise auch unsere Sonne Radiostrahlung aussenden könnte. Leider blieben die erhofften Beobachtungsergebnisse vorerst aus – die damaligen technischen Möglichkeiten reichten bei Weitem noch nicht hin!

1.3. Karl Jansky:

In den dreißiger Jahren des vergangenen Jahrhunderts gewann der Funkverkehr besonders in der Seefahrt und in der interkontinentalen Kommunikation eine stark wachsende Bedeutung. Leider wurden die verwendeten Funkfrequenzen immer wieder von einem mysteriösen Störsender beeinflusst. Statt der erwünschten Informationen gab es nur ein lästiges Rauschen und Zischen zu hören! Die Firma „Bell Telephone Laboratories“ setzte einen Ingenieur, den Herrn Jansky, auf die Suche nach diesem Störer an.

Jansky bastelte eine überaus bizarre Peilantenne: Acht gewaltige Metallbügel steckten auf einem Holzgestell, das Ganze rotierte auf ausgedienten Autorädern. Ein geschlagenes Jahr (1932/1933) zauberte Jansky mit diesem Drahtverhau herum, ohne zu ahnen, dass er soeben wie damals der Italiener Galileo Galilei eine revolutionäre Entwicklung anstieß.

Nach einem Jahr systematischer Suche stand es eindeutig fest: Dieses garstige Rauschen und Zischen kommt aus dem Weltraum, der rätselhafte Störer entpuppte sich als unser Milchstraßenzentrum. **Die RADIOASTRONOMIE war geboren!**

Doch weder seine Vorgesetzten noch die gesamte astronomische Forschergemeinde nahmen diese Entdeckung ernst oder gar zur Kenntnis. Herr Jansky starb im frühen Alter von 44 Jahren und dürfte ziemlich enttäuscht darüber gewesen sein, dass niemand seine Forschungen würdigte oder gar wahrnehmen wollte.

1.4. Grote Reber:

Ein ganz klein wenig hatte sich die Arbeit von Herrn Jansky aber doch herum gesprochen. Ein US-Amateurastronom namens Grote Reber stellte sich 1933/1934 in seinem Garten eine Radioschüssel mit knapp zehn Meter Durchmesser hin. Er wollte der Entdeckung des Herrn Jansky auf den Grund gehen. Finanzielle Unterstützung gab es keine, seine Nachbarn und die Fachwelt lachten sich über seine Macke schlapp. Im Laufe der Jahre entdeckte Reber am Sternenhimmel mehrere Radioquellen, die im optischen Spektrum zumeist keine Entsprechung aufwiesen. Die Fachwelt verhielt sich auch hier skeptisch, ja sogar ablehnend.

1.5. Der Krieg als „Vater aller Dinge“:

Die Funktechnik erhielt im Zweiten Weltkrieg einen gigantischen Impuls: Bei den Nachrichten-Übertragungen, in der Peil- und Ortungstechnik und vor allem in der „Radar-Technik“. Die Militärs waren besessen von den herrlichen Möglichkeiten dieser neuen „Zauberwerkzeuge“. Geld spielte jetzt keine Rolle mehr, die Radioforscher konnten aus dem Vollen schöpfen. Es erwies sich schon sehr bald, dass die Sonne in der militärischen Funkerei eine gewichtige Rolle spielte. In Deutschland entstand deswegen unter anderem auf dem Wendelstein eine bedeutende Forschungseinrichtung – zum einen wurde die Sonnenaktivität akribisch überwacht, zum anderen erfolgten hier wichtige Experimente zur Radar-Ortung. Inzwischen geht es auf unserem Wendelstein nicht mehr so kriegerisch zu, doch Reste der alten Infrastruktur sind immer noch vorhanden.

1.6. „Von Schwertern zu Pflugscharen“:

Mit dem Ende des Zweiten Weltkrieges wurde das ganze schöne „Radar-Gerümpel“ nicht mehr benötigt. Die mächtigen Antennen (z.B. der „Würzburg-Riese“) waren arbeitslos und kamen auf den Schrottplatz. Es gab aber ein paar fortschrittlich gesinnte Sternenforscher, die mit den ehemaligen Militär-Funkanlagen weitermachten. Doch erst im Laufe der fünfziger Jahre begriff die etablierte Fach-Astronomie, welche Potentiale in der zunächst so verlachten „Radio-Astronomie“ steckten. Seitdem ging es mit diesem Forschungszweig gewaltig nach oben. Heutzutage befasst sich die Erforschung des Universums hauptsächlich mit nichtoptischer Strahlung, wobei die Radiowellen sogar einen ganz erheblichen Anteil tragen.

2. Wellenlängen-Bereiche

Der Mikrowellen-Bereich wird von den Wellenlängen 1 mm bis 30 cm umgrenzt. Dies entspricht dem Frequenz-Bereich von 300 GHz und 1 GHz. Bei elektromagnetischen Wellen von λ mehr als 30 cm oder weniger als 1 GHz reden wir dann schon von Radiostrahlung.

3. Atmosphärische Radio-Fenster

Von der gesamten kosmischen Mikrowellen- und Radio-Strahlung erreichen uns nur ganz wenige Anteile. Unsere Atmosphäre bietet für die erdgebundene Radioastronomie nur kleine und eng begrenzte

Fensterchen:

Bei 8 mm Wellenlänge beginnt die Atmosphäre etwas „durchsichtiger“ zu werden, zwischen 3 cm und 10 cm erreicht uns die kosmische Radiostrahlung völlig unbehelligt. Zwischen 30 m und 100 m Wellenlänge sorgen Spiegelungen an der Ionosphäre dafür, dass die Strahlung aus dem Weltall nur teilweise durchkommt, ab 100 m Wellenlänge erfolgt die totale Reflexion aller Signale. Hier geht also von der Erdoberfläche aus überhaupt nichts mehr!

4. Beobachtungs-Instrumente

4.1. Das Grundkonzept:

Genau genommen wird die kosmische Radiostrahlung nicht mit „Teleskopen (auf Deutsch „Fernsehern“)“ empfangen, sondern mit Antennen. Die Form und die Größe jener Antennen werden wesentlich von den gewünschten Wellenlängen-Bereichen und von der Art der Radiostrahlung bestimmt. Für intensive Strahlungsquellen (z.B. für Sternschnuppen, für unsere Sonne oder für den Jupiter) reichen schon relativ kleine und handliche Antennen aus, für weit entfernte Radiosender müssen möglichst große Antennen errichtet werden, denn die eintreffenden Signale sind unvorstellbar schwach.

Mit der beobachteten Wellenlänge geht die Größe einer Antenne einher. Die optimale Präzision einer Antenne wird dann erreicht, wenn ihre Form und Gestalt auf mindestens einem Zehntel der gewünschten Wellenlänge liegt. Zum Beispiel: Wir beobachten bei einer Wellenlänge von 50 Metern. Die Konstruktion der verwendeten Antenne darf also nicht ungenauer als 5 Meter sein. Bei 3 cm Wellenlänge darf die mechanische Qualität der Antennenanlage nicht schlechter als ± 3 mm betragen.

Die von einer Antenne empfangenen Signale müssen dann zu einem Empfänger geführt werden, der sie verstärkt und in eine Form überführt, die für unsere Sinnesorgane zugänglich ist: Über Lautsprecher, Bildschirme oder Geräte, mit denen die Frequenz / Intensität aufgezeichnet wird. Inzwischen werden die kosmischen Signale zumeist direkt vom Empfänger in einen Computer geschickt, der sich sogleich um die Auswertung und Darstellung kümmert.

4.2. Technische Umsetzungen:

Für langwellige Radiostrahlung genügen sehr „rudimentäre“ Gebilde aus Draht, Metallnetzen oder Gestängen. Manche derartige Antennen schauen aus wie Holledauer Hopfengärten. Je kürzer die angestrebte Wellenlänge wird, desto mehr nähert sich die Form der Antennen unseren altbekannten Parabol-Schüsseln an. Sie kennen ja alle jene possierlichen Satelliten-Schüsseln, die so manche Hausfassade schmücken.

Mit zunehmendem Durchmesser einer Antenne steigt ihre Empfindlichkeit – dies gilt ja auch für die professionellen optischen Teleskope, deren Objektive immer größer ausgelegt werden. Im Moment entsteht ja in Chile das ELT, dessen Spiegel knapp vierzig Meter durchmessen wird.

Einige für langwellige Strahlen gedachte Radioantennen sind so groß, dass sich ihre Sensoren über den gesamten Kontinent verteilen. Die damit registrierten Signale werden dann zu einem zentralen Empfänger übertragen, der sie zu einem Gesamtbild kombiniert. Seit etlichen Jahren wird hierzu das „LOFAR“-System mit großem Erfolg betrieben.

Die eher kurzwelligen Radiostrahlen werden von gigantischen „Schüsseln“ eingesammelt, die größte frei bewegliche Radioschüssel steht in Effelsberg mit einem Durchmesser von 100 m. In China arbeitet die „FAST“-Antennenschüssel mit 500 m Durchmesser – sie ist aber nicht frei beweglich, sondern liegt fest in einem entsprechend geformten Talkessel. Infolge der Erddrehung kann sie verschiedene Himmelsregionen nach und nach abtasten. Eine ganz ähnliche Anlage gab es bis zum Dezember 2020 in Arecibo / Puerto Rico. Hier erreichte der Antennenreflektor 300 m Durchmesser. Infolge übertriebener Sparsamkeit bei der Wartung und nach zwei brutalen Hurrikans kollabierte die ganze Maschinerie. Ein Neubau ist aus finanziellen Gründen undenkbar.

Empfänger / Verstärker: Hier werden alle empfangenen kosmischen Signale verstärkt, von irdischen Störungen gereinigt und zur weiteren Bearbeitung vorbereitet. Diese höchst komplexen und teuren Systeme sind überhaupt erst die Voraussetzung dafür, dass moderne Radioastronomie betrieben werden kann.

4.3. Moderne Radioastronomische Observatorien:

Große Radioteleskope können wir auf dem gesamten Planeten finden, sogar am Südpol! Viele werden aber nicht nur für die reine Himmelsbeobachtung verwendet, sondern sie dienen auch der Kommunikation mit interplanetarischen Raumschiffen.

4.4. Künftige Entwicklungen:

Um einerseits den Problemen mit der Erdatmosphäre und andererseits mit den irdischen Funkstörungen zu begegnen, wird in wachsendem Umfang die radioastronomische Beobachtung in den Weltraum verlegt. Dort können riesige Antennenanlagen in der Schwerelosigkeit errichtet und betrieben werden, dort gibt es keine Einschränkungen bei der Beobachtung verschiedenster Spektralbereiche.

Es mag immer noch ein bisschen nach Science Fiction klingen, doch es konkretisieren sich Pläne, auf der Rückseite des Mondes Radioastronomische Observatorien zu errichten. Besonders dort sind alle irdischen Störungen ausgeblendet.

5. Interferometrie

Die eher langwelligen Radiostrahlungen gestatten eine faszinierende Beobachtungstechnik: Die Interferometrie. Hierbei wird ein bestimmtes Objekt gleichzeitig mit zwei oder mehreren Empfangsanlagen beobachtet, die dabei erzielten Signale lassen sich dann zu einem Gesamtbild kombinieren und zusammensetzen. Die „Interferenz-Bilder“ können eine dermaßen hohe Auflösung erzielen, dass sie die optischen Fernrohre bei Weitem übertreffen.

Befinden sich beispielsweise zwei Radioteleskope in einem Abstand von – sagen wir – 500 km Entfernung, so liefern sie per Interferometrie Beobachtungsergebnisse, wie sie sonst nur mit einem einzelnen Teleskop von 500km Durchmesser erreicht werden könnten.

Im großen Maßstab werden weltweit radioastronomische Sternwarten immer wieder gemeinsam zu Interferometrie-Beobachtungen zusammen geschaltet, im kleinen Maßstab errichtet man mehrere Radioantennen auf einem Gefilde, wo sie örtlich zueinander verschoben werden können, um verschiedene Antennenformen- und Durchmesser zu simulieren. Solche Anlagen sind in Socorro (USA), MeerKAT (Südafrika) oder in Chajnantor (Chile) mit großem Erfolg im Einsatz.

6. Beobachtungsergebnisse

6.1. Meteorbeobachtungen:

Jede „übliche“ Sternschnuppe erzeugt in der Hochatmosphäre, also in Höhen zwischen etwa 80 und 100 km, nicht nur eine Leuchterscheinung, sondern auch einen „Einschuss-Kanal“, in dem die Luftmoleküle durch die Kollision mit dieser Schnuppe zerschlagen („ionisiert“) werden. Dieser „Ionen-Schlauch“ ist elektrisch leitfähig und reflektiert besonders gut im UKW-Bereich. Anhand solcher Reflexionen lassen sich Funksignale weit entfernter Sender empfangen, obwohl sie eigentlich gar nicht erreichbar wären – die so genannten „Überreichweiten“. Die Dauer und Intensität solcher Überreichweiten verraten Einzelheiten über die Art der betroffenen Sternschnuppe. Kombinieren wir mehrere entsprechende Empfänger, dann können wir sogar die räumliche Lage des „Einschuss-Kanals“ ermitteln und daraus die Umlaufbahn der Schnuppe bestimmen, auf der sie vor dem Eintritt in die Erdatmosphäre unterwegs gewesen ist.

6.2. Sonnensystem:

- Erwartungsgemäß ist unsere Sonne der bei Weitem stärkste Radiosender im Planetensystem. Nachdem sich die Aktivität unseres Sternes ständig wandelt, schwankt auch die Intensität der solaren Radiostrahlung. Die „Sonnen-Aktivität“ lässt also nicht nur allein optisch, sondern auch radioastronomisch bestens verfolgen.
- Mit Hilfe der „RADAR“-Beobachtungen sind viele wichtige Entdeckungen und Beobachtungen in unserer näheren kosmischen Umgebung geglückt: Die Rotations-Achse und Rotations-Geschwindigkeit der Planeten Merkur und Venus waren erst bekannt geworden, als diese Planeten mit starken

Funkimpulsen „beschossen“ und dann die reflektierten Funksignale empfangen und ausgewertet wurden. Die Oberflächenstruktur der Venus war durch Radar-Beobachtungen bereits schon recht gut bekannt, bevor die ersten Venus-Raumsonden dorthin geschickt worden sind.

- Kleinplaneten lassen sich äußerst vorteilhaft mit besagter Radartechnik untersuchen: Ihre Umlaufbahnen, ihre Form und ihre Oberflächenbeschaffenheit können mit großer Präzision gemessen werden. Ganz besonders akribisch beobachten die Radio-Astronomen alle Kleinplaneten, die irgendwann einmal unserem Planeten in die Quere kommen könnten.
- Jupiter: Dank seines gigantischen Magnetfeldes sorgt Jupiter immer wieder für spektakuläre Strahlungsausbrüche, die auch schon mit kleineren Empfängern registriert werden können. Eine spezielle Rolle spielt hierbei der innerste Galilei'sche Mond Io, der im Zentrum des Jupiter-Strahlungsgürtels rotiert, sich dabei elektrisch extrem auflädt und dann mit spontanen Kurzschlüssen heftige Radioimpulse aussendet.

6.3. Milchstraße:

Natürlich senden alle Sterne unserer Milchstraße nicht nur Licht, sondern auch Radiowellen aus. Höchst ungewöhnlich sind aber diverse Supernova-Überreste, bei denen der unvorstellbar kompakte Rest des kollabierten Sternes extrem schnell rotiert – bis zu Hundert Umdrehungen pro Sekunde!! Dabei können Radioimpulse abgestrahlt werden, die mit sagenhafter Genauigkeit getaktet sind. Diese „Pulsare“ wurden zunächst als Botschaften außerirdischer Intelligenzen interpretiert.

Gleichermaßen interessant sind die interstellaren Materie-Wolken, deren Bewegungen und chemische Beschaffenheit mit Radio-Observatorien untersucht werden können. Inzwischen ließen sich bereits über hundert interstellare Moleküle aufspüren, darunter auch Alkohol oder andere, noch viel komplexere organische Verbindungen.

Die interstellare Materie unserer Milchstraße besteht hauptsächlich nicht aus Milch, sondern aus neutralem Wasserstoff. Er sendet auf einer Wellenlänge von 21cm. Bei der radioastronomischen Untersuchung unseres galaktischen Wasserstoffs konnte die Spiralstruktur unserer Galaxis nachgewiesen werden.

6.4. SETI:

Bei der Suche nach außerirdischen Intelligenzen wird vorrangig die Radioastronomie bemüht: Hier sind die Reichweiten der Signale erheblich größer, hier lassen sich die technischen Möglichkeiten erheblich besser ausschöpfen als im optischen Spektralbereich. Es gibt spezielle Empfangsanlagen, mit denen permanent auf zahlreichen Frequenzen nach Signalen gesucht wird, die sich aus dem Hintergrundrauschen abheben. Bislang ist aber noch nichts gefunden worden, was auf „intelligente“ extraterrestrische Botschaften hindeutet.

6.5. Andere Galaxien:

Praktisch alle bekannten Galaxien leuchten sowohl im optischen Licht, als auch im Radio-Spektrum. Es gibt aber auch Milchstraßensysteme, die ganz besonders heftig Radiowellen abstrahlen. Diese „Radio-Galaxien“ durchlaufen in ihren Zentren entweder gewaltige Kollisionsprozesse oder bergen gar gigantische „Schwarze Löcher“, in deren Umgebung intensive Radiostrahlung erzeugt wird. In den Zentren einiger Galaxien, die von uns mehrere Milliarden Lichtjahre entfernt sind, sendet das Umfeld dortiger „Schwarzer Löcher“ stark gebündelte Radiowellen aus, die hier bei uns mit erstaunlicher Intensität eintreffen. Die Sterne und Materiewolken solcher Galaxien sind wegen ihrer riesigen Entfernung nicht zu sehen, nur ihre gebündelten Radio-Impulse kommen hier an. Der Begriff „Quasar (quasioptische Radioquelle)“ beschreibt solche Objekte, er stammt aus der Frühzeit der intergalaktischen Radioastronomie.

6.6. Kosmologisch (CMB):

Zahlreiche Beobachtungsergebnisse deuten darauf hin, dass unser Weltall vor knapp 14 Mrd. Jahren einen unvorstellbar winzigen, dichten und heißen Anfang gehabt haben muss. In einem „Big Bang / Urknall“ kam dann die Expansion des Raumes in Gang, damit kühlte sich das Universum nach und nach ab. Völlig

ausgekühlt ist unser Weltall aber immer noch nicht, es weist eine „Restwärme“ von -270°C auf – dies sind genau 3° über dem absoluten Nullpunkt ($-273^{\circ}\text{C} = 0$ Kelvin). Diese „Restwärme“ setzt eine Strahlung frei, die das gesamte All ziemlich gleichmäßig erfüllt: Die „3-Kelvin-Mikrowellenstrahlung“. Eine genaue Analyse dieses kosmischen Strahlungshintergrundes („cosmic microwave background CMB“) gestattet uns präzise Aussagen darüber, wie das Universum kurz nach seiner Erschaffung / Entstehung ausgesehen hat. Die Verteilung und Dynamik der intergalaktischen Materie kann mit Radioteleskopen vermessen werden und liefert Einblicke in die übergeordneten Strukturen unseres Weltalls. Die Galaxien verteilen sich nicht völlig gleichmäßig im All, sondern sie ordnen sich in „Strängen und faserartigen Strukturen“ an. Zwischen diesen Fasern gähnt eine nahezu materiefreie Leere. Das Ganze sieht einem Schwamm oder einem Knochengewebe gleich.

C. Schluss

Im Anschluss an die heutigen radioastronomischen Betrachtungen soll am 28.03. die Erforschung der kosmischen Infrarotstrahlung beschrieben werden.