

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 98 (1980)
Heft: 21

Artikel: Nachweis von schwacher Weltraumstrahlung: Entwicklung eines Detektors für einzelne Quanten in extrem langem Infrarot
Autor: Gerwin, Robert
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-74119>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 08.01.2026

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

Nachweis von schwacher Weltraumstrahlung

Entwicklung eines Detektors für einzelne Quanten in extrem langem Infrarot

Noch schwächste Wärme- und Radiostrahlung können die Astronomen jetzt beobachten: Ein neuartiger Detektor höchster Empfindlichkeit erlaubt den Nachweis einzelner Strahlungsquanten im extremen Infrarot- und sogar im Radiowellenbereich. Das Geheimnis: künstliche «Weltraumatome», deren Existenz der schwedische Physiker *Johann Robert Rydberg* im Prinzip schon vor mehr als einem halben Jahrhundert voraussagte.

Wer mit winzigen Signalen grosse Wirkung erzielen will, braucht einen Mechanismus, der wie eine gespannte Feder mit Energie vollgepumpt ist. Dann genügt die Lösung einer winzigen Sperre, um grosse Wirkung zu erzielen. – Nach diesem Prinzip arbeitet der bei der Projektgruppe für Laserforschung in Garching bei München, dem künftigen Max-Planck-Institut für Quantenoptik, entwickelte Detektor für Strahlung im fernen Infrarot-Bereich. Das Ergebnis ist eine Empfindlichkeitssteigerung gegenüber bisherigen Messinstrumenten um drei bis vier Zehnerpotenzen, also um das Tausend- bis Zehntausendfache.

Die «Federwerke» des neuartigen Detektors sind sogenannte *Rydberg-Atome*. Sie zeichnen sich durch einen hohen Anregungszustand aus. Ihre äusseren Elektronen kreisen auf hohen Quantenbahnen und sind extrem weit vom Atomkern entfernt. Ein Rydberg-Atom hat einen Durchmesser von etwa 500 bis 1000 Ångström, ist also einige hundertmal grösser als ein gewöhnliches Atom und in seiner Grösse mit biologischen Makromolekülen vergleichbar.

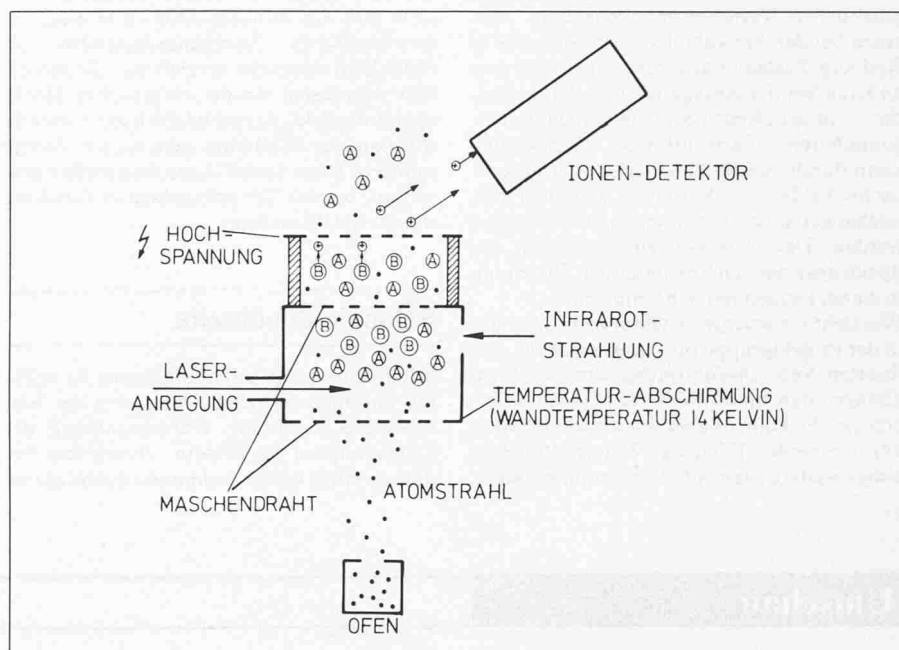
Elektron nach aussen verschoben

Die Absorptionswahrscheinlichkeit solcher Makroatome für elektromagnetische Strahlung liegt wegen ihrer räumlichen Ausdehnung um viele Grössenordnungen höher als bei einem Atom im Grundzustand. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Wellenlänge der nachzuweisenden Strahlung in Resonanz steht mit einem Übergang zweier benachbarter Rydberg-Zustände, wenn also ein schwaches Teilchen dieser langwelligen Strahlung, ein Quant oder Photon, gerade so viel Energie hat, dass es das äusserste Elektron noch ein kleines Stück weiter nach aussen auf eine benachbarte Bahn hebt. Dieser winzige Anregungs-Unterschied kann dann ausreichen, um dieses Atom in einem anschliessenden elektrischen Feld zu ionisieren, also das äusserste Elektron ganz vom restlichen Atom abzutrennen.

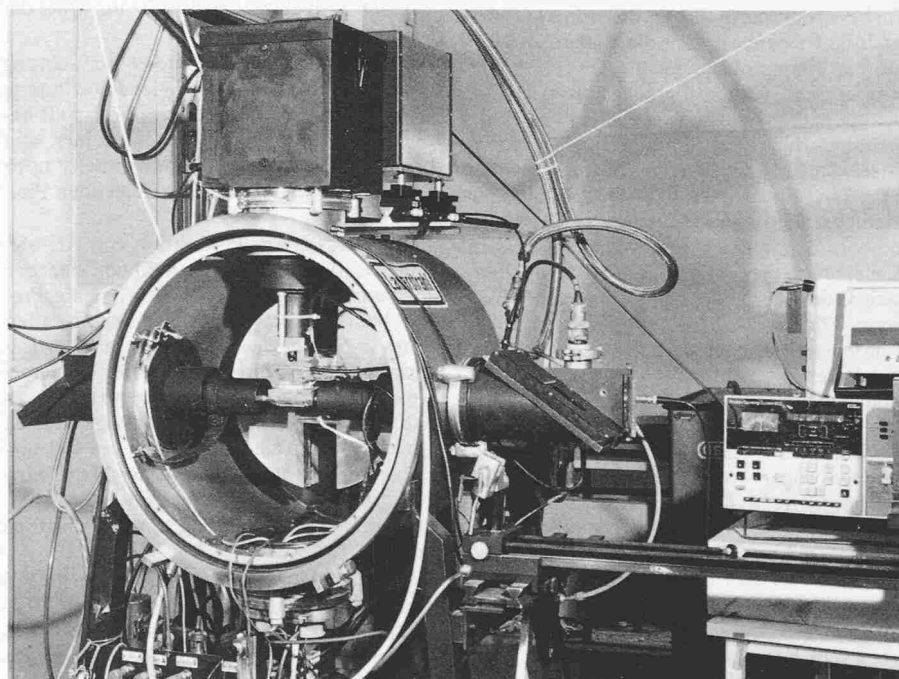
Das bedeutet: Man erhält bei idealer Versuchsführung je Strahlungsquant ein Ion, das sich leicht mit den bekannten elektronischen Detektoren nachweisen lässt. Die nicht von einem nachzuweisenden Strahlungsquant getroffenen Rydberg-Atome bleiben dagegen vom elektrischen Feld unbeeinflusst und liefern kein Signal. Es werden also einzelne Quanten der schwachen Strahlung nachgewiesen. Beim sichtbaren Licht gelingt das mit der Hilfe entsprechender Photokathoden schon seit einiger Zeit.

Bei langwelligem Infrarotlicht und den anschliessenden Radiowellen im Millimeter- und Zentimeterbereich war das bisher unmöglich, weil mit zunehmender Wellenlänge die Energie der einzelnen Strahlungsteilchen immer geringer wird. Nachdem *Herbert Walther*, dem derzeitigen Geschäftsführenden Direktor der Projektgruppe für Laser-

forschung der Max-Planck-Gesellschaft und seinen Mitarbeitern *Hartmut Figger* und *Robert Straubinger* von der Projektgruppe sowie *Gerd Leuchs* von der Universität München, der grundsätzliche Nachweis für die Arbeitsfähigkeit des neuen Detektor-Systems gelungen ist, sind sie zur Zeit mit Experimenten beschäftigt, die den Aufbau eines solchen Detektors für den praktischen Einsatz am grossen Radioteleskop des Max-Planck-Instituts für Radioastronomie in Bonn/Effelsberg zum Ziel haben. Für die mit optischen Teleskopen heute bevorzugt im infraroten Bereich arbeitenden Astronomen – etwa im Heidelberger Max-Planck-Institut für Astronomie mit seiner Beobachtungssta-



Arbeitsprinzip des Makroatom-Detektors. Ein Ofen liefert einen Atomstrahl, dessen einzelne Atome durch zweifache Laser-Anregung in Rydberg-Zustände (A) versetzt werden. Die nachzuweisende Infrarotstrahlung versetzt einzelne dieser Makroatome in einen noch etwas höheren Anregungszustand (B), so dass sie im anschliessenden Hochspannungsfeld ionisiert werden und als normal-kleine elektrisch geladene Atome (+) seitlich abgelenkt und einem Ionen-Detektor zugeführt werden können.



Geöffnete Vakuumapparatur mit der gekühlten Kammer (in der Mitte) zum Nachweis der Infrarot-Strahlung im neuartigen Detektor. Von rechts wird durch ein schräggestelltes, sogenanntes Brewster-Fenster der Laserstrahl eingekoppelt, rechts daneben das Ionenzählgerät. Um den Blick auf den Detektor in der Mitte der Vakuumapparatur freizugeben, wurde der Natrium-Atomstrahlöfen entfernt.

tion auf dem *Calar Alto* in Spanien – erscheint diese Entwicklung gleichfalls von grosser Bedeutung. Aber auch in der nuklearen Fusionsforschung, bei Beobachtungen in der Stratosphäre, in der Materialforschung und in vielen weiteren Bereichen kann diese neue Detektor-Technik künftig grosse Bedeutung erlangen.

Durchstimmbarer Farbstofflaser

Die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten des neuen Detektors resultieren aus der Breite des Strahlungsspektrums, das überdeckt werden kann. Das wiederum ist das Ergebnis erheblicher Variationsmöglichkeiten, zum einen bei der Auswahl der Atomsorte, die in Rydberg-Zustände angeregt wird, und zum anderen bei der Anregungsstufe der Atome, davon in der zweiten Stufe mit einem durchstimmbaren Farbstofflaser. Schliesslich kann durch äussere elektrische oder magnetische Felder die Resonanz zwischen den hochangeregten Zuständen noch verschoben werden. Das lässt sich zum Abtasten des Spektrums der nachzuweisenden Strahlung in einem kleinen Bereich benützen.

Wie sieht ein solcher Detektor aus? – Bei der in der Projektgruppe für Laserforschung realisierten Versuchsanordnung wird in einem kleinen Ofen ein Strahl freier Natriumatome erzeugt. Es können aber auch andere Erdalkali-Elemente, Edelgase, Wasserstoff und einige weitere Elemente Verwendung finden.

Der Atomstrahl tritt aus in das Hochvakuum einer auf 14 Grad Kelvin gekühlten Kammer und trifft nacheinander auf zwei Laserstrahlen. Anstelle des ersten Strahls könnte die Anregung auch durch Elektronenstoss, Ladungsaustausch und andere teilselektive Prozesse erfolgen. Nur die zweite Anregung muss unbedingt mit einem Laser erfolgen, da die Rydberg-Zustände sehr eng zusammenliegen.

Die nun zu Makroatomen aufgeblähten Atome des Natriums werden beim Weiterfliegen zum Teil von den Photonen der nachzuweisenden Infrarot- oder Mikrowellenstrahlung getroffen, wobei selektiv nur die Wellenlänge zur Wirkung kommt, auf die das Gesamtsystem abgestimmt ist. Der Atomstrahl besteht nun aus Rydberg-Atomen in zwei unterschiedlichen Anregungszuständen. Er durchläuft dann ein speziell auf die zusätzlich angeregten Atome eingestelltes Hochspannungsfeld, das schliesslich ganz selektiv die von der Strahlung getroffenen Atome ionisiert. Diese Ionen lassen sich leicht nachweisen, bei der Versuchsanlage in Garching durch ein Channeltron.

Schmale Bandbreite

Die Kühlung der Vakuumkammer ist wichtig, um eine zusätzliche Anregung der Makroatome durch die Wärmestrahlung der Umgebung zu verhindern. Ausserdem bedarf es eines hohen Vakuums, damit die an

sich relativ stabilen Rydberg-Atome nicht miteinander kollidieren und durch Selbstionisation ein Störsignal liefern. Bei den ersten Versuchen von Prof. Walther und seinen Mitarbeitern wurde eine elektromagnetische Strahlung von 3 Millimetern Wellenlänge nachgewiesen. Etwa 0,3 Prozent der ankommenden Photonen kamen dabei zum Zug. Durch Erhöhung der Dichte des absorbierenden Rydberg-Atomstrahls ist eine Nachweiswahrscheinlichkeit von einigen Prozent leicht erreichbar. Damit wird eine Erhöhung der Empfindlichkeit um drei bis vier Zehnerpotenzen gegenüber herkömmlichen Detektoren dieses Bereichs möglich. Die Bandbreite des Detektors betrug bei der Dreimillimeterstrahlung etwa 200 Kilohertz, war also erstaunlich schmal.

Wegen der schwierigen Experimentierbedingungen konnten Rydberg-Atome zunächst nur im Weltraum nachgewiesen werden: In der Radioastronomie werden seit längerem Übergänge zwischen hochangeregten Zuständen des Wasserstoff-Atoms beobachtet. Durch die Entwicklung *frequenzveränderlicher Laser* gelingt es seit kurzem auch, *hochangeregte Atome* im Labor zu erzeugen und zu untersuchen. Unter anderem sind Makroatome sehr empfindliche Sonden für die inneratomaren Kräfte, denn Bahnänderungen des äusseren Elektrons können detaillierte Aussagen über das atomare Feld liefern. Mit dem neuen Infrarot-Detektor wächst den im Labor erzeugten Weltraumatomen jetzt eine neue, ungleich umfangreichere Aufgabe zu. Robert Gerwin, München

Umschau

Nichteisen-Metalle «unbegrenzt» vorhanden

Drastisch steigende Ölpreise, aber auch Spekulationen an den Gold- und Silberbörsen, haben die Begrenztheit zahlreicher Rohstoffe in das öffentliche Bewusstsein gerückt. Insbesondere aber die Veröffentlichung des «Club of Rome» liessen die Frage der Rohstoffverknappung zu einem Thema in der Tagespolitik werden. Geradezu als «Entwarnung» wirken dagegen die Zahlen über Vorkommen bei den Erzvorräten im Nicht-Eisen-Bereich, der sogenannten NE-Metalle. Für Dr. Walter Sies, Metallgesellschaft/Frankfurt, steht ausser Frage, dass es auf absehbare Zeit bei den NE-Metallen zu keinen Lieferproblemen kommen wird. Vor allem steigende Rohstoffpreise, aber auch verbesserte Förder- und Explorationsmethoden, führten zu einer enormen Ausdehnung der nutzbaren Vorräte.

Steigende Rohstoffpreise lassen zum Beispiel auch die Ausbeutung sehr «armer» Vorkommen wirtschaftlich erscheinen. Hier können sogar – unter Verwendung neuer Technologien – Abraumhalden, wie sie bei der südafrikanischen Golderzeugung entstehen, durchaus lukrativ werden. Hinzu kommen die verstärkten Explorationsanstrengungen in allen Teilen der Welt, die das Ausmass der bekannten Vorräte beachtlich nach oben schieben.

So haben sich die Weltvorräte bei Kupfer von 1965 bis 1975 mehr als verdoppelt – von 195 auf 456 Millionen Tonnen –, obwohl zwischenzeitlich 65 Millionen Tonnen für den industriellen Verbrauch gefördert wur-

den. Ähnlich sieht es bei dem Ausgangsstoff für Aluminium aus: Die bekannten Vorräte von Bauxit nahmen in demselben Zehnjahreszeitraum von sechs auf über 17 Milliarden Tonnen zu. Bei Zink und Blei trat ebenfalls eine Verdoppelung der Vorräte bis Mitte der siebziger Jahre ein.

Unberücksichtigt ist bei dieser Betrachtung noch der hohe Grad der Wiedergewinnung (Recycling), der in der Metallwirtschaft bereits praktiziert wird. Aber auch hier sind nach Auffassung des Unternehmens noch hohe Reserven – parallel zu steigenden Preisen – möglich.

Bei der derzeitigen Produktion von NE-Metallen wird bereits ein Altanteil von sieben Prozent bei Nickel, bis knapp vierzig Prozent bei Blei hinzugesetzt. Sies verweist allerdings in diesem Zusammenhang auf die Tatsache, dass die heute im Recycling wiedergewonnenen Metalle bereits vor durchschnittlich zehn Jahren erzeugt wurden. Damals lag auch die NE-Metallerzeugung auf viel niedrigerem Niveau, so dass in der Metallwirtschaft faktisch bereits von einem Erfassungsgrad von fünfzig Prozent gesprochen werden könne.

Nach Darstellung der Firma hat sich 1979 der Verbrauch der westlichen Welt an NE-Metallen «recht positiv» entwickelt. Für das laufende Jahr wird allerdings mit einem abgeschwächten Zuwachs gerechnet.

Die zunehmende Verwendung von Aluminium in der Automobil- und Verpackungsindustrie, aber auch die rege Bautätigkeit, haben den Verbrauch von Aluminium im ver-

gangenen Jahr auf die neue Rekordhöhe von rund 12,4 Millionen Tonnen steigen lassen. Auch der Kupferverbrauch erreichte mit 7,6 Millionen Tonnen ein neues Rekordniveau. Verbrauch wichtiger NE-Metalle in der westlichen Welt:

	1979 Mio t	Veränderung in %
Aluminium	12,4	+ 2,7
Kupfer	7,6	+ 4,3
Zink	4,6	+ 2,6
Blei	3,3	+ 2,1
Nickel	0,6	+ 9,4
Zinn	0,2	+ 2,9

Gefährdete Ozonschicht

Bei gleichbleibender Verwendung von Sprühmitteln, die zu ihrer Zerstäubung eine Verbindung von Chlor, Fluor und Kohlenstoff benötigen, wird der Ozongehalt der Stratosphäre in rund 100 Jahren um 16,5 Prozent niedriger liegen als heute. Das ist ein doppelt so grosser Ozonverlust, als Wissenschaftler bisher angenommen hatten, wie die amerikanische Zeitschrift «Science» berichtet. Die amerikanische Nationale Akademie der Wissenschaften hat nunmehr die amerikanische Regierung aufgefordert, sich für die internationale Kontrolle dieses Sprühgases einzusetzen. Seitdem in den USA die Verwendung des Zerstäubungsmittels in Haar-