

Der Energiestrom der Ultrastrahlung.

Von E. Regener in Stuttgart.

(Eingegangen am 2. Januar 1933.)

Die gesamte Energie, die in Form von Ultrastrahlung an der Grenze der Atmosphäre auf das Quadratcentimeter in der Sekunde einfällt, ergibt sich zu $3,53 \cdot 10^{-3} \text{ erg cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$. Auf die ganze Erdoberfläche ergibt diese 2,4 Millionen PS. Dieser Energiestrom ist nahe gleich demjenigen, der in Form von Licht und Wärme von den Fixsternen kommt. Die Auswirkung dieser Tatsache auf die Temperatur des interstellaren Raumes wird diskutiert.

Vor kurzem habe ich den mit Registrierelektrometern gemessenen Intensitätsverlauf der Ultrastrahlung mit der Höhe in der Atmosphäre bis zu einem niedersten Luftdruck von 22,2 mm Hg mitgeteilt¹⁾²⁾. Der gefundene Gang der Intensität mit der Höhe war derartig, daß sich zwanglos der Grenzwert J_{∞} extrapolieren ließ, den die Ultrastrahlung bei ihrem Eintritt in die Atmosphäre hat. Der damals mitgeteilte Wert ist inzwischen noch verbessert worden, indem der Faktor experimentell bestimmt wurde, der die Intensitätsmessung mit der Ionisationskammer, die mit Luft von etwa 5 Atm. Druck gefüllt war, auf 1 Atm. reduziert. Dieser Faktor war in der ersten Mitteilung einfach proportional dem Druck gesetzt worden, was bekanntlich nur eine erste Annäherung darstellt. Es ergibt sich jetzt eine Erhöhung der angegebenen Ionisationswerte von etwa 20% und für J_{∞} ein Wert, der der Energie für die Bildung von 333 Ionenpaaren pro Kubikcentimeter und Sekunde in Luft von Normalbedingungen entspricht.

Wird die Ultrastrahlungsintensität durch die gebildeten Ionenpaare als Funktion der auf eine homogene Atmosphäre (mit konstanter Luftdichte $\rho_{0,760}$) bezogenen Höhe dargestellt, so ergibt die graphische Integration einer solchen Kurve die Zahl von Ionen, die von der Ultrastrahlung bei ihrer vollständigen Absorption in einer genügend langen Luftsäule von 1 cm^2 Querschnitt gebildet werden. Es ergibt sich der große Wert von $6,93 \cdot 10^7$ Ionenpaaren in der Sekunde. Bereits früher hatten Millikan und Cameron³⁾ eine derartige Berechnung gemacht, die aber wegen der

¹⁾ E. Regener, Die Naturwissensch. 20, 695, 1932.

²⁾ Zusatz bei der Korrektur: Ein Aufstieg am 3. Januar 1933 führte bis zu 22 km Höhe und ergab das gleiche Resultat wie die früheren Aufstiege.

³⁾ R. A. Millikan u. G. H. Cameron, Phys. Rev. 31, 930, 1928.

damals unzureichenden experimentellen Unterlagen nur den Wert von $1,28 \cdot 10^7$ Ionenpaaren ergeben hatte.

Wird zur Bildung eines Ionenpaares in Luft die Energie von 32 Volt-Elektron angenommen¹⁾, so ergibt sich der auf die Erde durch die Ultrastrahlung auf das Quadratcentimeter einfallende Energiestrom

$$S_U = 3,53 \cdot 10^{-3} \text{ erg sec}^{-1} \text{ cm}^{-2}.$$

Die Energie eines α -Teilchens von $2 \cdot 10^9$ cm/sec Geschwindigkeit ist $= 1,5 \cdot 10^{-5}$ erg. Der Energiezufluß auf das Quadratcentimeter durch die Ultrastrahlung ist also so groß wie der durch den Einfall von einigen 100 α -Teilchen auf das Quadratcentimeter in der Sekunde bewirkte.

Bemerkenswert ist, daß der Energiestrom der Ultrastrahlung nahe gleich der Energie herauskommt, die von allen Fixsternen der Erde in der Sekunde auf das Quadratcentimeter zugestrahlt wird. Millikan und Cameron haben früher²⁾ diesen letzteren Wert zu $3,02 \cdot 10^{-3} \text{ erg cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ angegeben, indem das gesamte Fixsternlicht gleich dem von 1092 Sternen erster Größe gesetzt und die Helligkeit eines Sternes erster Größe mit der Sonne und der Solarkonstanten verglichen wurde. Die Gesamthelligkeit aller Fixsterne ist natürlich eine nur angenähert bekannte Größe, die auch schwankt, je nachdem ob die visuelle, photographische oder bolometrische Helligkeit genommen wird. Van Rhijn³⁾ gibt z. B. die direkt gemessene visuelle Helligkeit des Himmels $= 1440$ Sternen erster visueller Größe der Harvardskale oder $= 1560$ Sternen erster Größe der internationalen Skale an. Man wird den Energiestrom der Fixsterne danach zu etwa 3 bis 5 oder etwas mehr $\cdot 10^{-3} \text{ erg cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ ansetzen können. Eddington⁴⁾ gibt sogar $5,75 \cdot 10^{-3} \text{ erg cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ an. Der Wert für die Energiestromdichte der Ultrastrahlung mit $3,53 \cdot 10^{-3} \text{ erg cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ liegt nahe bei diesen Zahlen. Wenn er nicht jetzt schon sicherer ist als der Wert für die Fixsternstrahlung, so dürfte er bald nach wiederholten Messungen in der Stratosphäre genauer bekannt sein. Denn die Messung der Ultrastrahlungsenergie mit der Ionisationskammer läßt sich, wenn erst die Anfangsschwierigkeiten überwunden sind, ziemlich genau gestalten. Die Unsicherheit in dem eingehenden Wert für die Ionisierungsarbeit, der bei geringeren Elektronengeschwindig-

¹⁾ H. Kulenkampff, Phys. ZS. 30, 777, 1929.

²⁾ R. A. Millikan u. G. H. Cameron, l. c.

³⁾ P. J. van Rhijn, Groningen Publ. Nr. 31, 1921.

⁴⁾ A. S. Eddington, Der innere Aufbau der Sterne 1928, S. 469. Dort steht die Energiedichte der Strahlung in erg cm^{-3} .

keiten bestimmt ist und hier auf die sehr schnellen Sekundärelektronen der Ultrastrahlung übertragen wird, dürfte nicht groß sein.

Auf die gesamte Erdoberfläche fällt durch die Ultrastrahlung ein totaler Energiestrom von $1,8 \cdot 10^{16}$ erg in der Sekunde oder von 2,4 Millionen PS ein. Gegenüber der von der Sonne kommenden Energie spielt er für die Erde natürlich ebensowenig eine Rolle wie das gesamte Fixsternlicht. Dagegen erscheint die im Vergleich zur Licht- und Wärmestrahlung der Fixsterne etwa ebensogroße Energiedichte der Ultrastrahlung wohl vom astrophysikalischen Standpunkt aus beachtenswert. Ein Himmelskörper, der die zur Absorption der Ultrastrahlung notwendige Dimension hat — bei der Dichte 1 also ein Körper von einigen Metern Durchmesser (5 m Wasser absorbieren schon $\frac{9}{10}$ der Ultrastrahlung), — wird sich durch die Ultrastrahlung erwärmen. Die Erwärmung wird proportional der zugestrahlten Ultrastrahlungsenergie S_U und der Oberfläche O sein. Er wird sich so lange erwärmen, bis die emittierte Wärmestrahlung, bei schwarzer Strahlung also $= \sigma \cdot T^4 \cdot O$, ebensogroß geworden ist. Es ergibt sich die Endtemperatur $T = \sqrt[4]{\frac{S_U}{\sigma}}$. Das gibt nach Einsetzung der Zahlenwerte $2,8^\circ$ K.

Die Strahlungsdichte der Ultrastrahlung hängt natürlich davon ab, wohin man ihren Entstehungsort verlegt. Da zur Zeit darüber so gut wie nichts Sicheres bekannt ist, kann man nur die verschiedenen möglichen Fälle diskutieren. An einem Punkte in unserem lokalen Fixsternsystem, der nicht in der Nachbarschaft der Sonne oder eines anderen Fixsternes liegt, erwärmt schon die gewöhnliche Licht- und Wärmestrahlung der Fixsterne einen schwarzen Körper auf $3,16^\circ$ abs., wenn diese Strahlung nach Eddington (l. c.) zu $5,75 \cdot 10^{-3}$ erg cm $^{-2}$ sec $^{-1}$ angenommen wird. Das Hinzutreten der Ultrastrahlung würde, wenn sie in unserem lokalen Sternsystem entsteht und wenn sie an dem betrachteten Orte dieselbe Dichte hätte wie bei der Erde zusammen mit der Fixsternstrahlung die Temperatur eines schwarzen Körpers (wegen des T^4 -Gesetzes) nur auf $3,56^\circ$ K bringen. Anders im intergalaktischen Raum, im Raum zwischen den Spiralnebeln. An einem solchen Punkte würde die visuelle Helligkeit des Himmels sehr gering sein, da nur das schwache Licht aller Spiralnebel da wäre und unser eigenes Milchstraßensystem mit seinen Fixsternen ja auch nur als ein Spiralnebel erscheinen würde. Dieser so definierte Raum wäre so ziemlich der gesamte uns bekannte Weltenraum. Wenn in diesem Raume die Ultrastrahlung entstehen würde, so würde die durch die Strahlungsdichte defi-

nierte Raumtemperatur im wesentlichen von der Ultrastrahlung herrühren, da ja die gewöhnliche Strahlungsdichte sehr klein ist und diejenige der Ultrastrahlung kaum kleiner als bei der Erde sein dürfte. In den Spiralnebeln (Milchstraßensystemen) würde dann die hinzukommende Wärmestrahlung die Raumtemperatur erhöhen und erst in der Nähe einzelner Fixsterne würde die Wärmestrahlung der letzteren die allein ausschlaggebende Rolle spielen.

Stuttgart, Physikalisches Institut der Technischen Hochschule, 31. Dezember 1932.
