

Die Frage der durchdringenden Strahlung außerterrestrischen Ursprunges.

Von

Dr. Victor F. Hess.

Vortrag, gehalten den 13. November 1918.

Mit 4 Abbildungen im Texte.



Landtechnische Sektion
des Vereines der Beamten
und Beamtinnen der Deutsch-
österreichischen Staatsdruckerei

Im Jahre 1901 haben J. Elster und H. Geitel sowie C. T. R. Wilson die Leitfähigkeit abgeschlossener Luftmengen untersucht und dabei festgestellt, daß immer ein kleiner Betrag von restlicher Ionisation vorhanden ist, gleichgiltig, aus welchem Material die Gefäßwände bestehen. Rutherford und Cooke, sowie Mc. Lennan und Burton machten dann die Beobachtung, daß diese Ionisation erheblich herabgesetzt wird, wenn man das Gefäß allseitig mit möglichst dicken Schichten von Materie umgibt, die frei von radioaktiven Verunreinigungen ist. Also rührt ein großer Teil der Ionisation in jedem geschlossenen Gefäß von einer äußeren Ursache her, einer Strahlung, die ähnlich den γ -Strahlen der radioaktiven Substanzen die Fähigkeit hat, Gefäßwände von nicht allzugroßer Dicke zu durchdringen. Daher nannte man diese an allen Orten jederzeit zu beobachtende Strahlung schlechtweg die „durchdringende Strahlung“.

Die Erforschung der Eigenschaften und des Ursprunges dieser durchdringenden Strahlung hat seit 1903 eine Anzahl namhafter Physiker beschäftigt und hat zu Ergebnissen und neuen Problemstellungen geführt, welche weit über den Rahmen der ursprüng-

lich doch recht speziellen und kaum allgemein interessierenden Frage hinausreichen.

Es sei mir daher gestattet, über den gegenwärtigen Stand des Problems der durchdringenden Strahlung zu berichten und insbesondere jene Seiten dieses Problems zu behandeln, welche von allgemeinerem kosmisch-physikalischen Interesse sind.

Die experimentellen Hilfsmittel zur Erforschung der durchdringenden Strahlung sind prinzipiell allgemein einfach: Ein geschlossenes Gefäß mit leitenden Wänden wird mit einer isolierten Innenelektrode versehen, diese mit einem hochempfindlichen Elektroskop oder Elektrometer verbunden und der Ladungsverlust pro Zeiteinheit beobachtet. Da bei den üblichen Spannungen von 100 Volt und darüber schon praktisch Sättigungsstrom herrscht, d. h. der Strom auch bei Spannungssteigerung konstant bleibt, kann man aus dem Voltverluste pro Zeiteinheit, wenn die Apparatkonstanten (Volumen des Gefäßes und elektrostatische Kapazität des Systems) bekannt sind, leicht die Stärke der Ionisierung bestimmen. Diese wird durch die Anzahl der Ionenpaare gemessen, die pro sec in jedem Kubikzentimeter des vorliegenden Raumes gebildet werden. Wenn das Wandmaterial des Gefäßes frei von radioaktiven Verunreinigungen ist, so beträgt die gewöhnlich beobachtete Ionisierungsstärke $6-10$ Ionen/cm³ sec. In einem 1 l fassenden Gefäße entstehen also im Mittel etwa 8000 Ionenpaare/cm³ sec. Die hiedurch bewirkte Stromstärke ist etwa $2 \cdot 10^{-15}$ Ampère. Man ersieht,

daß hier äußerst geringe Stromstärken zu messen sind, weshalb auch die Messungen trotz des einfachen Grundprinzips als einigermaßen subtil bezeichnet werden müssen.

Es ist klar, daß der zu beobachtende Spannungsverlust im selben Verhältnis größer wird, als man die elektrostatische Kapazität des Systems verkleinert. Th. Wulf hat daher speziell für die Beobachtung der durchdringenden Strahlung einen Apparat von äußerst geringer Kapazität konstruiert, der gleichzeitig auch gestattet, die Isolationsverluste einwandfrei zu bestimmen, ohne das Elektrometer abzutrennen. Es wird dies dadurch erreicht, daß die Fäden eines Wulfschen Zweifadenelektrometers selbst als Innenelektrode des geschlossenen Gefäßes dienen (Fig. 1 und Demonstration). Das Gefäß hat die Form eines Zylinders mit horizontaler Achse und hat 2000 bis 3000 cm³ Inhalt. Später wurde auf Vorschlag des Verfassers die zur Erzielung von Sättigungsstrom besser geeignete Form eines Zylinders mit vertikaler Achse gewählt. Im Zentrum ist das Fadenpaar *Q*, welches durch eine in luftdichter Führung drehbare Ladesonde geladen werden kann, an einem Quarz- oder Bernsteinzylinder *B* isoliert befestigt. Die Spreizung der Fäden wird mittels eines fix angebrachten Mikroskops *F* mit Okularskala beobachtet. Die elektrostatische Kapazität des Systems beträgt nur etwa 1 cm, so daß der durch die durchdringende Strahlung verursachte Spannungsverlust pro Stunde 10—20 Volt beträgt. Wenn man

den Isolationsverlust bestimmen will, läßt man nach vorheriger Spannungsablesung einen separat angebrachten engen Zylinder *J* über die Fäden herab und beobachtet etwa nach einem Tag nach Wiederhinaufschieben des Zylinders den Ausschlag der Fäden.

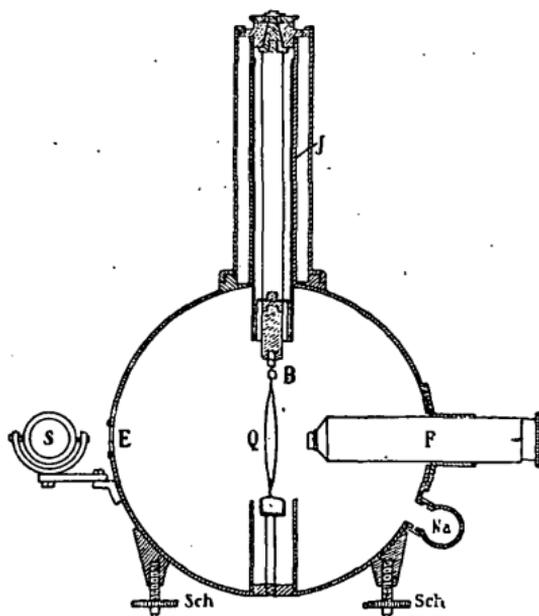


Fig. 1.

Bei herabgelassenem Zylinder ist der Ladungsverlust meist nur 0·2—0·7 Volt/Stunde, so daß man in diesem Zustande das Instrument viele Wochen lang geladen erhalten kann. Man ersieht auch, daß der Isolationsverlust höchstens einige Prozent des gesamten Ladungsverlustes ausmacht.

Das ganze Instrument ist sorgfältig gedichtet und kann nach Aufsetzen einiger Schutzkappen auch

unter Wasser versenkt werden. Der Innenraum wird durch dicht anschraubbare Trockengefäße mit metallischem Natrium ständig trocken gehalten.

Mit diesem Apparate sind die meisten und wichtigsten Untersuchungen über die Natur der durchdringenden Strahlung ausgeführt worden.

Zuerst wurden in mannigfacher Art sogenannte Abschirmungsversuche ausgeführt, welche alle das Ziel haben, den Betrag der von außen kommenden durchdringenden Strahlung als Differenz der Ladungsverluste ohne und mit Abschirmung zu bestimmen. Es zeigte sich vor allem, daß sowohl der Betrag der durchdringenden Strahlung als auch der der Restionisation von Ort zu Ort und je nach dem angewendeten Wandmaterial des Gefäßes selbst doch erheblich variierte. Ferner fanden einige Autoren auch deutliche zeitliche Variationen der Ionisation, eine tägliche und eine jährliche Periode, ferner eine gewisse Abhängigkeit von meteorologischen Faktoren, was alles zu dem Schlusse drängte, daß die γ -Strahlen der radioaktiven Substanzen im Erdboden und in der Atmosphäre die Hauptursache der durchdringenden Strahlung seien. Tatsächlich ist die im Strahlungsapparat zur Messung gelangende durchdringende Strahlung zum Teil die Folge der Einwirkung von γ -Strahlen aus der näheren oder weiteren Umgebung des Apparates. In Luft vermögen die γ -Strahlen relativ weite Strecken zu durchsetzen, z. B. ist eine Luftschicht von 140 m. nötig, um 50% der γ -Strahlen zu absorbieren. Wenn man also einen

Strahlungsapparat an der Erdoberfläche aufstellt, so kommt in ihm die γ -Strahlung der in einer Halbkugel von rund 500—1000 m Radius in Luft suspendierten radioaktiven Stoffe überhaupt zur Wirkung. In Wasser oder im Erdboden dagegen werden die γ -Strahlen wegen der größeren Dichte so viel stärker absorbiert, daß z. B. aus einer Tiefe von 70 cm unter dem festen Boden nur mehr 1% der γ -Strahlung der dort befindlichen radioaktiven Substanzen herauszudringen vermag.

So ist ersichtlich, daß durch Einsenken des Strahlungsapparates in inaktives Wasser oder Bodenmaterial die äußere Strahlung, soweit sie von den gewöhnlichen γ -Strahlen der radioaktiven Substanzen herührt, leicht vollkommen ausgeschlossen werden kann.

Als Beispiel solcher Abschirmungsversuche sei eine Versuchsreihe von Th. Wulf angegeben, welcher den Apparat teils in Höhlen, Bergwerken, teils unter Wasser versenkte. Die erhaltenen Differenzen der beobachteten Strahlung gegen den Wert auf der Erdoberfläche sind örtlich recht verschieden:

Tiefe	Art der Abschirmung	Ionen- differenz gegen außen
20 m	Kreidetuffhöhle (Maastricht) (im Innern der Höhle)	—6·6
20 m	am gleichen Ort, jedoch noch 50 cm versenkt in einem daselbst befindlichen Wassertümpel	—10·0

Tiefe	Art der Abschirmung	Ionen- differenz gegen außen
1/2 m	unter Wasser (gemauertes Bassin, Valckenburg)	-8·0
12 m	unter Wasser (Laacher See)	-7·3
—	Kalksteingrotte in Han-sur-Lesse . (Belgien)	-9·5
980 m	im Kohlenbergwerk Charleroi	-2·2
200 m	„ „ Auvelais	-0·7
20 m	Barytgrube in Fleurus	-5·1
2 m	im Wasser der Maas bei Namur	-6·5

Da die größte Differenz der Ionisierungsstärken etwa 10 Ionen beträgt, so ist daraus zu schließen, daß die durchdringende Strahlung an der Erdoberfläche ca. 10 Ionen/cm³ sec ausmacht. Nachdem jedoch in einigen Orten, z. B. den Kohlengruben von Charleroi usw., viel kleinere Ionisierungsdifferenzen gefunden wurden, muß dies davon herühren, daß das Wandmaterial dieser Orte selbst schwache γ -Strahlen aussendet. Wenn unter Wasser zum Teil kleinere Ionendifferenzen gefunden werden, kann dies, wie der Verfasser 1912 durch eine Berechnung zeigte, nicht, wie Wulf ursprünglich meinte, von radiaktiven Beimengungen im Wasser herrühren. Es läßt sich zeigen, daß z. B. das Wasser der Maas einen Emanationsgehalt von 7 Mache-

Einheiten haben müßte, wenn es in einem darin eingesenkten Strahlungsapparat 3—4 Ionen/cm³ sec hervorrufen soll.

Es ist natürlich ganz ausgeschlossen, daß offenes Flußwasser einen so großen Emanationsgehalt besitzt. Die geringere Differenz rührt also offenbar von örtlichen Verschiedenheiten in der Intensität der durchdringenden Strahlung her, was später durch zahlreiche Untersuchungen von E. v. Schweidler, Mc. Lennan und seinen Mitarbeitern, Wright und Simpson, K. Bergwitz und dem Verfasser bestätigt worden ist.

Man findet auch eine beträchtliche Abnahme der durchdringenden Strahlung, wenn man den Apparat nicht unter Wasser, sondern unmittelbar über Wasser anbringt. Dies wird am besten aus der folgenden Tabelle, die wieder einer Arbeit von Th. Wulf entnommen ist, ersichtlich:

Verminderung der γ -Strahlung über Wasser.

Nr.	Beobachtungsort	Uferabstand Meter	Dauer der Beobachtung Stunden	Differenz in Ionen cm ³ sec.
1	Laacher See (Rheinland)	40	24	4·9
2	Wynandsrade (Holl.), App. I . .	10	43	3·1
3	" " " II . .	10	36	3·3

Nr.	Beobachtungsort	Uferabstand Meter	Dauer der Beobachtung Stunden	Differenz in Ionen cm ³ sec.
4	Valckenburg (Holl.), Weiher, App. I	3	64	3·3
5	" " " " II	3	90	3·8
6	Valckenburg, über Wasserbassin 1 m ² × 2 m	1/3	7	3·2
7	Valckenburg, im Wasserbassin, oben schwebend	1/3	36	7·5
8	auf Steg über Wassergraben, 70 cm breit, 25 cm tief	1/4	5	1·2

Beim Versuch Nr. 7 ragte nur die obere Fläche des Apparates aus dem Wasser heraus, während bei Nr. 6 auch die Seitenflächen außer Wasser waren.

Die Differenz zwischen Nr. 6 und 7 gibt also ein Maß für die schräg von unten und seitwärts einfallende Strahlung. Die Versuche zeigen, daß ein großer Teil der durchdringenden Strahlung (3—7 Ionen) vom Erdboden selbst ausgeht. Eine quantitative Überschlagsrechnung nach A. S. Eve und K. Kurz zeigte, daß der Radium- und Thoriumgehalt der Gesteine und der Humusarten ausreicht, um den beobachteten Effekt zu liefern. Der senkrecht von oben (aus der Luft) einfallende Betrag der Strahlung schien nach den ersten Versuchen von Wulf zu vernachlässigen: er grub einen Apparat bis zur oberen Fläche in Erde

ein und überdeckte den Apparat mit einem Wasserfaß. Die Differenz der Ionisierung bei lecrem und bei gefülltem Wasserfaß entspricht der Wirkung der aus der Luft senkrecht einfallenden durchdringenden Strahlung. Wulf fand für diese Differenz den Wert $0.3 \text{ Ionen/cm}^3 \text{ sec.}$ Doch sei schon hier darauf aufmerksam gemacht, daß die Schlußfolgerung nur giltig ist, wenn im Wasser praktisch die ganze Strahlung absorbiert wird. Dies aber trifft nur zu, wenn wir es mit den gewöhnlichen γ -Strahlen der radioaktiven Stoffe zu tun haben. Für wesentlich härtere Strahlen wäre der Schluß nur mit Einschränkungen giltig. Außerdem ist zu bedenken, daß durch das Wasserfaß nicht die ganze von oben kommende Strahlung abgehalten wird, da dieses doch nur einen Teil des Halbraumes oberhalb der Erde abblendet.

Aus den bisher mitgeteilten Versuchen folgt bereits, daß die Ursache der durchdringenden Strahlung recht komplex ist. Zum größten Teile jedoch schien der Erdboden selbst, bzw. die darin enthaltenen radioaktiven Substanzen, die Quelle der Strahlung zu sein.

Das war die bis 1911 allgemein angenommene Meinung. O. W. Richardson hatte 1906, als Wood und Campbell den Parallelismus zwischen der täglichen Periode der durchdringenden Strahlung und der des atmosphärischen Potentialgefälles entdeckt hatten, die Hypothese aufgestellt, daß die Sonne

die Quelle der durchdringenden Strahlung sei. Diese Hypothese einer außerterrestrischen Strahlungsquelle war jedoch seit 1909 gänzlich ad acta gelegt worden, nachdem die radioaktiven Substanzen der Erde quantitativ zur Erklärung auszureichen schienen und überdies von Kurz berechnet wurde, daß, im Falle die Sonne die Strahlungsquelle wäre, die Leitfähigkeit der Luft mit zunehmender Höhe in der Atmosphäre viel stärker zunehmen müßte, als die vorliegenden Messungen mit dem Gerdieschen Apparate ergeben haben.

Es war nun sehr naheliegend, durch Versuche auf Türmen und im Freiballon festzustellen, ob die Erde wirklich die Hauptquelle der durchdringenden Strahlung ist. Wenn diese Anschauung richtig ist, muß die beobachtbare durchdringende Strahlung mit zunehmender Höhe rasch abnehmen und schon in wenigen hundert Metern über der Erde praktisch auf Null herabsinken. Nachdem der Absorptionskoeffizient der γ -Strahlen in Luft nicht direkt gemessen war, hat der Verfasser mittels der außerordentlich großen Radiummengen des Wiener Radium-Instituts im Freien derartige Bestimmungen in Entfernungen bis zu 90 m durchgeführt. Daraus läßt sich rechnen, daß, wenn wir die γ -Strahlung in irgendeiner Höhe, z. B. in Prozenten der am Boden vorhandenen γ -Strahlung ausdrücken, folgende sehr rasche Abnahme der Strahlung mit der Höhe eintreten muß:

Höhe	Prozente der Bodenstrahlung
0 m	100 0/0
10 m	83 0/0
100 m	36 0/0
1000 m	0·1 0/0

Auf Türmen wurde von den meisten Beobachtern eine deutliche Abnahme der durchdringenden Strahlung festgestellt, aber nicht in dem von vornherein erwarteten Maße. Bei der Durchsicht der diesbezüglichen Literatur wird die Übersicht besonders dadurch erschwert, daß manche Autoren die jeweils beobachtete Ionisation noch immer in Prozenten des am Erdboden gefundenen Wertes der Gesamtstrahlung ausdrückten. Da nun in jedem Apparat eine gewisse Eigenstrahlung der Gefäßwände (etwa von Spuren radioaktiver Verunreinigung des Wandmetalls) vorhanden ist, die mit der durchdringenden Strahlung gar nichts zu tun hat und die wir „Restionisation“ nennen, so ist es klar, daß man, um vergleichbare Resultate zu erhalten, durch Abschirmungsversuche unter Wasser u. dgl. zuerst bei jedem Apparat verschiedene Restionisation ermitteln und von der beobachteten Gesamtionisation subtrahieren muß. Nach Subtraktion dieser Restionisation ergibt sich an der Erdoberfläche der Wert der gesamten durchdringenden Strahlung von Ort zu Ort recht verschieden. Eine kleine Tabelle zeigt dies am besten:

Ort	Beobachter	Durchdr. Strahlung (nach Abzug der Restionisation)
Valckenburg	(Wulf) . . .	10 Ionen/cm ³ sec
Paris	" . . .	6 "
Braunschweig	(Bergwitz) . .	7·2 "
Wien	(Hess) . . .	2—3 , "
Seeham	(Schweidler). .	4 "
Innsbruck	" . . .	14 "

Auf dem Eiffelturm (300 m) fand Wulf nur 3,5 Ionen/cm³ sec gegen 6·0 am Boden in Paris. Mc. Lennan fand in Toronto (Canada) zwischen Erde und Turm (80 m) eine Abnahme von 3 Ionen. Bergwitz, der den Wulfschen Apparat mit photographischer Registrierung einrichtete, bekam im Mittel aus monatelangen Registrierungen auf dem Andreaskirchturm in Braunschweig (85 m) einen um 1·0 Ionen/cm³ sec geringeren Wert als am Erdboden.

Die ersten Beobachtungen im Freiballon machte Bergwitz 1910. Er fand eine erhebliche Verminderung der Strahlung in Höhen bis zu 1300 m, doch hält er selbst seine Resultate für unsicher, da er anstatt des Wulfschen Strahlers einen anderen Apparat benützte, der infolge des Überdruckes der eingeschlossenen Luft während der Fahrt vollkommen verbogen und unbrauchbar wurde. Darauf machte Gockel 1910 und 1911 drei Fahrten, welche zwar auch von instrumentellem Mißgeschick teilweise beeinträchtigt waren, aber doch qualitativ einwandfrei das Ergebnis lieferten, daß in Höhen bis zu 2500 m die Ionisation

nur ganz schwach abnimmt. Wenn man die Gockel-schen Messungen auf normalen Luftdruck umrechnet, erhält man sogar eine kleine Zunahme der Ionisation in seinem Wulfschen Apparate mit der Höhe. Gockel benützte bei seinen zwei letzten Fahrten den Wulfschen Strahlungsapparat in seiner ersten Konstruktion, welche nur geringe Wandstärke besaß, so daß bei Messungen im Ballon für die eingeschlossene Luft eine Ausdehnungsmöglichkeit (durch Zuschaltung eines Gummiballons) geschaffen werden mußte. Die Umrechnung solcher Messungen auf Normaldruck ist nicht ganz einwandfrei, weil die durchdringende Strahlung keine reine Volumionisation ist, sondern auch zum Teil sekundäre β -Strahlen an dem Metalle der Gefäßwand erregt. Daraufhin hat dann der Verfasser eine vollkommen luftdicht verschließbare, dickwandige Modifikation der Wulfschen Strahlers eigens für Ballonbeobachtungen herstellen lassen und mit zwei solchen Apparaten sowie einem dünnwandigen dritten Apparat eine größere Reihe von Messungen der durchdringenden Strahlung bei zehn Ballonfahrten ausgeführt, die sich in Höhen bis über 5000 m erstreckten.

Die hiebei erhaltenen Resultate seien durch zwei charakteristische Beobachtungsreihen illustriert: Betrachten wir z. B. die Messungen auf der zweiten Fahrt (vgl. Tabelle auf der folgenden Seite), welche von 11 Uhr abends bis $\frac{1}{2}$ 11 Uhr vormittags dauerte und zumeist in mäßiger Höhe über dem Erdboden verlief:

2. Fahrt (26.—27. April 1912).

Führer: Hauptmann W. Hoffory.
Beobachter: V. F. Hess.

Ballon: „Excelsior“ (1600 cbm Leuchtgas).

Nr.	Zeit	Mittlere Höhe		Beobachtete Strahlung						
		absolut m	relativ m	Apparat 1		Apparat 2		Apparat 3		
				q_1	q_2	q_2	q_3	q_3	q_3 (reduziert)	
1	16 ^h 40—17 ^h 40	156	0	15·6	11·5	—	—	—	—	} vor dem Aufstieg am Klubplatz (Wien)
2	17 40—18 40	156	0	18·7	11·8	21·0	21·0	21·0	21·0	
3	18 40—21 —	156	0	17·8	11·6	19·5	19·5	19·5	19·5	
4	21 30—22 30	156	0	17·8	11·3	20·0	20·0	20·0	20·0	
5	23 26— 0 26	300	140	14·4	9·6	19·4	19·4	19·4	19·8	
6	0 26— 1 26	350	190	16·2	9·9	17·4	17·4	17·4	17·9	
7	1 26— 2 26	300	140	14·4	10·1	17·7	17·7	17·7	18·1	
8	2 26— 3 32	330	160	15·0	9·6	18·2	18·2	18·2	18·7	
9	3 32— 4 32	320	150	14·4	9·8	18·5	18·5	18·5	19·0	
10	4 32— 5 35	300	70	17·2	13·2	20·6	20·6	20·6	21·0	
11	5 35— 6 35	540	240	17·8	11·8	19·6	19·6	19·6	20·8	
12	6 35— 7 35	1050	800	17·6	10·0	18·1	18·1	18·1	20·3	
13	7 35— 8 35	1400	1200	12·2	8·8	17·3	17·3	17·3	20·3	
14	8 35— 9 35	1800	1600	17·5	10·9	17·3	17·3	17·3	21·3	

Unzweifelhaft deutlich ersieht man durch Vergleich der Beobachtungen Nr. 5—9, die in durchschnittlich 140—190 m Höhe gemacht wurden, mit denen am Boden (Nr. 1—4), daß in geringen Höhen eine Abnahme der durchdringenden Strahlung um zirka 2 Ionen eintritt.

Die oben erwähnten Beobachtungen auf Türmen finden hiedurch vollkommene Bestätigung. Nachdem in 160 m schon $\frac{3}{4}$ der Erdstrahlung absorbiert sein müssen, folgt daraus, daß in Wien und Umgebung die γ -Strahlung des Erdbodens höchstens 3 Ionen pro cm^3 und sec ausmacht.

In 1600 m Höhe war die Strahlung wieder größer, und zwar fast ebenso groß, wie vor dem Aufstieg am Boden. Daß diese Zunahme reell ist, ging aus allen übrigen Beobachtungen des Verfassers hervor, am deutlichsten aus den Messungen der 7. Fahrt (s. Tabelle Seite 41).

Der Anstieg der durchdringenden Strahlung wird insbesondere von 3000 m an außerordentlich stark. Sogar bei dem nicht luftdichten Apparat 3 ist (Spalte q_3) der Anstieg der Ionisation deutlich, noch stärker natürlich nach Reduktion auf Normaldruck (Spalte „reduz. q_3 “).

Die bei 7 Ballonfahrten im Jahre 1912 vom Verfasser erhaltenen Resultate sind in der folgenden Tabelle S. 42 zu Mittelwerten vereinigt (die eingeklammerten Zahlen bedeuten die Zahl der zu einem Mittel vereinigten Einzelmessungen):

7. Fahrt (7. August 1912).

Ballon „Böhmen“ (1680 cbm Wasserstoff).

Führer: Hauptmann W. Hoffory.

Meteorologischer Beobachter: E. Wolf.

Luftlekt. Beobachter: V. F. Hess.

Nr.	Zeit	Mittlere Höhe		Beobachtete Strahlung				Temperatur	Relative Feuch- tigkeit Prozent	
		absolut m	relativ m	App. 1		Apparat 3				
				$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$ reduz.			
1	15 ^h 15—16 ^h 15	156	0	17·3	—	12·9	—	—	1½ Tag vor dem Auf- stiege (in Wien)	
2	16 15—17 15	156	0	15·9	18·4	11·0	18·4	—		
3	17 15—18 15	156	0	15·8	17·5	11·2	17·5	—		
4	6 45—7 45	1700	1400	15·8	21·1	14·4	25·3	60	+6·4°	
5	7 45—8 45	2750	2500	17·3	22·5	12·3	31·2	41		
6	8 45—9 45	3850	3600	19·8	—	16·5	35·2	64		-6·8°
7	9 45—10 45	4800	4700 (4400—5350)	40·7	21·8	31·8	—	40		
8	10 45—11 15	4400	4200	28·1	—	22·7	—	—	+16·0° (nach der Landung in Pieskow, Brandenburg)	
9	11 15—11 45	1300	1200	(9·7)	—	11·5	—	—		
10	11 45—12 10	250	150	11·9	—	10·7	—	—		
11	12 25—13 12	140	0	15·0	—	11·6	—	—		

Tabelle der Mittelwerte.

Mittlere Höhe über dem Erdboden m	Beobachtete Strahlung in Ionen pro cm ³ u. sec.			
	Apparat 1	Apparat 2	Apparat 3	
	Q_1	Q_2	Q_3 (reduziert)	Q_3 (nicht reduziert)
0	16·3 (18)	11·8 (20)	19·6 (9)	19·7 (9)
bis 200	15·4 (13)	11·1 (12)	19·1 (8)	18·5 (8)
200—500	15·5 (6)	10·4 (6)	18·8 (5)	17·7 (5)
500—1000	15·6 (3)	10·3 (4)	20·8 (2)	18·5 (2)
1000—2000	15·9 (7)	12·1 (8)	22·2 (4)	18·7 (4)
2000—3000	17·3 (1)	13·3 (1)	31·2 (1)	22·5 (2)
3000—4000	19·8 (1)	16·5 (1)	35·2 (1)	21·8 (1)
4000—5200	34·4 (2)	27·2 (2)	—	—

Zu der Maximalhöhe 4000—5000 m sind die Strahlungswerte um 16 bis 18 Ionen höher als am Boden. Da an der Erdoberfläche die durchdringende Strahlung (in Wien) nur etwa 3 Ionen erzeugt, so erscheint somit die Wirkung etwa versechsfacht.

Diese Ergebnisse wurden vom Verfasser durch die Annahme erklärt, daß eine Strahlung von sehr hoher Durchdringungskraft von oben her in die uns zugänglichen Schichten der Atmosphäre eindringt und auch noch in deren untersten bodennahen Schichten einen Teil der in geschlossenen Gefäßen beobachteten Ioni- sation hervorruft.

Ob die Quelle dieser neuen Strahlung in den höchsten Schichten der Atmosphäre liegt oder außerterrestrisch ist, könnte der Verfasser nicht entscheiden.

Die bekannten radioaktiven Substanzen in der Atmosphäre (Emanationen des Radiums und Thoriums und deren Zerfallsprodukte) sind für die durchdringende Strahlung von sehr untergeordneter Bedeutung. Der Verfasser hat später gezeigt, daß sie kaum 5% zur beobachteten Strahlung beitragen. Auch könnte ihre Menge nicht mit der Höhe anwachsen.

Es verbleibt demnach nur der erwähnte Ausweg der Annahme einer neuen Strahlung. Diese könnte z. B. auch von einem uns bisher nicht bekannten, sehr leichten radioaktiven Gas in den höheren Schichten der Atmosphäre erregt sein. Auch die schon früher erwähnte Richardsonsche Hypothese einer außerterrestrischen Quelle dieser sehr harten Strahlung schien an Boden zu gewinnen.

Bleibt man bei der letztgenannten Annahme, so ist es am nächstliegenden, die Sonne als Quelle dieser neuen Strahlung anzusehen. Diese Auffassung scheint aber kaum haltbar, weil der Verfasser 1. im Ballon auch während der Nachtzeit keine Abschwächung der Strahlung in Höhen bis 2000 m gefunden hat, und 2., weil auf der am 17. April 1912 während einer nahezu totalen Sonnenfinsternis vom Verfasser unternommenen Ballonfahrt ebenfalls keine Verringerung der Strahlungswerte bei zunehmender Sonnenbedeckung bemerkt wurde.

Die Ballonbeobachtungen sind dann von W. Kolhörster mit Unterstützung des ärophysikalischen Forschungsfonds Halle im Jahre 1913/14 weitergeführt worden, wobei Höhen von 6000 m, einmal

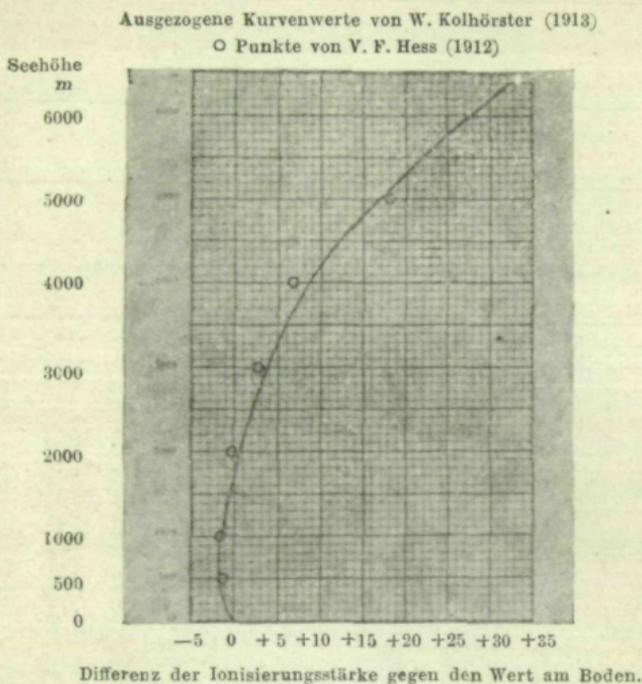


Fig. 2.

sogar von 9000 m erreicht wurden. Kolhörster hat eine speziell den bei Hochfahrten vorkommenden Überdrucken bis $\frac{3}{4}$ Atmosphären angepaßte Modifikation des Wulfschen Strahlers herstellen lassen, die auch hinsichtlich der Temperaturkompensation Verbesserungen aufweist. Durch spezielle Vorversuche wurde gezeigt, daß die Angaben des Apparats von Druck- und

Temperaturdifferenzen zwischen Apparat und Umgebung nicht beeinflußt werden.

Die Resultate der drei ersten Fahrten Kolhörsters sind in dem nebenstehenden Diagramm Fig. 2 dargestellt.

Die Werte der durchdringenden Strahlung sind als Abszissen, die Höhen als Ordinaten aufgetragen. Die ausgezogene Kurve entspricht den Kolhörsterschen Messungen. Die nebenbei eingezeichneten, mit kleinen Kreisen bezeichneten Punkte sind die Mittelwerte meiner vorhin besprochenen eigenen Beobachtungen. Die Übereinstimmung kann wohl als eine sehr gute bezeichnet werden.

Eine spätere Fahrt führte Kolhörster gar bis 9000 m. Die Resultate dieser Fahrt sind in der folgenden Tabelle verzeichnet.

Seehöhe m	Differenz der Ionenzahlen in der Höhe und am Boden	
	Werte von 1913	Fahrt vom 28. Juli 1914
1000	— 1·5	—
2000	+ 1·2	—
3000	+ 4·0	+ 4·3
4000	+ 8·3	+ 9·3
5000	+ 16·5	+ 17·2
6000	+ 28·7	+ 28·7
7000	—	+ 44·2
8000	—	+ 61·3
9000	—	+ 80·4

Zum Vergleich sind die von demselben Beobachter 1913 erhaltenen Messungen unten angeführt.

Man sieht, wie enorm rasch die Strahlung von 5 km an ansteigt. Zu 9 km ist der Wert um 80 Ionen/cm³ sec höher als an der Erdoberfläche.

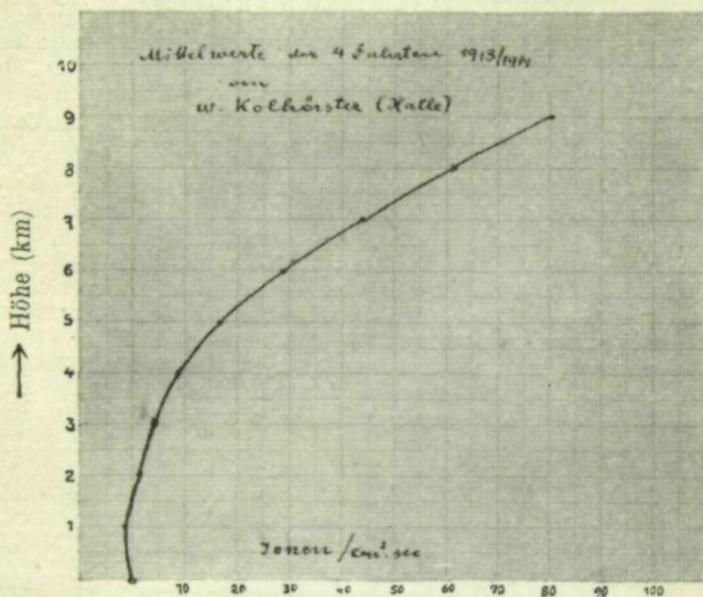


Fig. 3.

In den ersten 2 km Höhe ist die Zunahme der von oben kommenden durchdringenden Strahlung durch die Abnahme der gewöhnlichen γ -Strahlung der Erdoberfläche und der radioaktiven Substanzen in der Luft überdeckt. Von 2 km an jedoch erfolgt die Zunahme regelmäßig und um so rascher, je höher man kommt. Die Art der Zunahme ersieht man noch besser aus der graphischen Darstellung Fig. 3.

Kolhörster berechnet aus der ungefähr nach einem Exponentialgesetz erfolgenden Zunahme der Strahlung ihren Absorptionskoeffizienten zu $\lambda = 1.0 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$. Da die γ -Strahlung des RaC in Luft einen $4\frac{1}{2}$ mal größeren Absorptionskoeffizienten hat, so kann nun wohl nicht mehr gezweifelt werden, daß hier eine neue, viel durchdringendere Strahlung vorliegt. Die ersten Beobachtungen derselben durch den Verfasser sind somit vollinhaltlich bestätigt worden.

Wenn es richtig ist, daß diese neue Strahlung, aus dem Weltenraum oder aus den obersten Schichten der Atmosphäre kommend, immer stärker absorbiert zur Erdoberfläche gelangt, müssen Beobachtungen auf hohen Bergen dieselbe Zunahme der Strahlung gegenüber dem Meeresniveau erkennen lassen wie die im Ballon. Auch dies ist experimentell durchaus bestätigt worden. A. Gockel hat in der Schweiz auf dem Aletschgletscher und Jungfrauoch, ferner am Eggishorn und am Piz Languard, also zum Teil in Höhen von mehr als 3000 m, die typische Erhöhung der durchdringenden Strahlung festgestellt. Durch Einsenken in Gletscherspalten konnten auch einwandfreie Abschirmungsversuche ausgeführt werden. Während nach Versuchen am Bodensee und Vierwaldstättersee in der Ebene der Anteil der von oben kommenden harten Strahlung 1.5—2.4 Ionen ausmacht, ist er von Gockel in 2000—3000 m zu 3—4 Ionen bestimmt worden, was mit den Ballonbeobachtungen gut übereinstimmt. Auch am Obirgipfel (2040 m) wurden

durch ein Jahr Beobachtungen der durchdringenden Strahlung ausgeführt, deren Ergebnisse vom Verfasser gemeinsam mit Dr. M. Kofler 1917 publiziert wurden. Diese Messungen haben das Resultat geliefert, daß die Schwankungen der durchdringenden Strahlung sowie deren jährliche Periode nur von den Umlagerungen der radioaktiven Substanzen in der Luft und den obersten Bodenschichten herrühren; sie sind überhaupt in 2000 m bedeutend geringer als in der Ebene. Daraus folgt, daß die von oben kommende neue Strahlung zeitlich fast konstant bleiben muß. Wenn sie schwanken würde, müßten solche Änderungen in 2000 m etwa dreimal stärker bemerkbar sein als am Meeresniveau. Da auch langfristige Mittelwerte über Tag und Nacht keinen Unterschied erkennen ließen, scheinen die schon früher gegen die Hypothese, daß die Sonne die Quelle der neuen Strahlung sei, vorgebrachten Argumente verstärkt.

Damit glaube ich eine ziemlich vollständige Übersicht über das bis 1918 vorliegende Beobachtungsmaterial gegeben zu haben. Es erübrigt nur noch, die Versuche zur Erklärung des Ursprungs der neuen Strahlung zu besprechen. Da die diesbezüglichen Arbeiten ziemlich viel mathematische Überlegungen enthalten, kann hier nur der Grundgedanke und das Ergebnis jeder dieser Arbeiten mitgeteilt werden.

E. v. Schweidler hat durch eine Ausgleichsrechnung aus den Messungen Kolhörsters den Wert der Strahlung für die Erdoberfläche ($h = 0$) zu 1.4

Ionen, für die obere Grenze der Atmosphäre ($h = \infty$) zu 535 Ionen bestimmt. Er berechnet ferner, daß, wenn die Sonne die Quelle der neuen Strahlung wäre, sie ungefähr 170 mal stärker radioaktiv sein müßte als reines Uran. Für den Mond berechnet sich (da er gleiche scheinbare Größe hat) ein ähnlicher unmöglicher Wert. Die Planeten und Fixsterne scheiden aus dem gleichen Grund als Quelle der neuen Strahlung gänzlich aus, da ihnen ein ganz unsinniger Betrag von Eigenaktivität zugeschrieben werden müßte.

Auch die Annahme, daß ein vorzugsweise in den höchsten Schichten der Atmosphäre vorkommendes, bisher unbekanntes Gas die Quelle der neuen Strahlung sei (etwa das Geocoronium), glaubt v. Schweidler ausschließen zu müssen: die Existenz eines solchen Gases und auch seine Aktivität wäre ja denkbar, doch müßte dann die Zunahme der Strahlung mit der Höhe langsamer erfolgen, als den Beobachtungen entspricht.

Am ehesten zu plausiblen Resultaten führt nach v. Schweidler die Annahme, daß im Weltenraum vorhandene, in beliebiger Verdünnung gleichmäßig verteilte kosmische Materie die Quelle der neuen Strahlung sei. Die spezifische Aktivität solcher Materie brauchte gar nicht hoch zu sein, um die beobachtete Strahlung hervorzubringen. v. Schweidler berechnet, daß die kosmische Materie nur etwa 100 mal so aktiv zu sein brauchte wie die meisten Gesteine der Erdrinde oder 1200 mal schwächer aktiv als Uran. Das

sind Annahmen, die nicht ganz außer dem Bereich des Möglichen liegen.

Eine andere Hypothese zur Erklärung des Ursprunges der neuen Strahlung ist von F. Linke aufgestellt worden. Linke schlägt bei seinen Überlegungen folgenden Weg ein: er glaubt von vornherein, daß die Quelle der neuen Strahlung in den höheren Schichten der Luft zu suchen sei, und berechnet, welche Höhenverteilung der Strahlenquelle mit den Beobachtungen von mir und Kolhörster am besten in Einklang zu bringen wäre. Durch umständliche Näherungsrechnungen findet er die beste Übereinstimmung, wenn er den Schwerpunkt der strahlenden Materie in 20 km Höhe annimmt. Dabei kann natürlich diese Materie in vertikal sehr mächtigen Höhenschichten diffus verteilt vorkommen. Nimmt man dazu die Tatsache, daß die großen Trübungserscheinungen der Atmosphäre tatsächlich in solchen Höhen der Stratosphäre ihren Sitz haben und fein verteiltem kosmischen Staub ihre Entstehung verdanken, so scheint die Annahme nicht unplausibel, daß dieser in der Stauschicht der unteren Stratosphäre sich vorzugsweise anhäufende kosmische Staub die neuen Strahlen aussendet. Die Linkesche Hypothese ist von K. Bergwitz angefochten worden, doch konnte Linke die Haupteinwände von Bergwitz in einer Erwiderung entkräften.

Das Bestechende an der Linkeschen Erklärung ist die vortreffliche Übereinstimmung mit den Beob-

achtungen. Nebenstehendes Diagramm (Fig. 4) zeigt die Zunahme der durchdringenden Strahlung nach den Beobachtungsdaten von Kolhörster (ausgezogene Kurve), wobei diese jedoch um den Betrag der Sekundärstrahlung

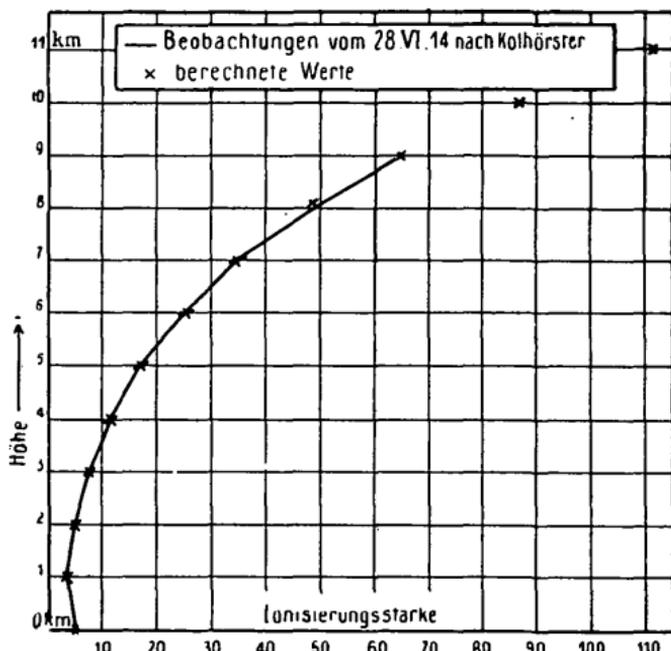


Fig. 4.

an der Zinkwand des Apparats bereits vermindert sind. Die mit \times bezeichneten Punkte sind nach Linke berechnet.

Die Linkesche Hypothese erfährt auch eine Stützung durch die Tatsache, daß während des Durchganges der Erde durch den Schweif des Halleyschen Kometen 1910 an einigen Orten eine Erhöhung der

durchdringenden Strahlung stattgefunden hat (nach Wigand), wogegen es freilich schwer erklärbar ist, warum dann an anderen Orten dieser Effekt nicht zu finden war. Dennoch wird die vielleicht von mehr lokalen Einbrüchen radioaktiver kosmischer Materie erregte; an drei Orten wahrgenommene Erhöhung der durchdringenden Strahlung als Argument für die Linkesche Hypothese gelten können.

Nachdem in neuester Zeit durch die Untersuchungen von Vegard und Stark nachgewiesen worden ist, daß das Polarlicht-Phänomen von positiven korpuskulären Strahlen ähnlich den α -Strahlen erregt wird, könnte man noch die Frage aufwerfen, ob kein Zusammenhang zwischen der durchdringenden Strahlung und dem Polarlicht bestehe (St. Meyer): man könnte etwa daran denken, daß die von oben kommende neue γ -Strahlung eine Art sekundärer γ -Strahlung wäre, welche durch die Korpuskularstrahlen des Polarlichtes in den oberen Schichten der Atmosphäre erregt wird.

Experimentell wurde ein solcher Zusammenhang bisher weder gefunden noch überhaupt gesucht. Doch glaube ich, daß diese Hypothese aus folgenden Gründen kaum stichhältig sein dürfte: sekundäre γ -Strahlen sind vor allem viel weicher, d. h. nicht so durchdringungsfähig wie die neue Strahlung. Ferner ist diese nach allen bisherigen Erfahrungen ein wenig Variationen unterliegendes Dauerphänomen, während das Polarlicht auch in schwächster Form nur zeitweilig auftritt. Und schließlich haben die im Winter

1912/13 in Valckenburg, Davos, Innsbruck, Graz und Wien von Wulf, Dorno, v. Schweidler, Benndorf, Veith, Kofler und Hess angestellten Simultanbeobachtungen der durchdringenden Strahlung keinerlei simultan auftretende Schwankungen der durchdringenden Strahlung erkennen lassen.

Zusammenfassend können wir also sagen, daß die beobachtete Zunahme der durchdringenden Strahlung mit der Höhe noch am ehesten mit der Annahme fein verteilten, in der Stratosphäre schwebenden, harte γ -Strahlen aussendenden radioaktiven kosmischen Staubes (nach Linke) oder mit der Annahme gleichmäßiger Erfüllung des Weltenraumes durch radioaktive kosmische Materie in äußerster Verdünnung (nach v. Schweidler) erklärt werden kann.

An der Erdoberfläche beträgt der Anteil der neuen Strahlung nur ein Bruchteil der Gesamtionisation im Wulfschen Strahlungsapparat. Es ist nicht ohne Interesse, wenn wir nun die verschiedenen Komponenten der beobachteten Gesamtionisation in einer Art Bilanz zusammenstellen, die für die beiläufig im Meeresniveau liegenden Orte gilt.

Beobachtete Gesamtionisation in geschlossenen Zinkgefäßen.

I. Strahlung von außen.

a) γ -Strahlung der radioaktiven Substanzen des Bodens (Mittelwert) 2—6 Ionen/cm³ sec.

b) γ -Strahlung des radioaktiven Beschlages der Erdoberfläche (Mittelwert) weniger als 0.01 Ionen/cm³ sec.

c) γ -Strahlung der radioaktiven Substanzen in der Luft (Mittelwert) $0-0.2$ Ionen/cm³ sec.

d) neue harte γ -Strahlung (von oben kommend) erzeugt am Boden zirka 1.5 Ionen/cm³ sec.

II. Eigenstrahlung des Gefäßes (Restionisation).

Diese rührt teils von radioaktiven Verunreinigungen der Metalle, teils von eventuellem Emanationsgehalt der eingeschlossenen Luft, teils von einer vielleicht existierenden minimalen Eigenaktivität der Metalle oder einer spontanen Ionisation der Luft ab. Die geringste Restionisation hat K. Bergwitz im Innern eines Steinsalzbergwerkes gefunden (0.8 Ionen/cm³ sec). Die meisten Gefäße besitzen eine Reststrahlung von $5-10$ Ionen/cm³ sec. Aus der gegebenen Bilanz der Ionisation in einem geschlossenen Gefäß erkennt man erst, wie kompliziert die Aufgabe gewesen ist, die Ursachen dieser so einfachen Erfahrungstatsache aufzudecken.

Das Ziel dieser Forschungen ist zwar nähergerückt, doch noch keineswegs erreicht. Die weitere Aufklärung der Ursachen der unter I a genannten Komponente, der neuen harten γ -Strahlung sowie der Ursachen der Restionisation wird den Stoff zu neuen, wichtigen experimentellen Arbeiten bilden.

Die weitere Erforschung der neuen Strahlung wird nur mit Aufwand erheblicher Mittel möglich sein. Hier kommen in Betracht:

1. Ausführung längerer Terminbeobachtungen der durchdringenden Strahlung auf einem Bergobservatorium von womöglich über 4000 m Höhe, etwa auf dem Monte Rosa.

2. Messung der Strahlung während der Nacht in Höhen von über 5000 m. Dies könnte am ehesten noch mittels Flugzeug durchgeführt werden, denn mittels Ballon sind so große Höhen fast nur bei Tage erreichbar.

3. Vordringen in noch größere Höhen mittels geeignet ausgearbeiteter Registrierinstrumente für durchdringende Strahlung und Pilotballonen. Auf diese Weise könnten die Verhältnisse selbst in 20 km Höhe noch erforscht werden.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1919

Band/Volume: [59](#)

Autor(en)/Author(s): Hess Victor Franz

Artikel/Article: [Die Frage der durchdringenden Strahlung außerterrestrischen Ursprunges. 23-55](#)