14. *Über Absorption von Gravitationsenergie durch radioaktive Substanz; von Robert Geigel.*

Im Januar 1902 begann ich mit Versuchen, welche mich darüber aufklären sollten, ob die von radioaktiven Substanzen ausgegebene Energie möglicherweise durch Aufnahme von Gravitationsenergie ersetzt würde. Bei den damals angestellten vorläufigen Versuchen wurde an den einen Balken einer empfindlichen Wage ein Bleikügelchen von etwa 6,5 g mit dünnem Draht angehängt, die Einstellung des Zeigers bestimmt, dann unter die Bleikugel 1 g radioaktive Substanz, auf einem Uhrgläschen ausgebreitet, gebracht und die Einstellung neuerdings bestimmt.

Eine Reihe solcher Wägungen gab im Mittel einen scheinbaren Gewichtsverlust der Bleikugel um 0,035 mg.

Auf diese Wägungen näher einzugehen, wird, da sie Vorversuche vorstellen, nicht nötig sein.

Aus äußeren Gründen mußte ich die Sache liegen lassen und kam erst im November wieder dazu, die Untersuchung fortzusetzen.

Verwendet wurde 1 g radioaktiver Substanz, die von Hrn. de Haën bezogen ist. Die Wage führt an der Zeigerskala 20 Intervalle und gibt für eine Mehrbelastung der einen Seite um 1 mg einen Ausschlag von 2,748 Teilstrichen. Die Belastung der rechten Schale ist von jetzt ab immer 6,530 g, an dem linken Arm über der Schale hängt die kleine Bleikugel.

Ich möchte gleich die ersten Wägungen etwas ausführlicher angeben.

1. Ohne radioaktive Substanz: Aus fünfmaliger Beobachtung der Zeigerschwingung (jedesmal fünf Ablesungen links und vier Ablesungen rechts) ergibt sich als Ruhestellung 8,767 mit dem wahrscheinlichen Fehler von $\pm 0,0388$.

2. Links unter dem Kügelchen (Abstand 1,1 cm) die radioaktive Substanz in dem Uhrschildchen: Aus ebensoviel Beob-

achtungen Ruhestellung des Zeigers bei 8,661 mit dem wahrscheinlichen Fehler von $\pm 0,018$.

Beide Resultate bedeuten bei der Empfindlichkeit von 2,748 Teilstreichen pro Milligramm einen scheinbaren Gewichtsverlust der Bleikugel von 0,0386 mg.

Ähnliche Resultate gaben eine Reihe weiterer Wägungen, von denen ich zunächst bloß das Resultat gebe: Scheinbarer Gewichtsverlust 0,0416, 0,0599, 0,0377, 0,0449 mg.

Es zeigte sich, daß die Höhe des scheinbaren Gewichtsverlustes abhängig ist von einer Behandlung der radioaktiven Substanz durch Schütteln oder Rühren kurz vor der Wägung. Sie war bei den zuletzt angegebenen Resultaten, wie meine Aufschreibungen zeigen, der Reihe nach „mit Metall umgerührt“, „mit Metall durchgearbeitet“, bloß „geschüttelt“ und zuletzt wieder „geschüttelt“.

Überlegt man, was außer „Absorption von Gravitationsenergie“ sonst noch für die Erklärung des scheinbaren Gewichtsverlustes herbeigezogen werden könnte, so ergibt sich als denkbar, aber nicht wahrscheinlich elektrostatische Abstoßung; oder Aufprallen von fortgeschleuderten, ausgestrahlte Teilchen an die Bleikugel.

Wäre das letztere richtig, so müßte mit Verkleinerung der Oberfläche der radioaktiven Substanz eine Verminderung des scheinbaren Gewichtsverlustes Hand in Hand gehen. Es trat aber gerade das Gegenteil ein, wie folgende Wägungsergebnisse zeigen:

1. Radioaktive Substanz auf dem Uhrschildchen ausgebreitet, Durchmesser 2,75 cm, Gewichtsverlust 0,0248 mg.
2. Radioaktive Substanz etwas aufgehäuft, Durchmesser 2,1 cm, Gewichtsverlust 0,0476 mg.
3. Radioaktive Substanz in kleinerem Glasschildchen, oberer Durchmesser 1,8 cm, Gewichtsverlust 0,0778 mg.

Dies führt unmittelbar zu dem Gedanken, daß die Dicke der Schicht von radioaktiver Substanz unter der Bleikugel, oder der Weg, den die (man gestatte mir vorläufig den Ausdruck) von der Erde kommenden Gravitationsstrahlen durch die radioaktive Substanz zurückzulegen haben, auf den scheinbaren Gewichtsverlust Einfluß hat, daß also etwas wie Absorption von Gravitationsenergie stattfindet.

Jetzt lag es natürlich nahe, der radioaktiven Substanz bestimmte Höhen- und Breitendimensionen zu geben und deren Einfluß zu beobachten.

Von vornherein ist es wahrscheinlich, daß bei gleichbleibender Menge der radioaktiven Substanz ein Zylinder von bestimmter Höhe das Maximum von Absorption geben müsse, da offenbar sowohl, wenn die Höhe des Zylinders $= 0$, sein Durchmesser also ∞ ist, als auch, wenn seine Höhe $= \infty$, sein Durchmesser aber $= 0$ ist, keine Absorption eintreten würde. Ob ein solches Maximum zu finden ist, möge aus den folgenden Versuchen, die ich nun genauer angeben will, ersehen werden.

Ich stellte mir eine Reihe von Glaszylinderchen her durch Aufkitten von kurzen Stücken von Glasröhren verschiedener innerer Durchmesser auf ebene Glasstückchen. Oben waren die Röhren offen.

Die Wage wurde neu horizontiert und die Versuche sind in einem Zug gemacht. Es sind jedesmal drei Beobachtungen mit fünf Ablesungen links und vier Ablesungen rechts gemacht.

I. Ohne radioaktive Substanz.

8,065, 8,063, 8,060; Mittel: 8,0627; wahrscheinlicher Fehler $\pm 0,00145$.

II. Mit radioaktiver Substanz in den Glaszylinderchen.

a) Durchmesser des Zylinders 19 mm, Höhe der Substanz 3 mm.

7,907, 7,94, 7,853; Mittel: 7,921; wahrscheinlicher Fehler $\pm 0,02904$.

b) Durchmesser 11 mm, Höhe 9 mm.

7,798, 7,830, 7,840; Mittel: 7,823; wahrscheinlicher Fehler $\pm 0,01267$.

c) Durchmesser 7 mm, Höhe 21 mm.

7,543, 7,743, 7,836, 7,883¹⁾; Mittel: 7,751; wahrscheinlicher Fehler $\pm 0,07438$.

d) Durchmesser 13,5 mm, Höhe 7,5 mm.

7,423, 7,550, 7,720; Mittel: 7,564; wahrscheinlicher Fehler $\pm 0,08604$.

III. Wieder ohne radioaktive Substanz.

7,860, 7,830, 7,956; Mittel: 7,882; wahrscheinlicher Fehler $\pm 0,038$.

Auffallend ist hier der Unterschied zwischen den beiden Wägungen ohne radioaktive Substanz (I. und III.) am Anfange

1) Hier absichtlich vier Beobachtungen.

und Schluß, ein Unterschied, der den wahrscheinlichen Fehler übersteigt. Eine wesentliche Änderung in der Gleichgewichtslage der Wage durch äußere Umstände dürfte, da die Beobachtungen in einem Zuge gemacht wurden, ausgeschlossen sein. Dann bliebe zur Erklärung bloß noch eine noch nachträglich bemerkbare Einwirkung der radioaktiven Substanz auf ihre Umgebung; es könnte z. B. die unter der Uhrschale hängende Wagschale sekundär radioaktiv geworden sein und diese Eigenschaft erst wieder nach und nach verlieren. Daß ähnliches eingetreten ist, deutet vielleicht der Umstand an, daß, wie III. zeigt, der ursprüngliche Zustand sich wieder herstellen zu wollen scheint, indem die letzte, also nach Verfluß etwas längerer Zeit gemachte Beobachtung schon 7,956 gibt, was mit I. wieder viel besser übereinstimmt. Deshalb und wegen der offenbaren Zuverlässigkeit der Beobachtungen unter I. lasse ich in folgender Berechnung die Beobachtung III. außer Betracht; würde sie einbezogen werden, so würden die Zahlen etwas kleiner ausfallen.¹⁾

	Höhe	Unterschied der Einstellung	Scheinbarer Gewichtsverlust
ad II. a)	3 mm	0,1417	0,05156 mg
b)	9	0,1494	0,08723
c)	21	0,2214	0,11342
d)	7,5	0,4987	0,18147

(Die scheinbaren Gewichtsverluste würden sich bei Einrechnung von III. ergeben zu: 0,01870, 0,05436, 0,0805 und 0,1486 mg.)

Bei einer Höhe von 7—8 mm scheint ein Maximum der Absorption einzutreten; diese steigt dann allerdings auch wieder bei 21 mm Höhe.

Der Gewichtsverlust des Bleikügelchens würde einem scheinbaren Massenverlust der Erde entsprechen.

Es sei m die Masse des Bleikügelchens, μ der Massenverlust des Bleikügelchens, M die Masse der Erde, $\mathbf{M}$ der Massenverlust der Erde.

1) Genauere Betrachtung einzelner Resultate zeigt überhaupt, daß noch eine Reihe feinerer und feinsten Beobachtungen anzustellen wären, von denen ich später einige wenigstens andeuten werde.

Dann ist

$$M(m - \mu) = (M - M) \cdot m,$$

hieraus

$$(1) \quad M = M \frac{\mu}{m}.$$

Wir betrachten das Bleikügelchen als Punkt an der Oberfläche der Erde und denken uns von diesem aus nach allen Richtungen Strahlen in die Erde gezogen, die mit der Senkrechten, also mit dem Erddurchmesser den Winkel α bilden, der von $0-90^\circ$ variiert. In der Richtung jeder solcher Sehne wirkt eine Masse, die proportional mit der Länge der Sehne und, da wir die Masse im Schwerpunkt der Sehne denken können, eine Kraft, die umgekehrt proportional dem Quadrat der Sehnenlänge, zusammen also umgekehrt proportional der Länge der Sehne ist. Von dieser kommt die Vertikalkomponente in Betracht, welche dem $\cos \alpha$ proportional ist. Da aber die Länge der Sehne selbst proportional mit $\cos \alpha$ ist, so ist die Vertikalkomponente jeder solcher Sehne konstant. Es kann also die Summierung aller dieser Vertikalkomponenten erfolgen, indem man sie alle als gleichlang betrachtet und vom Bleikügelchen aus nach allen Seiten von $\alpha=0^\circ$ bis $\alpha=90^\circ$ angeordnet, d. h. eine Halbkugel vom doppelten Erdradius erfüllend, in deren Mittelpunkt das Bleikügelchen ist.

Von allen diesen Richtungen geht je nach der Anordnung der radioaktiven Substanz ein größerer oder kleinerer Teil, auf kleinerem oder größerem Wege durch diese hindurch, ein anderer Teil daran vorbei. Der hindurchgehende Teil erfüllt von jener Halbkugel einen Ausschnitt vom Zentriwinkel 2α , dessen Inhalt $K = \frac{2}{3} r^3 \pi (1 - \cos \alpha)$ ist, wenn r der Radius der Halbkugel.

Dieser Winkel α ist in jedem Fall durch die Gestalt des Zylinders der radioaktiven Substanz und ihre relative Lage zum Bleikügelchen bestimmt. Ist b der Halbmesser des Zylinders, s die Entfernung seiner Basis vom Bleikügelchen so ist

$$\cos \alpha = \frac{s}{\sqrt{b^2 + s^2}},$$

also

$$K = \frac{2}{3} r^3 \pi \left(1 - \frac{s}{\sqrt{b^2 + s^2}} \right).$$

Dies ist von der ganzen Halbkugel der

$$\frac{2}{3} r^3 \pi \left(1 - \frac{s}{\sqrt{s^2 + b^2}} \right) : \frac{2}{3} r^3 \pi^{\text{te}} \text{ Teil.}$$

Es geht also von allen von der Erde ausgehenden Gravitationsvertikalkomponenten der $1 - \frac{s}{\sqrt{s^2 + b^2}}$ te Teil durch die radioaktive Substanz und zwar auf einer Strecke gleich der Höhe h des Zylinders.

Unter der Annahme, daß Absorption stattfindet, sei a der „Schwächungskoeffizient“ (a ein echter Bruch, sodaß von einer ursprünglichen Energie E nach dem Durchgang durch den Weg W bloß noch $E a^W$ vorhanden ist), dann muß mit Rücksicht auf Gleichung (1)

$$M \left(1 - \frac{s}{\sqrt{b^2 + s^2}} \right) (1 - a^h) = M \frac{\mu}{m}$$

sein. Hieraus

$$1 - a^h = \frac{\mu}{m} \frac{\sqrt{b^2 + s^2}}{\sqrt{b^2 + s^2} - s},$$

und hieraus kann a gerechnet werden. Der Kürze halber sei die vorige Gleichung geschrieben:

$$1 - a^h = A, \quad a^h = 1 - A.$$

Ich habe nun für die Fälle II. a), b), c), d) die Größe a gerechnet und finde folgendes¹⁾:

ad a)	$A = 0,000\,093\,584,$	$h = 3,$	$a = 0,999\,97$
ad b)	$A = 0,000\,479\,71,$	$h = 9,$	$a = 0,999\,95$
ad c)	$A = 0,002\,354\,6,$	$h = 21,$	$a = 0,999\,89$
ad d)	$A = 0,001\,394\,6,$	$h = 7,5,$	$a = 0,999\,82$

Nun noch einige Bemerkungen, die aber nur den Charakter vorläufiger Andeutungen haben sollen:

In sehr vielen Fällen ist mir aufgefallen, daß bei untergeschobener radioaktiver Substanz die Zeigerbeobachtungen rasch zunehmende Zahlen liefern, in der kurzen Zeit (vielleicht 5—10 Min.), die von der ersten bis zur letzten verfließt. Ich verweise zuerst auf die Beobachtungen II. b), c) und d). Aber auch viele andere, hier nicht ausführlich angegebene

1) $s = 38 \text{ mm.}$

Beobachtungen zeigen dasselbe, so insbesondere die auf p. 430 „mit Metall durchgearbeitet“ bezeichnete, die als Mittelwert 0,0599 mg scheinbaren Gewichtsverlust gab. Deren einzelne Zeigerbeobachtungen waren:

8,688, 8,783, 8,923, 9,038.

Diese und mehrere andere Beobachtungen ließen vielleicht schließen, daß durch das Schütteln und Umrühren eine verhältnismäßig große Menge absorbiertener Energie verloren geht, die dann zuerst rasch, dann immer langsamer wieder ersetzt wird. In der Tat werden durch solche Eingriffe neue Oberflächen geschaffen, die die Ausstrahlung begünstigen und ich fand z. B., daß bei möglichst gleichmäßig geladenem Elektroskop die ausgeruhte Substanz dasselbe in 25 Sek., die geschüttelte in 20 Sek. entlud. Ein anderes Mal bei schwächer geladenem Elektroskop die ausgeruhte Substanz in 9 Sek., die geschüttelte in 7 Sek.

Zum Schluß will ich noch erwähnen, daß, als ich einmal die radioaktive Substanz mit einem Stanniolblättchen bedeckte, eine scheinbare *Gewichtszunahme* von 0,0201 mg eintrat, was ich elektrostatischer Wirkung zuzuschreiben geneigt bin.

Aschaffenburg, Physik. Inst. d. forstl. Hochschule.

(Eingegangen 20. Dezember 1902.)