

Meteoreinfälle als Ursache des vermuteten Zurückhaltens der obersten Atmosphäre.

VON

Shinzo Shinjo.

(Abgedruckt nach Mem. Coll. Sci. Engin., VI.)

I.

Es scheinen nach Wegener¹ in den grossen Höhen der Erdatmosphäre immer dauernde Ostwinde mit bedeutender Geschwindigkeit zu herrschen. Dies begründet er durch die folgenden Beobachtungstatistiken:—

- (i) dass die Pilotballonaufstiege über Uccle im Jahre 1907OSO-Wind in den Höhen von 20 bis 26 km gezeigt haben;
- (ii) dass die Bewegung der Rauchmassen des Krakatoa-Ausbruchs Ostwind in den grossen Höhen mit einer mittleren Geschwindigkeit zwischen 35 und 45 Meter pro Sek. gezeigt hat;
- (iii) dass die Ausbreitung der leuchtenden Nachtwolken, 1889–1891, Ostwind mit einer Geschwindigkeit von 100 Meter pro Sek. in der Höhe von 80 km gezeigt hat,

und daraus schliesst er dass man hier mit dem Zurückhalten der obersten Atmosphäre zu tun habe. Die rückwärtige Bewegung beträgt in der Höhe von 100 km etwa ein Drittel der Geschwindigkeit der Erdoberfläche.

Diese Erscheinung, das Zurückhalten der obersten Erdatmosphäre, ist sehr bemerkenswert, um so mehr, als es in diesen grossen Höhen keine Vertikalströmung zu erwarten wäre, weshalb es keine Folge von den thermodynamischen Erscheinungen an der Erdoberfläche sein könnte. Uns lehrt eine theoretische Betrachtung² des Gleichgewichtes der Planetenatmosphäre, dass die Erdatmosphäre bis zur Höhe von sechsmal

¹ Met. Zs., 28, 271 (1911).

² Tisserand, Méc. Cél., IV, 233.

Erdradien die ganze Rotation des Kerns mitmachen wird. Auch eine gastheoretische Ueberlegung¹ äusserst verdünnter Atmosphäre gibt uns keinen Anhaltspunkt zu Gunsten des Zurückhaltens. Die beobachtete Erscheinung fordert demnach irgend welche positive Ursache für die Erklärung derselben. Es wird im folgenden versucht, die Meteoreinfälle als solche zu betrachten, und dann wird es gezeigt, dass man hier in dieser Erscheinung die beste Methode findet, um die totale Menge der Meteormassen, die die Erde jährlich aufnimmt, am sichersten zu schätzen.

II.

Was nun die Meteoreinfälle in unsere Atmosphäre betrifft können wir die beobachteten Tatsachen² etwa folgendermassen auffassen;—

(i) Die Sternschnuppen sind uns sichtbar in den Höhen zwischen 90–150 km. Die tägliche Zahl über der ganzen Erde beträgt etwa 2×10^7 . Die mittlere Lichtstärke gleicht derjenigen eines Sterns 3^{ter} Grösse, und die mittlere Zeitdauer des Leuchtens ist etwas kleiner als eine Sekunde.

(ii) Die viel kleineren Sternschnuppen sind nur teleskopisch sichtbar, und die mittlere Höhe des Leuchtens ist natürlich viel grösser, so etwa über 200 km. Die Anzahl solcher teleskopischen Sternschnuppen schätzt man etwa 100-mal so gross wie die visuellen. Die mittlere Lichtstärke gleicht etwa derjenigen eines Sterns 9^{ter} Grösse.

(iii) Die grösseren, die man als Feuerkugeln beobachtet, kommen viel näher zur Erde, so etwa bis zur Höhe von 50 km oder noch weniger. Nach der Lichtstärke zu schätzen, müssen sie im Durchschnitt etwa 1000-mal grösser sein als die mittlere visuelle Sternschnuppe,

(iv) Die noch grösseren endlich fallen zur Erde und werden uns wahrnehmbar als Meteoriten. Es sind welche die mehrere Tonnen wiegen. Die Anzahl schätzt man als etwa 1000 pro Jahr.

(v) Aus dem Zahlenverhältnis der visuellen Sternschnuppen in Morgen- und Abendstunden konnte man schliessen, dass sie sich meistens in kleinen elliptischen Bahnen um die Sonne bewegt haben³. Für mehrere, die zu den Klassen (iii) und (iv) gehören, konnte man

¹ C. G. Darwin, *Phil. Mag.*, [6] 23, 664 (1912).

² Herz, Kometen u. Meteore in Valentiner's Handwörterbuch; Newton, *Meteor in Encyc. Brit.*, 9te Aufl., XVI.

³ Herz, Kometen u. Meteore in Valentiner's Handwörterbuch, II, 169.

sogar ihre Bahnen näher bestimmen¹ und hat dabei diese Tatsache bestätigt gefunden.

Diesen Zusammensetzungen zufolge machen wir die folgenden Annahmen als die erste Annäherung für den vorliegenden Zweck:—

(A) Die Gesamtmeteormassen kommen nur bis zur Höhe von h km; ihre Bewegung wird dort gehemmt.

(B) Das resultierende Flächenmoment aller einfallenden Meteor-massen um den Erdschwerpunkt ist gleich Null.

Solange wir die Rotation der obersten Atmosphärenschichten als ganzes betrachten, brauchen wir also einfach den Flächensatz um die Erdachse niederzuschreiben:—

$$\int \mu \times (1-f) v \times \rho dS = \int \frac{fv}{h} \times \eta \times \rho dS,$$

wo

μ = Meteoreinfall pro Sek. pro Flächeneinheit,

v = Lineare Geschwindigkeit der Erdoberfläche,

fv = Ostwind in der Höhe h ,

η = mittlerer Viskositäts-koeffizient der atmosphärischen Luft,

dS = Flächenelement,

ρ = Abstand von dS von der Rotationsachse.

Wenn wir weiter annehmen, dass m, f und h in allen Gegenden konstant sind, oder vielmehr wollen wir sagen, wenn wir nur die mittleren Werte dieser Grössen betrachten, so haben wir

$$\mu = \frac{f}{1-f} \times \frac{\eta}{h},$$

und
$$M = \mu \times 4\pi R^2 = \frac{f}{1-f} \times \frac{\eta}{h} \times 4\pi R^2.$$

Setzen wir numerisch

$$h = 10^7 \text{ cm}$$

$$f = \frac{1}{3}$$

¹ Denning, Meteor in Encyc. Brit., 10te Aufl., XXX., 661.

$$\eta = 8 \times 10^{-5} \frac{gr}{cm \cdot sek}^1$$

$$R = 6.4 \times 10^8 cm,$$

so erhalten wir

$$\mu = 4 \times 10^{-12} \frac{gr}{cm^2 \cdot sek},$$

$$M = 2 \times 10^7 \frac{gr}{sek}.$$

Für den Wert von η haben wir keine sicheren Daten; der Grössenordnung nach aber wird es wohl nicht viel anderes geben. Wir sehen also, dass das Einfallen von Meteormassen in einer Menge von etwa 20 Tonnen pro Sekunde genügen wird, um die beobachtete Erscheinung des Zurückhaltens der obersten Atmosphäre zu erklären.

Es muss hier auch bemerkt werden, dass bei der vorliegenden Rechnung stillschweigend angenommen ist, dass

(C) die oberste Atmosphäre kein Leiter der Electricität ist. Wenn wir aber annehmen sollten, wie es die wirkliche Tatsache zu sein scheint, dass

(C') die oberste Atmosphäre immer dauernde Ionisation erleidet, und deshalb etwaige Leitfähigkeit für Electricität hat, dann stellt sich die Sache etwas anders heraus. Die Induktionswirkung des Erdmagnetismus wird elektrische Ströme in der leitenden Atmosphäre hervorrufen in der Richtung, wo die gegenseitige Wirkung gerade der Verschiebung des leitenden Körpers entgegenwirkt. Wir müssten also diese Gegenwirkung in Rechnung bringen, und die ausgerechnete Meteormasse würde dementsprechend um so grösser herauskommen. Weil aber diese Induktionswirkung eine wichtige Rolle spielen wird in der Theorie des Erdmagnetismus und der sekularen Änderung desselben, so werde ich lieber diese Erscheinung in einem anderen Aufsatze betrachten und einer eingehenden Untersuchung unterwerfen. Hier sei es nur so viel bemerkt, dass es sehr wohl möglich ist, dass der Wert von M noch etwa hundertmal grösser herauskommen wird.

Dieser Betrag von Meteormassen ist bedeutend grösser als derjenige, den man in gewöhnlichen Lehrbüchern u.s.w. findet. Ich werde

¹ Über äussert verdünnten Stickstoff in niedriger Temperatur; sieh z.B. Winkelmann's Handbuch der Physik, I., 1407.

also im folgenden erst sehen, wie die Meteormassen bisher abgeschätzt worden sind.

III.

Die Masse einzelner Meteoren oder die totale Menge der Meteor-massen, die die Erde jährlich aufnimmt, abzuschätzen, hat man bisher in verschiedener Weise versucht, scheint aber immerhin auf keinem sicheren Grunde gestanden zu haben.

(1) Die ältere¹ und auch viel besprochene ist die Abschätzung der einzelnen Masse durch die Menge der ausgestrahlten Lichtenergie. Es sei für einen Meteor

L = Lichtintensität,

τ = Zeitdauer des Leuchtens.

Wenn man die Leuchtkraft im Zustand des Meteorleuchtens = F candle pro watt ansetzt, so ist die

$$\text{ausgestrahlte Energie} = \frac{L \times \tau}{F}.$$

Indem man nun dies gleich der ganzen verlorenen kinetischen Energie setzt, so erhält man

$$\frac{1}{2} mv^2 = \frac{L \times \tau}{F},$$

$$\therefore m = \frac{2.L.\tau}{F.v^2}.$$

Durch Einsetzen von passenden numerischen Werten für L , τ , F und v , bekommt man für m eine winzige Grösse, einen kleinen Bruchteil von Gramm. Es ist aber ganz klar, dass der grösste Teil der anfänglichen kinetischen Energie unterwegs verbraucht und die Ausstrahlung nur ein kleiner Teil derselben ist. Es kann wohl ein Tausendstel sein, oder auch wohl ein Millionstel. Es ist unmöglich, in dieser Weise zu irgend einem Schluss gelangen zu können.

(2) Etwas sichere Bahn ist neulich von Pickering eingeschlagen². Wenn die Flächenhelligkeit des leuchtenden Meteors

¹ Young, General Astronomy.

² Astroph. J., 29. 378 (1909); 31, 88 (1910).

$$= H \frac{\text{candle}}{\text{mm}^2}$$

angesetzt ist, so bekommt man

$$\text{die leuchtende Fläche} = \frac{L}{H} \text{ mm}^2,$$

und folglich eine Dimension etwa von der Grösse

$$\sqrt{\frac{L}{H}} \text{ mm.}$$

(a) Pickering setzt

H = die Flächenhelligkeit eines offenen Bogenlichtes in
horizontaler Richtung

$$= 250 \text{ candle pro cm}^2,$$

$$L = \left(\frac{150}{2.5}\right)^2 \times \frac{3 \times 250}{40} = 6.8 \times 10^4 \text{ candle,}$$

und so bekommt er

$$\sqrt{\frac{L}{H}} = 15-18 \text{ cm,}$$

$$\therefore \rho \times \frac{\pi}{6} \times \left(\frac{4}{\pi} \times \frac{L}{H}\right)^{\frac{3}{2}} = \text{ca } 26 \text{ kg,}$$

wenn man $\rho = 8$ setzt.

(b) Fabry setzt¹

H = die Flächenhelligkeit des Kraters eines Bogenlichtes

$$= 200 \text{ candle pro mm}^2,$$

$$L = 4500 \text{ candle,}$$

und so bekommt er

$$\frac{L}{H} = 23 \text{ mm}^2,$$

$$\rho \times \frac{\pi}{6} \left(\frac{4}{\pi} \times \frac{L}{H}\right)^{\frac{3}{2}} = \text{ca } 0.3 \text{ gr,}$$

ndem er $\rho = 4$ annimmt,

¹ Astroph. J., 30, 318 (1909).

(c) Wir haben aber nach Nernst¹ für die Flächenhelligkeit eines schwarzen Körpers in verschiedenen Temperaturen.

T_{abs}	$H \frac{\text{Candle}}{\text{mm}^2}$	T_{abs}	$H \frac{\text{Candle}}{\text{mm}^2}$
1524°	0.2	2357	80
1685	1	2446	120
1764	2	2510	160
1982	10	2571	200
2092	20	2680	300
2217	40	2763°	400

Wenn wir noch das Strahlungsvermögen der Meteorfläche etwa $=0.5$ setzen, so sehen wir, dass die Annahme von Pickering einer Temperatur von $T=1890^\circ$, und diejenige von Fabry einer Temperatur von $T=2763^\circ$ entspricht. Wenn wir aber die Oberflächentemperatur des leuchtenden Meteors, etwa dem Schmelzpunkt des Eisens entsprechend, $=1764^\circ$ abs. annehmen, und wieder das Strahlungsvermögen $=0.5$ setzen, so haben wir $H=1$ candle pro mm^2 , und dies gibt mit dem Pickering'schen Wert von L

$$\sqrt{\frac{L}{H}} = 26 \text{ cm},$$

$$\rho \times \frac{\pi}{6} \times \left(\frac{4}{\pi} \times \frac{L}{H} \right)^{\frac{3}{2}} = \text{ca } 100 \text{ kg},$$

wenn man $\rho=8$ setzt. Hundert Kilogramm pro Stück geben mit der täglichen Anzahl von 2×10^7 ,

$$M = 2.3 \times 10^7 \frac{\text{gr}}{\text{sek}},$$

gerade dieselbe Grössenordnung wie der ausgerechnete Wert in II. Das Leuchten von Meteoren ist aber sicherlich keine reine Temperaturstrahlung, so dass der richtige Wert von H nicht leicht zu finden ist. Die Methode bleibt folglich in so fern fehlerhaft.

(3) Eine originelle Idee rührt von Humphreys² her. Er legt Yntema's Beobachtung von „Earth-light“, d.h. von der Helligkeit des

¹ Nernst; Physik. Zs., 7, 380 (1906).

² Astroph. J., 35, 271, (1912).

sternleeren Himmelsgrundes zu Grunde. Die Zunahme dieser Helligkeit mit der Zenitdistanz und die zeitliche Veränderlichkeit wollte er durch die Annahme erklären, dass sie nicht kosmischen Ursprungs, sondern ein Aggregat von teleskopischen Sternschnuppen in unzählbarer Menge ist. Aus Yntema's Daten, dass diese Helligkeit etwa gleich ist einem Zehntel des Lichtes aus einem Stern 1^{ster} Grösse pro Quadratgrad, rechnet er aus, dass sie $= 2 \times 10^{-4}$ m.c., und ferner, weil die Beleuchtung einer Fläche durch normales Sonnenlicht $= 10^5$ m.c. ist, so bekommt er

$$\text{die Helligkeit von "Earth-light"} = \frac{1}{5 \times 10^8} \times \text{Sonnenbeleuchtung.}$$

Nun macht er weitere Annahmen:

- (i) dass die Verteilung der totalen ausgestrahlten Energie zwischen Licht und Wärme als gleichartig anzusehen ist für Meteor- und Sonnenlicht,
- (ii) dass die totale kinetische Energie eines Meteors gänzlich als Strahlungsenergie verbraucht wird.

Er bekommt also, indem er die Solarkonstante $= 1.92$ setzt, die Gleichung

$$\frac{2}{5 \times 10^8} \times 1.92 \times 4\pi R^2 \frac{\text{calorie}}{\text{min.}} = 2.7 \times 10^{15} \frac{\text{erg}}{\text{sec}} = \frac{1}{2} Mv^2.$$

Er setzt dann $v = 42 \frac{\text{km}}{\text{sec}}$,
und so bekommt er schliesslich

$$M = 3 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}.$$

Wir sehen, dass die Annahme (ii) nicht richtig ist; die Methode (3) hat dieselbe Fehlerquelle wie die Methode (1). Ueberdies trifft die Annahme, dass das "Earth-light" ganz von teleskopischen Sternschnuppen herrührt, auch nicht zu. Man müsste eigentlich zuerst die ganze Lichtmenge von teleskopischen Sternen in Rechnung bringen, was keineswegs zu vernachlässigen ist. Wenn man z.B. Lord Kelvin'sche¹ theoretische Abschätzung umrechnet, so bekommt man für die letztere gerade dieselbe Grössenordnung wie die totale Helligkeit von "Earth-light."

¹ Phil. Mag. [6], 2, 161, (1901).

Soweit sehen wir also, dass alle diese Methoden, die auf irdischen Erscheinungen beruhen, nicht ausreichen, um die Meteormassen zu bestimmen. Unser Wert von 20 Tonnen pro Sekunde und mehr steht einzig und sondergleichen da. Andererseits aber haben wir aus astronomischen Quellen noch zwei Abschätzungen, und zwar solche, die noch über hundertmal grössere Werte angeben.

(4) Die unaufgeklärte sekulare Beschleunigung der Mondbewegung im Betrag von 5'' in einem Jahrhundert versucht v. Oppolzer¹ durch Meteoreinfall zu erklären. Er findet, dass etwa 2×10^8 Tonnen pro Tag dazu nötig sein werden. Dieser Betrag ist 100 mal so gross als unser Wert in II. See² hat neulich v. Oppolzer'sche Rechnung korrigiert, indem er einerseits die Flutreibung in Rechnung bringt, und andererseits annimmt, dass etwa $\frac{1}{3}$ sämtlicher Meteore von einem Ring um die Erde her stammt. Diese Annahme; „That one third of all our meteoric dust should come from the vortex about the earth is highly probable“ ruht aber auf keinen Beobachtungsdaten. Im Gegenteil steht das Vorhandensein der Ostwinde in höheren Schichten solcher Annahme direkt entgegen.

(5) Die Unregelmässigkeiten in der Bewegung der inneren Planeten versucht v. Seeliger³ durch die Verteilung der Meteormassen im interplanetarischen Raume zu erklären. Er findet daraus, dass die Massendichte in der Gegend der Erdbahn=etwa 4 gr pro Quadratkilometer sein wird. Wenn wir vorläufig diese Masse als ruhend annehmen, so würde diese Meteoreinfall in Betrag von

$$1.4 \times 10^9 \frac{\text{gr}}{\text{sec}}$$

verursachen, etwa siebzigmal so gross als unser Wert in II. Wir haben gegen Schluss der Sektion II darauf aufmerksam gemacht, dass wegen der elektromagnetischen Induction unser Wert von 20 Tonnen pro Sekunde noch mit einem Vergrösserungsfaktor multipliciert werden muss. Es ist sehr wahrscheinlich, dass der so vergrösserte Wert mit den Angaben von (4) und (5) gut harmoniren wird, wenn man die letzteren erst durch nähere Untersuchung korrigiert,

¹ Astr. Nachr. 2573 (1884); See—Evolution of the Stellar Systems, II. 299.

² Evolution of the Stellar Systems, II., 318.

³ Münchener SitzBer., 36, 620 (1906).

IV.

Das Resultat der vorhergehenden Untersuchung ist nichts anders als die direkte Verbindung der zwei Tatsachen mit einander :

1. Das Zurückhalten der obersten Erdatmosphäre,
2. Meteoreinfall in grossen Mengen, d.h. $2 \times 10^7 \times k \frac{gr}{sec}$, wo k einen Vergrösserungsfaktor bedeutet.

Die eine ist die notwendige Folge der anderen. Die zwei Tatsachen, die im einzelnen betrachtet leider nicht sicher orientiert sind, bekommen dadurch stärkere gegenseitige Stütze.

Die erstere Tatsache spielt eine wichtige Rolle in der Theorie des Erdmagnetismus. Die zweite hat die bisherige niedrige Abschätzung der Meteormassen stark erhöht und wird dadurch die Bedeutung der Meteormassen im interplanetarischen Raume bei weitem vergrössern.
