Joh. Müller's Lehrbuch der kosmischen Physik

Müller, Johann Heinrich Jacob

Braunschweig, 1894

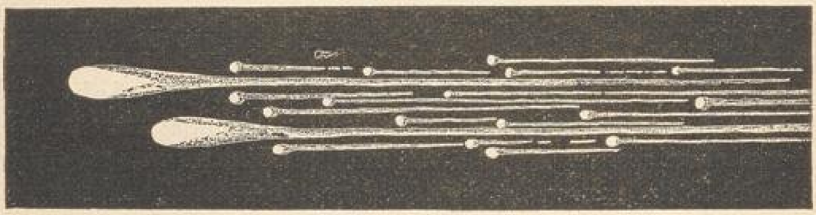
98. Kosmische Geschwindigkeit der Meteorite

urn:nbn:de:hbz:466:1-96939

dass es leicht in zwei bis drei Secunden auf eine beliebige Gegend des Himmels gerichtet werden konnte.

Zu der genannten Zeit zeigte sich am südlichen Himmel ein langsam sich nach Westen bewegender Lichtpunkt von der Helligkeit eines Sternes vierter Grösse. Nach 2^s hatte er bereits die Helligkeit eines Sternes zweiter Grösse und nach 4^s, im grünen Lichte strahlend, die des Sirius erreicht. Alsbald wurde das Meteor, immer nach Westen fortschreitend, so hell, dass die Sterne am Nachthimmel verschwanden und die Stadt Athen in grünem Lichte aufzulodern schien. In der 7. Secunde war der scheinbare Durchmesser des Meteors schon so gewachsen, dass

Fig. 153.



ihn Schmidt mit Rücksicht auf die sicher sehr grosse Irradiation auf 10 bis 15 Bogenminuten schätzte.

Im Ganzen war das lautlos verlaufene Phänomen 21 Secunden sichtbar und die scheinbare Länge seiner Bahn betrug 80^0.

In der 7. Secunde richtete Schmidt das Fernrohr gegen das Meteor und konnte es in seiner langsamen Bewegung noch 14^s lang teleskopisch verfolgen. Es bestand aus zwei grün strahlenden Stücken von tropfenförmiger Gestalt, welche feuerrothe, ganz gerade, unter sich parallele Schweife hinter sich herzogen. Den beiden grösseren Fragmenten folgte ein ganzer Schwarm kleinerer, gleichfalls grün strahlender, deren jedes eine rothe Feuerlinie hinter sich herzog. In drei bis vier Grad Abstand von den beiden Kernen flossen alle Schweiflinien in eine rothgelbe, rauchähnliche Masse zusammen.

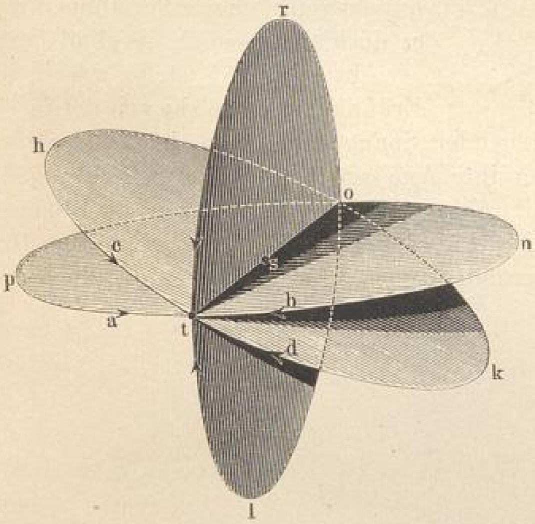
Fig. 153 ist eine Copie der colorirten Abbildung des Meteors, welche man im 48. Bande der Sitzungsberichte der Wiener Akademie findet. Nach unmittelbarer Schätzung am Fernrohre betrug der scheinbare Durchmesser des grösseren voraneilenden Kernes ungefähr 50 Bogensecunden. Da nun aber auch die Beobachtung durch das Fernrohr noch mit einer namhaften Irradiation behaftet ist, so ist klar, dass der Durchmesser des Meteors bei der Beobachtung mit unbewaffnetem Auge mindestens 12- bis 18 mal zu gross geschätzt worden ist.

98 **Kosmische Geschwindigkeit der Meteorite.** Untersuchen wir nun, wie die oben besprochenen, aus den Beobachtungen abgeleiteten Geschwindigkeiten, mit welchen die Feuerkugeln in die Atmosphäre eintreten, mit denjenigen Geschwindigkeiten übereinstimmen, welche ihnen zukommen müssen, wenn sie als kleine selbständige Massen nach

denselben Gesetzen sich um die Sonne bewegen wie die Planeten oder Kometen.

Für einen Punkt des Erdäquators ist die Geschwindigkeit, mit welcher er um die Erdaxe rotirt, 464 m in der Secunde, während die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn 30 400 m in der Secunde beträgt. Nehmen wir nun an, dass ein Meteorit in der Erdbahn selbst fortlaufe, aber in einer Richtung, welche der der Erde entgegengesetzt ist, so würden beide Körper (die Wirkung abgerechnet, welche die Anziehung der Erde auf die Meteorite ausübt) mit einer Geschwindigkeit von 60 800 m gegen einander fahren.

Fig. 154.



In Fig. 154 sei *s* die Sonne, *ptno* sei die perspectivisch dargestellte Erdbahn, in welcher die Erde *t* in der Richtung des kleinen Pfeiles bei *a* rotirt, so wird sie also mit einem Meteoriten, der ihr in der gleichen Bahn in der Richtung des kleinen Pfeiles *b* entgegen läuft, mit einer relativen Geschwindigkeit von 60 800 m zusammenstossen, während für einen Meteoriten, der in der gleichen Bahn wie die Erde und in gleicher Richtung rotirt, die relative Geschwindigkeit gleich Null wäre.

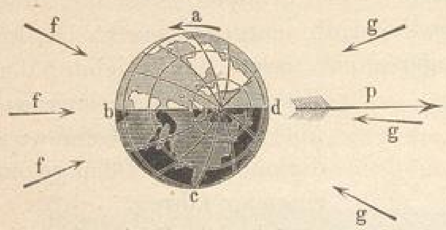
Nehmen wir dagegen an, dass der Meteorit in einem Kreise *tlor* um die Sonne liefe, welcher zwar gleichen Halbmesser mit der Erdbahn hat, dessen Ebene aber rechtwinklig auf der Erdbahn steht, so würde der Meteorit für den Fall des Zusammentreffens mit der Erde, die durch die Erde bewirkte Beschleunigung ungerechnet, mit einer Geschwindigkeit von 30 400 m auf dieselbe stürzen, welches auch die Richtung sein mag, mit welcher der Meteorit den Kreis *tlor* durchläuft.

Macht aber die der Erdbahn gleiche kreisförmige Bahn des Meteoriten mit der Ebene der Erdbahn einen Winkel zwischen 0 und 90 Grad, wie dies z. B. für den Kreis *tkoh* der Fall ist, so liegt die relative Geschwindigkeit, mit welcher der Meteorit auf die Erde stürzt, zwischen 0 und 30 400 m, wenn sich der Meteorit rechtläufig, also in der Richtung des kleinen Pfeiles *c* bewegt, zwischen 30 400 und 60 800, wenn die Richtung seiner Bewegung rückläufig ist, wie es der kleine Pfeil *d* andeutet.

So liessen sich also schon durch kreisförmige Bahnen der Meteorite die verschiedenen Geschwindigkeiten, mit welchen dieselben auf die Erde stürzen, bis zu einer Geschwindigkeit von 60 800 m in der Secunde erklären.

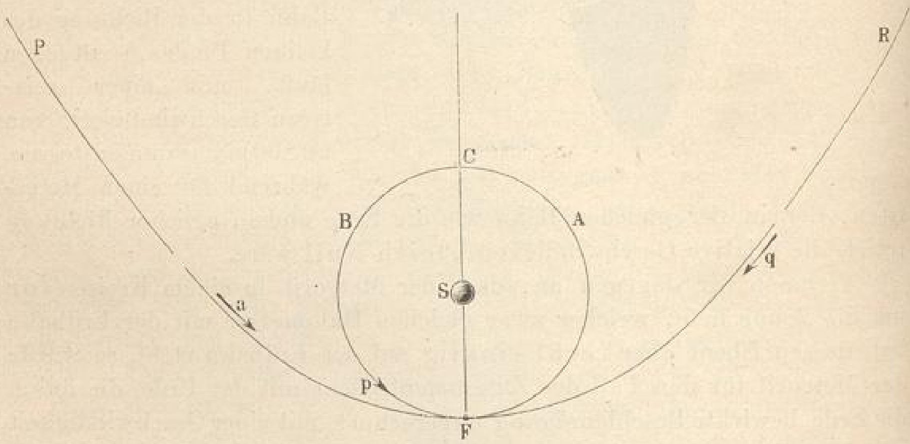
Wenn sich aber die Sache so verhielte, wie wir eben angenommen haben, wenn sich nämlich die die Erdbahn schneidenden Meteorite nahezu in kreisförmigen Bahnen mit planetarischer Geschwindigkeit bewegten, so würde die Erde der folgenden Betrachtung nach in den Abendstunden kaum von Feuerkugeln getroffen werden können, wie es doch thatsächlich der Fall ist.

Fig. 155.



In Fig. 155 stelle *abcd* die Erdkugel dar, welche von der in der Richtung von *a* nach oben stehenden Sonne beschienen, in der Richtung des kleinen Pfeiles bei *a* um ihre Axe rotirt und in der Richtung des gefiederten Pfeiles bei *p* mit einer Geschwindigkeit von 30 400 m in der Secunde fortschreitet. Die auf der Erdhälfte *abc* gelegenen Orte und namentlich die um *b* herumliegenden, für welche es gerade Abend

Fig. 156.



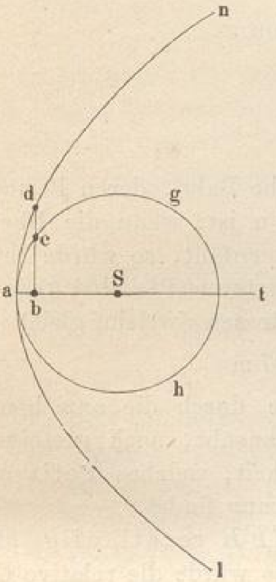
ist, werden vorzugsweise nur von solchen Meteoriten getroffen werden können, welche sich nahezu in der Richtung der kleinen Pfeile bei *f* also fast in gleicher Richtung sich bewegen, wie die Erde selbst. Die in der Richtung der Pfeile *f* sich bewegenden Meteorite würden aber die Erde gar nicht einholen können, wenn ihre Geschwindigkeit nicht grösser wäre als die der Erde, sie würden nicht als Feuerkugeln erscheinen können, wenn sie nicht mit bedeutender Geschwindigkeit in die Erdatmosphäre eindrängen, wenn also ihre absolute Geschwindigkeit nicht namhaft grösser wäre als 30 400 m in der Secunde.

Die Erscheinung von Feuerkugeln in den Abendstunden beweist also, dass die Meteorite die Erdbahn mit einer mehr als planetarischen

Geschwindigkeit schneiden. Ein Himmelskörper aber, welcher ebenso weit von der Sonne entfernt, wie die Erde, und mit einer nahezu rechtwinklig zum Leitstrahl gerichteten Geschwindigkeit behaftet ist, welche die Geschwindigkeit der Erde bedeutend übertrifft, muss nothwendig eine sehr langgestreckte Ellipse oder eine Parabel oder auch eine Hyperbel beschreiben.

In Fig. 156 sei S die Sonne, ABF die kreisförmige Bahn der Erde. Der kleine Pfeil bei p bezeichne die Richtung, in welcher die Erde in ihrer Bahn fortläuft. Wenn nun F das Perihel für irgend einen in elliptischer Bahn um die Sonne laufenden Körper ist, so wird dessen Geschwindigkeit in F grösser sein, als die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn, also grösser als 30400 m in der Secunde. Je grösser aber die Geschwindigkeit ist, mit welcher der fragliche Körper das Perihel bei F passirt, desto grösser wird die grosse Axe der Ellipse sein, welche er beschreibt.

Fig. 157.



Diese grosse Axe wird unendlich, d. h. die Ellipse geht in eine Parabel über, wenn sich die Geschwindigkeit des fraglichen Körpers zu der der Erde verhält wie $1 : \sqrt{2}$. Wenn sich also ein Körper in einer parabolischen Bahn um die Sonne bewegt, deren Periheldistanz gleich dem Halbmesser der Erdbahn ist, so wird dieser Körper das Perihel mit einer Geschwindigkeit passiren, welche

$$30400 . \sqrt{2} = 43107 \text{ m}$$

beträgt und dies ist das Maximum der Geschwindigkeit, mit welcher sich nach den Gravitationsgesetzen ein Weltkörper bewegen kann, wenn er sich in gleichem Abstande von der Sonne befindet wie die Erde, seine Bahn müsste denn eine hyperbolische sein.

Dass die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn sich wie 1 zu $\sqrt{2}$ zu der Geschwindigkeit verhält, mit welcher ein in parabolischer Bahn sich bewegender Weltkörper sein Perihel passirt, wenn die Periheldistanz gleich dem Abstande der Erde von der Sonne ist, lässt sich folgendermaassen beweisen.

Es sei agh (Fig. 157) die kreisförmige Bahn, welche die Erde um die Sonne beschreibt, lan aber sei die parabolische Bahn eines Meteoriten, welcher in a die Erdbahn tangirend in a zugleich sein Perihel hat; ferner stelle ab den Raum dar, um welchen ein in a befindlicher Körper in der Zeiteinheit gegen die Sonne in S fallen würde, wenn er nicht mit einer bestimmten Tangentialgeschwindigkeit in a ankäme, so ist bc die rechtwinklig gegen at gerichtete Tangentialgeschwindigkeit, mit welcher ein Körper den Punkt a passiren muss, wenn er den Kreis

agh, und bd ist die Geschwindigkeit, mit welcher er den Punkt a passiren muss, wenn er die Parabel lan beschreiben soll. Nun aber ist die Gleichung des Kreises

$$y^2 + (x - r)^2 = r^2$$

oder

$$y^2 = (2r - x)\,x \quad \text{. . . . . 1)}$$

wenn man a zum Anfangspunkt der Coordinaten und die Linie at zur Abscissenaxe (Axe der x) nimmt. Die Gleichung der Parabel aber ist

$$y_1^2 = 4rx \quad \text{. . . . . 2)}$$

wenn wir die Parabelordinaten zum Unterschied von den Kreisordinaten mit y_1 bezeichnen.

So lange die Abscisse x (also ab) sehr klein, also auch verschwindend klein gegen r ist, geht die Gleichung 1) über in

$$y^2 = 2rx \quad \text{. . . . . 3)}$$

es ist also auch für hinlänglich kleine Werthe von x

$$y_1^2 = 2y^2$$
$$y_1 = y\sqrt{2}$$
$$bd = bc\sqrt{2}.$$

Es sei nun PFR (Fig. 156) die parabolische Bahn, deren Perihel-distanz SF gleich dem Halbmesser der Erdbahn ist; wenn die Ebene dieser Bahn mit der Ebene der Erdbahn zusammenfällt, so würde Erde und Meteorit für rückläufige Bewegung des letzteren (Pfeil bei q) in F mit einer relativen Geschwindigkeit zusammenstossen, welche gleich ist

$$30\,400 + 43\,107 = 73\,507 \text{ m}$$

in der Secunde, eine Geschwindigkeit, welche durch die anziehende Wirkung, welche die Erde auf den Meteoriten ausübt, noch gesteigert wird, so dass das Maximum der Geschwindigkeit, welches Petit aus Beobachtungen abgeleitet hat, seine volle Erklärung findet.

Wenn sich der Meteorit in der Parabel PFR rechtläufig, also in der Richtung des kleinen Pfeiles a bewegt, so würde die relative Geschwindigkeit beim Zusammenstoss in F

$$43\,107 - 30\,400 = 12\,707 \text{ m sein.}$$

Für den Fall, dass die parabolischen Bahnen der Meteorite nicht mit der Ebene der Erdbahn zusammenfielen, sondern dass, wie es wohl stets der Fall ist, die Ebene der Parabel einen mehr oder minder grossen Winkel mit der Ebene der Erdbahn macht (in ähnlicher Weise, wie wir es oben für kreisförmige Bahnen betrachtet haben), wird dann die relative Geschwindigkeit, mit welcher die Meteorite auf die Erde stürzen, zwischen den beiden Grenzwerthen von 12 707 und 73 507 m liegen.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Meteorite in die Atmosphäre eindringen, wird allerdings durch die Anziehung, welche die Erde auf sie ausübt, etwas, aber verhältnissmässig doch nur wenig, beschleunigt.

Ebenso bringt die Anziehung der Erde eine meist gleichfalls unbedeutende Ablenkung der Meteorite von ihrer Bahn hervor, welche nur für diejenigen merklich wird, welche ohne diese Anziehung die Erdatmosphäre nur gestreift haben würden.

Die Lichterscheinung der Meteorite. Durch die enorme Geschwindigkeit, mit welcher die Meteorite in die Erdatmosphäre eindringen, erklärt sich nun auch die Lichterscheinung, durch welche sie uns sichtbar werden. Trotz der grossen Verdünnung der Luft in den höheren Regionen ist nämlich der Widerstand, welcher sich dem Eindringen der Meteorite in die Atmosphäre entgegenstellt, so bedeutend, dass dieselben alsbald ihre kosmische Geschwindigkeit verlieren. Der Verlust an lebendiger Kraft, welchen die Aërolithen auf diese Weise erleiden, ist aber nothwendig von einer entsprechenden Wärmeentwickelung begleitet, welche vollkommen hinreichend ist, sie bis zum lebhaften Weissglühen zu erhitzen, wie sich aus folgender Betrachtung ergiebt. 99

Es sei m die Masse der Luft, welche der Meteorit in einer Secunde verdrängt, und v die mittlere Geschwindigkeit, mit welcher er sich während dieser Secunde bewegt, welche er also der verdrängten Luftmasse m mittheilen musste, so ist die Arbeitsleistung, welche dem Verlust des Meteoriten an lebendiger Kraft entspricht,

$$A = m \frac{v^2}{2g},$$

wenn g die beschleunigende Kraft der Schwere auf der Erde, also 9,8 m ist. Für m haben wir aber den in Kilogrammen ausgedrückten Werth

$$m = f \,.\, l \,.\, \delta,$$

wenn

f den auf seiner Bahn rechtwinkligen Querschnitt des Projectils in Quadratdecimetern ausdrückt,

l den in Decimetern ausgedrückten Weg des Projectils in 1^s (also $l = 10\,v$) und

δ die mittlere Dichtigkeit der durchlaufenen Luftschicht

bezeichnet. Wir haben also

$$m = f\delta\, 10 \,.\, v$$

und

$$A = f\delta\, 10\, v \frac{v^2}{2g}$$

oder

$$A = f\delta \frac{v^3}{2},$$

wenn wir g in runder Zahl gleich 10 setzen.

Nehmen wir an, die mittlere Dichtigkeit der durchlaufenen Luftschicht sei 10 000mal geringer, als die Dichtigkeit der Luft am Meeresspiegel, so ist $\delta = 0{,}00000013$ (Wasser gleich 1 gesetzt). Nehmen wir ferner $v = 30\,000$ m und $f = 1$ qdm, so ergiebt sich

$$m = 0{,}039 \text{ kg und}$$
$$A = 1\,755\,000 \text{ mkg}.$$