

Ü b e r K o m e t e n.

Von

Prof. Dr. Josef v. Hepperger.

Vortrag, gehalten den 11. Jänner 1905.



Die Geschichte der Wissenschaften ist reich an Beispielen, welche zeigen, daß die Vorherrschaft einer Theorie viel mehr von dem Namen des Autors oder der Scharfsinnigkeit der Begründung abhängt als von der Richtigkeit der Grundidee. Obgleich schon Aristarchus von Samos die Ansicht aussprach, daß die Erde sich drehe und in einem zum Äquator schief gelegenen Kreise um die Sonne bewege, ist das auf dem aristotelischen Prinzip von der Unbeweglichkeit der Erde aufgebaute ptolomäische Weltsystem erst durch Kopernikus gestürzt worden. Ebenso dominierte, und zwar durch volle 2000 Jahre die Lehre des Aristoteles, daß die Kometen der elementaren Welt angehörige Erscheinungen seien, veranlaßt durch die Erhebung, Verdichtung, Entzündung und schließliche Verbrennung irdischer Ausdünstungen in den höheren Luftsichten, obwohl schon einige Philosophen des Altertums, so namentlich Hippokrates von Chios und Aeschylus, in ihren Schriften der Meinung Ausdruck verliehen hatten, daß die Kometen außerirdische Körper seien und die Schweifbildung in einem gewissen Zusammenhange mit der Sonne stehe. So festgewurzelt war diese Lehre des Aristoteles, daß auch die Beobach-

tungen Tycho Brahes und einiger seiner Zeitgenossen, denen zufolge der Komet von 1577 sich stets weit außerhalb der Mondbahn befunden haben mußte, wenig beachtet worden sind. Erst Newton, der auf Grund seiner Gravitationstheorie die Bahn des großen Kometen von 1680 berechnet und als einen Kegelschnitt, und zwar als eine Parabel gefunden hatte, und Halley, der, in die Fußtapfen Newtons tretend, für die meisten der damals bekannten und hinlänglich gut beobachteten Kometen den Nachweis erbracht hatte, daß ihre Bewegung dem Gravitationsgesetze entspricht, vermochten der Lehre des Aristoteles den Boden zu entziehen.

Es ist übrigens sehr bemerkenswert und trägt zur Erklärung des langandauernden Vorherrschens ganz falscher Vorstellungen über das Wesen der Kometen nicht wenig bei, daß bis zum Jahre 1577, wo Tycho und seine Schüler die Positionen von Kometen zu messen begannen, im Abendlande nur spärliche Aufzeichnungen vorlagen, da das viel reichhaltigere von den Chinesen angesammelte Beobachtungsmaterial erst im 19. Jahrhundert der Bearbeitung zugänglich gemacht worden ist. Man darf sich aber ja nicht denken, daß die chinesischen Astronomen bei Ausführung ihrer Arbeiten von hohen wissenschaftlichen Zielen geleitet worden wären. Schon die Art ihrer Aufzeichnungen, welche im Laufe von etwa 17 Jahrhunderten fast gleich geblieben ist und kein Bestreben nach Vervollkommnung der Beobachtungsdaten aufweist, läßt darauf schließen, daß es ihnen, sofern nicht Sterndeuterei hierbei eine Rolle spielte, lediglich um die

gewissenhafte Registrierung aller außergewöhnlichen Himmelserscheinungen zu tun war.

Die Ortsangabe in den Berichten der Chinesen beschränkt sich meistens auf die Bezeichnung der Sterndivision, in welcher der Komet an einem bestimmten Tage zu sehen war. Denkt man sich die ganze Himmelsphäre durch 28, ungefähr gleich weit voneinander abstehende Meridiane in ebenso viele Streifen zerlegt, so wird durch die Größe eines solchen Streifens die Ausdehnung einer Sterndivision bestimmt. Es ist klar, daß solche Ortsbestimmungen über den scheinbaren Lauf eines Kometen sehr wenig aussagen und daher auch die hierauf basierten Bahnbestimmungen von höchst problematischem Werte sind. Bessere Resultate ergeben sich, wenn, wie es mitunter vorkommt, Sterngruppen angegeben sind, welche der Komet passiert hat. Immerhin sind auch die rohen Ortsangaben von einigem Wert, da viele hiervon sich auf den Halley'schen Kometen zu beziehen scheinen und in der einstigen Theorie dieses interessanten Kometen eine nicht unwichtige Rolle zu spielen berufen sind.

Die Erscheinung dieses Kometen im Jahre 1759 ist die erste vorausberechnete Wiederkehr eines Kometen. Die Exzentrizität seiner Bahn ist von der einer Parabel, der typischen Bahnform der Kometen, so wenig verschieden, daß sie aus Beobachtungen, welche während einer einzelnen der vorangegangenen Erscheinungen gemacht worden waren, nie hätte bestimmt werden können. Die Vergleichung der unter Annahme einer parabolischen Bahnform berechneten Elemente der in früheren Zeiten

beobachteten Kometen ließ jedoch sofort erkennen, daß die Elemente des Kometen von 1682 mit denen der Kometen von den Jahren 1607, 1531 und 1456 sehr ähnlich sind und in Anbetracht des gleichartigen Aussehens und des nahe gleichen Zeitintervalls zwischen den Erscheinungen dieser Kometen die Identität derselben in hohem Grade wahrscheinlich sei.

Aus der so empirisch gefundenen Umlaufszeit erhält man nach dem dritten Keplerschen Gesetze die Halbachse der Bahnellipse, woraus sich dann Form und Lage dieser Ellipse aus dem gesamten Beobachtungsmaterial sicher bestimmen lassen.

Dieses Verfahren zur Sonderung der periodischen Kometen wurde seither noch mehrmals mit Glück angewendet und hat in Verbindung mit der bei kleineren Exzentrizitäten zulässigen direkten Methode der Bestimmung der Umlaufszeit zur Kenntnis von 17 periodischen Kometen geführt, welche bereits in mehr als einer Erscheinung beobachtet worden sind. Unter diesen hat der Enckesche Komet die kleinste Umlaufszeit (3·3 Jahre), der Halleysche die größte (76 Jahre). Der Bahnform nach kommt den Planeten am nächsten der von Holmes 1892 entdeckte Komet, welcher bei einer Umlaufszeit von 7 Jahren die Exzentrizität 0·41 besitzt. Die Planetenbahnen haben durchwegs viel kleinere Exzentrizitäten, von denen die größte, die der Merkurbahn, den Wert 0·2 gerade noch überschreitet. Da die weitaus überwiegende Mehrheit der Kometen in Bahnen sich bewegt, deren Exzentrizität von der Einheit nur unmerklich abweicht, und auch unter

den sicher periodischen Kometen nur drei bekannt sind, für welche die Exzentrizität kleiner als $\frac{1}{2}$ ist, und überdies das Aussehen der Kometen von dem der Planeten so sehr verschieden ist, so drängt sich die Frage nach der Stellung der Kometen mit Bezug auf unser Sonnensystem gewissermaßen von selbst auf. So häufig und eingehend diese Frage auch bereits ventilirt worden ist, so schwer läßt sich auch gegenwärtig noch eine völlig befriedigende Antwort erteilen. Die vorherrschend parabolische Gestalt der Bahnen kennzeichnet allein schon die Kometen als Angehörige einer ganz besonderen Klasse von Himmelskörpern; ein aus unendlicher Ferne, wofür wir auch die Entfernung der nächsten Fixsterne substituieren können, kommender Körper beschreibt nur dann eine parabolische Bahn um die Sonne, wenn die ursprüngliche Geschwindigkeit seiner Eigenbewegung der der Sonnenbewegung an Größe und Richtung gleich ist. Diesem Erfordernisse würde die Annahme genügen, daß die Kometen einem besonderen System angehören, dessen Glieder die Sonne bei ihrer Bewegung durch die Himmelsräume begleiten. Zu diesem Systeme könnten übrigens auch andere Sonnen gehören; dennoch würde unsere Sonne, als eines der Zentren von bedeutender Masse und besonders anziehendem Wesen, kleinere Körper zu einem, wenn auch kurzen Besuche ihres Reiches veranlassen und durch den Abglanz ihres huldvollen Blickes sie auch uns gelegentlich vorstellen können.

Die Existenz eines derartigen Systems ist bei dem gegenwärtigen Stande der Fixsternastronomie immerhin

möglich. Hätten aber die Kometen in Entfernungen, welche der des nächsten der Fixsterne von bekannter Parallaxe ungefähr gleichkommen, Geschwindigkeiten, die nur um ein paar Kilometer größer oder kleiner sind als die Geschwindigkeit, mit der sich die Sonne fortbewegt, so müßten die Bahnen der Kometen einen schon ausgesprochen hyperbolischen Charakter besitzen, der jedoch kaum einer unter den nach Hunderten zählenden bekannten Kometenbahnen ursprünglich zukommt. Es ist sonach die Hypothese, daß die Kometen von Sonnensystem zu Sonnensystem wandern, ebenso unhaltbar wie jene, daß sie dauernd zu unserem Sonnensystem gehören, da bei der parabolischen Bewegung die Entfernung ins Unbegrenzte wächst.

Die Erklärung für das Vorhandensein periodischer Kometen ist viel einfacher, indem die anziehende Wirkung eines oder mehrerer der Planeten bei günstiger Stellung zum Kometen vollauf genügt, um die Umwandlung einer parabolischen Bahn in eine elliptische zu veranlassen. Diese Wirkungen der Planeten, welche von den Astronomen Störungen genannt und bei Bahnbestimmungen auch berechnet werden, sind umso beträchtlicher, je näher der Komet dem Planeten kommt, je länger er in dessen Nähe verweilt und je größer die Masse des störenden Planeten ist. Jupiter besitzt die weitaus größte Masse unter allen Planeten, weshalb auch im allgemeinen die durch ihn verursachten Störungen die der anderen Planeten bedeutend übertreffen.

Die Bahnen der periodischen Kometen sind wegen ihrer großen Exzentrizität und der hierdurch erleichterten

Annäherung an die Planeten viel stärkeren Störungen ausgesetzt als die Planetenbahnen und können zum Unterschiede von diesen nicht mehr als stabil gelten. Nach neueren Forschungen ist es sogar sehr wahrscheinlich, daß jeder periodische Komet, welcher durch die Anziehung eines bestimmten Planeten zum Bürger unseres Sonnensystems gemacht worden ist, früher oder später durch den gleichen Planeten wieder aus demselben hinausbefördert werden wird.

Unter den mindestens in zwei Erscheinungen gesehenen periodischen Kometen ist nur einer, welcher auch dem freien Auge ein stattliches Aussehen darbietet, nämlich der Halleysche Komet, dessen nächste Wiederkehr im Jahre 1912 zu erwarten ist. Noch prächtigere Exemplare, deren Bahnen jedoch auf sehr große, wenn überhaupt endliche Umlaufszeiten schließen lassen, zeigten sich ab und zu, im letzten Jahrhundert 1807, 1811, 1843, 1858 und 1882.

Die sukzessiven Erscheinungen, welche das Auftreten eines großen Kometen begleiten, sind allgemein folgende. Wenn auch der Komet noch so weit von der Sonne entfernt ist, daß selbst in lichtstarken Fernrohren kein Schweif wahrgenommen wird oder nur in der von der Kreisform etwas abweichenden Gestalt des Kometenkopfes eine sogenannte Tendenz zur Schweifbildung erkannt werden kann, erscheint der Kern des Kometen, das ist der innere, hellere Teil des Kopfes, schon allseits von einer Nebelhülle umgeben, welche während der ganzen Dauer der Sichtbarkeit des Kometen sich fast

unverändert erhält und Koma genannt wird. Bei der allmählichen Annäherung des Kometen an die Sonne gelingt es bald, auch Spuren eines Schweifes wahrzunehmen und dessen Wachstum in Länge und Breite zu konstatieren. In einem späteren Stadium beginnen vom Kern ausgehende, in der Richtung zur Sonne erfolgende fächerförmige Ausströmungen sich zu zeigen, welche in ihrem weiteren Verlaufe sich wie die Wasser eines Sprudels rückwärts krümmen und in ihrer ferneren Bewegung in den Schweif übergehen.

Es unterliegt wohl kaum einem Zweifel, daß diese Ausströmungsprodukte die schweifbildenden Elemente der Kometen sind, wenn auch das Phänomen der Ausströmungen in der Regel erst lange nach dem Sichtbarwerden des Schweifes beobachtet werden kann. Dieser Umstand erklärt sich nämlich sehr einfach aus der bekannten Tatsache, daß die Umrisse eines Körpers viel leichter zu erkennen sind als die Strukturverhältnisse. Die Form der Ausstrahlungen scheint nur aus Gründen der Perspektive die eines Fächers zu sein und ist in Wirklichkeit die eines Kegels, dessen Achse mit dem Radiusvektor des Kometen, das ist mit der Sonne und Komet verbindenden Geraden, zusammenfällt oder mit ihr nur kleine Winkel einschließt. Demgemäß besitzt der Schweif eines Kometen in seiner vollen Entwicklung die Gestalt eines Konoids, dessen leerer Innenraum sich durch den dunklen Kanal bemerkbar macht, den man in der Achsenrichtung des Schweifes wahrnehmen kann. In einzelnen Fällen jedoch kann der Winkel zwischen der

Achse der Ausströmungen und dem Radiusvektor größer werden und auch mit der Zeit veränderlich sein; dann wird auch der dunkle Kanal nur in unmittelbarer Nähe des Kernes deutlich erscheinen und nur auf eine kleine Strecke hin zu verfolgen sein.

Das Phänomen der Ausströmungen zeigt, daß die Teilchen der schweifbildenden Substanz vom Kometenkern abgestoßen werden, da sie sich zuerst vom Kometen weg in der Richtung zur Sonne bewegen. Da diese Teilchen aber nicht die anfängliche Bewegungsrichtung beibehalten, sondern sehr bald eine fast entgegengesetzte Bewegung annehmen und sich dann immer weiter vom Kerne entfernen, so wird man zur Annahme gezwungen, daß die strömende Materie von der Sonne weniger angezogen wird als die Substanz des Kernes und der ihm umgebenden Koma, oder aber direkt abgestoßen wird, da sie nur dann bei sonst ungehinderter Bewegung von dem Kerne überholt werden kann.

Bezeichnet man die anziehende Wirkung einer Kraft mit +, so kommt einer abstoßenden Wirkung das Zeichen — zu, und es kann daher jede Verminderung der Anziehung als durch das Hinzutreten einer Abstoßung veranlaßt angesehen werden. In diesem Sinne spricht man von einer abstoßenden oder Repulsivkraft der Sonne auf die Teile der strömenden Materie eines Kometen. Die Wirkung, welche der Kern des Kometen auf die strömende Materie ausübt, kann wegen der geringen Masse des Kometen nur auf sehr kleine Entfernungen hin merklich sein, so daß der Hauptsache nach die Form

der Kometenschweife nur von der Größe der Repulsivkraft der Sonne und von Richtung und Größe der Geschwindigkeit abhängt, mit welcher die strömende Materie vom Kerne ausgestoßen wird.

Diese ursprünglich von Bessel für den Halley-schen Kometen aufgestellte und in Anwendung gebrachte Theorie ist hauptsächlich durch Bredichin weiter ausgebildet worden. Die wichtigsten Ergebnisse der Bredichinschen Untersuchungen, welche fast alle Kometen umfassen, über deren Schweife einigermaßen brauchbare Berichte vorliegen, bestehen darin, daß drei Typen genügen, um die charakteristischen Eigenschaften aller normalen Kometenschweife (es gibt auch abnormale, der Sonne zugewendete Schweife, deren Besprechung zu weit führen würde) zum Ausdrucke zu bringen. Die Schweife vom ersten Typus, den auch der Halleysche Komet aufweist, entsprechen einer Repulsivkraft, die etwa 11mal so groß ist wie die Gravitation, sind demgemäß lang, dünn und fast gerade und, falls mehrere Schweife gleichzeitig sichtbar sind; was schon öfter vorgekommen ist, von den übrigen scharf getrennt. Die Schweife vom zweiten Typus sind in der Regel reich an Substanz und schön ausgebildet, zeigen bereits eine ansehnliche Krümmung und entsprechen einer der Gravitation an Größe nahezu gleichen Repulsivkraft. Diesen Typus bekunden vor allen die prächtigsten Kometenerscheinungen, deren letzte in das Jahr 1882 fiel. Die Schweife des dritten Typus sind kurz, immer sehr in die Breite gedehnt und in ihren Umrissen verwaschen; sie verdanken ihre Entstehung einer

Repulsivkraft, die ungefähr ein Drittel der allgemeinen Gravitation beträgt. Es ist sehr wahrscheinlich, daß die Schweife verschiedener Typen aus verschiedenen Substanzen bestehen. Da die Geschwindigkeiten, welche verschiedene Körper von derselben Größe durch ein und dieselbe Kraft erhalten dem Gewichte der Körper verkehrt proportioniert sind, so erscheint mit Rücksicht auf die berechneten Geschwindigkeiten des Abströmens der Materie in die Schweife der drei Typen die weitere Annahme Bredichins ganz plausibel, daß die Schweife des ersten Typus aus Wasserstoff, die des zweiten aus Kohlenstoff, Stickstoff, Natrium, Magnesium und die des dritten Typus aus den schweren, auch in den Meteoriten vorkommenden Elementen Eisen, Nickel, Kalzium etc. bestehen. Eine durchgreifende Prüfung dieser Annahme dürfte wohl nur in seltenen Fällen möglich sein.

Es kann als Regel gelten, daß an Kometen, welche für das freie Auge leicht sichtbar sind, ein Schweif wahrzunehmen ist. Ausnahmen von dieser Regel sind aber nicht so selten, als häufig angenommen wird. Der Biela-sche Komet entwickelte sich im Jahre 1805 zu einem augenfälligen Objekt, aber ein Schweif war nicht zu sehen. Aus der schönen Abhandlung über Größe und Helligkeit der Kometen und ihre Schweife von Herrn Dr. Holetschek, welcher ich bereits einige historische Daten entlehnt habe, ist zu ersehen, daß die Kometen von 1707, 1718 und 1737 stets ohne Schweif blieben, obwohl ihre Gesamthelligkeit der Helligkeit von Sternen zweiter bis dritter Größe gleichkam. Bei teleskopischen

Kometen ist das Fehlen des Schweifes sogar häufiger als das Vorhandensein, so daß in vielen Fällen die kometarische Natur des nebelartigen Gebildes erst durch die Ortsveränderung dem Beobachter kund wird. Es ist daher der Schweif kein notwendiges und, wie aus den Beobachtungen gefolgert werden kann, auch kein permanentes, sondern nur ein temporäres, unter günstigen Umständen sich zeigendes Attribut eines Kometen. Wie schon früher bemerkt worden ist, können als schweifbildende Elemente die bei großen Kometen sichtbaren Ausströmungen gelten, welche erfahrungsgemäß desto intensiver auftreten, je mehr sich der Komet der Sonne nähert. Ein und derselbe Komet würde sicher einen um so voller entwickelten Schweif zeigen, je größer seine Annäherung an die Sonne oder, wie man wissenschaftlich sich auszudrücken pflegt, je kleiner seine Periheldistanz ist. Das Maximum der Länge und Fülle des Schweifes tritt aber nicht im Momente des Periheldurchgangs, sondern erst später ein, da einerseits eine geraume Zeit verstreicht, bis die Erneuerung des Schweifes durch die Ausströmungsprodukte erfolgt ist, und andererseits die größte Intensität der Ausströmungen erst nach dem Periheldurchgang eintreten wird, weil bei thermischen Prozessen, z. B. der Erwärmung eines Körpers durch eine Flamme, die Temperatursteigerung bei späterer allmählicher Abnahme der Wärmezufuhr noch einige Zeit anhält, wie auch die mittlere Temperatur in unseren Gegenden erst einige Wochen nach dem längsten Tage ihr Maximum erreicht.

Die für die Sichtbarkeit des Schweifes günstigste Zeit tritt daher immer eine gewisse Anzahl von Tagen nach den Periheldurchgange des Kometen ein; die günstigste Bahn wäre die, welche knapp an der Sonnenoberfläche vorüberführt, also die kleinste mit dem Fortbestande des Kometen verträgliche Periheldistanz besitzt. Doch hängt die Sichtbarkeit des Schweifes nicht nur von Bahn und Ort, sondern auch von der Individualität des Kometen ab. Der Kopf des Kometen, dessen Größe und Helligkeit durch die Schieibildung nicht im geringsten abzunehmen scheint, ist immer beträchtlich heller als der Schweif und daher auch viel leichter sichtbar. Zur Beurteilung der Helligkeit der Fixsterne haben wir schon seit langem eine Skala, nämlich die Größen- oder Helligkeitsklassen, die so bestimmt sind, daß die Helligkeit jeder Klasse der $2\frac{1}{2}$ fachen Helligkeit der folgenden Klasse gleich ist. Die Helligkeiten von Kometen und Fixsternen lassen sich aber wegen des meist sehr verschiedenen Aussehens im allgemeinen schwer miteinander vergleichen, da das Verhältnis der Lichtmenge zu bestimmen ist, welche einerseits von dem fast punktförmigen Sterne, andererseits von einem sehr ausgedehnten, gegen die Mitte zu meist viel helleren Nebel mit nicht selten sternartiger Verdichtung in unser Auge gelangen. Man kann aber auch in der Weise vorgehen, daß man den Kometen, sei es mit freiem Auge oder mit Hilfe eines Fernrohres, so lange verfolgt, bis er wegen relativ großer Entfernung von Sonne und Erde an die Grenze der Sichtbarkeit gelangt ist und die Größe jener Sterne notiert, welche

unter den gleichen Umständen und zu derselben Zeit ebenfalls gerade noch sichtbar sind. Diese Sterngröße drückt dann die Gesamthelligkeit des Kometen für die Beobachtungszeit aus. Zu diesen Beobachtungen lässt sich auch das Dämmerlicht benützen, doch sind die Resultate wegen der verschiedenen Schwächung des Stern- und Kometenlichtes nicht mehr so befriedigend.

Um aus der so bestimmten, für einen gewissen Zeitpunkt geltenden Sterngröße eines Kometen ein zur Vergleichung der Helligkeit verschiedener Kometen allgemein verwendbares Maß zu erhalten, müssen wir noch der Veränderung Rechnung tragen, welche die Helligkeit eines Kometen durch seinen wechselnden Abstand von Sonne und Erde erleidet. Bestände das Kometenlicht nur aus reflektiertem Sonnenlicht, so wäre, wenn L die Lichtmenge bedeutet, welche uns ein in dem Abstande r von der Sonne, und s von der Erde, befindlicher Komet zusendet, der Ausdruck $L r^2 s^2$ eine für die ganze Erscheinung desselben Kometen konstante Größe¹⁾ und daher ein Maß seiner individuellen Helligkeit; dieses Maß lässt sich leicht in Sterngrößen ausdrücken: man erhält hierfür

$$M = 5 \log (rs),$$

wo M die der Lichtmenge L entsprechende, durch Beobachtung bestimmte Größenklasse des Kometen bedeutet. Diese Formel zur Reduktion der Sterngröße eines

¹⁾ Auf Änderungen der Masse, des Baues und der Oberflächenbeschaffenheit des Kometenkörpers während der Dauer seiner Sichtbarkeit ist hierbei keine Rücksicht genommen.

Kometen auf die Einheit der Entfernung von Sonne und Erde würde allgemeine Geltung besitzen, wenn das Eigenlicht der Kometen von ihrem Abstande von der Sonne in derselben Weise abhängen würde wie das reflektierte Licht. Dies scheint aber nur selten zuzutreffen, da vielen Beobachtungen zufolge die Helligkeit der Kometen bei ihrer Annäherung an die Sonne meist wesentlich stärker zunimmt, als nach obiger Formel zu erwarten wäre, oder mitunter sich fast plötzlich ändert, wie beim Kometen Pons-Brooks 1884 I, der im September 1883 ein Emporschellen der Helligkeit um drei Größenklassen und einige Monate später um eine Größenklasse zeigte. In ähnlicher Weise offenbart der Komet Sauerthal 1888 I im Juni eine sprunghafte Steigerung seiner Helligkeit um drei, der Komet Swift 1899 I im Juni um zwei Größenklassen. Auch periodisch erfolgende Zu- und Abnahme der Helligkeit ist schon beobachtet worden, so bei dem Bielaschen Kometen und dem Kometen Brooks 1889 V.

Aus dem Gesagten geht zur Genüge hervor, daß es im allgemeinen eine für die ganze Erscheinung eines Kometen charakteristische Helligkeit strenge genommen nicht gibt und man sich daher mit einem angenäherten Werte hierfür begnügen muß. Herr Dr. Holetschek hat als charakteristische Helligkeit die auf die Einheit der Entfernung reduzierte Sterngröße M_1 , angenommen, welche der Gleichung entspricht:

$$M_1 = M - 5 \log (rs),$$

und die hierin auftretende Größe M für viele Kometen

auf dem früher angedeuteten Wege abgeleitet. Die auf die Sichtbarkeit der Schweife sich beziehenden Resultate seiner Untersuchungen sind: „Kometen, deren reduzierte Helligkeit M_1 , nahe an 6 oder schwächer als 6 ist, bekommen entweder gar keinen für das bloße Auge sichtbaren Schweif, oder wenn ein Schweif bemerkt worden ist, so war derselbe entweder äußerst kurz oder so lichtschwach, daß er nur unter besonders günstigen Verhältnissen, namentlich wegen bedeutender Erdnähe gesehen wurde; ein Beispiel hierfür ist der Enckesche Komet.

„Kometen, für welche $M_1 = 4$ oder noch bedeutender ist, worunter z. B. der Halley'sche Komet gehört, bekommen fast alle in der Nähe des Perihels einen dem bloßen Auge auffallenden Schweif, welcher desto größer ist, je bedeutender, und desto kleiner, je geringer die Annäherung an der Sonne ist und bei sehr großen Periheldistanzen, wie sie namentlich die Kometen von 1729 und 1747 besitzen, auch beinahe oder ganz null sein kann.

„In der Strecke von 4 bis 5, also in der Nähe von $M_1 = 4\frac{1}{2}$, scheint, wenn man von sehr großen Periheldistanzen absieht, die Grenze für eine bedeutende Schweifentwicklung zu liegen: hierhergehörige Kometen können bei bedeutender Annäherung an die Sonne lange und helle Schweife entwickeln (1618 II), während bei geringerer Annäherung auch die Schweifentwicklung eine geringe bleibt (1742).“

Über das Wesen der Repulsivkraft, durch welche die Schweifbildung veranlaßt wird, können wir nur Hypothesen aufstellen. Von den magnetischen und elektri-

schen Kräften wissen wir, daß sie in ähnlicher Weise wie die Gravitation in die Ferne wirken, aber nicht nur Anziehung sondern auch Abstoßung erzeugen können. Im vorliegenden Falle, wo es sich um die Bewegung äußerst fein verteilter Materie handelt, können von diesen Kräften wohl nur die elektrischen in Frage kommen. Unter den Astronomen ist auch die Ansicht sehr verbreitet, daß die Repulsivkraft den bei der Annäherung der Kometen an die Sonne auftretenden, unter Elektrizitätsentwicklung vor sich gehenden thermo-chemischen Prozessen im Vereine mit einer elektrischen Fernwirkung der Sonne ihre Entstehung verdankt. Nach der jüngsten Hypothese wird die Repulsivkraft auf den Druck zurückgeführt, welche die von der Sonne ausgehenden Lichtwellen auf alle isolierten Körper ausüben, die diesem außerordentlich geringen Bewegungsimpulse auch nur dann merklich folgen können, wenn ihre Dichte außerordentlich gering ist.

Daß sich elektrische Vorgänge innerhalb der Kometen abspielen, ist auch aus den Eigenschaften der Spektren einiger Kometen sehr wahrscheinlich. Der erste, welcher das Spektroskop zur Untersuchung des Lichtes der Kometen angewendet hatte, war Donati in Florenz; das Objekt seiner Untersuchung war der erste Komet des Jahres 1864. Bis zum Anfang des Jahres 1882 sind ungefähr 20 Kometen spektroskopisch beobachtet worden, deren Spektren sich einander so ähnlich erwiesen, daß sie alle unter einem gemeinschaftlichen Typus subsumiert werden konnten, welchen man als den des Dreibandens-

spektrums zu bezeichnen pflegt. Diese Banden liegen in Grün, Blau und Violett; jede hiervon ist gegen Rot hinscharf begrenzt, gegen die andere Seite, also gegen Violett hin, aber verwaschen. Die Maximalintensität des Lichtes in jeder einzelnen Bande ist in der Regel auf einen linienförmigen Streifen beschränkt, so daß bei geringer Kraft des Kometenlichtes die drei Banden sich wie drei Linien ausnehmen. Diese Linien, welche die Helligkeitsmaxima der Banden darstellen, entsprechen aber nicht bei allen Kometen genau gleichen Wellenlängen, doch ist der bei verschiedenen Kometen wahrgenommene Unterschied nicht bedeutend. Die Ähnlichkeit des Kometenspektrums mit dem der Kohlenwasserstoffe ist so frappierend, daß die Ansicht, im Kopfe der Kometen seien Kohlenwasserstoffverbindnngen vorhanden, sich gleich anfangs aufdrängte und nur darüber Meinungsverschiedenheit herrschte, wie diese Gase in den Zustand des Glühens versetzt werden. Zur Beurteilung dieses Vorganges haben die Beobachtungen von zwei im Jahre 1882 erschienenen Kometen sehr wichtiges Material geliefert. Der eine hiervon ist der Komet Wells, der andere der große Septemberkomet, welcher bald nach dem Verschwinden des ersteren auf der südlichen Halbkugel plötzlich auftauchte und sich zu einer überaus prächtigen, auch bei uns sichtbaren Erscheinung entwickelt hat. Beide Kometen kamen der Sonne sehr nahe, der Komet Wells bis zu 0·0608, der andere sogar bis 0·0077; von allen bekannten Kometen haben nur drei, darunter die großen Kometen von 1680 und 1843, noch

kleinere Periheldistanzen besessen. Anfangs zeigte das Spektrum des Kometen Wells auch nur die drei Banden, aber viel schwächer, als man nach der Helligkeit des Kometen erwarten durfte. Erst am letzten Mai wurde außerdem noch eine helle gelbe Linie gesehen, deren Zusammenfallen mit der Doppellinie, welche glühender Natriumdampf zeigt, sofort vermutet und dann auch experimentell bestätigt worden ist. Bei Anwendung stärkerer Dispersion konnte die Duplizität der Natriumlinie des Kometen auch gleich erkannt werden. Das Licht des glühenden Natriumdampfes überragte an Intensität das sonstige Licht des Kometen so sehr, daß der ganze Komet gelblich erschien und im Spektroskop bei weit geöffnetem Spalt in dieser Farbe deutlich zu sehen war. Während aber noch in den ersten Tagen des Juni das Bandenspektrum zugleich mit der Natriumlinie zu sehen war, konnte am 7. Juni, nach Hasselbergs Beobachtung in Pulkowa, von den Banden auch nicht die geringste Spur mehr wahrgenommen werden, wogegen die Natriumlinie äußerst brillant auftrat. Es liegt nahe, das Auftreten der Natriumlinie auf die zunehmende Erhitzung zurückzuführen, welche der Komet bei seiner großen Annäherung an die Sonne erlitt; denn das Perihel fiel auf den 10. Juni. Damit ist aber das Verschwinden des Bandenspektrums noch nicht erklärt. Wenn man nämlich in einer Kohlenwasserstoffflamme Natrium verbrennt, so wird durch das Auftreten der hellen Natriumlinie das Spektrum des Kohlenwasserstoffes nicht geändert; werden aber die Gase durch den elektrischen Funken zum

Leuchten gebracht, so ist eine wesentlich andere Erscheinung zu beobachten. Bringt man, wie Hasselberg berichtet, geringe Mengen mit Naphtha getränkten Natriums in eine Glasröhre und läßt nach Entfernung der Luft den Strom eines kräftigen, mit Kondensator versehenen Induktionsapparates hindurchgehen, so erblickt man ein intensives Spektrum des verdampfenden Kohlenwasserstoffes; durch gleichzeitiges Erwärmen des Rohres, wodurch auch das Natrium zu verdampfen beginnt, wird das Hinzutreten der Natriumlinie veranlaßt, deren allmähliches Erstarken bald ein Verblassen, später ein fast vollkommenes Erlöschen des Kohlenwasserstoffspektrums zur Folge hat. Nach Entziehung der Wärmezufuhr beginnt sich der Natriumdampf zu kondensieren; sein Spektrum wird immer schwächer, während das des Kohlenwasserstoffes wieder erscheint und immer lebhafter hervortritt. Daraus kann man ersehen, daß bei einem Gemische von Dämpfen des Natriums und Kohlenwasserstoffes das Natrium allein die Überführung der Elektrizität vermittelt. Wenn man also voraussetzt, daß die Lichterscheinungen des Kometen, wenigstens zum großen Teile, durch elektrische Entladungen innerhalb seiner Materie entstehen, so wird die Analogie mit den Spektralerscheinungen gemischter Dämpfe augenfällig. Hasselberg kommt daher zum Schlusse, daß beim Kometen Wells unter dem Einflusse der Sonnenwärme das im Kometen enthaltene Natrium verdampfte und daß die beobachteten Lichterscheinungen hauptsächlich durch elektrische Entladungen in dem Kometen hervorgerufen wurden. Die am

großen Septemberkometen wahrgenommenen Erscheinungen waren den gerade beschriebenen ganz ähnlich. In dem Lichte beider Kometen war die Natriumlinie nur zur Zeit der größten Sonnennähe und wenn am hellsten nur allein zu sehen, während das Spektrum des Kometen Wells noch eine Woche vor dem Perihel und das des Septemberkometen schon nach Ablauf der dem Periheldurchgang folgenden Woche das gewöhnliche Aussehen hatte. Die unzweifelhafte Anwesenheit von Natrium in den dem zweiten Typus angehörigen Schweifen dieser Kometen und die wahrscheinliche Anwesenheit von Magnesium im Septemberkometen rechtfertigen bis zu einem gewissen Grade die Annahme, daß die leichteren Alkalien in den Schweifen des zweiten Typus allgemein vorkommen.

Der Septemberkomet bot den Astronomen Gelegenheit zur Beobachtung eines weiteren interessanten Phänomens, indem sein ursprünglich einfacher Kern sich in fünf Kerne geteilt hat, welche am Ende ihrer Sichtbarkeit zwar noch nicht mehr als eine Bogenminute voneinander entfernt waren, aber bei ihrer nächsten Wiederkehr, die wohl kaum vor Ablauf von 700 Jahren erfolgen dürfte, wahrscheinlich als selbständige Kometen auftreten werden. Der Komet 1889 V (Brooks) hat schon vor seinem Sichtbarwerden einen Teilungsprozeß durchgemacht; er erschien zur allgemeinen Überraschung in Begleitung von vier Nebenkometen, welche aber bei seiner nächsten Wiederkehr im Jahre 1896 nicht mehr aufgefunden werden konnten. Auch der Bielasche Ko-

met, der in mehreren Erscheinungen einfach gesehen worden ist, im Jahre 1846 aber als Doppelgestirn auftrat, dessen Komponenten im Jahre 1852 noch einmal beobachtet wurden, war seit dieser Zeit nicht mehr aufzufinden und kann als verloren gelten. Dasselbe Schicksal teilte der im Jahre 1846 entdeckte Komet Brorsen, dessen Umlaufzeit $5 \frac{1}{2}$ Jahre betrug; er wurde seit dem Jahre 1879 nicht wieder gesehen, obwohl er im Jahre 1890 der Rechnung nach leicht sichtbar sein sollen.

Die wiederholt erfolgten Teilungen und das wohl nur durch weiteren Zerfall erklärbare dauernde Verschwinden in gut bestimmten, geschlossenen Bahnen sich bewegender Kometen sind Argumente, welche, insoferne eine Verallgemeinerung erlaubt ist, in sehr eindringlicher Weise für das lose, der Zerrung nur geringen Widerstand entgegensetzende Gefüge der Kometenkörper sprechen. Für diese Auffassung vom Baue der Kometen lassen sich aber noch andere Argumente ins Tref-fen führen. Von den periodischen Kometen, welche mindestens in drei Erscheinungen beobachtet worden sind, besitzen drei, die Kometen Méchain-Tuttle, Winnecke und Faye Umlaufszeiten, die nach Abzug der durch die Planeten bewirkten Störungen konstant zu sein scheinen, während sich für die Kometen Encke, Biela, Tempel abnehmende, für den Kometen Brorsen wachsende Umlaufszeiten ergeben. So lange die Bewegung eines Körpers nur unter dem Einflusse der Sonnenanziehung vor sich geht, muß die Umlaufszeit konstant sein. Von den Kometen mit veränderlicher Umlaufszeit sind zwei, die Ko-

meten Biela und Brorsen, wie früher erwähnt, als verloren zu betrachten, welcher Umstand am einfachsten durch die Annahme eines Zerfalles des Kometenkörpers in kleinere Stücke erklärt werden kann. Für den Bielaschen Kometen erscheint die Disposition zum Zerfall durch dessen Spaltung in zwei Komponenten bereits nachgewiesen. Die Teilung eines Kometen ist aber fast notwendig mit einer Änderung der Umlaufszeit verbunden, welche im Falle einer Zweiteilung darin besteht, daß die Umlaufszeit des einen Stücks größer, die des anderen kleiner wird als die Umlaufszeit, die der Komet vor seiner Teilung besessen hat. Muß man da nicht unwillkürlich daran denken, daß auch die Änderung der Umlaufszeiten des Enckeschen und Tempelschen Kometen durch Verlust an Masse im Wege der Abspaltung entstanden sei? Diese Annahme ist mit der Existenz von Kometen mit konstanter Umlaufszeit ganz gut vereinbar, da manche Kometen eine kräftigere Konstitution besitzen können, derzufolge sie viele Umläufe ohne nennenswerten Massenverlust zu überdauern imstande sind; sie ist auch nicht unwahrscheinlicher als die anderen zur Erklärung der abnormalen Bewegungerscheinungen aufgestellten Hypothesen, wovon die bekanntesten sind: die Enckesche Hypothese eines widerstehenden Mittels, die Besselsche von der Wirkung der mit den Ausströmungen verbundenen Kräfte und die Hypothese von der Störung der Kometen durch mit ihnen zusammentreffende Meteorschwärme.

Die Enckesche Hypothese eines die Sonne gleichmäßig umhüllenden, gegen die Sonne zu verdichteten

Mediums ist durch die erneuerte Berechnung der Bahn des Enckeschen Kometen bereits hinfällig geworden, da sich herausgestellt hat, daß die Abnahme der Umlaufszeit dieses Kometen Veränderungen aufweist, welche der gleichmäßigen Wirkung eines solchen Mediums widersprechen. Ähnliches gilt auch von der Besselschen Hypothese, da man *a priori* wohl nur annehmen kann, daß die Ausströmungen bei jedem Umlaufe in derselben Weise oder aber von Umlauf zu Umlauf mit abnehmender Intensität auftreten, was nur eine gleichmäßige Zu- oder Abnahme der Periode des Enckeschen Kometen zur Folge haben könnte. Die letzte Hypothese ist insoweit völlig unkontrollierbar, als man durch passend gewählte Dichte des Meteorschwarmes und Lage und Form seiner Bahn jede nachweisbare Änderung der Bewegung eines Kometen rechnerisch begründen kann, erregt aber doch in einem Punkte Bedenken, da es fraglich ist, ob ein Komet beim Passieren eines Meteorschwarmes überhaupt eine merkliche Störung seiner Bewegung erfährt.

Wenn die Erde einen Meteorschwarm kreuzt, gibt es im allgemeinen einen Sternschnuppenfall, manchmal einen Hagel von Eisen- oder Steinmeteoren. Selbst beim reichsten Fall sind die Entfernungen dieser Körperchen oder Körper voneinander außerordentlich groß im Verhältnis zu den Dimensionen derselben, so zwar, daß die Wahrscheinlichkeit des Zusammenstoßes eines den Schwarm kreuzenden Meteoriten mit einem dem Schwarm angehörigen Körper sehr gering ist. Erwägungen verschiedener Art und außerdem die mehrmals beobachtete

Erscheinung, daß sogar durch den Kern von Kometen hindurch Fixsterne ohne wahrnehmbare Verminderung ihres Glanzes und ohne merkliche Lichtbrechung zu sehen sind, machen es wahrscheinlich, daß auch die dichtesten Teile des Kometenkopfes von Körpern gebildet werden, deren Dimensionen einen sehr kleinen Bruchteil ihrer mittleren gegenseitigen Entfernung betragen. Es ist daher zu erwarten; daß beim Durchgange eines Kometen durch einen Meteorstrom ein relativ nur geringer Teil der dem Kometen angehörigen Körper auf Widerstand stößt und hierdurch aus dem Kometen eliminiert werden kann, ohne die Bewegung desselben merklich zu beeinflussen.

Dieser Auffassung vom Baue der Kometen entsprechen auch die nahen Beziehungen, welche zwischen Kometen und Meteorschwärm en zu bestehen scheinen und für einige hiervon nachgewiesen worden sind. Viele jährlich in der zweiten Aprilhälfte fallende Sternschnuppen, die aus dem Sternbilde der Leier zu kommen scheinen und deshalb Lyriden genannt werden, sind in unserer Atmosphäre leuchtend gewordene Bestandteile eines Meteorstromes, welcher den Rechnungen zufolge in der Bahn des Kometen 1861 I sich bewegt. Die zwischen dem 9. und 14. August sichtbar werdenden, auch unter dem Namen „Tränen des heil. Laurentius“ bekannten Perseiden gehören zum Teile einem Schwarme an, dessen Bahn mit der des Kometen 1862 III zusammenfällt. In derselben Beziehung stehen die Leoniden, deren Sichtbarkeitsdauer vom 12. bis 16. November reicht,

zum Kometen 1866 I und die Ende November erscheinenden Bieliden zum Kometen Biela. Die Bieliden boten am 27. November 1885 einen besonders prächtigen Anblick dar, welcher an den letzten großartigen Fall der Leoniden im Jahre 1866 erinnerte, wo ebenfalls ein Feuerregen aus den höchsten Schichten der Atmosphäre herabzustürzen schien: Seither ist jener besonders dichte Schwarm des Leonidenringes, welchen die Erde mehrmals nach Ablauf von etwa 33 Jahren traversiert hat, durch die Störungen von Jupiter und Saturn beträchtlich abgelenkt worden, so daß die Erde im Jahre 1899, wo das Leonidenphänomen abermals zu einer prächtigen Entfaltung hätte gelangen sollen, nur einige outsiders auffing.

Der durch die nahe Übereinstimmung der Bahnen angedeutete Zusammenhang bekannter Meteorströme mit vier periodischen Kometen, welcher für den Leonidenstrom dadurch noch viel sicherer ist, daß die Umlaufszeit des Hauptstromes mit der des Kometen nahe gleich ist, wurde ursprünglich so aufgefaßt, als ob alle Meteoriten Zerfallsprodukte von Kometen wären. Nach der jetzt vorherrschenden Ansicht ist das Verhältnis der Meteoriten zu den Kometen das des allgemeinen zum besonderen und der Ursprung beider Arten von Gebilden derselbe. Die fernen Räume des Himmels denkt man sich erfüllt von zahllosen Wolken kosmischen Staubes, deren Bestandteile von verschiedener Substanz und Korngröße sind und an manchen Stellen dicht aneinander liegen, an anderen Stellen aber weit verstreut sind. Von

diesen Wolken werden viele durch die Sonne in Bahnen gelenkt, welche, sofern die Sonne allein in Betracht käme, Parabeln mit der Sonne im Brennpunkt wären; die Anziehung der Planeten kann aber unter Umständen diese Bahnen in elliptische umformen und so ganze kosmische Wolken oder Teile hiervon unserem Sonnensysteme einverleiben; als Angehörige dieses Systems pflegt man sie Meteorschwärme oder auch Meteoritenschwärme zu nennen. Ein solcher aus der Ferne kommender Schwarm wird durch die stetig zunehmende Anziehung der Sonne, welche die näheren Teile stärker affiziert als die ferneren und deshalb eine zerrende Wirkung ausübt, immer mehr in die Länge gedehnt. Diese Tendenz zur Ausbreitung eines Schwarmes in der Bahnrichtung wird bei periodischen Schwärmen durch die Störungen der Planeten noch gesteigert, so daß die Länge des Schwarmes von Umlauf zu Umlauf sich vergrößert und mit der Zeit aus dem Schwarme ein die Sonne umschließender Strom wird, dessen Dichte aber durchaus nicht gleichmäßig zu sein braucht. Schneidet dieser Strom die Erdbahn, so wird die Erde an der Schnittstelle immer eine gewisse Anzahl von Meteoren treffen, wodurch die Erscheinung sich erklärt, daß jährlich zu einer gewissen Zeit Sternschnuppen sichtbar werden, deren Bewegung auf identische Bahnen hinweist. Existiert aber in dem Strome noch eine besonders dichte Stelle, so kann die Erde dieselbe immer nur nach Ablauf einer Anzahl von Jahren treffen, welche der Umlaufszeit der dort befindlichen Meteoriten oder einem Vielfachen derselben gleichkommt; dann werden

auch die Sternschnuppenfälle viel reicher auftreten, wie es für die Leoniden in den Jahren 1799, 1833 und 1866, für die Bieliden 1872 und 1885 zutraf.

Während viele kosmische Wolken in unser Sonnensystem treten und in ihm verweilen mögen, ohne sichtbare, wenn auch noch so flüchtige Spuren ihrer Existenz zu hinterlassen, können andere zu auffallenden Erscheinungen Veranlassung geben. Besitzt nämlich die Wolke ein Verdichtungszentrum, um welches eine Menge von Substanz zusammengedrängt ist, so besteht die Möglichkeit, daß dieser dichte Teil der Wolke bei der Annäherung an die Sonne uns soviel Licht zuwendet, als zu seiner Sichtbarkeit selbst in bedeutender Entfernung von der Erde nötig ist. Damit sind die Bedingungen für das Erscheinen eines Kometen gegeben, dessen Kern dem Verdichtungszentrum und dessen Koma dem sichtbaren Teile der Wolke entspricht. Hat die Wolke mehrere Verdichtungszentra, so werden unter günstigen Umständen auch mehrere Kometen wahrgenommen werden können, welche dann eine charakteristische Gruppe bilden, da ihre Glieder ähnliche Bahnelemente besitzen müssen. Eine dieser Gruppen besteht wahrscheinlich aus den perihelnahen, retrograden Kometen 1843 I, 1880 I, 1882 II und 1887 V, deren Bahnelemente eine überraschende Ähnlichkeit bekunden.

Die räumliche Ausdehnung der sichtbaren um die Verdichtungszentra gelagerten Materie, oder, mit anderen Worten, die Größe der Kometenköpfe ist sehr bedeutend und im Durchschnitt nicht viel kleiner als das Volum

Jupiters, des größten aller Planeten. Während aber die Masse Jupiters so mächtig ist, daß ihre störenden Wirkungen innerhalb des ganzen Planetensystems bemerkbar sind und Änderungen der Bahnelemente periodischer Kometen um viele Grade zur Folge haben können, ist die Masse der Kometen so klein, daß es bisher nicht gelungen ist, eine Störungswirkung derselben auf die Bewegung anderer, wenn auch sehr naher Körper nachzuweisen.

Der Lexellsche Komet hat zweimal das System der Jupitermonde durchquert und ist im Jahre 1770 auch der Erde sehr nahe gekommen; da sich aber keine Störungswirkung gezeigt hat, dürfte seine Masse kaum $1/5000$ der Erdmasse gewesen sein. Am ehesten noch dürfte sich der Nachweis einer Störungswirkung für den Biela-schen Kometen erbringen lassen, da nach seiner Teilung im Jahre 1844 die gegenseitige Entfernung seiner Hälften lange Zeit sehr klein blieb und daher das Auftreten gegenseitiger Störungen außerordentlich begünstigte. Die Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins solcher Störungen wird noch wesentlich dadurch erhöht, daß ohne deren Berücksichtigung die beobachteten Örter der Teilkometen nicht befriedigend dargestellt werden können. Es ist deshalb zu hoffen, daß aus der Bahn dieses Kometen auch seine Masse bestimmt werden kann, deren Größe uns dann auch einen Anhaltspunkt geben würde zur Beurteilung der Größe kometarischer Massen im allgemeinen.