BAYERISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN
MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE KLASSE

SITZUNGSBERICHTE

JAHRGANG
1970

MÜNCHEN 1971

VERLAG DER BAYERISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN
In Kommission bei der C. H. Beck'schen Verlagsbuchhandlung München

Über den Entstehungsort des Plasmas, welches die Kometenschweife bildet

Von **Ludwig Biermann** in München

Max-Planck-Institut für Physik und Astrophysik

Auf gewöhnlichen Fotografien von Kometen ist es schwierig, die Emissionen der ionisierten Moleküle, die schließlich das Schweifplasma bilden, zu trennen von denjenigen der neutralen Moleküle, aus denen der Kopf typischer Kometen besteht. Leider gab es auch bisher kaum brauchbare Filter, mit denen man diese Emissionen hätte scharf trennen können. Eine saubere Trennung ist daher bisher nur mit spektroskopischen Mitteln gelungen, außer bei solchen Kometen, bei denen die Emissionen neutraler Moleküle und gleichzeitig das Kontinuum, das auf der Reflexion des Sonnenlichtes an kometaren Staubteilchen beruht, relativ schwach waren. In typischen Entfernungen des Kometen von der Erde beträgt eine Bogensekunde (die ein ungefähres Maß für die normalerweise erreichbare Winkelauflösung darstellt) etwa 500 bis 1000 km, während der Durchmesser der eigentlichen Kometenkerne auch bei helleren Kometen nur von der Ordnung 10 bis 20 km ist.

Die Ionisation der Moleküle, aus denen das kometare Plasma besteht, wird meist den energiereichen Photonen des Sonnenlichtes, den Ionen des solaren Windes (mittels Ladungsaustausch) oder aber energiereichen Elektronen zugeschrieben, die bei der Wechselwirkung des solaren Windes mit dem Kometen entstehen. Da alle diese Vorschläge auf gewisse Schwierigkeiten geführt haben, die an dieser Stelle nicht diskutiert und gegeneinander abgewogen werden sollen, ist aber auch schon vermutet worden, daß die Ionen durch irgendeinen bisher nicht verstandenen Mechanismus in den Kometenkernen selbst entstehen. In diesem Falle müßte die Plasmadichte in der Nähe der Oberfläche relativ groß sein, da die Anfangsgeschwindigkeit des Plasmas

sicher nur von der Ordnung einiger bis vielleicht 10 km pro sec betragen kann. Die geringste Dichte würde offenbar gegeben sein, wenn das Plasma gleichmäßig von allen Teilen der Oberfläche ausgehen würde. In jedem anderen Falle wäre die lokale Dichte noch höher.

Nach den Beobachtungen ist ein Hauptbestandteil typischer Kometenschweife ionisiertes Kohlenstoffmonoxyd. Die kürzlich gelungene Messung der dissoziativen Rekombinationsrate des CO^+ erlaubt nun eine direkte Abschätzung der Zeitskala, in der die Ionen durch diesen Prozeß in Kohlenstoff- und Sauerstoffatome zerfallen. Es ist das Ziel der vorliegenden Note zu zeigen, daß diese Zeitskala so kurz ist im Vergleich zu der Zeitskala, in der das Plasma sich vom Kometenkern entfernt, daß die Möglichkeit einer Entstehung des Plasmas im Kern selbst jetzt wohl als ausgeschlossen angesehen werden muß.

Hierzu betrachten wir als erstes die Produktionsrate des CO^+ oder die aus den Beobachtungen geschlossene Dichte in einer Entfernung, in der spektroskopisch gute Bestimmungen der Dichte gewonnen werden können. Hierbei stützen wir uns auf die sorgfältige Diskussion Arpigny's (1965). In einer Entfernung von 10000 km vom Kern findet Arpigny Dichten von 400 bzw. 1000 Ionen pro cm^3; der letztere Wert entspricht etwa den Resultaten anderer Untersuchungen für mittelhelle Kometen. Der erstgenannte Wert bezieht sich auf den Kometen Bester 1947k, der nur knapp mit freiem Auge beobachtbar war, während der zweitgenannte Wert sich auf den sehr großen Kometen Humason 1961e bezieht, der sich aber niemals der Sonne auf weniger als 2.2 a. E. näherte. Bei einem Radius des Kometenkerns von maximal 6 km, wie er für den erstgenannten Kometen angemessen scheint, würde demnach die Ionendichte an der Oberfläche mindestens 10^9 pro cm^3 betragen haben, wenn man annimmt, daß die Ausströmgeschwindigkeit dort ebenso hoch war wie in 10000 km Kernentfernung; falls, wie eher anzunehmen ist, die Geschwindigkeit in Oberflächennähe geringer war, ergäbe sich eine noch höhere Dichte. Hierbei ist isotrope oder jedenfalls radiale Ausströmung vorausgesetzt; die existierenden photographischen Aufnahmen geben kein einheitliches Bild von den Strömungsverhältnissen.

Die experimentell bestimmte Rate der dissoziativen Rekombination (Mentzoni and Donohoe 1969)* beträgt $4 \cdot 10^{-7}$ cm^{-3} sec bei einigen hundert °K. Bei höheren Temperaturen fällt die Rate etwa mit der Wurzel aus der Temperatur ab, so daß ein Wert von 1 bis $2 \cdot 10^{-7}$ cm^3 sec^{-1} wohl eine angemessene Schätzung darstellen sollte.** Mit dem oben abgeschätzten Wert der Dichte folgt, daß die CO^+ Moleküle an der Oberfläche des Kometenkerns, wenn sie dort schon vorhanden wären, in einer Zeitskala der Ordnung einiger bis 10 ms zerfallen müßten. Andererseits ist die Zeitskala, in der die Dichte infolge des Ausströmens sich wesentlich ändert, nach der Kontinuitätsgleichung von der Ordnung $2\ v/r$ oder etwa $^1/_3$ bis 1 sec; es folgt, daß die CO^+-Ionen durch dissoziative Rekombination zerstört würden, lange bevor sie irgendeine nennenswerte Entfernung vom Kometenkern erreicht haben könnten. Die Effektivität dieses Prozesses schließt es daher wohl aus, daß die CO^+-Moleküle im Kometenkern oder in dessen unmittelbarer Nachbarschaft entstanden sein können.

Man kann den gleichen Gedanken auch auf größere Entfernungen anwenden und sieht dann aus der angegebenen Beziehung, daß das Verhältnis der beiden Zeitskalen sich gerade mit der ersten Potenz der Entfernung vom Kometenkern ändert. Erst in einer Entfernung vom Kometenkern der Ordnung 1000 km werden die beiden Skalen von der gleichen Ordnung. Nach der Lage der Dinge ist dies eine untere Grenze der Entfernung für den Entstehungsort des sichtbaren kometaren CO^+-Plasmas. Es folgt, daß bei künftigen Berechnungen der Strömungs- und Ionisationsverhältnisse in Kometenatmosphären der Prozeß der dissoziativen Rekombination unter allen Umständen mit berücksichtigt werden muß; derartige Berechnungen sind bei uns von Herrn H. U. Schmidt begonnen worden.

In der Entfernung von 10000 km vom Kern ergibt sich eine maximale Dichte von 10^4 Ionen bzw. Elektronen pro cm^3. Diese ist verträglich mit den älteren Abschätzungen von L. Biermann

---

* M. M. Mentzoni and J. Donohoe, 1969, Can. J. Phys. 47, 1789.

** Die Stoßfrequenz eines freien Elektrons ist in Kernnähe von der Ordnung 10^6 sec^{-1}; bis zu einer dissoziativen Rekombination würde es also mindestens 10^4 Stöße mit Molekülen machen, so daß die Elektronentemperatur unmöglich hoch sein kann.

und E. Trefftz, sowie derjenigen von W. Huebner; über beide wurde früher schon vorgetragen.

Der experimentell gemessene Wert bezieht sich auf das CO^+-Ion; er stimmt der Größenordnung nach mit den entsprechenden Werten der wenigen weiteren Molekülionen, für die solche Messungen vorliegen, überein. Obwohl es allgemeine Gründe gibt, warum diese Reaktionsraten normalerweise hoch sein sollten, könnte es natürlich Molekülionen geben, bei denen dies wegen sozusagen zufälliger Eigenschaften der eingehenden quantenmechanischen Wellenfunktionen anders ist. Es ist daher wichtig zu bemerken, daß einer der Kometen, die in den letzten zehn Jahren der Erde besonders nahekamen, nämlich der Komet Burnham 1959k, im Spektrum überwiegend die Emissionen des CH^+-Ions zeigte. Für dies Ion ist keine Rate der dissoziativen Rekombination bekannt, und es ist nicht ausgeschlossen (zumal im Gegensatz zu allen Molekülionen, für die bisher Rekombinationsraten bekannt sind, im Fall des CH^+ das Massenverhältnis der Atome > 10 ist), daß sie merklich kleiner ist als diejenige für CO^+. Dies ist deswegen von Interesse, weil Aufnahmen des Kometen Burnham 1959k zur Zeit seiner geringsten Entfernung von der Erde bis ziemlich dicht an den Kern heran Strukturen zeigten, die aus Ionen zu bestehen scheinen. Der zuvor gezogene allgemeine Schluß, der sich auf Kometen mit vorwiegendem CO^+-Anteil des Plasmas bezog, läßt sich daher nicht ohne weiteres auf den Kometen Burnham 1959k übertragen.

Schließlich läßt sich aus den obigen Betrachtungen auch noch ein Schluß auf die mögliche relative Bedeutung der Elektronenstöße an der Anregung der Rotationsniveaus der Moleküle ziehen. Dieser Schluß ist deswegen von Interesse, weil es soeben Malaise in Lüttich gelungen ist, Druckeffekte in den innersten Teilen einer Anzahl von neueren Kometen nachzuweisen, für die Spektren mit hoher Dispersion vorliegen. Malaise hatte aus der beobachteten Veränderung der Besetzung der Rotationsniveaus des CN den Schluß gezogen, daß diese nur durch Molekülstöße hervorgerufen sein könnten, und daraus einen Wert der integralen Moleküldichte abgeleitet, der übrigens in ähnlicher Größenordnung lag wie derjenige, der schon vor 6 Jahren von E. Trefftz und dem Verfasser auf ganz anderer Basis abgeschätzt worden war.

Es sind nun Zweifel geäußert worden, ob die in Frage kommenden Stöße nicht Elektronen zugeschrieben werden könnten. Die obere Grenze der Elektronendichte ist zwar um einen Faktor 10^3 bis 10^4 geringer als Malaise's Werte für die Moleküldichte, dafür sind aber die thermischen Geschwindigkeiten der Elektronen um etwa drei Zehnerpotenzen höher. Nur eine genauere Bestimmung der Stoßquerschnitte und der wahrscheinlichen Elektronendichte wird daher eine Entscheidung über den relativen Beitrag der Stöße der Elektronen und der Moleküle zu dem beobachteten Druckeffekt gestatten.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sitzungsberichte der mathematisch-physikalischen Klasse der Bayerischen Akademie der Wissenschaften München

Jahr/Year: 1971

Band/Volume: 1970

Autor(en)/Author(s): Biermann Ludwig

Artikel/Article: Über den Entstehungsort des Plasmas, welches die Kometenschweife bildet 11-15