©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

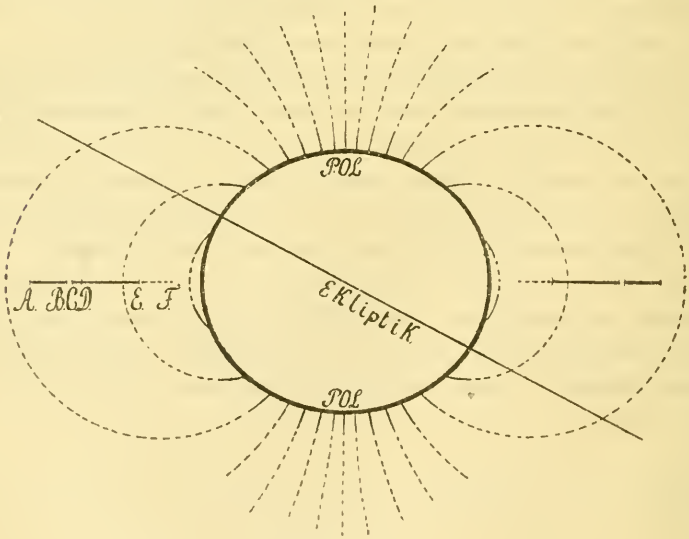
Ueber den Bestand des Saturnrings.

Nach einem Vortrag im Verein für vaterländische Naturkunde.

Von **A. Schmidt.**

Mit einem Holzschnitt.

„Annulo cingitur, tenui, plano, nusquam cohaerente, ad eclipticam inclinato," d. h. er ist umgeben von einem schmalen, ebenen, nirgends anhängenden, gegen die Ekliptik schiefen Ringe. Diese Worte sind die Auflösung eines von dem Niederländer Huygens im



März 1656 gestellten Anagramms: aaaaaaaccccccdeeeeeghiii iiii

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

eines sechsten Saturnsatelliten Nachricht gab. Erst drei Jahre später gab Huygens sein „systema saturnium“ heraus mit obiger Entzifferung. Sie enthielt die Lösung eines die Astronomen seit fast 50 Jahren beschäftigenden Rätsels.

Als nämlich kurz nach der Entdeckung des Fernrohrs Galilei dasselbe nach den Himmelskörpern richtete, zeigten sich ihm verschiedene Überraschungen. Den Mond sah er mit hohen Bergen bedeckt, im Orionnebel zählte er statt 7 Sternen deren über 500, der Planet Jupiter erschien ihm nicht mehr als Punkt, sondern als kleine Scheibe und in Begleitung von 4 Monden, das Rätselhafteste aber war die Erscheinung des Planeten Saturn, welche er 1610 in Form eines Anagramms beschrieb, dessen Lösung hiess: Altissimum Planetam tergeminum observavi, den höchsten Planeten habe ich als Drilling beobachtet. Er hatte zu beiden Seiten der Scheibe des Hauptplaneten in gleichen Abständen zwei Begleiter entdeckt, die aber nicht wie Monde umliefen, sondern als zunächst unveränderlicher Bestandteil des Planetenbildes stehen blieben. Aber wie erstaunte er, als diese Anhängsel des Bildes allmählich ihr Aussehen veränderten, bald ganz verschwanden, bald wieder wie 2 Henkel sichtbar wurden. Galilei soll, ungewiss ob nicht sein Fernrohr ihn betrüge, ärgerlich auf die weitere Beobachtung verzichtet haben. Den ihm folgenden Beobachtern ging es nicht besser. Huygens giebt uns eine ganze Blumenlese der sonderbarsten Abbildungen der Form, in welcher verschiedene Beobachter den Planeten gesehen hatten, ohne sich die rätselhaften Wandlungen des Bildes erklären zu können. Erst die geometrische Vorstellung eines freischwebenden, den Planeten in seiner gegen die Ekliptik geneigten Äquatorebene umgebenden Ringes, dessen Ebene sich parallel bleibend ihre Stellung zu unserem Auge periodisch verändert, ergab die Erklärung all der sonderbaren Beobachtungen. So ist eigentlich nicht Galilei, sondern Huygens der Entdecker des Saturnrings gewesen, jener hat ihn zuerst gesehen, der Scharfsinn dieses hat ihn zuerst erkannt. Aber die Lösung des ersten Rätsels trug ein zweites in ihrem Schosse, das uns im folgenden beschäftigen soll.

Um eine Vorstellung von den verhältnismässigen Abmessungen des Rings oder des Systems von Ringen zu erhalten, denke man sich einen Karton von $^1/_4$ mm Dicke zum Kreis von 36 cm Durchmesser ausgeschnitten. Dieser Durchmesser entspricht einem wahren Durchmesser von 276 800 km, die Dicke einer wahren Dicke von 200 km. So dick höchstens bezeichnen die älteren Beobachter den

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

flachen Ring. Die neuesten auf der Licksternwarte gemachten Beobachtungen aber wollen nicht mehr als höchstens 50 km Dicke zulassen, so dass wir statt des Kartons von $^1/_4$ mm, feinstes Briefpapier von $^1/_{16}$ mm Dicke wählen sollten. In der Mitte des Kreises zeichnen wir einen konzentrischen Kreis von 8 cm Radius, dessen Fläche wir weiss lassen. Dieser Kreis bezeichne den Äquatorschnitt des Planeten selbst. Den umgebenden leeren Raum deuten wir nun durch einen schwarzen Ring von 1 cm Breite an. Auf diesen lassen wir nun einen grau bemalten Ring von 2,5 cm Breite folgen mit nach aussen zunehmender Annäherung an Weiss. Dieser Ring (das Gebiet EF der obigen einen Meridianschnitt darstellenden Figur) stellt den erst seit 1850 beobachteten dunkeln Ring, den Krapring dar, eine schleierhaft vom schwarzen Himmel sich abhebende Erscheinung, deutlich transparent. An einem den Schatten dieses Rings durchziehenden Satelliten, dem Japetus, hat erst neuerdings der Astronom Barnard diese von aussen nach innen zunehmende Transparenz wahrgenommen. Im Schatten des darauffolgenden weissen Rings verschwand der Satellit. Dieser undurchsichtige weisse Ring AE erhält eine Breite von 6.5 cm und zerfällt in 2 Ringe von gegen 4 und 2,5 cm Breite, die durch ein von Ringsubstanz fast freies, also schwarz zu bemalendes Band BC von kaum 0,4 cm Breite zu trennen sind. Dieses Band heisst die Cassini'sche Trennung. Ausser dieser sind zu verschiedenen Zeiten auch andere Trennungen aufgetreten und wieder verschwunden, auch sonst zeigt die Ringsubstanz da und dort Verdichtungen, der Ring einseitige Verbreiterungen, die Ränder Verzerrungen und der innere dunkle Ring, der früher gar nicht wahrgenommen wurde, liess einige Zeit ein Wachsen nach unten vermuten.

Die dem Aussehen und den Veränderungen entsprechende nächstliegende Annahme, dass man es mit einem sehr leichten wolken- oder nebelartigen Gebilde zu thun habe, würde, wie man meinen sollte, zugleich dem Bedürfnis einer mechanischen Erklärung am besten genügen. Man könnte sich in Übereinstimmung mit der Kant-Laplace'schen Weltbildungstheorie denken, der Saturnring sei noch ein Überbleibsel jener früheren Weltbildungsepochen, die wir in den Ringnebeln des Fixsternhimmels noch gegenwärtig zu erkennen glauben, ein Rest jener Entwickelungszustände, wo, nachdem die Planeten sich aus von der Sonne abgelösten Ringmassen zu ballen begonnen hatten, sie selbst in Ringen die Trabantenmassen von sich absonderten. Derart waren in der That auch die Vorstellungen der Gelehrten

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

und sind es zum Teil heute noch in betreff der näheren Beschaffenheit des Ringgebildes, dessen geometrische Gestalt der Scharfsinn von Huygens zuerst erkannt hat.

Aber gegen diese Art von Vorstellungen erhob schon am Ende des 18. Jahrhunderts der grosse Laplace ein gewichtiges Bedenken. Er unterwarf das Problem der Saturnringe vom Standpunkt der Himmelsmechanik aus einer eingehenden mathematischen Untersuchung, die ihn auf eine höchst sonderbare Vermutung über die Beschaffenheit des Gebildes führte. Seine Untersuchung im 6. Kapitel des 3. Buchs der Himmelsmechanik nimmt folgenden Gang: Auf Grund der Gesetze der Massenanziehung und der Rotationsbewegung wird die Form untersucht, welche ein flüssiger Ring haben müsste, der freischwebend den Planeten umgeben würde in derjenigen ungefähren mittleren Entfernung vom Planeten, die der weisse Ring in Wirklichkeit besitzt. Laplace findet die Form eines Wulstes von elliptischem Querschnitt, derart, dass die Querschnittsellipse ihre lange Achse in der Äquatorebene des Planeten, die kurze Achse in dazu senkrechter Richtung hätte, aber das Achsenverhältnis müsste 2,6 : 1 sein. Das würde bei dem oben beschriebenen Papiermodell eine Ringdicke von 2,5 cm statt einer solchen von $^1/_4$ mm oder gar nur $^1/_{16}$ mm bedeuten. Laplace, der den Ring wohl noch für etwas dicker hielt, als die späteren Messungen zulassen, sagt nun, man könnte sich den Widerspruch der Rechnung mit der Beobachtung dadurch zurechtlegen, dass man, statt eines, eine grössere Zahl von Ringen annehme, die konzentrisch ineinander liegend alle einzeln ungefähr das obige Achsenverhältnis aufweisen. Es könnte die Irradiation des Auges die einzelnen Ringe breiter erscheinen und zusammenfliessen lassen. Die Dauer der Umwälzung jedes Ringes wäre gleich der eines Trabanten im selben Abstand vom Planeten. Aber, fährt er nun fort, diese Vorstellung von Ringen mit gleichartig verteilter Masse sei aus einem andern Grunde unhaltbar.

Dieser Grund, auf den wir näher eingehen müssen, bildet nicht nur für die Frage des Saturnrings ein ungemein wichtiges Moment, er zeigt für die ganze an den bekannten Plateau'schen Versuch sich anschliessende Vorstellungsweise von der Bildung der Planeten und Trabanten aus Ringen, dass der Ringzustand nur ein Durchgangszustand von kurzer Dauer sein konnte. Wenn man nämlich, sagt Laplace, das Gleichgewicht näher untersuche, in welchem sich eine einzelne gleichförmig schwere Kreislinie befinde, die den Planeten (mit Trabantengeschwindigkeit in sich selbst sich verschiebend) um-

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

gebe, so sei dieses Gleichgewicht kein stabiles, sondern ein labiles. Die kleinste Verschiebung der Kreislinie, etwa durch die Anziehung eines Satelliten, wobei ihr Schwerpunkt von demjenigen des Planeten weggerückt würde, hätte die Folge, dass dieser Schwerpunkt sich ganz vom Planetenschwerpunkt entfernen müsste, bis endlich die Kreislinie auf den Planeten stossen, zerbrechen und ganz auf diesen stürzen würde. „Ein Ring nun, dessen Teile sich sämtlich vollkommen ähnlich wären, würde aus einer Menge Umkreise bestehen. welche dem von uns betrachteten Kreis ähnlich wären. Der Mittelpunkt würde dann vom Mittelpunkt Saturns zurückgestossen werden, wenn diese beiden Mittelpunkte nur ein wenig aufhörten zusammenzufallen, und dann würde der Ring sich endlich mit Saturn vereinigen.“ Aus diesem Satze zieht Laplace nun gleich folgenden Schluss: „Die verschiedenen Ringe, welche die Kugel Saturns umgeben, sind folglich irreguläre feste Körper, deren Breiten in den verschiedenen Punkten ihrer Umkreise ungleich sind, so dass ihre Schwerpunkte nicht mit den Mittelpunkten ihrer Figuren zusammenfallen. Man kann diese Schwerpunkte als ebensoviel Satelliten ansehen, welche sich um den Mittelpunkt Saturns in Entfernungen bewegen, welche von der Ungleichheit der Teile jedes Rings abhängen, und welche Satelliten mit ihren respektiven Ringen einerlei Umdrehungsgeschwindigkeit haben.“ Die Frage nach der Anziehung der Ringe aufeinander wird damit abgethan, dass die gegenseitige Einwirkung höchst veränderlich sein müsse und daher bei der Untersuchung der bleibenden Figur nicht in Betracht kommen könne.

Diese Ausführungen des grossen Mathematikers enthalten nun freilich eine Reihe von Gedankensprüngen, welche dem Leser zur Ausfüllung überlassen bleiben. Der Satz vom labilen Gleichgewicht eines starren Kreises, der bei der geringsten Verrückung seines Schwerpunktes auf den Saturn stürzen müsste, wird ohne weiteres auch auf eine Kreislinie flüssiger Teilchen übertragen, von da auf flüssige Ringe. Nicht bloss flüssige Ringe mit gleich verteilter, sondern auch solche mit unsymmetrisch verteilter Masse werden stillschweigend verworfen, von nebelartigen oder staubartigen Massen ist ebensowenig die Rede. Die einzige Lösung endlich, welche Laplace für möglich hält, die Annahme unsymmetrisch belasteter fester Ringe, wird auf ihre Durchführbarkeit, auf die Art, wie man sich die Verhältnisse der Ringmasse und ihrer ungleichen Belastung zu denken habe, gar nicht weiter untersucht. Nur das eine führt Laplace in einem späteren Kapitel noch weiter aus, er beweist, dass

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

infolge der starken Abplattung des Planeten die Ebenen der starren Ringe in dessen Äquatorebene sehr annähernd erhalten werden, trotz aller Störungen etwa durch die Sonne oder durch den äussersten Satelliten, den Japetus, der um etwa 10^0 von dieser Ebene abweicht.

Es sei versucht, die Gedankensprünge durch folgende Überlegungen auszufüllen: 1) Das Theorem vom labilen Gleichgewicht des starren Rings gilt unmittelbar auch für einen flüssigen Ring, da bei der Ableitung des Theorems auf den Aggregatzustand des Rings keine Rücksicht genommen wurde, ja er gilt ebendeswegen für jede kreisförmige Anordnung von Massen, die den Planetenmittelpunkt zugleich zum geometrischen Mittelpunkt und zum Schwerpunkt hat. 2) Nur in dem Punkte könnten flüssige Ringe von den starren sich unterscheiden, dass sie bei Abstossung ihres Schwerpunkts von demjenigen des Planeten weg zugleich derart ihre Form ändern können, dass sie nicht gezwungen sind, auf den Planeten zu stürzen, aber der Zerstörung würden flüssige Ringe doch verfallen. 3) Unsymmetrisch verteilte flüssige Massen kann man jederzeit in Gedanken in 2 Teile teilen, von denen der eine seinen Schwerpunkt im Planetenmittelpunkt hat, der andere nicht. Der erstere Teil verfällt dem Laplace'schen Theorem und ist labil, der zweite bildet keinen Ring. Ebenso verhält es sich mit staubartigen Massen. Daher ist nur noch ein unsymmetrischer Ring denkbar, dessen Teile im starren Verband stehen, beziehungsweise ein System solcher starrer Ringe, die von einander getrennt sind. 4) Die Möglichkeit der Annahme eines starren Rings mit einseitiger Belastung erscheint selbstverständlich mindestens für den Fall, dass man die Belastung im Vergleich mit der übrigen Ringmasse sehr gross annimmt, dass man also eigentlich nur einen Trabanten mit leichtem Anhange hat.

Ob wohl Laplace auch heute noch an dieser sonderbaren Lösung des Problems der Saturnringe festhalten würde, wenn ihm die Beobachtungen der besten modernen Fernröhren vorlägen, die ausser der Cassini'schen Trennung keine bleibende Teilung erkennen und in dieser selbst manchmal Ringsubstanz wahrnehmen lassen, und die bei stärkster Vergrösserung dann keine Spur des Ringes mehr zeigen, wenn unser Auge in der erweiterten Ringebene selbst befindlich über die Ringdicke sich belehren möchte, keine andere Spur, als den schmalen schwarzen Schatten, den alsdann der sonnbeschienene Ring auf die Planetenscheibe wirft? Aber die Annahme von Laplace hat noch ihre besonderen Schwierigkeiten. Im Jahre 1856 unterzog einer der bedeutendsten neueren Forscher, der durch seine

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Arbeiten im Gebiet der Elektricität und des Lichts so berühmte Engländer Clerk Maxwell, die Frage des Saturnrings einer eingehenden Untersuchung in einer preisgekrönten Arbeit „über die Stabilität der Bewegung der Saturnringe“ [1]. Ausgerüstet mit dem mathematischen Werkzeug der feinsten analytischen Methoden, welche die Fortschritte der Funktionslehre geliefert haben, untersucht Maxwell zunächst die Frage nach der Massenverteilung in den Laplace'schen starren Ringen. Er findet, dass die Laplace'sche Annahme mit keiner andern Verteilung verträglich sei, als wenn die ganze Belastung sich an einer Stelle des im übrigen gleichartigen Ringes befinde und zwar nur genau dann, wenn das Verhältnis der Belastung zur Gesamtmasse nicht weniger als 81,6 und nicht mehr als 82,8 $^0/_0$ betrage. In allen andern Fällen (über den unter Nr. 4 oben angenommenen Grenzfall äussert sich Maxwell nicht) werde das Gleichgewicht des Ringes ein labiles. Zu dieser ausserordentlich engen Begrenzung der Zulässigkeit der Laplace'schen Annahme kommt eine unüberwindliche physikalische Schwierigkeit. In dem starren Ringe müssten nämlich, weil er mit der Geschwindigkeit seines dem Planeten näheren Schwerpunkts zu kreisen gezwungen wäre, wie in einem rasch rotierenden Schwungrade Spannungen bestehen, denen keine bekannte Substanz, auch der härteste Stahl entfernt nicht, widerstehen könnte.

Damit wäre die vom heutigen Zustande der Beobachtung aus schon höchst unwahrscheinliche Laplace'sche Vorstellung einseitig belasteter fester Ringe als physikalisch unzulässig nachgewiesen und, sofern das zu Recht bestehende Laplace'sche Gleichgewichtstheorem alle andern Annahmen auch ausschliesst, stünden wir vor dem Resultat, dass der Saturn keinen Ring haben darf. Der Saturnring ist einer von den Patienten, die der ärztlichen Wissenschaft gemäss tot sind, aber doch noch unter den Lebenden wandeln.

Da uns Laplace über die Zeit der notwendig eintretenden Zerstörung des Rings, falls derselbe aus gleichmässig um den Planeten verteilter Masse bestünde, indessen keine näheren Aufschlüsse geben konnte, so bleibt doch noch einige Hoffnung, den Bestand des Ringes durch solche Annahmen über dessen Beschaffenheit zu retten, welche eine möglichst lange Verzögerung des Zusammenbruchs erwarten lassen. In diesem Bestreben, die Bedingungen eines möglichst lang den Störungen trotzenden Zustandes zu suchen, ist nun Maxwell

[1] Scientific papers of James Clerk Maxwell. Cambridge 1890. Vol. I. pag. 289 ff.

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

und übereinstimmend mit ihm Hirn, der Maxwell's Untersuchungen nicht kannte, zu dem Ergebnis gekommen, der Saturnring müsse aus einer sehr grossen Zahl kleinster Satellitchen bestehen, von welchen jeder selbständig seine Bahn um den Planeten beschreibe derart, dass bei der verhältnismässig grossen Entfernung der einzelnen von einander und bei dem Überwiegen der Massenanziehung des Planeten über die kleinen gegenseitigen Anziehungen der Körperchen dieselben keine erheblichen Störungen in ihren Bahnen aufeinander ausüben. Maxwell's Berechnung kann hier freilich nur bis zu einer gewissen Stufe den Erfolg kleinerer Störungen verfolgen. Seine Untersuchung betrifft auch nicht sowohl das gewissermassen äussere Gleichgewicht der Gesamtringmasse, welches das Laplace'sche Theorem behandelt, sondern das innere Gleichgewicht, die Möglichkeit, dass kleine Störungen in einzelnen Teilen sich gegenseitig kompensieren und nicht zu allmählich wachsenden Beträgen anwachsen. Maxwell zeigt nacheinander: Ein starrer Ring ist unmöglich, ebenso ein flüssiger Ring, er würde durch die kleinsten Störungen in verschiedene Formen von Wellenbewegungen versetzt werden, welche in ihren Beträgen anwachsend die Zerstörung zur notwendigen Folge haben müssten. Dagegen findet Maxwell bei Untersuchung des Verhaltens zunächst einer einzelnen Kette getrennter Satelliten, dass bei genügend kleiner Masse und genügend weitem Abstand der einzelnen Glieder kleine Störungen sich kompensieren könnten, er kommt zu der Formel $S > 0{,}4352\,\mu^2 R$, worin S die Saturnmasse, R die gesamte Ringmasse und μ die Zahl der einzelnen Glieder des Ringes bezeichnet. Es könnten also z. B. $\mu = 100$ Satelliten in einem Kreise enthalten sein, wenn $S > 4352\,R$ wäre, oder $\mu = 1000$, wenn $S > 435\,200\,R$ wäre. Für das Nebeneinander aber einer grossen Zahl von Einzelketten in derselben Ebene, welche je nach ihren verschiedenen Entfernungen vom Planetenmittelpunkt verschiedene Umlaufsgeschwindigkeiten haben, versagt die mathematische Rechnung. Die gegenseitigen Einwirkungen der Glieder verschiedener Reihen aufeinander scheinen notwendig eine allgemeine Verwirrung hervorbringen zu müssen, deren Erfolg nicht sicher berechnet werden kann. Im allgemeinen aber lässt sich auch hier annehmen, dass bei genügend grossen Abständen der einzelnen Körperchen und genügend kleinen Massen derselben die Zerstörung beliebig lang verzögert werden kann. Es werden sich aus den gegenseitigen wechselnden Stellungen und Anziehungen zweierlei Tendenzen ergeben, eine solche zur Ansammlung grösserer Massen unter schliesslicher Ballung

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

des Rings zu einem Satelliten und eine entgegengesetzte Tendenz zur Wiederzerstreuung der gesammelten Massen infolge der verschiedenen Umlaufszeiten der näheren und ferneren Teile der Massen, eine Tendenz zur Zerstörung der Kreisbahnen infolge der gegenseitigen Störungen und eine umgekehrte Tendenz zur Wiederherstellung infolge der Selbstvernichtung aller solcher Bewegungskomponenten, welche Zusammenstösse, welche Bewegungsreibung erzeugen. „So leuchtet es ein, dass in einem System von vielen konzentrischen Ringen fortwährend neue Fälle gegenseitiger Interferenz zwischen verschiedenen Ringpaaren eintreten. Wenn die Kräfte, welche diese Störungen hervorrufen, sehr klein sind, so werden die Störungen von geringem Betrag sein und es ist möglich, dass bei den Unregelmässigkeiten eines jeden der Ringe die wellenförmig sich fortpflanzenden Störungen sich so brechen und verwirren, dass sie nicht zu derjenigen Höhe anwachsen können, bei welcher sie die Anordnung des Rings im ganzen beeinträchtigen könnten. So mag man begreifen, dass es möglich sei, dass die stufenweise Auflösung des Systems sich verzögere oder auf ewig verschiebe.“

Auf diese Art hat Maxwell dem kranken Mann, dem das Laplace'sche Theorem das Leben abspricht, auf unbestimmte Zeit das Leben gefristet. Der Saturnring besteht aus einer sehr grossen Zahl von Einzelsatelliten, die alle, ohne sich gegenseitig erheblich zu beeinträchtigen, in selbständigen Bahnen und alle in der Äquatorebene den Planeten umkreisen.

Aber Maxwell giebt uns keine ganz befriedigende Lösung des Rätsels. Seine Erklärung des fortdauernden Ringbestandes lässt dessen Leben an einem Faden hängen, einer Seifenblase gleich erhält sich der Ring nur gegen kleine Störungen. Sollte nicht längst ein grosser Meteorit dareingeschlagen, einen Riss erzeugt haben, der die Seifenblase zum Zerfallen brachte? Was am Himmel seit Galilei's Zeit in solch verhältnismässiger Unveränderlichkeit besteht und zweifellos schon lange vorher bestand, kann nicht so zerbrechlicher Natur sein, es muss die Ursachen seiner Erhaltung und, falls es sich veränderlich erweist, seiner Erneuerung in sich tragen. Dazu kommt aber noch eine weitere Frage, welche durch die neuesten Beobachtungen brennend geworden ist. Laplace und auch Maxwell wussten noch nicht, wie ausserordentlich dünn die Ringscheibe ist im Vergleich mit dem Spielraum, innerhalb dessen die nächsten Satellitenbahnen von der Äquatorebene abweichen. Nach Struve's Messungen in Pulkowa hat die Bahnebene des innersten Satelliten, des Mimas,

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

der nur etwa 0,9 Saturnhalbmesser vom Ring entfernt ist, eine Neigung von 1°26′ gegen die Äquatorebene, das ist 140 Mal mehr als der Spielraum, der bei einer Ringdicke von 50 km den äussersten Ringkörperchen zukäme. Warum zerstreut sich der Ring nicht über das durch die wechselnde Lage der Bahn des Mimas begrenzte Gebiet? Zur Erhaltung einer so mathematischen Beständigkeit der Ringebene gegenüber den Störungen durch die Sonne, durch den äussersten Satelliten Japetus, dessen Bahnebene um etwa 10° von der Ringebene abweicht, genügt die Wirkung der starken Abplattung des Planeten nicht mehr, durch welche Laplace die Erhaltung der Bahnebenen seiner starren Ringe und diejenige der näheren Satelliten erklärt hatte, sie genügt um so weniger, als Laplace diese Abplattung zweifellos überschätzt hat. Die grossen Planeten Jupiter und Saturn zeigen uns nur die Gestalt ihrer atmosphärischen Hüllen, um wieviel aber die Halbmesser der hinter den Hüllen steckenden Körper und um wieviel die Abplattungen derselben kleiner sind, wissen wir nicht, sicher sind die Halbmesser kleiner. So wenig als für den Sonnenkörper, so wenig ist es für diese Planeten erwiesen, dass ihre spezifischen Dichten nicht mit denjenigen von Merkur, Venus, Erde, Mars annähernd harmonieren.

Was wir zur Erklärung des Bestandes des Saturnrings vor allem brauchen, ist eine Kraft, welche alle einzelnen Ringkörperchen — denn soweit ist an der Maxwell'schen Lösung wohl nicht zu zweifeln — von der Bewegung aus der Äquatorebene heraus abhält und die durch Störungen daraus abgelenkten dahin zurücktreibt. Wenn wir uns, gezwungen durch die Gestalt des Rings, von der Existenz einer solchen Kraft überzeugt haben, so können wir über deren Wesen nicht mehr im Zweifel sein, die Kraft kann nur der Magnetismus des Planeten sein.

Kehrt man die Pole eines Hufeisenmagnets nach oben, legt darüber ein Blatt Karton und bestreut dasselbe mit Eisenfeile, so zeichnen sich auf dem Papier die Pole des Magnets samt den in weiteren und weiteren Bögen die Pole verbindenden Kraftlinien ab. Im grossen ist unsere Erde auch ein Magnet mit 2 Polen. In weiten Bögen müssen die Kraftlinien auch noch die weitere, vielleicht fernste Umgebung der Erde durchschwärmen, von der einen Halbkugel in Richtung der Inklinationsnadel aufsteigend, zur andern sich niedersenkend. Hänge ich an einen Faden ein horizontalschwebendes Stäbchen aus Wismutmetall zwischen die nach oben gekehrten Pole, so stellt es sich senkrecht zur Verbindungslinie beider Pole in der

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Mitte zwischen beiden ein, gerade senkrecht zu derjenigen Richtung, in welcher ein Eisenstäbchen sich einstellen würde. Ersterer Körper wird von beiden Polen abgestossen, letzterer von beiden angezogen. der erstere, der diamagnetische, sucht die von beiden Polen entfernteste Lage auf, der letztere, der paramagnetische, sucht beiden Polen möglichst nahe zu kommen. Letzterer, irgendwo im Magnetfeld aufgehängt, sucht die Richtung der Kraftlinien auf, ersterer die dazu senkrechte Richtung, letzterer erleidet in Richtung der Kraftlinien einen Zug, der ihn zu verlängern sucht, ersterer erleidet in dieser Richtung einen Druck. Bringt man Proben von Flüssigkeiten auf Uhrgläser zwischen die Pole, so wird die kreisförmige Begrenzung der magnetischen Flüssigkeit zum Oval mit grösster Länge in der Richtung von Pol zu Pol, diejenige der diamagnetischen zu einem in dieser Richtung verkürzten Oval.

Ein weicher paramagnetischer Trabant im Felde eines magnetischen Planeten müsste sich in Richtung der Kraftlinien verlängern. Es ist nicht unmöglich, dass die innersten Jupitermonde derart verlängert sind. Ein diamagnetischer Trabant aber muss sich in der Ebene des magnetischen Äquators des Planeten auszubreiten suchen, er muss sich in der Äquatorebene um so vollständiger gleichmässig verteilen, je weniger seine Masse der Verteilung Widerstand leistet.

Vorausgesetzt, der Versuch, welcher schon gemacht wurde, wäre gelungen, die Erhaltung der Ebenen der Satellitenbahnen und besonders der gemeinsamen Ebene der Ringpartikelchen als eine Wirkung der starken Abplattung des Planeten zu erklären, so wie Laplace für seine starren Ringe die Erklärung fertig brachte, so wäre es ja das reinste Wunder, dass alle die Myriaden kleinster Satellitchen von Hause aus dieselbe Bahnebene haben sollten. Ein Magnetfeld aber in der Umgebung des Planeten ist vollkommen geeignet, Teilchen diamagnetischer Substanz aus den verschiedenst geneigten Bahnen in die Äquatorebene zu treiben und darin zu erhalten. Ein solches Magnetfeld bildet für alle Bewegungskomponenten senkrecht zur Äquatorebene eine Art Reibungswiderstand, welcher nur die Bewegung in zu den Kraftlinien senkrechter Richtung bestehen lässt. Dadurch allerdings müsste sich das Magnetfeld des Saturn auszeichnen, dass die magnetische Achse genau mit der Rotationsachse des Planeten, der magnetische Äquator mit dem astronomischen zusammenfiele. Diese Besonderheit entspricht ganz dem regelmässigen Bau des Systems des Planeten mit seinen 7 inneren Satelliten. Die magnetische Kraft, welche auf die Teilchen des Rings wirkt,

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

braucht an Grösse die störenden Kräfte (ausgehend von Sonne und Japetus) weit nicht zu erreichen, nicht einmal die zur Äquatorebene senkrechten Komponenten der störenden Kräfte, denn die letzteren wirken periodisch entgegengesetzt, erstere wirkt stetig mit gleicher Tendenz, und ist daher im stande, auch grosse Störungen, welche durch vorübergehende Ursachen bewirkt werden müssten, zu paralysieren. Dass unsere Erde keinen Ring hat, liegt wohl nicht an der Schwäche ihrer Magnetisierung, sondern vielleicht am Mangel an Stoff zu einem Ring, sehr wahrscheinlich am Mangel der magnetischen Centrierung. Denn ihre magnetischen Pole fallen nicht in die Endpunkte der Erdachse und der magnetische Äquator fällt nicht in den geographischen, auch ist unser Mond weit entfernt, seine Bahn in der Äquatorebene zu beschreiben. Ähnlich mag bei den andern Planeten die Abweichung der magnetischen Achse von der Rotationsachse die Ringbildung verhindern. Vielleicht aber ist unser Tierkreislicht, das freilich kein Äquatorlicht ist, die Andeutung einer zerstreuten Ringsubstanz.

Man mag es bedenklich finden, auf die Übereinstimmung der Perioden der Sonnenflecken und der erdmagnetischen Störungen und auf einen möglichen Zusammenhang dieser Perioden mit der Periode der Konstellationen von Sonne, Jupiter und Saturn eine Theorie magnetischer Wechselwirkung der Körper des Sonnensystems zu gründen, weil es scheint, dass hierbei ungeheure magnetische Ladungen und Kraftwirkungen vorausgesetzt werden müssten — für das Problem des Saturnrings genügt eine magnetische Kraft von geringem Mass, wenn nur die Ringsubstanz genügend diamagnetisch ist. Dieser diamagnetische Druck lässt alle Störungen innerhalb der Ringebene unberührt, und daher erleidet diejenige Erklärung für die Bildung der Cassini'schen Trennung keine Änderung, welche Kirkwood im Jahre 1868 gegeben hat. Nach Kirkwood's Berechnung befindet sich nämlich diese Trennung an derjenigen Stelle des Rings, für welche die Summen der Störungen durch die Satelliten ihre grössten Beträge erreichen. Ähnlich sind im Ring der kleinen Planeten zwischen Mars und Jupiter auch diejenigen Gebiete leer von Planetoiden, für welche die Störungen durch die grossen Planeten sich am meisten anhäufen.

Es ist nicht undenkbar, dass der magnetische Äquator Saturns gegenüber der Ebene des astronomischen Äquators kleine zeitlich veränderliche Abweichungen und Ausbiegungen aufweise und es könnten dadurch gewisse feinere Anomalien, welche die Beobachtung des Rings zeigt, vielleicht ihre Erklärung finden.

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Laplace und Maxwell haben sich mit dem Problem der Stabilität des Rings beschäftigt, mit den Bedingungen, durch welche die Fortdauer des vorhandenen Rings gewährleistet wird. Der Kausalitätstrieb kann aber auch in der vollen Erklärung der Stabilität seine Befriedigung nicht finden, er verlangt eine genetische Erklärung der Bildung des Rings. Nur eine solche Erklärung, welche die Entstehung des Rings auf Ursachen zurückführt, deren Existenz und Wirkung uns wahrscheinlich erscheint, befriedigt das Erkenntnisstreben.

Sollte ein so leichtes, zartes Gebilde nicht das Erzeugnis eines fortdauernden meteorologischen Vorganges sein?

Es giebt im wesentlichen zweierlei Vorstellungen über die Atmosphären der Himmelskörper. Nach der gewöhnlichen Vorstellung sind diese Atmosphären in der Höhe begrenzt und zwar begrenzt entweder durch diejenige einen Himmelskörper umgebende Sphäre, in welcher die Temperatur des absoluten Nullpunkts herrscht oder jedenfalls begrenzt durch diejenige Sphäre, in welcher die Schwungkraft der mit dem Himmelskörper rotierenden Gashülle gleich dem Gewicht des Gases sein müsste und über welcher das Gas durch die Schwungkraft vom Himmelskörper weggetrieben werden müsste. Da es im Gebiet der Sonnenstrahlung und der Fixsternstrahlung nirgends denkbar ist, dass die Temperatur des absoluten Nullpunkts existiere, so kommt eigentlich nur die durch die Schwungkraft bedingte Grenze als mögliche Grenze in Betracht. Man kann diese Grenze die Laplace'sche Grenze nennen, weil Laplace zuerst die Gestalt solcher Sphären mathematisch untersucht hat.

Eine zweite Vorstellung aber nimmt die Atmosphären der Himmelskörper unbegrenzt an, nach ihr erfüllen Gase bei einem wenn auch noch so kleinen Druck den ganzen Weltraum und die Dichte dieser Gase nimmt mit der Annäherung an die Himmelskörper zu. Die rotierenden Himmelskörper erzeugen in der Weltraumatmosphäre Strömungen, eine aufsteigende Strömung über ihrem Äquator, eine absteigende an den Polen. Diese Vorstellung hat William Siemens[1] zuerst entwickelt und auf die Sonne angewendet. Auch wenn wir dem Urheber dieser Theorie in seiner weiter an dieselbe angeknüpften Hypothese über den Ersatz der Sonnenwärme nicht folgen, so ist doch die Bildung der auf- und absteigenden Strömungen eine notwendige Konsequenz der Annahme, dass der Weltraum gaserfüllt

[1] Erhaltung der Sonnenenergie von Sir William Siemens, übersetzt von Worms. Berlin 1885.

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

sei. Wir brauchen bei dieser Gaserfüllung durchaus nicht in erster Linie an unsere schweren Gase, wie Sauerstoff, Stickstoff, Kohlensäure, Wasserdampf zu denken, von welchen der Weltraum wohl nur unmerkliche Spuren enthält. Die Sonne besitzt eine Hülle, welche durch Gase gebildet ist, die vielmal leichter als der unter ihnen gelagerte Wasserstoff sind, und auch unsere Erde zeigt in der Höhe der Nordlichterscheinungen dem Spektroskop die Linie eines vielleicht mit einem der Sonnengase identischen Gases, und vielleicht ist der den Weltraum füllende Lichtäther selbst von gasiger Beschaffenheit.

Nach dieser zweiten Vorstellung über die Natur der Atmosphären muss die rotierende Bewegung eines Himmelskörpers sich den umgebenden Gasen bis in unbestimmte Höhen über dem Äquator, weit über die Laplace'sche Grenze hinaus, mitteilen; um so mehr, wenn der Himmelskörper, wie der Planet Saturn, noch von einer Anzahl Satelliten umkreist ist. Aber die Geschwindigkeit, mit welcher die Rotation der Atmosphäre erfolgt, ist nicht dieselbe, wie bei der ersten Vorstellung, sie ist mit der Höhe zunehmend kleiner und wird in sehr grosser Höhe verschwindend klein.

Versuchen wir, in das Spiel der Kräfte in einer solchen Atmosphäre einen noch genaueren Einblick zu gewinnen: Irgend ein kleines Gasquantum im Gebiete über dem Äquator des Himmelskörpers mit seiner raschen Rotationsgeschwindigkeit und seiner langsam aufsteigenden Bewegung steht unter der Wirkung dreier Kräfte, a) seines Gewichts, b) des Auftriebs durch die umgebenden Gasmengen, c) seiner Schwungkraft. Unten am Boden ist b + c grösser als a, wodurch die aufsteigende Bewegung eingeleitet wird, dann bis in sehr grosse Höhen bleibt b + c sehr annähernd gleich a. Erst in Höhen, wo die aufsteigende Bewegung sich merklich verlangsamt, wird b + c ein weniges kleiner als a, so jedoch, dass mit dem Aufhören der Bewegung c sich der Null und b dem Werte a sich nähert.

Eine bemerkenswerte Änderung geht mit den Kräften b und c von unten nach oben vor sich. Unten in der dichten Atmosphäre war der Auftrieb b nahezu gleich dem Gewichte a und die Schwungkraft c war klein; oben, im Gebiete der Laplace'schen Grenze (in der vorstehenden Figur bezeichnet der Punkt *D* ihre Höhe über dem Äquator), ist c nahezu gleich a, dagegen ist b klein.

Nun liegt die Vorstellung nahe, in dem aufsteigenden Strome seien Spuren eines Gases enthalten, das oben in den sehr kalten Regionen sich kondensieren müsse, etwa Wasserdampf. Die Konden-

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

sation macht das Volumen und folglich den Auftrieb b nahezu zu Null, so dass nun a über c überwiegt und das Kondensationsprodukt zu fallen beginnt. Je höher aber der Ort der Kondensation liegt, um so kleiner war b, mit um so geringerer Beschleunigung werden also die Kondensationsprodukte fallen, und wenn wir die Dichte der Weltraumgase nur klein genug annehmen und die zweite Vorstellungsart über die Atmosphären genügend der ersten annähern, so wird die Fallbeschleunigung der im Gebiete der Laplace'schen Grenze und über derselben gebildeten Kondensationen verschwindend klein. Wir erhalten einen Niederschlag, vielleicht von Eisnadeln, der mit Satellitengeschwindigkeit den Planeten umkreist und, falls er diamagnetisch ist, wie das Eis, sich unter der Wirkung des Planetenmagnetismus zur dünnen Scheibe abplattet. Die tiefer fallenden Kryställchen, an welche sich unten neue Kondensationen anlagern, gewinnen zunehmend grössere Beschleunigung nach unten. Vom Gebiete des Punktes *E* der Figur an hat sich die Wolke so weit gelichtet, dass sie transparent wird, um im Gebiete *F* dem Beobachter auf der Erde zu verschwinden.

Zur Verlangsamung der Fallbewegung mag ein Umstand noch ganz besonders beitragen. Bei genügender Annäherung der Siemens'schen an die Laplace'sche Anschauung, indem man den Druck der Weltraumgase genügend klein voraussetzt, wird die Rotationszeit der im Gebiete der Laplace'schen Grenze befindlichen Schichten nicht so sehr von derjenigen des Planeten abweichen, dass nicht diese oberen Schichten eine grössere Translationsgeschwindigkeit besitzen, als die tieferen. Dann aber werden die allmählich sich senkenden Kondensationsprodukte in den etwas tieferen Schichten zu wahren Satelliten ohne jede Fallbeschleunigung werden, sie bewegen sich ganz der Maxwell'schen Vorstellung entsprechend in Kreisbahnen, bis vielleicht innere Reibungen aufs neue ihre sinkende Bewegung veranlassen.

So erklärt sich die Bildung einer Eiswolke in der Umgebung der Sphäre des Punktes *D*, der in der That ungefähr in der Mitte des weissen Ringes sich befindet.

Die allmähliche Auflösung der Wolke nach unten ist die Folge zunehmender Fallbeschleunigung der Niederschläge. Wie erklärt sich aber die scharfe obere Grenze des Rings?

Diese findet ihre Erklärung nach demselben Prinzip, nach welchem Kirkwood die Cassini'sche Trennung erklärt hat. Die nähere Prüfung zeigt nämlich, dass über dem oberen Rande des weissen Rings zu-

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

nächst eine der Cassini'schen Trennung entsprechende zweite, nur noch etwas breitere, folgen müsste. Dass aber über dieser die Ringsubstanz keine Fortsetzung zeigen kann, folgt aus der bedeutenden Nähe des ersten Satelliten, dessen Störungen keine Ringbildung zu stande kommen lassen würden, wenn auch in jener Höhe noch Niederschläge entstehen könnten. In der That, noch viel höher hinauf deutet die abnehmende Albedo der Satelliten auf eine stufenweise Abnahme der Neigung zur Niederschlagsbildung, bis hinauf zum Japetus. Dieser zeigt eine Verschiedenheit seiner Lichtstärke, je nachdem er in der Vorhut oder in der Nachhut des die Sonne umkreisenden Planeten sich befindet, wie wenn der Planet einen Schweif von Niederschlagsstoff hinter sich liesse.

Mit Recht erregt das Gebäude der Himmelsmechanik, wie es der grosse Laplace uns hinterlassen, unsere grösste Bewunderung. Das eine grosse Naturgesetz, die von Newton entdeckte Gravitation, bestimmt allein und souverän nicht nur die Bahnen und Geschwindigkeiten der himmlischen Körper, sondern auch deren Gestalten. Wir würden es als eine Entweihung empfinden, wenn derjenige, welcher im Gebiete selbst der scheinbar unentwirrbaren Störungen die grosse Ordnung des Gesetzes aufgedeckt hat, neben der alleinherrschenden Gravitation eine andere Naturkraft zur Erklärung der Erscheinungen am Himmel beigezogen hätte. Aber die Rätsel, welche die fortschreitende Beobachtung uns zur Lösung aufgiebt, zwingen heutzutage die Astrophysik und die Astronomie, bei den fernwirkenden Kräften der Elektricität und des Magnetismus Rat zu holen. Die von Schwabe und Wolf geführte Statistik der erdmagnetischen Erscheinungen und der Sonnenflecken lässt an einem Zusammenhang dieser zweierlei Erscheinungen nicht mehr zweifeln. Der Magnetismus unseres Planeten ist nur ein Glied eines grossen, der wissenschaftlichen Erklärung noch verborgenen Gebietes von Erscheinungen. Wenn ein Vergleich erlaubt ist, den der Verfasser bei anderer Gelegenheit[1] gebraucht hat, der Vergleich der rotierenden Planeten mit verschieden grossen Dynamomaschinen, so liegt es nahe, dem Planeten Saturn wegen seiner 92 Mal grösseren Masse und seiner mehr als doppelt so grossen Rotationsgeschwindigkeit ein sehr erheblich stärkeres Magnetfeld zuzuschreiben, als der Erde. Diese naheliegende Hypothese wird zur Wahrheit durch die Existenz des Saturnrings, dessen Ausbreitung zur dünnen Scheibe ohne die An-

[1] Deutsche Revue. Mai 1893. S. 257.

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

nahme einer die Masse zur Äquatorebene drängenden Kraft, unerklärlich ist. Die physikalische Rüstkammer bietet kein anderes Mittel, eine Kraft dieser Art zu deuten, als die diamagnetische Abstossung von den Polen. Die Existenz eines kräftigen Magnetfeldes in der Umgebung des Planeten Saturn ist eine Thatsache. Der Zukunft bleibt die Aufgabe, die Gesetze der magnetischen Wechselwirkung der Glieder des Sonnensystems und die mögliche Beeinflussung der Gestalt und der Bewegung der Himmelskörper durch die Magnetkraft zu erforschen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg

Jahr/Year: 1894

Band/Volume: 50

Autor(en)/Author(s): Schmidt Axel (=A.)

Artikel/Article: Ueber den Bestand des Saturnrings. 18-34