

Naturwissenschaftliche Rundschau.

Wöchentliche Berichte

über die

Fortschritte auf dem Gesamtgebiete der Naturwissenschaften.

XIII. Jahrg.

13. August 1898.

Nr. 33.

Ueber die Stabilität des Sonnensystems.

Von H. Poincaré.

(Aus dem *Annuaire du Bureau des Longitudes*. 1898.)

Diejenigen, welche sich für den Fortschritt der Himmelsmechanik interessiren, demselben jedoch nur aus der Ferne folgen können, müssen einiges Erstaunen empfinden, wenn sie sehen, wievielmals man die Stabilität des Sonnensystems bewiesen hat. Lagrange hat sie zuerst festgestellt, Poisson hat sie von neuem bewiesen. Andere Beweise sind sodann gekommen, und weitere werden noch kommen. Waren die alten Beweise ungenügend, oder sind die neuen überflüssig?

Das Erstaunen dieser Personen würde sich zweifellos verdoppeln, wenn man ihnen sagte, daß vielleicht eines Tages ein Mathematiker durch strenge Beweise zeigen wird, daß das Planetensystem nicht stabil sei. Dies kann aber eintreten, und hierin wird kein Widerspruch liegen; gleichwohl werden die alten Beweise ihren Werth behalten.

Die Beweise sind in der That nur successive Annäherungen, d. h. sie beanspruchen nicht die Elemente der Bahnen streng zwischen enge Grenzen einzuschließen, die dieselben niemals überschreiten werden, sondern sie lehren uns nur, daß bestimmte Ursachen, welche anfangs diese Elemente ziemlich schnell variiren ließen, gegenwärtig nur viel langsamere Variationen erzeugen.

Die Anziehung Jupiters ist bei gleichem Abstände tausendmal kleiner als die der Sonne; seine störende Kraft ist daher klein, und dennoch würde sie, stets in demselben Sinne thätig, schließlic sehr merkwürdige Wirkungen hervorbringen. Dem ist jedoch nicht so; und dies ist der Punkt, den Lagrange festgestellt hat. Nach einer kleinen Reihe von Jahren haben zwei Planeten, die auf einander wirken, in ihren Bahnen alle möglichen Stellungen eingenommen; in diesen verschiedenen Stellungen war ihre gegenseitige Beeinflussung bald nach der einen, bald nach der entgegengesetzten Richtung thätig und zwar derart, daß nach kurzer Zeit fast exacte Compensation eintritt. Die großen Axen der Bahnen sind nicht absolut unveränderlich, aber ihre Aenderungen reduciren sich auf Oscillationen geringer Amplitude nach beiden Seiten ihres Mittelwerthes.

Dieser Mittelwerth ist freilich nicht streng fest, aber die Aenderungen, die er erleidet, sind äußerst langsame, wie wenn die Kraft, die sie hervorbrachte,

nicht tausendmal, sondern millionenmal kleiner als die Anziehung der Sonne wäre. Man darf daher diese Aenderungen vernachlässigen, da sie, wie man sagt, von der Ordnung des Quadrates der Massen sind.

Was die anderen Elemente der Bahnen betrifft, wie die Excentricitäten und die Neigungen, so können sie um ihre Mittelwerthe weitere und langsamere Schwankungen erleiden, denen man aber die Grenzen leicht anweisen kann.

Dies haben Lagrange und Laplace gethan; aber Poisson ging weiter. Er hat die langsamen Aenderungen studiren wollen, welche die Mittelwerthe erleiden, die Aenderungen, von denen ich oben schon gesprochen, und welche seine Vorgänger zunächst vernachlässigt haben. Er zeigte, daß diese Aenderungen sich abermals auf periodische Schwankungen um einen Mittelwerth reduciren, der nur noch tausendmal langsamere Variationen erleidet.

Dies war ein Schritt vorwärts, aber es war abermals nur eine Annäherung; seitdem hat man weitere Schritte vorwärts gemacht, ohne zu einem vollständigen, definitiven und strengen Beweise zu gelangen.

Es giebt einen Fall, welcher der Analyse von Lagrange und von Poisson nicht zu unterliegen scheint. Wenn zwei mittlere Bewegungen unter einander commensurabel sind, so werden nach einer gewissen Reihe von Umläufen die beiden Planeten und die Sonne sich in derselben relativen Lage befinden und die störende Kraft wird in demselben Sinne wirken wie anfangs. Die Compensation, von der ich oben gesprochen, tritt dann nicht ein und man muß befürchten, daß die Wirkungen der Störungen sich schließlic anhäufen und beträchtlich werden. Neuere Arbeiten, unter anderen die von Delaunay, von Tisserand und von Gylden zeigten jedoch, daß eine solche Anhäufung nicht eintritt. Die Amplitude der Schwankungen wird ein wenig größer, aber sie bleibt gleichwohl sehr klein. Dieser besondere Fall entzieht sich somit nicht der allgemeinen Regel.

Man hat nicht nur diese scheinbaren Ausnahmen beseitigt, sondern man hat sich auch besser Rechenschaft gegeben von den wahren Ursachen dieser Compensationen, welche die Begründer der Himmelsmechanik bemerkt hatten. Man trieb die Annäherung weiter als Poisson, aber man ist doch noch immer bei einer Annäherung.

Man kann für bestimmte, besondere Fälle be-

weisen, daß die Bahnelemente eines Planeten unendlich oft den anfänglichen Elementen sehr nahe kommen, und dies gilt wahrscheinlich auch allgemein, aber dies genügt nicht; man müßte zeigen, daß diese Elemente nicht nur schliesslich ihre ursprünglichen Werthe wieder annehmen, sondern daß sie sich niemals von ihnen weit entfernen werden.

Diesen letzteren Beweis hat man niemals streng geliefert, und es ist sogar wahrscheinlich, daß der Satz nicht streng richtig ist. Wahr ist nur, daß die Elemente sich von ihrem ursprünglichen Werthe nur äußerst langsam und nach sehr langer Zeit werden entfernen können. Weiter gehen, behaupten, daß diese Elemente nicht sehr lange, sondern immer zwischen engen Grenzen eingeschlossen sein werden, können wir nicht.

Aber nicht dies ist das vorliegende Problem.

Der Mathematiker betrachtet nur fingirte Gestirne, die, auf einfache materielle Punkte reducirt, ausschliesslich der Wirkung ihrer gegenseitigen Anziehung ausgesetzt sind, die streng dem Newtonschen Gesetze folgt. Wie verhält sich ein solches System, ist es stabil? Dies ist für den Analytiker ein ebenso schwieriges wie interessantes Problem. Aber es ist nicht das, welches der Natur entspricht. Die wirklichen Gestirne sind keine materiellen Punkte, und sie sind noch anderen Kräften als der Newtonschen Anziehung unterworfen. Diese complementären Kräfte werden die Wirkung haben, nach und nach die Bahnen umzugestalten, selbst dann, wenn die vom Mathematiker betrachteten, fingirten Gestirne absolute Stabilität besitzen würden.

Was wir uns somit fragen müssen, ist, ob dieser Bestand schneller zerstört werden wird durch das einfache Spiel der Newtonschen Anziehung oder durch diese complementären Kräfte.

Wenn die Annäherung weit genug gefördert sein wird, daß wir sicher sind, die sehr langsamen Variationen, welche die Newtonsche Anziehung den Bahnen der fingirten Gestirne auferlegt, seien nur sehr klein während der Zeit, welche für die complementären Kräfte ausreicht, um die Zerstörung des Systems zu vollenden; wenn, sage ich, die Annäherung bis dahin gelangt ist, wird es unnöthig sein, weiter zu gehen, wenigstens vom Gesichtspunkte der Praxis, und wir werden uns als befriedigt betrachten können.

Es scheint nun, daß dieser Punkt erreicht ist; ohne Zahlen anführen zu wollen, glaube ich, daß die Wirkungen jener complementären Kräfte viel größer sind als die der Glieder, welche von den Analytikern in den neuesten Beweisen der Stabilität vernachlässigt werden.

Sehen wir zu, welches die wichtigsten dieser complementären Kräfte sind.

Die erste Idee, die sich aufdrängt, ist, daß das Newtonsche Gesetz zweifellos nicht absolut exact ist; daß die Anziehung nicht streng proportional ist dem umgekehrten Quadrate der Entfernungen, sondern einer anderen Function der Abstände. So hat

jüngst Herr Newcomb die Bewegung des Perihels von Merkur zu erklären gesucht. Aber man sieht bald, daß dies auf die Stabilität keinen Einfluß haben werde. Freilich würde nach einem Theorem von Jacobi Instabilität vorhanden sein, wenn die Anziehung sich umgekehrt verhielte wie der Kubus des Abstandes. Man kann auch leicht durch eine oberflächliche Ueberlegung sich davon Rechenschaft geben, warum: Mit einem derartigen Gesetze wäre die Anziehung beträchtlich in kleinen Abständen und ungemein schwach in großen Entfernungen. Wenn also aus irgend einem Grunde der Abstand eines Planeten von seinem Centalkörper zunähme, würde die Anziehung schnell abnehmen und wäre nicht mehr imstande, ihn zurückzuhalten. Dies ist jedoch nur der Fall bei Gesetzen, die von dem des Quadrates der Entfernungen stark abweichen. Alle Gesetze, welche dem Newtonschen nahe genug sind, um annehmbar zu sein, sind für die Stabilität gleichwerthig.

Aber es giebt einen anderen Grund, der der Theorie widerspricht, daß die Gestirne sich bewegen, ohne sich jemals viel von ihrer ursprünglichen Bahn zu entfernen. Nach dem zweiten thermodynamischen Gesetze, welches unter dem Namen des Carnotschen Principis bekannt ist, findet eine beständige Zerstreuung von Energie statt, welche dahin strebt, die Form mechanischer Arbeit zu verlieren und die Gestalt von Wärme anzunehmen; es existirt eine bestimmte Function, welche Entropie heisst, und deren Definition hier überflüssig wäre; die Entropie kann nach diesem zweiten Gesetze constant bleiben oder abnehmen, aber sie kann niemals zunehmen. Sowie sie sich von ihrem Anfangswerthe entfernt hat, was sie nur abnehmend thun kann, kann sie niemals mehr zu demselben zurückkehren, da sie hierzu wachsen müßte. Die Welt wird daher niemals zu ihrem ursprünglichen Zustande oder zu einem nur wenig verschiedenen zurückkehren können, sobald sich die Entropie verändert hat. Dies ist das Gegentheil von Stabilität.

Die Entropie nimmt nun alle male ab, wenn eine nicht umkehrbare Erscheinung eintritt, wie die Reibung zweier fester Körper, die Bewegung einer zähen Flüssigkeit, der Wärmeaustausch zwischen zwei verschieden temperirten Körpern, die Erwärmung eines Leiters durch den Durchgang eines Stromes.

Wenn wir sodann beobachten, daß es in Wirklichkeit keine umkehrbare Erscheinung giebt, daß die Umkehrbarkeit nur ein Grenzfall ist, ein idealer Fall, welchem die Natur sich nur mehr oder weniger nähern, den sie aber niemals erreichen kann, so werden wir zu dem Schlusse geführt, daß die Instabilität das Gesetz aller Naturerscheinungen ist.

Sind die Bewegungen der Himmelskörper die einzigen, welche demselben entgehen? Man könnte es glauben, wenn man sieht, daß sie sich im Vacuum bewegen und so der Reibung entzogen sind. Ist aber das interplanetare Vacuum ein absolutes, oder bewegen sich die Gestirne in einem ungemein dünnen

Medium, dessen Widerstand ungemein gering ist, das aber doch einen Widerstand bietet?

Die Astronomen haben die Bewegung des Enkeschen Kometen nur erklären können unter der Annahme eines ähnlichen Mediums. Aber dieses widerstehende Medium, welches von den Anomalien dieses Kometen Rechenschaft geben würde, ist, wenn es existirt, auf die unmittelbare Nähe der Sonne beschränkt. Der Komet muß in dasselbe eindringen, aber in den Entfernungen, wo die Planeten sind, könnte die Wirkung dieses Mediums aufhören, sich merklich zu machen, oder könnte viel schwächer werden. Indirect würde es die Bewegung der Planeten beschleunigen; indem dieselben Energie verlieren, würden sie streben, in die Sonne zu fallen; und nach dem dritten Keplerschen Gesetze würde die Dauer ihres Umlaufs gleichzeitig mit ihrem Abstände vom Centralkörper abnehmen. Aber es ist unmöglich, sich eine Vorstellung zu machen von der Geschwindigkeit, mit welcher diese Wirkung eintreten wird, da wir keine Kenntniß haben von der Dichte dieses hypothetischen Mediums.

Eine andere Ursache, von der ich nun sprechen will, muß, wie es scheint, eine schnellere Wirkung haben. Schon lange vermuthet, wurde sie namentlich von Delaunay und nach diesem von G. Darwin beleuchtet.

Die Gezeiten, directe Wirkungen der Himmelsbewegungen, könnten nur aufhören, wenn diese Bewegungen aufhörten; aber die Oscillationen der Meere sind von Reibungen begleitet und erzeugen daher Wärme. Diese Wärme kann nur der Energie entnommen werden, welche die Gezeiten hervorbringt, d. h. der lebendigen Kraft der Himmelskörper. Wir können also vorhersehen, daß diese lebendige Kraft sich nach und nach aus diesem Grunde verliert, und ein wenig Nachdenken wird uns verstehen lassen, durch welchen Mechanismus.

Die Oberfläche der Meere, durch die Gezeiten gehoben, bildet eine Art Auftreibung. Wenn die Fluth im Momente des Durchganges des Mondes durch den Meridian einträte, so wäre ihre Oberfläche die eines Ellipsoids, deren Axe durch den Mond gehen würde. Alles wäre zu dieser Axe symmetrisch, und die Anziehung des Mondes auf diese Erhebung könnte die Rotation der Erde weder verlangsamten noch beschleunigen. Dies würde eintreten, wenn keine Reibung existirte; aber infolge der Reibungen ist die Fluth im Rückstande zum Durchgange des Mondes; die Symmetrie hört auf; die Anziehung des Mondes auf die Anschwellung geht nicht mehr durch den Erdmittelpunkt und strebt die Rotation unserer Erdkugel zu verlangsamten.

Delaunay schätzte, dass aus diesem Grunde die Dauer des siderischen Tages in hunderttausend Jahren um eine Secunde wächst. Hierdurch wollte er die säculare Beschleunigung der Mondbewegung erklären. Die Lunation erscheine uns immer kürzer, weil die Zeiteinheit, auf welche wir sie beziehen, der Tag, immer länger wird. Was man nun auch über

die von Delaunay gegebene Zahl denken mag und von der Erklärung, die er für die Anomalien der Mondbewegung vorschlägt, man kann schwerlich die von den Gezeiten hervorgebrachte Wirkung in Abrede stellen.

Sie ist es auch, welche uns eine wohl bekannte, aber sehr überraschende Thatsache begreifen hilft. Man weiß, daß die Dauer der Rotation des Mondes genau gleich ist der seines Umlaufs, so sehr, daß, wenn Meere auf diesem Gestirne existirten, dieselben keine Gezeiten haben würden, wenigstens keine Gezeiten, die von der Anziehung der Erde herrühren; denn für einen Beobachter, der sich an einem Punkte der Mondoberfläche befände, würde die Erde stets dieselbe Höhe über dem Horizonte haben. Man weiß auch, daß Laplace versucht hat, dieses sonderbare Zusammenfallen zu erklären. Wie können die beiden Geschwindigkeiten genau dieselben sein? Die Wahrscheinlichkeit einer zufälligen strengen Gleichheit ist offenbar gleich Null. Laplace nimmt an, daß der Mond die Gestalt eines verlängerten Ellipsoids hat; dieses Ellipsoid verhält sich wie ein Pendel, das im Gleichgewicht ist, wenn die große Axe nach der Geraden gerichtet ist, welche die Mittelpunkte beider Körper verbindet. Wenn die ursprüngliche Rotationsgeschwindigkeit sich wenig von der Umlaufgeschwindigkeit unterscheidet, wird das Ellipsoid nach beiden Seiten seiner Gleichgewichtslage schwanken, ohne sich jemals von ihr weit zu entfernen. So verhält sich ein Pendel, das einen schwachen Anstoß erlitten. Die mittlere Rotationsgeschwindigkeit ist dann genau dieselbe, wie die der Gleichgewichtslage, um welche die große Axe oscillirt; sie ist somit dieselbe wie die der Geraden, welche die Mittelpunkte beider Gestirne verbindet. Sie ist also streng gleich der Umlaufgeschwindigkeit. Wenn hingegen die Anfangsgeschwindigkeit merklich verschieden ist von der Umlaufgeschwindigkeit, wird die große Axe nicht mehr um ihre Gleichgewichtslage oscilliren, wie ein Pendel, welches unter einem starken Anstoß einen vollständigen Kreis beschreibt.

Es genügt daher, daß die Umlaufgeschwindigkeit nahezu gleich sei der anfänglichen Rotationsgeschwindigkeit, damit sie exact gleich sei der mittleren Rotationsgeschwindigkeit. Eine strenge Gleichheit ist nicht mehr nothwendig, das Paradoxon existirt nicht mehr.

Diese Erklärung ist gleichwohl eine unvollkommene. Welches ist der Grad dieser annähernden Gleichheit, deren Wahrscheinlichkeit zwar nicht Null, aber doch ziemlich gering ist? Und vor allem, warum erleidet der Mond keine merklichen Schwankungen nach beiden Seiten seiner Gleichgewichtslage (wenn wir selbstverständlich seine verschiedenen von anderen, uns wohlbekannteren Ursachen herrührenden Librationen ausschließen)? Diese Schwankungen müßten ursprünglich vorhanden sein; sie müssen durch eine Art Reibung ausgelöscht worden sein; und alles führt zu der Meinung, daß der Mechanis-

mus dieser Reibung derselbe ist, den ich eben bezüglich der Gezeiten unserer Meere analysirt habe.

Als der Mond noch nicht erstarrt war und ein flüssiges Sphäroid bildete, hat dieses Sphäroid ungeheure Gezeiten haben müssen wegen der Nähe der Erde und wegen ihrer Masse. Diese Gezeiten konnten nur aufhören, als die Oscillationen fast vollständig erloschen waren.

Es scheint, daß die Trabanten Jupiters und die beiden der Sonne nächsten Planeten, Merkur und Venus, gleichfalls eine Rotation besitzen, deren Dauer dieselbe ist, wie die ihres Umlaufes; und zwar zweifellos aus demselben Grunde.

Man könnte meinen, daß diese Wirkung der Gezeiten keine Beziehung hat zu unserem Gegenstande; ich habe doch nur von den Rotationen gesprochen und bei den Untersuchungen über die Stabilität des Sonnensystems beschäftigt man sich nur mit Translationsbewegungen. Aber einige Ueberlegung zeigt, daß dieselbe Wirkung sich in gleicher Weise bei den Translationen bemerklich macht.

Wir haben eben gesehen, daß die Anziehung des Mondes auf die Erde nicht genau durch den Mittelpunkt der Erde geht. Die Anziehung der Erde auf den Mond, welche gleich und entgegengesetzt gerichtet ist, wird gleichfalls nicht durch den Mittelpunkt, d. h. durch den Brennpunkt der Mondbahn gehen. Hieraus folgt eine störende Kraft, die zwar sehr klein ist, aber den Mond Energie gewinnen läßt. Die so vom Monde gewonnene, lebendige Translationskraft ist offenbar kleiner als die lebendige Kraft der Rotation, welche die Erde verloren, da ein Theil der Energie sich in Wärme umwandeln muß wegen der durch die Gezeiten hervorgerufenen Reibungen. Eine sehr einfache Rechnung zeigt, daß, da der Mondumlauf etwa 28 siderische Tage dauert, der Mond 28mal weniger lebendige Kraft gewinnt, als die Erde verliert.

Ich habe oben die Wirkung eines widerstehenden Mediums erörtert; ich habe gezeigt, wie sie, indem sie die Planeten Energie verlieren läßt, ihre Bewegung beschleunigt; die Wirkung der Gezeiten hingegen, welche den Mond Energie gewinnen läßt, verzögert seine Bewegung; der Monat wird also, ebenso wie der Tag, länger.

Welches ist nun der Endzustand, dem das System zustreben würde, wenn diese Ursache allein wirksam wäre? Offenbar würde diese Wirkung nur aufhören, wenn die Rotation der Erde dieselbe Dauer haben würde, wie der Umlauf des Mondes.

Dies ist nicht alles; in dem Endzustande wird die Bahn des Mondes eine kreisförmige geworden sein müssen. Wenn es anders wäre, würden die Aenderungen des Abstandes zwischen Mond und Erde ausreichen, um Gezeiten zu erzeugen. Da die Rotationsbewegung sich nicht verändert haben wird, wäre es leicht zu berechnen, welches die gemeinschaftliche Winkelgeschwindigkeit der Erde und des Mondes sein würde. Man findet, daß in diesem Grenzzustande der Monat, wie der Tag, etwa 65 unserer jetzigen Tage dauern würde.

Dies wäre der Endzustand, wenn es kein widerstehendes Medium gäbe und wenn die Erde und der Mond allein existirten.

Aber die Sonne erzeugt auch Gezeiten und die Anziehung der Planeten erzeugt solche in gleicher Weise auf der Sonne.

Das Sonnensystem würde also einem Grenzzustande zustreben, in dem die Sonne, alle Planeten und ihre Trabanten, sich mit ein und derselben Geschwindigkeit um dieselbe Axe drehen würden, als wären sie Theile eines und desselben unveränderlichen, festen Körpers. Die schließliche Winkelgeschwindigkeit würde übrigens nur wenig von der Umlaufgeschwindigkeit Jupiters verschieden sein.

Dies wäre der Endzustand des Sonnensystems, wenn es kein widerstehendes Medium gäbe; aber die Wirkung dieses Mediums, wenn es existirt, würde nicht gestatten, daß dieser Zustand bestehen bleibt, und würde schließlich alle Planeten in die Sonne stürzen.

Man darf nicht glauben, daß eine feste Kugel, die nicht von Meeren bedeckt wäre, wegen der Abwesenheit der Gezeiten ähnlichen Wirkungen nicht unterworfen sein würde, wie die, von denen wir eben gesprochen haben. Und zwar selbst, wenn man annimmt, daß die Erstarrung den Mittelpunkt dieser Kugel erreicht hätte. Dieses Gestirn, das wir fest annehmen, wäre hierfür kein unveränderlicher, fester Körper; solche Körper existiren nur in den Abhandlungen der rationellen Mechanik. Er wäre elastisch und würde unter der Anziehung benachbarter Himmelskörper Deformationen erleiden, ähnlich den Gezeiten und von derselben Größenordnung.

Wenn die Elasticität eine vollkommene wäre, würden diese Deformationen ohne Verlust an Arbeit und ohne Wärmeerzeugung vor sich gehen. Aber es giebt keinen vollkommen elastischen Körper. Es wird also auch da Wärmeentwicklung stattfinden, welche auf Kosten der Rotations- und Translationsenergie der Gestirne erfolgen wird und welche absolut dieselben Wirkungen hervorbringen wird, wie die durch die Reibung der Gezeiten erzeugte Wärme.

Dies ist noch nicht alles; die Erde ist magnetisch und wahrscheinlich sind es auch die anderen Planeten und die Sonne. Man kennt den Versuch mit der Foucaultschen Scheibe; eine vor einem Elektromagneten sich drehende Kupferscheibe erfährt einen großen Widerstand und erwärmt sich, sowie der Elektromagnet thätig wird. Ein in einem Magnetfelde sich bewegender Leiter wird von Inductionsströmen durchlaufen, die ihn erwärmen; die so erzeugte Wärme kann nur der lebendigen Kraft des Leiters entlehnt werden. Man kann also voraussehen, daß die elektrodynamischen Wirkungen des Elektromagneten auf die Inductionsströme sich der Bewegung des Leiters entgegenstellen müssen. So erklärt sich der Foucaultsche Versuch. Die Himmelskörper müssen einen ähnlichen Widerstand erfahren, denn sie sind magnetisch und Leiter.

Dieselbe Erscheinung wird also, obschon durch

die Entfernung sehr abgeschwächt, auftreten; aber die Wirkungen, welche stets in demselben Sinne sich erzeugen, werden schliesslich sich anhäufen; sie addiren sich übrigens denen der Gezeiten und streben, das System zu demselben Endzustande zu führen.

Somit entziehen sich die Himmelskörper jenem Carnotschen Gesetze nicht, nach welchem die Welt einem schliesslichen Ruhezustande zustrebt. Sie würden demselben nicht entchlüpfen, auch wenn sie durch ein absolutes Vacuum getrennt wären. Ihre Energie zerstreut sich, und obwohl dieser Verlust nur mit äusserster Langsamkeit vor sich geht, ist er schnell genug, dass man sich nicht zu beschäftigen braucht mit den Gliedern, die bei den jetzigen Beweisen für die Stabilität des Sonnensystems vernachlässigt worden sind.

Léon Guignard: Die Centrosomen bei den Pflanzen. (Comptes rendus. 1897, T. CXXV, p. 1148.)

Um die Verbreitung der Centrosomen (vgl. Rdsch. 1898, XIII, 158) bei den Pflanzen hat sich in neuester Zeit unter den Botanikern eine lebhaftere Controverse entsponnen. Diese Körperchen sind nebst den sie umgebenden, von E. van Beneden Attractionssphären genannten, plasmatischen Gebilden zuerst in thierischen Zellen, die in der Theilung begriffen waren, beobachtet und später in thierischen, ruhenden Zellen wiedergefunden worden. Herr Guignard war der Erste, der sie auch in Pflanzenzellen nachwies. Von hervorragender Seite ist aber neuerdings ihr allgemeines Vorkommen bestritten und behauptet worden, dass sie auf die niederen Gruppen des Pflanzenreiches beschränkt seien. Diese Ansicht hält Herr Guignard nicht für stichhaltig, und ihrer Widerlegung ist der vorliegende Aufsatz gewidmet, den wir in möglichst wortgetreuer Uebersetzung hier mittheilen:

Was die thierischen Zellen anbelangt, so stimmt man heute darin überein, das Centrosoma als den wesentlichen Theil der Attractionssphäre anzusehen. Gewöhnlich ist es ein lichtbrechendes, zuweilen äusserst kleines Körperchen. Die Sphäre selbst wird von einer Substanz gebildet, die sich in zwei Zonen sondern kann: eine klare nach der Mitte, und eine körnige nach der Peripherie hin; sie ist oft undeutlich abgegrenzt und hat eine andere Brechbarkeit, als das umgebende Protoplasma. Die Strahlung, die es umgiebt, geht im allgemeinen theils von dem Centrosoma, theils von dem centralen Gebiete der Sphäre aus und wird besonders an der Peripherie deutlich.

In den ruhenden thierischen Zellen fehlt die Sphäre häufig oder ist nur durch eine leichte Verdichtung des Protoplasmas rings um das Centrosoma angedeutet. Zuweilen löst sie sich auf, um sich vor der Theilung des Kernes wieder zu bilden. Sie wird von jener Substanz gebildet, die gewisse Autoren mit dem Namen Archoplasma oder Kinoplasma bezeichnet haben, um sie von dem Nährprotoplasma oder Trophoplasma zu unterscheiden.

Demnach bildet also das Centrosoma das Grundelement der Sphäre, da es oft das einzige ist, was bestehen bleibt. Das Centrosoma ist es auch, das am meisten Affinität zu den Farbstoffen zeigt, und wenn man zuweilen seine Anwesenheit in sonst gut ausgebildeten Sphären nicht festgestellt hat, so ist man deswegen nicht berechtigt, zu schliessen, dass es gänzlich fehlen kann.

Man hat in der ruhenden thierischen Zelle bald ein einzelnes Centrosoma, bald zwei benachbarte Centrosomen, zuweilen sogar vielfache, bei einander liegende, ein sogenanntes „Microcentrum“ bildende Centrosomen gesehen. In diesem letzteren Falle ist das typische Centrosoma durch eine Gruppe von Körperchen ersetzt, die sich übrigens wie die gewöhnlichen Centrosomen beim Beginn der Kerntheilung in zwei neue Centrosomen theilt.

Oft nehmen die sehr kleinen und im Augenblick der Kerntheilung kaum sichtbaren Centrosomen während dieser letzteren an Umfang zu, theilen sich gleichzeitig mit dem Kerne, kehren darauf in den ursprünglichen Zustand zurück und hören auf, erkennbar zu sein. Deshalb betrachten sie mehrere Autoren nicht als bleibende Organe der Zelle. Aber das ist nicht die Meinung der Mehrzahl der Zoologen, welche die Centrosomen während der Periode vollkommener Ruhe in Zellen von sehr verschiedener Natur gesehen haben. Ihr Auftreten scheint also bei den Thieren in allen Phasen des Zellebens allgemein zu sein.

Bei den Pflanzen soll es nicht ebenso sein. Die Beobachtungen von Farmer, Strasburger und seinen Schülern laufen darauf hinaus, zu zeigen, dass diese Elemente nur bei den Thalloyphyten und den niederen Moosen vorkommen; sie sollen sich in keinem Augenblick bei den anderen Pflanzen, den Gefäßkryptogamen oder den Phanerogamen finden. (Vgl. Rdsch. 1898, XIII, 257.)

Ein solcher Unterschied zwischen den Thalloyphyten und den Cormophyten einerseits, zwischen den letzteren und den Thieren andererseits, muss ziemlich überraschend erscheinen, wenn man die Analogien betrachtet, die uns der fundamentale Bau der Zelle und besonders die Erscheinungen der Kerntheilung bei der ungeheuren Mehrzahl der Thiere und Pflanzen darbieten. Die Frage kann jedoch nicht durch theoretische Ansichten entschieden werden.

Bei den niederen Pflanzen, wo die genannten Autoren die Centrosomen beschrieben haben, zeigen diese morphologische Variationen, die den bei den Thieren bekannten analog sind.

Thatsächlich hat Strasburger bei den sich entwickelnden Organen und den in der Segmentirung begriffenen Eiern von Fucus Centrosomen sehen können, die von wohl ausgebildeten Strahlungen umgeben waren. Ebenso ist es nach Swingle bei den vegetativen Zellen von Sphacelaria, mit dem Unterschiede, dass das Centrosoma, anstatt rund zu sein, die Gestalt eines Stäbchens, einer Keule, einer Hantel u. s. w. haben kann. Dieses Centrosoma