

ARISTARCHOS UND APOLLONIOS
DAS HELIOZENTRISCHE UND DAS GEOZENTRISCHE WELTSYSTEM
DES KLASSISCHEN ALTERTUMS

von

M. MILANKOVITCH, Belgrad

Ich unternehme es hier, den genetischen Zusammenhang zwischen dem heliozentrischen Weltsystem des Aristarchos und dem geozentrischen Weltsystem des Apollonios aufzudecken und zu erklären wie, warum und unter welchen Umständen das erstgenannte System, kaum erdacht und verkündet, in Vergessenheit geraten ist.

Diese für die Geschichte der astronomischen Wissenschaft hochwichtige Frage ist bisher von verschiedenen Autoren gestellt und behandelt worden, ohne eine befriedigende Antwort zu finden. Ich selbst habe mich mit derselben schon im Jahre 1931 beschäftigt im Gutenbergschen „Handbuch der Geophysik“, Band 1, Abschnitt II, „Stellung und Bewegung der Erde im Weltall“, aber meine diesbezüglichen Untersuchungen erst jetzt zu einem zufriedenstellenden Abschluss gebracht, worüber ich hier berichten möchte.

Um einen tieferen Einblick in die gestellte Frage zu gewinnen, ist es notwendig, sich in jene Zeitspanne der hohen alexandrinischen Schule zurückzusetzen, die durch die Namen des Aristarchos und des Apollonios gekennzeichnet und abgegrenzt erscheint. Darüber stehen uns folgende, zwar spärliche, aber geschichtlich genügend verbürgte Tatsachen zur Verfügung.

Aristarchos von Samos wurde, wie dies sein Name bekundet, auf derselben Insel des griechischen Archipelagos geboren, auf der auch Pythagoras das Licht der Welt erblickt hatte. Ueber das Leben des Aristarchos wissen wir noch folgendes. Diogenes Laertius berichtet, er sei ein Schüler des Straton von Lampsakos gewesen. Dieser übernahm bald nach

dem Tode Theophrastos, des Schülers und Nachfolgers des Aristoteles, die Leitung der peripatetischen Schule in Athen um das Jahr 284 v. Chr., so dass Aristarchos bald nachher ein Schüler dieser Schule gewesen sein dürfte.

Noch einige weitere Angaben über den Lebenslauf des Aristarchos stehen uns zur Verfügung. Klaudios Ptolemaios erwähnt in seinem „Handbuch der Astronomie“ eine von Aristarchos beobachtete Sommerwende aus dem Jahre 280 v. Chr. und spricht dabei von der Schule des Aristarchos. Dadurch erscheint es als gesichert, dass Aristarchos damals, als ein unlängst angekommener junger Mann, an der Schule von Alexandrien als Lehrer wirkte und den Sternhimmel beobachtete.

Noch eine Angabe über das Leben des Aristarchos ist uns erhalten geblieben durch die noch zu besprechende Anklage, die Kleanthes, der damalige Vorsteher der Stoa, gegen Aristarchos erhoben hatte. Da Kleanthes etwa 264 v. Chr. die Stoa übernahm, kann aus dem soeben angeführten geschlossen werden, dass Aristarchos zwischen 280 und 260 v. Chr. in Alexandrien lebte und lehrte. Sonst wissen wir über sein Leben nichts mehr, nicht einmal wo und wann er gestorben sei.

Von den Schriften, die Aristarchos verfasst hatte, ist uns nur eine einzige erhalten geblieben. Es ist dies seine kleine Schrift „Ueber die Grösse und Abstände von Sonne und Mond“. Sie ist der Nachwelt dadurch überliefert worden, dass sie in einer für die Studenten der alexandrinischen Hochschule bestimmten Sammlung, dem sogenannten „Kleinen Astronomen“, Aufnahme fand, welche als Einleitung zum „Handbuch der Astronomie“ des Ptolemaios bis in das Mittelalter benutzt und vielfach abgeschrieben wurde. Erstmals gedruckt im Jahre 1499, erlebte diese Schrift mehrere Ausgaben in lateinischer, englischer und in deutscher Sprache.

In dieser Schrift teilt Aristarchos folgendes mit.

Wenn uns der Mond halberleuchtet erscheint, d.h. wenn er sich, nach Aristarchos Worten, in der Dichotomie befindet, erblickt man ihn an dem Sternhimmel um 87° von der Sonne entfernt. Daraus folgt, dass die Sonne, die Erde und der Mond ein rechtwinkliges Dreieck bilden mit dem rechten Winkel an dem Monde und dem Winkel von 87° an der Erde.

Bezeichnen wir, um den weiteren Gedankengang des Aristarchos in unserer mathematischen Sprache zu verfolgen, die Entfernung der Erde von der Sonne mit D , die Entfernung des Mondes von der Erde mit d

und den an der Erde liegenden Winkel des erwähnten rechtwinkligen Dreiecks mit α , so besteht nach dem vorher gesagten die Gleichung

$$d : D = \cos \alpha .$$

Weil nun die Sonne und der Mond gleiche scheinbare Grössen haben, indem sie sich bei totalen Sonnenfinsternissen gerade überdecken, so folgt daraus, wenn man mit S den tatsächlichen Durchmesser der Sonnenkugel und jenen der Mondkugel mit L bezeichnet, die Gleichung

$$L : S = d : D .$$

Aristarchos ermittelte auch den Durchmesser des Schattenkegels der Erde an der Stelle, wo ihn der Mond bei totalen und zentralen Mondfinsternissen durchschreitet, weil die Zeitdauer dieser Durchschreitung dies ermöglicht. Aristarchos fand ihn gleich dem doppelten Wert des Monddurchmessers, d. h. gleich $2L$.

Zieht man nun in Betracht, dass der Schattenkegel der Erde, wegen der grossen Entfernung der Erde von der Sonne, ein sehr spitzer ist, so kann man den Durchmesser jenes Kreises dieses Kegels längs welchem er die Erde berührt, gleich dem Erddurchmesser T , und dort, wo er die Sonne berührt, dem Sonnendurchmessers gleich setzen. Die Entfernung dieser beiden Querschnitte des Schattenkegels ist gleich D , während der dritte Querschnitt des Schattenkegels, wo ihn der Mond durchschreitet, dessen Durchmesser Aristarchos gleich $2L$ fand, jenseits der Erde in der Entfernung d von ihr liegt.

Wenn man sich dies vergegenwärtigt und durch eine Zeichnung veranschaulicht, so folgt mit Leichtigkeit die folgende Gleichung

$$(T - 2L) : (S - T) = d : D .$$

Aristarchos hat neben dem bereits erwähnten Winkel α auch den scheinbaren Durchmesser δ der Sonne ausgemessen. Dieser ist, im Winkelmass des Kreises von 360° Umfang, durch den Ausdruck gegeben

$$\delta = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{S}{D} .$$

Aus den vorstehenden vier Gleichungen, in denen α und δ durch direkte Messung ermittelt worden sind, können die Grössen D , d , S , L durch den Erddurchmesser ausgedrückt und berechnet werden.

Auf diese Weise hat Aristarchos eine geometrisch einwandfreie Methode ersonnen, sowohl die Entfernungen der Sonne und des Mondes, als auch die Grössen dieser Himmelskörper mit dem Erddurchmesser auszumessen.

Bei der praktischen Anwendung dieser Methode stiess Aristarchos auf grosse Schwierigkeiten. Der Zeitpunkt, zu welchem der Mond halberleuchtet erscheint, konnte mit den damaligen Mitteln nicht mit Genauigkeit festgestellt werden. Dies gilt auch für die Messung des Winkels α . Aristarchos fand ihn gleich 87° , statt $89^\circ 51'$. Auch seine Ausmessung des scheinbaren Durchmessers δ der Sonne war nur eine ungefähre; er fand ihn gleich 2° , statt $32'$, um aber später, wie Archimedes berichtet, fast den richtigen Wert von $30'$ zu erhalten. Bei der Ausmessung des vom Monde durchschrittenen Querschnittes des Schattenkegels irrte sich Aristarchos um rund ein Viertel des wahren Wertes.

Aber selbst diese wenig genauen Messungsergebnisse lieferten Ungeahntes. Sie bezeugten, dass die Entfernung der Sonne von der Erde 1550-mal den Erddurchmesser übertrifft, der Durchmesser der Sonnenkugel $6\frac{4}{5}$ mal, so dass der Rauminhalt der Sonnenkugel 312 Erdkugeln fassen könnte.

Diese Messungsergebnisse, die er, wie bereits gesagt, später verbessern konnte, sind an und für sich, nicht als die grosse Leistung Aristarchos zu bewerten, sondern seine geometrische Methode, die Himmelsräume auszumessen. Wie prinzipiell richtig diese Methode ist, beweist die folgende Tatsache. Im Jahre 1650 ermittelte Wendelin auf Majorka nach der Aristarchschen Methode, aber mit Benutzung des Fernrohrs, für die Sonnenparallaxe den Wert von $14''$, welcher mit dieser Genauigkeit alle vorhergehenden Ermittlungen der Sonnenparallaxe weit übertraff.

Bei weitem bedeutsamer als die Zahlenergebnisse der Messungen Aristarchos war der daraus gezogene Schluss über die Bewegungen der Himmelskörper: „Nicht die grosse Sonne umkreise die kleine Erde, sondern die Erde die Sonne“.

Aristarchos überprüfte kritisch einen solchen Sachverhalt und stellte fest, dass sich bei dieser seinen Annahme die Erscheinungen geradeso abspielen, wie wir sie in Wirklichkeit beobachten.

Von der Schrift, in der Aristarchos sein heliozentrisches Weltsystem begründet und erläutert hat, ist uns nicht einmal der Titel überliefert worden, sondern nur zwei kurze, aber doch genügende Zeugenaussagen aufbewahrt geblieben, die hier wiedergegeben werden mögen.

Die eine derselben rührt von Plutarchos her. In seiner Schrift „De facie in orbe lunae“ befindet sich folgende Stelle:

„Hänge uns nur keinen Prozess wegen Unglaubens an den Hals, Teuerster, wie es einst Kleanthes wollte, als er ganz Griechenland aufforderte, den Samier Aristarchos als Religionsverächter anzuklagen, da er das heilige Weltzentrum verschiebe, indem er, um die Himmelserscheinungen richtig zu stellen, den Fixsternhimmel feststehen liess, dagegen die Erde sich auf einem geneigten (gegen den Aequator) Kreise bewegen und gleichzeitig um ihre Achse drehen liess“.

Die zweite Aussage über die Lehre des Aristarchos rührt von Archimedes her. In seiner „Sandesrechnung“ ist folgendes zu lesen:

„Du weisst, dass die Welt von den meisten Astrologen eine Kugel genannt wird, deren Mittelpunkt im Zentrum der Erde liegt und deren Radius gleich dem Abstand des Sonnenmittelpunktes ist. Das ist die gewöhnliche Lehre, wie du es aus den Astrologen weisst. Aber Aristarchos, der Samier, hat einige Hypothesen (Propositionen) herausgegeben in welchen aus den Voraussetzungen abgeleitet wird, dass die Welt viel grösser sei, als wir oben annahmen. Denn er nimmt an, dass alle Fixsterne und die Sonne feststehen, die Erde aber in einem Kreise herumgehe mit der Sonne als Mittelpunkt, und dass die Fixsternsphäre um denselben Mittelpunkt, nämlich die Sonne, liege und so gross sei, dass der von Erde beschriebene Kreis dazu das gleiche Verhältnis habe wie der Mittelpunkt einer Kugel zur Oberfläche“.

Aus dem vorstehenden folgt unzweideutig, dass Aristarchos folgendes gelehrt hat:

1. Die Fixsternsphäre ist unbeweglich, ihr Mittelpunkt liegt im Zentrum der Sonne.
2. Die Erde bewegt sich um die Sonne auf einer Kreisbahn, deren Mittelpunkt ebenfalls im Zentrum der Sonne liegt.
3. Die Erde dreht sich um ihre Achse.
4. Diese Achse ist geneigt gegen die Ebene der Erdbahn.
5. Der Halbmesser der Fixsternsphäre ist unendlich gross im Vergleich zum Halbmesser der Erdbahn.

In der vorstehenden Zeugenaussagen wird nicht über die Bewegungen der Planeten gesprochen, es steht aber ausser Zweifel, dass Aristarchos, nachdem er die Sonne in den Mittelpunkt der Fixsternsphäre gestellt hat, auch die Planeten um diesen Mittelpunkt auf Kreisbahnen sich bewegen

liess, um so mehr als bereits Herakleides Pontikos dies hinsichtlich des Merkurs und der Venus vorausgesetzt hat.

Die Unbeweglichkeit der Fixsternsphäre haben bereits die Pythagoreer Hiketas von Syrakus und Ekphantos gelehrt und ihre scheinbare Drehung durch die Eigendrehung der Erde um ihre Achse erklärt.

Aus dem soeben angeführten ist noch folgendes zu entnehmen.

Aristoteles hat, wie bekannt gegen die Bewegung der Erde im Welt- raume als Argument vorgebracht, dass man in einem solchen Falle die Fixsterne im Laufe der Jahreszeiten in verschiedener Stellung zueinander sehen müsste, was nicht der Fall war.

Aristarchos, der, wie wir gesehen haben, ein Schüler der peripatetischen Schule in Athen gewesen ist, hat dieses Argument des Stagiriten wohl gekannt und widerlegt durch den oben angeführten Lehrsatz, dass im Vergleich zu den Dimensionen der Fixsternsphäre die Erdbahn uns wie ein Punkt erscheint.

Mit diesen Worten hat Aristarchos die kaum erfassbare Grösse des Weltalls erkannt und verkündet. Die Entfernung der Fixsterne ist tatsächlich von solcher Grösse, dass es der beobachtenden Astronomie, trotz der Vollkommenheit ihrer Instrumente, erst im Jahre 1837 gelang, den Einfluss der Bewegung der Erde um die Sonne auf die gegenseitige Lage der Fixsterne festzustellen. Dies geschah 21 Jahrhunderte nachdem Aristarchos diese unermessliche Grösse des Weltalls mit seinem kosmischen Geiste erkannt und verkündet hatte.

Die Aristarchsche heliozentrische Lehre vom Weltgebäude geriet aber bald in Vergessenheit, um erst durch Kopernikus wieder erweckt und begründet zu werden.

Man weiss, wie bereits gesagt, nichts bestimmtes wann und wie Aristarchos den Schauplatz seiner Tätigkeit in Alexandrien verlassen hat. Aus der hier mitgeteilten Stelle des „Handbuches der Astronomie“ des Ptolemaios wissen wir, dass er dort seine Schule gegründet und Schüler gehabt hat. Es unterliegt keinem Zweifel, dass diese Schüler seine Lehre angenommen und vertreten haben. Darüber bestehen auch einige Angaben bei Stobaios, Sextus und bei einem anonymen Kommentator des Aristoteles. Andererseits ist ebenso gewiss, dass sich im alexandrinischen Museion auch Gegner des heliozentrischen Weltsystems befanden. So kam es zwischen diesen beiden Gruppen von Gelehrten zu heftigen Auseinandersetzungen. Es ist wahrscheinlich, dass dabei die Gegner der Aristarchschen Lehre, aufgestachelt durch die hier bereits erwähnte Anklage des Kleanthes, vorerst

die Uebermacht hatten, indem sie sich auch auf die Argumente des Aristoteles gegen die Bewegung der Erde berufen konnten. Aber da änderte sich dieses Uebergewicht zu Gunsten der Anhänger der Aristarchschen Lehre durch ein Ereignis, das mir besonders beachtenswert erscheint.

Zu jener Zeit lebte in Syrakus der grösste Geometer jener Epoche Archimedes. Er hatte die Gewohnheit seine Schriften an alexandrinische Gelehrten zu senden und zu widmen. So geschah es auch mit seiner „Sandesrechnung“, über die hier bereits einiges berichtet worden ist. In dieser Schrift spricht Archimedes ausführlicher über das Aristarchsche Weltsystem und wählt es zum Ausgangspunkt seiner eigenen Betrachtungen. Er erwähnt dabei auch die Verbesserungen, die derselbe an seiner ursprünglichen, hier besprochenen Abhandlung vorgenommen hatte und die wahrscheinlich in seinem verlorengegangenen Hauptwerk enthalten waren. Weil Archimedes in seiner Schrift auch auf die Erdmessung des Eratosthenes hinweist, kann daraus geschlossen werden, dass seine „Sandesrechnung“ nach dem Jahre 240 v. Chr. und vor dem Tode des Archimedes, also vor dem Jahre 212 v. Chr., ja sogar vor dem Ausbruche des zweiten punischen Krieges, d. h. vor dem Jahre 218 v. Chr., in Alexandrien angelangt war. Während der hier angegebenen Zeitspanne kam es in Alexandrien zu einer Neubelebung des Aristarchschen Weltsystems. Fragen wir nun welche Folgen dies gehabt hat.

Zur Zeit dieser Neubelebung der Aristarchschen Lehre kam nach Alexandrien ein Jüngling, Apollonios von Perge. Duhem setzt seine Geburt in das Jahr 244 v. Chr. In Alexandrien hat er bei den Schülern von Euklid Unterricht genossen und einer der grössten Gelehrten der alexandrinischen Schule geworden. Dort hat er seine „Elemente der Kegelschnitte“ verfasst, ein grossartiges Werk und bedeutende Erweiterung der Euklidischen Geometrie. In diesem Werke hat er die, noch jetzt üblichen Namen, der Ellipse, der Hyperbel und der Parabel in die Geometrie eingeführt.

In Alexandrien ist Apollonios auch mit der Aristarchschen Lehre bekannt geworden und hat darüber nachdenken müssen. Dabei blitzte in seinem Kopfe folgender Gedanke auf: Wie verlaufen die Bewegungen der Planeten, wenn man sie von der Erde beobachtet, die nach Aristarchos ebenfalls um die Sonne kreist?

Apollonios war in der Lage diese Frage zu beantworten, hat er doch noch schwierigere Probleme mit Erfolg gelöst.

Ich will es hier unternehmen, den diesbezüglichen Gedankengang des Apollonios zu verfolgen, wobei ich mich nur jener geometrischen Mittel bedienen will, die ihm zu Verfügung standen.

Es stelle uns also in der beiliegenden Figur 1 S die Sonne und T die Erde dar, welche letztere im Sinne der Aristarchschen heliozentrischen Lehre um die Sonne im Kreise mit dem Radius ST herumwandelt. Es stelle P einen Planeten, etwa die Venus, dar, von der bereits Herakleides Pontikos behauptete, dass sie um die Sonne einen Kreis, in unserem Falle jenen mit dem Radius SP beschreibe. Zwecks leichterem Verständnis der nachstehenden Betrachtungen soll vorausgesetzt werden, dass beide Planetenbahnen in derselben Ebene liegen, die wir zur Bildebene wählen. Als Anfangslagen der drei in Betracht gezogenen Himmelskörper wählen wir jene, in welcher, wie aus der Figur 1 ersichtlich, diese Himmelskörper in derselben Geraden liegen.

Verfolgen wir nun den Umlauf der Erde und des Planeten um die Sonne. Die Umlaufsrichtungen ihrer Bewegung sind in der Figur durch Pfeile angedeutet. Die Dauer eines vollen Umlaufs des in Betracht gezogenen Planeten um die Sonne und in Bezug auf den Fixsternhimmel wird nach unserem heliozentrischen Standpunkt die siderische genannt. Bezeich-

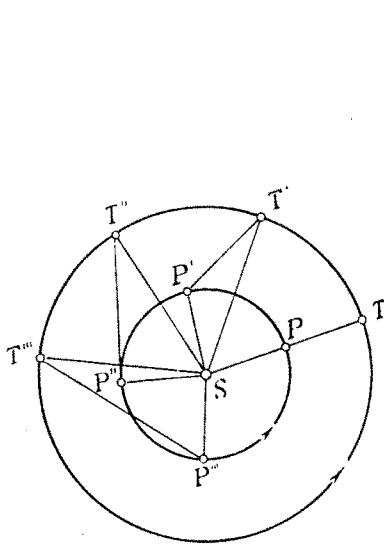


Fig. 1

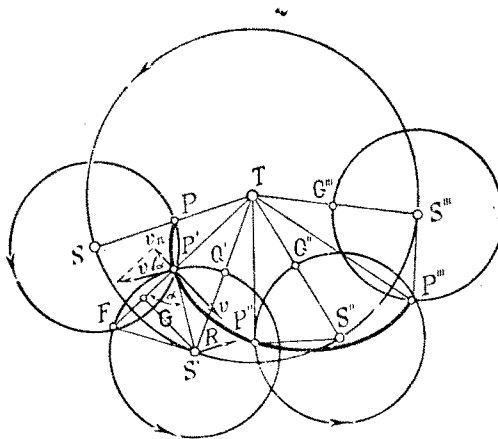


Fig. 2

nen wir die siderische Umlaufszeit der Erde um die Sonne, das sogenannte siderische Jahr, mit T_0 und jene des Planeten mit T . Die Zeitdauer, während welcher der Planet bei seinem Umlauf um die Sonne in dieselbe Lage zur Erde gelangt, also in dem hier in Betracht gezogenen inneren Planet, von seiner unteren Konjunktion wieder eine solche er-

reicht, wird die synodische Umlaufszeit des Planeten genannt. Wir wollen diese Zeitspanne mit T_s bezeichnen, Diese synodische Umlaufszeit des Planeten ist seiner siderischen nicht gleich. Wir werden sie in dem hier in Betracht gezogenen Falle wie folgt ermitteln. Die in Bogenmass und mit der Länge des Tages gemessenen Geschwindigkeiten, d. h. die täglichen Bewegungen um die Sonne der Erde bzw. des Planeten sind durch die Ausdrücke gegeben:

$$\omega_0 = \frac{360^\circ}{T_0}, \quad \omega = \frac{360^\circ}{T}.$$

Der in Betracht gezogene Planet bewegt sich schneller als die Erde und zwar um den Betrag $(\omega - \omega_0)$, um während der Dauer seiner synodischen Umlaufszeit T_s den Betrag von 360° zu erreichen. Daraus folgt

$$(\omega - \omega_0) T_s = 360^\circ.$$

Die Grösse

$$\omega_s = \frac{360^\circ}{T_s}$$

wird die synodische Umlaufgeschwindigkeit des Planeten genannt. Aus den vorstehenden Gleichungen folgt noch

$$\frac{360^\circ}{T} - \frac{360^\circ}{T_0} = \frac{360^\circ}{T_s}, \quad \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} = \frac{1}{T_s}, \quad \omega_s = \omega - \omega_0.$$

Kehren wir nun zu unserer Figur 1 zurück! Nach n Tagen wird die Erde aus ihrer hier gewählten Anfangslage T in die Lage T' gelangen, wobei der Winkel $\angle TST'$ gleich $n\omega_0$ ist. Nach weiteren n Tagen gelangt die Erde in die Lage T'' , wobei $\angle T'ST''$ ebenfalls gleich $n\omega_0$ ist. Nach weiteren n Tagen gelangt die Erde in die Lage T''' u. s. w. Der Planet bewegt sich schneller um die Sonne und gelangt nach n Tagen aus seiner Anfangslage in die Lage P' . Nach weiteren n Tagen in die Lage P'' u. s. w.

Fragen wir nun: wie erscheinen diese Bewegungen der in Betracht gezogenen Himmelskörper, wenn man sie von der um die Sonne bewegten Erde betrachtet?

Zur Beantwortung dieser Frage zeichnen wir die Figur 2, in der wir uns in dem Punkt T die Erde als unbeweglich denken, und ermitteln dann die aufeinander folgenden Lagen der Sonne bzw. des Planeten in Bezug auf die Erde.

In der angenommenen Anfangslage befindet sich die Sonne relativ zur Erde im Punkte S der Figur 2, der Planet dagegen im Punkte P . Nach weiteren n Tagen erhalten wir die gegenseitigen Lagen der drei Himmelskörper wenn wir in der Figur 2 das Dreieck $TP'S'$ zeichnen, kongruent und parallel dem Dreieck $T'P'S$ der Figur 1. Nach weiteren n Tagen erhalten wir die Lage des Planeten und jene der Sonne relativ zur Erde, wenn wir in der Figur 2 das Dreieck $TP''S''$ zeichnen, kongruent und parallel dem Dreieck $T''P''S$ der Figur 1. Auf diese Weise können wir Schritt für Schritt die Bewegungen der Sonne und jene des Planeten in Bezug auf die Erde verfolgen.

Aus dem soeben gesagten folgt, dass sich die Sonne um die Erde auf der Peripherie des durch die Figur 2 veranschaulichten Kreises $SS'S''S'''$ bewegt mit der Winkelgeschwindigkeit ω_0 und ihren vollen Umlauf während der Zeit T_0 , d. h. während eines siderischen Jahres vollführt, so wie es die Anhänger des geozentrischen Weltsystems auch geglaubt haben.

Die Bewegung des Planeten in Bezug auf die Erde ist, wie aus der Figur 2 ersichtlich, eine zusammengesetzte aus zwei gleichzeitigen Bewegungen: Auf der Peripherie des Kreises $S S' S'' S'''$, der von den Alexandrinern der Deferent genannt wurde, wandert mit der täglichen Winkelgeschwindigkeit ω_0 der Mittelpunkt eines Kreises, Epizykel genannt, dessen Halbmesser gleich ist der Entfernung des Planeten von der Sonne. Dieser Kreis, selbst bewegt, trägt auf seiner Peripherie den Planeten. Nach n Tagen von der hier gewählten Anfangslagen der drei Himmelskörper hat sich der Planet aus seiner in der Figur 2 durch P dargestellten Lage in die Lage P' verschoben. Zieht man in dieser Figur die Gerade $S'R$ parallel zu SP , so sieht man, dass seine Verschiebung in Bezug auf den Fixsternhimmel durch den Winkel $R S' P'$ gemessen wird. Weil aber dieser Winkel dem Winkel $P T S'$ derselben Figur und dem Winkel $P S P'$ der Figur 1 gleich ist, dieser aber durch $n\omega$ ausgemessen ist, so folgt, dass sich der Planet auf der Peripherie des Epizykels mit der täglichen Geschwindigkeit ω bewegt.

Als Folge der zwei soeben geschilderten Bewegungen: des Mittelpunktes des Epizykels längs der Peripherie des Deferenten und der Bewegung des durch den Epizykel tragenden Planeten, beschreibt dieser eine verschlungene epizyklische Kurve, von der der Teil $P P' P'' P'''$ in der Figur 2 eingezeichnet erscheint.

Fragen wir nun, wie verlaufen diese im Weltraum vor sich gehenden Bewegungen des Planeten, wenn man sie von der Erde aus verfolgt.

In seiner, in der Figur 2 durch P veranschaulichten Lage befand sich der Planet in der Verbindungslinie TS der Erde mit dem Mittelpunkt S des Epizykels. In der nachfolgenden, durch P' veranschaulichten Lage, hat er sich aus dieser Linie aus der Lage Q' in die Lage P' verschoben. Dem Kreisbogen $Q'P'$ des Epizykels entspricht der Winkel $Q'S'P'$ der Figur 2, und dieser Winkel ist gleich dem Winkel $T'SP'$ der Figur 1. Nun ist, wie aus dieser Figur ersichtlich,

$$\sphericalangle T'SP' = \sphericalangle P'SP' - \sphericalangle TST'.$$

Nach dem hier gesagten ist also der Kreibogen $Q'P'$ des Epizykels, in Bogenmass gemessen, gleich

$$n\omega - n\omega_0 = n\omega_s.$$

Der Planet bewegt sich also, von der Erde betrachtet, auf dem Epizykel mit der Winkelgeschwindigkeit ω_s und vollendet seinen von der Erde gesehenen Umlauf während seiner synodischen Umlaufszeit, wie dies übrigens aus dem hier über die synodische Bewegung des Planeten gesagten zwanglos folgt.

Beantworten wir nun die folgende Frage: In welcher Stellung und von der Erde betrachtet, gelangt der Planet zum momentanen Stillstand um die Richtung seiner Bewegung zu ändern, also bei seinem normalen Vorschreiten rückläufig zu werden, oder umgekehrt. Dies wird offenbar dann der Fall sein, wenn seine beiden komponentalen Geschwindigkeiten senkrecht zum Radiusvektor, der den Planet mit der Erde verbindet, einander gleich, aber entgegengesetzt gerichtet sind.

Um dies zu erklären, kehren wir zur Figur 2 zurück! Ziehen wir einem beliebigen Punkt P' der epizyklischen Bahnkurve in Betracht! Infolge der Bewegung des Epizykels längs des Deferenten hat der Planet in der Lage P' eine Geschwindigkeit $v_0 = \omega_0 \overline{TP'}$, während seine Geschwindigkeit senkrecht zu Radius SP' infolge seiner Bewegung auf dem Epizykel, nach dem soeben gesagten, gleich ist $v = \omega_s \overline{S'P'}$. Von den Erde aus betrachtet, kommt von dieser Geschwindigkeit nur ihre zum Radiusvektor TP' normale Komponente in Betracht, die wir in der Figur 2 mit v_n bezeichnet haben. Bezeichnen wir mit α den Winkel, den die Geschwindigkeiten v_n und v untereinander einschliessen, so ist

$$v_n = v \cos \alpha = \omega_s \overline{S'P'} \cos \alpha,$$

und da v_0 und v_n einander gleich sein müssen und den entgegengesetzte Richtungen haben sollen, so folgt daraus

$$\omega_0 \overline{TP'} = \omega_s \overline{S'P'} \cos \alpha.$$

Verlängert man die Leitlinie TP' bis zu ihrem zweiten Schnittpunkt F mit dem Epizykel, so ist, da $\angle S'P'F$ ebenfalls gleich α ist, die Strecke $\overline{S'P'} \cos \alpha$ gleich der Hälfte $P'G$ der Sehne PF . Es ist also

$$\omega_0 \overline{TP'} = \omega_s \overline{P'G},$$

oder

$$\overline{P'G} : \overline{TP'} = \omega_0 : \omega_s.$$

Kehren wir nun zu Apollonios zurück! Die Schrift, in der er seine Theorie der Epizyklen entwickelt und mitgeteilt hat ist uns leider nicht erhalten geblieben, aber das erste Kapitel des zwölften Buches des „Handbuches der Astronomie“ des Claudius Ptolemäus, das ich in der Uebersetzung von Manitius benütze, trägt den Titel „Vorbemerkungen zur Rückläufigkeit“ und beginnt mit einem von Apollonios von Perge herrührenden Lehrsatz, den ich im Wortlaut wiedergebe, wobei ich nur die im „Handbuch“ angewendeten Bezeichnungen durch jene der Figur 2 ersetze:

„Wenn von unserem Auge eine Gerade TF gezogen wird, die den Epizykel so schneidet, dass die Hälfte $P'G$ ihres innerhalb des Epizykels liegenden Teiles sich zur Geraden TP' von unserem Auge bis zu dem am Perigäum des Epizykels liegendem Schnittpunkt P' verhält wie die Geschwindigkeit des Epizykels zu der Geschwindigkeit des Planeten, so bezeichnet der von der also gezogenen Geraden auf dem erdnahen Bogen des Epizykels erzeugte Punkt P' die Grenze zwischen Rechtläufigkeit und Rückläufigkeit, d. h. der Planet wird, in diesem Punkt angelangt, den den Eindruck eines scheinbaren Stillstandes machen“.

Hier ist unter Geschwindigkeit des Planeten offenbar die synodische zu verstehen, weil nur diese durch direkte Beobachtung ermittelt werden kann, aus der Zeitspanne zwischen zwei aufeinander folgenden unteren Konjunktionen des Planeten mit der Sonne.

Die hier mitgeteilte Apollonische Regel ist also identisch mit dem hier abgeleiteten und durch die vorstehende Gleichung ausgedrückten Theorem.

Dieses Theorem und auch alle Eigenschaften der Apollonischen Epizyklen ergaben sich ohne irgend welche Schwierigkeit sobald man nur

die Frage stellte. Wie verlaufen die Bewegungen der Planeten, wenn man sie von der Erde beobachtet, die nach der Lehre von Aristarchos, ebenso wie die Planeten, um die Sonne kreist?

Aus dem hier mitgeteilten folgt die naheliegende, ja zwingende Annahme, dass das Aristarchsche heliozentrische Weltsystem zur Grundlage und zur Arbeitshypothese der von Apollonios geschaffenen Theorie der Epizyklen gedient hat.

Die Schrift, in der Apollonios seine Epizyklentheorie mitgeteilt hat, ist uns, wie gesagt, nicht erhalten geblieben. Wir wissen also nicht, ob Apollonios ein Anhänger der Aristarchschen heliozentrischen Lehre gewesen ist. Manche Geschichtsschreiber meinen, dass er es war, weil ihn Hippolytos in einem Zuge mit Aristarchos nennt. Aber dieser Schluss ist nicht zwingend. Hätte sich Apollonios als ein Anhänger der Aristarchschen heliozentrischen Lehre bekannt, wäre diese Lehre nicht in Vergessenheit geraten. Wahrscheinlicher ist es, dass er aus Eitelkeit verschwiegen hat, die Aristarchsche Lehre sei die Arbeitshypothese gewesen, die ihm zur Schaffung seiner Epizyklentheorie gedient hat.

Es war wohl ein Missgeschick, dass Apollonios, bald nach der Schaffung seiner Theorie der Epizyklen, Alexandrien verliess, um in Pergamon, befreundet mit dessen König Attalos, seine Tage zu beenden.

Mit seinen Epizyklen hat Apollonios ein ausgezeichnetes Werkzeug geschmiedet, mit dem man die Bewegungen der Himmelskörper, wie wir sie von unserer Erde beobachten, Schritt für Schritt geometrisch veranschaulichen kann.

Die späteren grossen Astronomen des Altertums, und namentlich Klaudios Ptolemaios, von der Unbeweglichkeit der Erde fest überzeugt, haben von der Epizyklentheorie des Apollonios ausgiebigen Gebrauch machen können. Und zwar mit Recht!. Nach unseren heutigen, durch die Theorie der Relativität geschaffenen Anschauungen, kann man nur von relativen Bewegungen sprechen. Mit demselben Rechte mit dem man über die Bewegung der Erde und der Planeten um die Sonne reden kann, darf man auch über die Bewegung der Sonne und Planeten um die Erde sprechen. So sind das heliozentrische und das geozentrische Weltsystem prinzipiell gleichberechtigt. Zwischen ihnen besteht aber ein grosser praktischer Unterschied: Die Bewegungen der Planeten um die Sonne sind viel einfacher als epizyklische Bewegungen derselben um die Erde. Und diese Einfachheit hatte zur Folge, dass es, nachdem Kopernikus den Knäuel der Epizyklen entwirrt hatte, dem genialen Kepler gelang, seine Gesetze über die Bewegungen der Planeten zu finden und zu verkünden. Und

auf diese Gesetze sich stützend, hat Newton sein weltumfassendes Gravitationsgesetz entdeckt.

Ptolemaios hat in seinem „Handbuch der Astronomie“ von der Theorie der Epizyklen, wie sie Apollonios erdacht hat, ausgiebigen Gebrauch gemacht und dieses geometrische Werkzeug weiter ausgebildet, um die Bewegungen der Planeten, wie wir sie von der Erde beobachten, möglichst getreu wiedergeben zu können. Um die Bewegungen der Planeten in Breite darzustellen, gab er ihren Bahnebenen entsprechende Neigungen gegen die Ebene der Ekliptik. Bei den äusseren Planeten, bei denen der Halbmesser des Epizykels grösser ist als der Halbmesser des Deferenten, vertauschte er, ohne dadurch den Schlusseffekt zu ändern, diese beiden Kreise miteinander. Alle diese Kunstgriffe, die Bewegungen der Planeten möglichst genau darzustellen, verdeckten den Werdegang der Epizyklen-theorie. Aus der heliozentrischen Lehre des Aristarchos entstanden, hat die Epizyklen-theorie, als sie gross geworden, ihre eigene Mutter verneint und abgestossen.

(Eingegangen am 25. Juli 1956)