

Eine ganz entsprechend gebaute Näherungsformel ergibt sich, wenn man einen Punkt P_1 , Abb. 7, auf einem Kreise um M_1 mit gleichförmiger Geschwindigkeit wandern läßt. Der Radiusvektor, auf einen exzentrisch gelegenen Punkt S_1 bezogen, liefert die Winkelwerte φ abhängig von der Zeit t angenähert nach der Formel

$$2\pi \frac{t}{T} = \varphi - \varepsilon_1 \sin \varphi.$$

Dabei bedeutet ε_1 das Verhältnis der Strecken $M_1 S_1$ zu $M_1 A_1$.

Dieser Vorgang läßt sich mechanisch sehr leicht verwirklichen. Man erhält dadurch angenähert die Bewegung des Radiusvektor der elliptischen Bahn, wenn, wie der Vergleich beider Formeln zeigt, $\varepsilon_1 = 2\varepsilon$ gewählt wird. Die

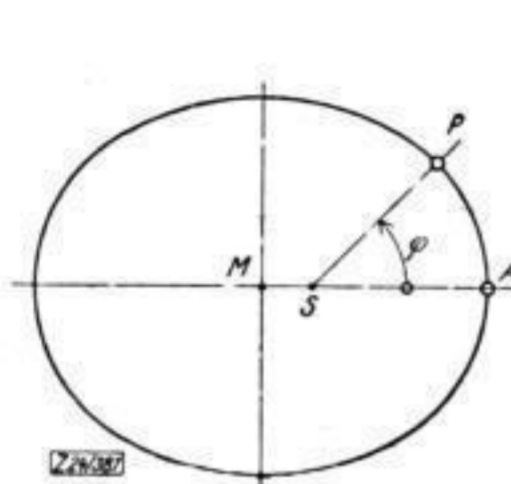


Abb. 6. Planetenbahn.

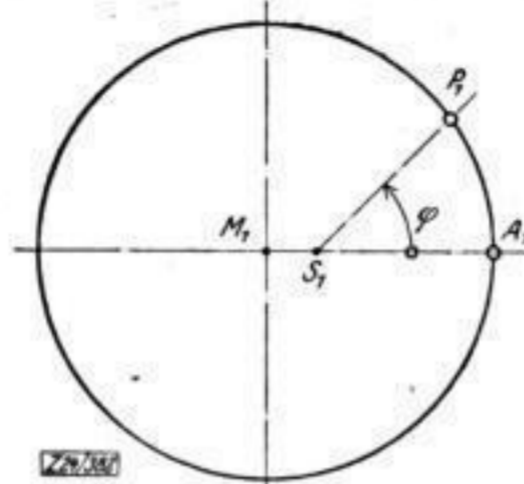


Abb. 7. Angenäherte Darstellung der Planetenbahn.

Bahn des Planeten selbst kann, wie schon gesagt wurde, mit guter Annäherung durch einen Kreis dargestellt werden. Nur muß der Ort der Sonne der numerischen Exzentrizität der eigentlichen, elliptischen Bahn entsprechend liegen. Diese Kreisbahn wird durch eine Kurbel dargestellt. Der Kurbelzapfen, der den Planeten selbst verkörpert, erhält seinen Bewegungsantrieb durch den Kurbelarm $S_1 P_1$ der Abb. 7. Damit ergibt sich der in Abb. 8 schematisch dargestellte Mechanismus. Der Zapfen p am Ende der Kurbel h_1 verkörpert den Planeten. Die Bewegung erfolgt durch einen

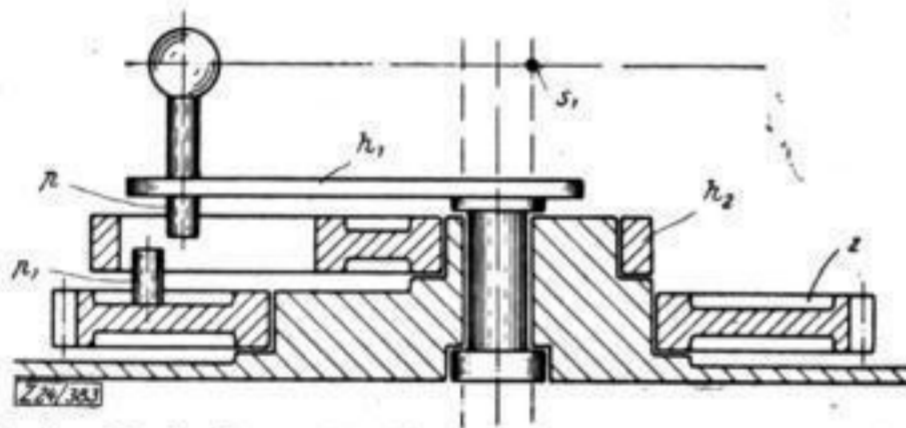


Abb. 8. Mechanismus für die Darstellung einer Planetenbahn.

geschlitzten Hebel h_2 , der seinerseits durch einen Zapfen p_1 vom Rade z mitgenommen wird. Dieses Rad z wird durch Vermittlung von Zahnrädern von einer Achse aus gleichförmig bewegt, die außerhalb der Blechscheiben a und b in Abb. 5 an den Planetengetrieben entlang läuft. Der Hebel h_2 verkörpert den Radiusvektor $S_1 P_1$ in Abb. 7. Der Schnittpunkt S_1 seiner Achse mit der Fläche des von der Planetenkugel am Hebelarm h_1 beschriebenen Kreises stellt den Standort der Sonne dar. Die Drehzapfen der drei Körper h_1 , h_2 und z in Abb. 8 müssen nach den vorhin entwickelten Grundsätzen exzentrisch zueinander liegen.

Trotz der Benutzung dieses Getriebes bleiben bei der Bewegung des Merkur wegen seiner großen Exzentrizität von 0,2 noch beträchtliche Fehler übrig. Die Restfehler in der Bahn, als Winkelfehler φ des Radiusvektor dargestellt, Abb. 6, betragen $-3,9^\circ$ bis $+3,9^\circ$. Daraus ergeben sich im ungünstigsten Fall (Erdnähe des Merkur) an der Pro-

jektionsfläche Fehler bis zu etwa 6° . Hätte man an Stelle des berichtigen Getriebes eine einfache exzentrische Kreisbahn mit gleichförmiger Bahngeschwindigkeit ausgeführt, so wären Fehler von angenähert $\pm 19^\circ$ an der Projektionsfläche herausgekommen. Bei den andern Planeten sind die Lagefehler infolge der kleineren Exzentrizitäten viel geringer. Beim Mars, der nach dem Merkur die größte Exzentrizität aufweist, betragen sie nur noch etwas über $1/5$ der Werte beim Merkur.

Die Orientierung der einzelnen Planetenapparate sowie der Mondbahn mußte naturgemäß nach der Lage der Erdbahn (Ekliptik) erfolgen, die gegen den Fixsternhimmel als unveränderlich angesehen werden kann. Damit ergab sich der Aufbau dieser Apparate um eine Achse herum, die die Ekliptikachse verkörpert und die zu der Fixsternkugel fest ausgerichtet werden konnte, Abb. 2. Die Ekliptikachse bildet mit der Polachse einen gleichbleibenden Winkel von rund $23,5^\circ$. Die geringen zeitlichen Aenderungen dieses Winkels durch langsame Abnahme der Schiefe der Ekliptik und den periodisch verlaufenden Einfluß der Nutation konnten ohne merklichen Fehler vernachlässigt werden. Dagegen erschien es wünschenswert, den Einfluß der Präzession zu berücksichtigen. Diese entsteht dadurch, daß die Erdachse gegenüber dem ruhend gedachten Fixsternhimmel um die Ekliptikachse langsam herumwandert, so daß sie einen Kegelmantel beschreibt, und zwar kommt ein voller Umlauf in rund 26000 Jahren zustande. Die Wirkung der Präzession ließ sich am Planetarium dadurch leicht genau darstellen, daß die ganze Anordnung der Lichtbildwerfer, die Fixsternkugel mit den daran hängenden Getrieben für Sonne, Mond und Planeten eine zusätzliche Drehung um die Ekliptikachse a in Abb. 2 erhielt.

Nach dem Schema der Abb. 5 wurde jeder Planet für sich zwischen zwei runde Blechscheiben eingebaut, und zum Schluß wurden diese Getriebe durch Zusammenschrauben der Blechscheiben zu dem aus Abb. 2 ersichtlichen trommelartigen Aufbau verbunden.

Dicht unter der Lagerstelle der Ekliptikachse a ist zunächst der Lichtbildwerfer für die Sonne untergebracht, dessen Steuerung sehr einfach war, weil die Sonne durch einen feststehenden zentralen Zapfen verkörpert werden konnte und nur die Erde beweglich dargestellt zu werden brauchte.

Im nächsten Feld ist der Mond untergebracht. Hierbei konnte die Erde durch einen feststehenden zentralen Zapfen dargestellt werden. Die Bewegung der Mondkugel bot aber neue Verwicklungen. Im Gegensatz zu den Planeten, bei denen die Lage ihrer elliptischen Bahn im Raum gegenüber dem ruhend gedachten Fixsternhimmel ohne erheblichen Fehler als unveränderlich dargestellt werden konnte, erfährt die Mondbahn ziemlich schnelle Aenderungen. Die Mondbahnebene ist gegen die Ekliptik um etwas mehr als 5° geneigt, was durch Schrägstellen des Mittelzapfens für die Mondbahn wie beim Merkur in Abb. 5 leicht berücksichtigt werden konnte. Zu vernachlässigen sind die kleinen Aenderungen des Neigungswinkels der Mondbahn, zumal sie periodisch verlaufen. Nun ändert sich aber die Richtung der Schnittlinie, die die Mondbahnebene mit der Ekliptik bildet, und zwar so schnell, daß sie schon in 18,6 Jahren eine volle Kreisdrehung erfährt. Diese Veränderung ist beim Mondgetriebe dadurch berücksichtigt worden, daß der schräge Mittelzapfen der Mondbahn eine entsprechende zusätzliche Drehung um die Ekliptikachse erhielt. Weiterhin hat die Mondbahn die unangenehme Eigenschaft, daß auch die Richtung ihrer großen Achse in jedem Jahr um etwa 40° herumwandert. Hätte man auch noch diese Veränderung mechanisch dargestellt, so wären, abgesehen von dem verwickelteren Aufbau, erhebliche Schwierigkeiten für den Zahnräderantrieb entstanden. Deshalb wurde die elliptische Form