

Es sei die Entfernung des Sternes S im mittleren Achsenäquator vom Pol Q_0 des Instrumentenvertikales gleich

$$SQ_0 = 90^\circ + \Delta i$$

und z die Instrumentalzenitdistanz des Sternes, das heißt sein Abstand vom höchsten Punkt des mittleren Achsenäquators; dann ist

$$\sin \Delta i = \sin i \cos z. \quad (9a)$$

Der Unterschied zwischen dem Stundenwinkel t_0 des Sternes, wenn er sich im Instrumentenvertikal befindet, und dem Stundenwinkel t des Sternes im Achsenäquator folgt dann aus den beiden Beziehungen:

$$\begin{aligned} -\sin \Delta i &= \cos p \cos v_0 + \sin p \sin v_0 \cos(\mu_0 - t), \\ 0 &= \cos p \cos v_0 + \sin p \sin v_0 \cos(\mu_0 - t_0), \end{aligned}$$

in welchen μ_0 und v_0 Stundenwinkel und Poldistanz des Poles Q_0 bezeichnen. Aus der Differenz dieser beiden Beziehungen folgt unter Beachtung der Beziehung (9a):

$$2 \sin \frac{t_0 - t}{2} = \frac{\sin i \cos z}{\sin p \sin v_0} \operatorname{cosec} \left(\mu_0 - \frac{t_0 + t}{2} \right).$$

Da die Neigung i klein gehalten werden kann, so daß sie höchstens den Betrag von einigen Bogensekunden annimmt, liefert die Beziehung

$$t_0 - t = i \frac{\cos z}{\sin p \sin v} \operatorname{cosec}(\mu - \bar{t}) = i \cos z \operatorname{cosec} p \sec q \quad (9b)$$

immer einen ausreichenden Näherungswert der Reduktion $(t_0 - t)$; sie kann dann mit der Reduktion $(t - \bar{t})$ zusammengefaßt werden, so daß in Zeitsekunden

$$(t_0 - \bar{t})^{\text{sec}} = -\frac{m''}{15} \cotg(\mu - \bar{t}) + (ek + i \cos z) \operatorname{cosec} p \sec q \quad (9c)$$

wird. Hierin sind k und i in Zeitsekunden auszudrücken.

d) Die Beobachtung der Durchgangszeiten

Die Uhrzeiten des Sterndurchganges durch einen Vertikal oder einen Almkantarat werden, wenn ein Fadennetz benützt wird, entweder nach der Aug- und Ohrmethode oder nach der Registriermethode beobachtet. Eine größere Genauigkeit bietet die Verwendung eines beweglichen Fadens in Verbindung mit einer Registriertrommel, wobei der Faden dem Stern unter Bisektion des Sternbildes entweder von Hand oder unter Benützung eines Triebwerkes nachgeführt wird.

Die Aug- und Ohrmethode kommt mit den einfachsten Hilfsmitteln aus; der Beobachter zählt die von einer Uhr gegebenen Sekundenschläge mit und merkt sich den Abstand des Sternes vom Faden sowohl bei dem – dem Durchgang – vorausgehenden als ihm nachfolgenden Schlag. Das Verhältnis des einen oder andern Abstandes zu ihrer Summe setzt dann der Beobachter in den Zahlenwert des Bruchteiles um, der, zur Ordnungszahl des vorausgehenden Schlages addiert, die gesuchte Durchgangszeit liefert. Man kann diesen Bruchteil auch nur nach dem Gehör abschätzen, indem man den Moment der Bisektion des Sternes durch den Faden erfaßt und diesen Moment nach dem Gedächtnis als Bruchteil des Sekundenintervalles ausdrückt. Bei langsamem Durchgang des Sternes durch den Faden bietet diese Art der Beobachtung eine größere Genauigkeit als die Abschätzung mit Hilfe der sehr kleinen Distanzen.

Eine größere Genauigkeit gewährt die zweite Methode, bei welcher sich der Beobachter eines Tasters bedient, um mit Hilfe eines elektrischen Stromes den Moment des Durchganges durch eine Marke neben den Sekundenmarken der Uhr auf dem ablaufenden Band eines Chronographen festzuhalten. Um Änderungen der persönlichen Gleichung so wenig als möglich auswirken zu lassen, empfiehlt es sich, den Strom durch den Taster auf den Moment der voraussichtlichen Bisektion des Sternbildes zu schließen und nicht erst, nachdem der Moment der Bisektion bewußt geworden ist. Sehr polnahe Sterne werden nach der Registriermethode weniger genau beobachtet als nach der Aug- und Ohrmethode, bei welcher sich der Beobachter auch bei stärkerer Luftruhe davon Rechenschaft geben kann, ob er den Durchgang des Sternes durch den Faden noch zu erwarten oder schon als erfolgt zu beurteilen habe.

Die größte Genauigkeit in der Beobachtung der Durchgänge bietet die Verwendung des Registriermikrometers; damit ist auch eine weitgehende Befreiung von der Beeinflussung der Beobachtungen durch die persönliche Gleichung verbunden, weshalb es auch als unpersönliches Mikrometer bezeichnet wird. Seine Verwendung zur Beobachtung von Durchgängen durch einen Vertikal hat außerdem den großen Vorteil, daß man keine Fadendistanzen zu kennen braucht und daß der Einfluß der Kollimation schon in der Uhrzeit des einzelnen Sterndurchganges eliminiert wird, wenn das Instrument während des Durchganges umgelegt und der Stern vor und nach dem Umlegen an denselben Kontakten beobachtet wird.

Es braucht relativ viel Übung, bis der Beobachter in der Lage ist, durch die Nachführung des Fadens von Hand die Bisektion des Sternbildes während einiger Umdrehungen genau aufrecht zu erhalten. Schon bald nach der Einführung des Registriermikrometers in die Beobachtungspraxis hat man gesucht, die Nachführung von Hand zu ersetzen durch die mechanische Nachführung mit Hilfe eines Triebwerkes. Die der Mikrometerspindel vom Motor erteilte Umdrehungsgeschwindigkeit muß sich in kontinuierlicher Weise ändern

lassen. Das wurde beim ersten Triebwerk, das H. STRUVE*) in Königsberg 1897 konstruieren ließ, dadurch erreicht, daß der Motor einen Kreiskegel um seine Achse in Rotation versetzte; vom Kegelmantel wurde eine Kreisscheibe durch Reibung mitgenommen, deren Rotationsgeschwindigkeit durch Verschieben längs einer Mantellinie sich von einem Minimalwert in der Nähe der Spitze bis zu einem Maximalwert in der Nähe der Kegelbasis variieren ließ. In der Praxis hat sich diese Einrichtung nicht bewährt; da die Geschwindigkeit der Fadenbewegung nicht genau auf die Geschwindigkeit des Sternes eingestellt werden konnte, war der Beobachter gezwungen, von Hand nachzuhelfen und die Motorbewegung zu beschleunigen oder zu verzögern**).

Um die Nachteile zu vermeiden, die mit der erzwungenen Änderung der Motorbewegung verbunden waren, und doch die Vorteile, welche die gleichförmige Bewegung des Fadens durch ein mechanisches Getriebe mit sich brachte, nicht zu verlieren, hat L. COURVOISIER die folgende Änderung des Beobachtungsverfahrens vorgeschlagen und praktisch ausprobiert. Der Beobachter versucht nicht mehr, die ungenaue Nachführung des Fadens durch den Motor von Hand zu korrigieren, sondern läßt den Motor absichtlich ein wenig zu rasch oder zu langsam sich bewegen. Im ersten Fall läßt man den Faden den Stern und im zweiten Fall den Stern den Faden einholen. Der Moment, in welchem die Bisektion eintritt, wird mit Hilfe eines Handtasters auf einem Chronographen festgehalten neben den Momenten der Uhrsekunden und der Kontaktmomente, die beide automatisch auf dem Chronographen zur Aufzeichnung gelangen. Es ist leicht ersichtlich, daß ein Fehler in der Betätigung des Handtasters sich um so weniger in der aus solchen Beobachtungen abgeleiteten Durchgangszeit auswirkt, je kleiner der Unterschied in der Bewegung des Fadens und des Sternes ist; denn wenn ständig Bisektion stattfindet, ist es gleichgültig, wann die Tastersignale fallen, da in diesem Falle nur die automatisch aufgezeichneten Kontaktmomente zur Ableitung der Durchgangszeit gebraucht werden. Diese Bisektions- oder Koinzidenzbeobachtungen werden während des Durchganges des Sternes so oft als möglich wiederholt. COURVOISIER hat bei Beobachtungen mit einem Meridianinstrument bis zu 10 Koinzidenzbeobachtungen erhalten.

Soll das Instrument während des Durchganges zum Zweck der Elimination der Kollimation umgelegt werden, womit bekanntlich auch eine genauere Bestimmung der Achsenneigung verbunden ist, als wenn die Neigung aus Umlegungen des Niveaus allein abgeleitet werden muß, so kommt dieses Verfahren der Koinzidenzbeobachtung nicht in Frage. Der Beobachter würde

*) H. STRUVE. Erste Mitteilung in der Vierteljahrsschrift 33 (1898), p. 135 im Jahresbericht der Sternwarte Königsberg über das Jahr 1897. H. STRUVE. Über die Verbindung eines Uhrwerkes mit dem unpersönlichen Mikrometer von Repsold. A. N. 155, 353 (1901).

***) DR. FRITZ COHN. Ergebnisse von Beobachtungen am Repsoldschen Registriermikrometer bei Anwendung eines Uhrwerkes. A. N. 157, 357 (1901).

vor und nach dem Umlegen nicht mehr als je 2–3 Koinzidenzmomente erhalten. Die Genauigkeit der aus 4–6 solchen Momenten abgeleiteten Durchgangszeit würde nicht größer ausfallen als die Genauigkeit des Durchganges, der auf je 10 vor und nach dem Umlegen registrierten Kontaktmomenten unter Handnachführung des Mikrometers beruht. Das Koinzidenzverfahren hat ferner noch den Nachteil, daß die rechnerische Ermittlung der Durchgangszeit viel mehr Zeit beansprucht als die gewöhnliche Mikrometerregistrierung.

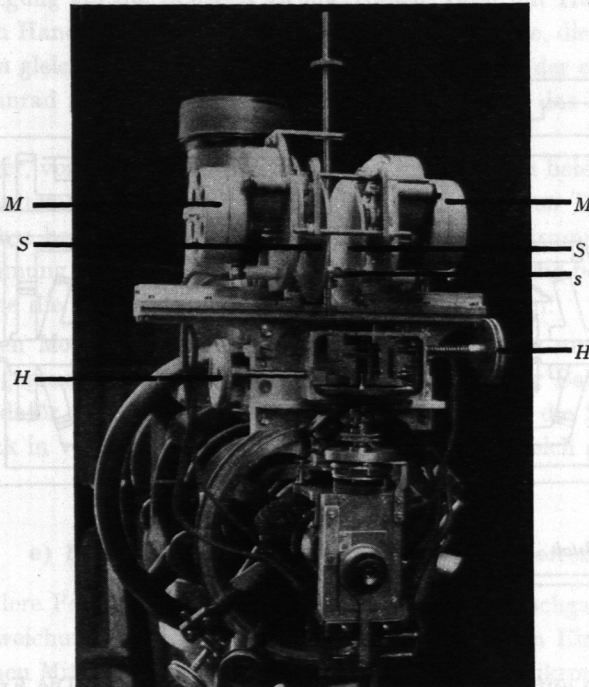
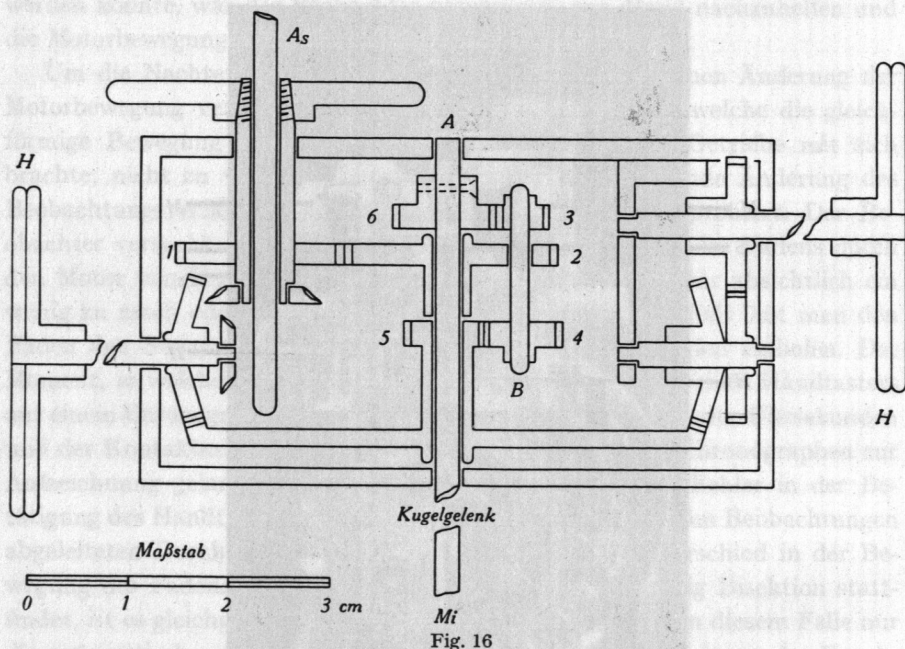


Fig. 15

Nun läßt sich aber die mechanisierte Nachführung so gestalten, daß damit nur noch Vorteile und keine Nachteile gegenüber der Handnachführung verbunden sind. Es ist dazu nur notwendig, den Antriebsmechanismus so zu ändern, daß trotz der Nachführung des Fadens durch das Triebwerk der Faden noch beliebig von Hand verstellt werden kann. Es ist dann nicht mehr notwendig, die Bewegung des Motors zu beschleunigen oder zu verzögern, was wegen der Trägheit der Massen unerwünschte Nebenwirkungen zur Folge hat.

Die im Folgenden beschriebene Konstruktion ist im Sommer 1945 am Passageninstrument der Astronomischen Anstalt der Universität Basel angebracht worden (vergleiche Figur 15). Als Kraftquelle dienen zwei kleine Synchron-

motoren M , die an den Lichtstrom von 220 Volt und 50 Perioden pro Sekunde angeschlossen werden. Die Rotationsgeschwindigkeit des Ankers wird durch ein Reduktionsgetriebe auf eine Umdrehung in 15 sec herabgesetzt. Die beiden Motoren werden gegeneinandergestellt und treiben mit ihren Endwellen zwei in entgegengesetzter Richtung laufende Scheiben S an. Eine dritte Scheibe s , die quer zu diesen antreibenden Scheiben gestellt wird, kann längs einem Durchmesser derselben verschoben werden und wird von ihnen durch Reibung mitgenommen; sie überträgt die Bewegung ihrer Achse A_s durch ein beson-



deres Getriebe auf die Achse des Mikrometers (Figur 16). Die Endachsen der Synchronmotoren wirken nicht direkt auf die Achsen der Scheiben S , sondern durch eine Wechselradschaltung, die analog der Seite 29/30 beschriebenen Einrichtung ist, so daß der Drehungssinn der Scheiben S umgekehrt werden kann.

Die Achse A_s (Figur 16) der verstellbaren Scheibe s nimmt zunächst das Zahnrad 1 mit, das seine Bewegung auf das Zahnrad 2 überträgt; die Achse A dient dem Rad 2 nur als Lager wie auch dem Zahnrad 5, das mit dem Kegelrad verbunden ist. Die Scheibe des Zahnrades 2 ist durchbohrt; diese Bohrung dient der Achse B der miteinander verbundenen Zahnräder 3 und 4 als Lager. Das Zahnrad 4 greift in das mit dem Kegelrad verbundene Zahnrad 5 ein. Bei der Bewegung des Rades 2 wird die Achse B der Räder 3 und 4 um die Achse A herumgeführt; dabei wickelt sich das Rad 4 auf dem Rad 5 ab. Wegen

des Widerstandes, den das mit dem Kegelrad verbundene Getriebe ausübt, wird aber das Rad 5 nicht mitgenommen, sondern bleibt stehen. Das Rad 3 nimmt also das Rad 6, das fest auf der Achse A sitzt, mit, weil die Zahl der Zähne des Rades 3 nicht gleich der Zahl der Zähne des Rades 6 ist; hätten sie gleiche Zahnzahl, so würde sich 3 auf 6 abwickeln, wie sich 4 auf 5 abwickelt. Mit der Achse A wird die Achse M_i des Mikrometers gekoppelt; damit dabei kein Zwang ausgeübt wird, geschieht es mit Hilfe eines Kugelgelenkes.

Das Zahnrad 5, auf das sich das Zahnrad 4 stützt, um die vom Motor gegebene Bewegung auf die Achse A zu übertragen, kann mit Hilfe der beiden Triebe H von Hand bewegt werden. Damit die beiden Triebe, die das Kegelrad antreiben, im gleichen Sinn bewegt werden müssen, ist auf der einen Seite ein weiteres Zahnrad zwischen das Rad des Handtriebes und das Kegelrad eingeschaltet.

Der Träger, von dem dieses Getriebe zusammen mit den beiden Synchronmotoren gehalten wird, ist an derjenigen Stelle des massiven Teiles der horizontalen Achse befestigt, wo bei der Verwendung des Instrumentes zur Polhöhenbestimmung nach der HORREBOW-TALCOTT-Methode die beiden Niveaus sitzen, welche die Zenitdistanz des Fernrohres kontrollieren.

Die beiden Motoren sind auf einem Schlitten montiert und werden von einer Feder gegeneinander gezogen; zwei Anschläge auf der Bahn des Schlittens sorgen dafür, daß der von den beiden Scheiben S auf die Scheibe s ausgeübte Druck in verschiedenen Zenitdistanzen ungefähr gleich groß ist.

e) Die mittleren Fehler der Durchgangszeiten

Der mittlere Fehler der Uhrzeit des einzelnen Fadendurchganges läßt sich aus den Abweichungen der auf den Mittelfaden reduzierten Einzelwerte vom arithmetischen Mittel berechnen; wird das unpersönliche Mikrometer benützt, so läßt sich der mittlere Fehler der einzelnen Kontaktzeit in einfacher Weise aus den Abweichungen der arithmetischen Mittel der vor und nach dem Umliegen am gleichen Kontakt beobachteten Uhrzeiten von deren Gesamtmittel ableiten. Der Fehler wird um so größer, je langsamer sich der Stern in der zum Faden senkrechten Richtung bewegt. Ist v die Komponente der scheinbaren Bewegung des Sternes in dieser Richtung und V die Vergrößerungszahl des Fernrohres, so ist in erster Annäherung der mittlere Fehler m_V der einzelnen Fadendurchgangszeit oder der einzelnen Kontaktzeit dem Produkt vV umgekehrt proportional. Nimmt man als Zeiteinheit die Sternzeitsekunde, der wir die Uhrsekunde gleichsetzen, und als Einheit des Winkelweges $15'' = 1 \text{ sec}$, so ist im Parallel die Geschwindigkeit des Sternes in der Poldistanz p gleich $\sin p$, und somit, wenn (q) der Winkel ist, den die Bewegungsrichtung im