

Hierin und in der Elimination des Excentricitätsfehlers durch Ablesung beider Nonien liegt ein wesentlicher Vorzug vor dem gewöhnlichen Sextanten. Ein anderer, grössere Helligkeit und Präcision der Bilder auch in den ungünstigsten Fällen, ist in der Anordnung des optischen Theiles begründet. Bei dem Hadley'schen Sextanten nimmt der Neigungswinkel der auf den grossen Spiegel einfallenden Strahlen gegen die Spiegelebene von 75^0 bis 10^0 ab, während der gemessene Winkel von 0^0 bis 130^0 wächst; bei dem Prismenkreise hingegen nimmt unter gleichen Umständen dieser Neigungswinkel von 20^0 bis 85^0 zu, bleibt also stets grösser, und ist namentlich im Minimum doppelt so gross als beim Hadley'schen Sextanten, was eine grössere Präcision und Helligkeit des Bildes zur Folge hat. Letztere wird auch dadurch erhöht, dass die Reflexion mittelst des Prisma mit einem weit kleineren Lichtverluste verbunden ist, als bei einem gewöhnlichen Spiegel.

Der Prismensextant unterscheidet sich von dem Prismenkreise bloss dadurch, dass der eine Alhidadenarm b und der hiedurch entbehrlich werdende Theil des Kreises entfällt.

Im übrigen bleibt bezüglich der Instrumentalfehler und der Rectification dieser Instrumente das vom Sextanten Gesagte in Geltung. Es mag nur bemerkt werden, dass, in Folge der entgegengesetzten Lage des Fernrohrs zum Centrum des Kreises, die Parallaxe, wenn sie bei geringer Entfernung des direct anvisirten Objectes S' merklich ist, das entgegengesetzte Zeichen erhält. Man ersieht dies sofort aus Fig. 77, wenn man erwägt, dass die um den Collimationsfehler verbesserte Ablesung $a - c$ den Winkel SeS' des einfallenden und doppelt reflectirten Strahles gibt, und $\angle SMS' = SeS' - eS'M = a - c - p$ ist, welche Gleichung an die Stelle jener (n) in §. 132 tritt.

Astronomische Uhren. — Chronograph.

142. Die Uhren, deren man sich zur Zeitmessung zu astronomischen Zwecken bedient, unterscheiden sich von den gewöhnlichen Uhren wesentlich nur dadurch, dass dieselben nach richtigen theoretischen Grundsätzen mit möglichster Vollendung ausgeführt und mit jenen Einrichtungen versehen werden, welche die grösstmögliche Gleichförmigkeit der Bewegung des Mechanismus zu sichern geeignet sind. Sie sind entweder Pendeluhren, welche eine feste Aufstellung erfordern, oder tragbare Uhren, in engerer Bedeutung Chronometer genannt, welche, während sie im Gange sich befinden, die Uebertragung von einem Orte zum anderen gestatten.

Die Uhren werden derart regulirt, dass sie entweder der mittleren, oder der Sternzeit folgen. Es ist jedoch praktisch nicht möglich, diese Regulirung so vollkommen zu bewerkstelligen, dass z. B. 24 Stunden Uhrzeit, d. i. die Zeit, während welcher die Zeiger der Uhr um 24 Stunden am Zifferblatte vorrücken, völlig genau gleich 24 Stunden mittlerer oder Stern-

zeit sei; die Uhr wird vielmehr gegen die Zeit, der sie folgen soll, sei es mittlere oder Sternzeit, mehr oder weniger zurückbleiben oder voreilen; eben so wird die einem bestimmten Momente entsprechende Angabe der Uhr, d. i. die Uhrzeit in diesem Momente, mehr oder weniger verschieden sein von der in diesem Momente stattfindenden mittleren oder Sternzeit, und dieser Unterschied wird überdies in Folge des Zurückbleibens oder Voreilens der Uhr sich fortwährend ändern.

Man versteht unter Stand einer Uhr (auch Uhrfehler, Uhrcorrection) die Anzahl der Stunden, Minuten und Secunden, um welche dieselbe zu einer bestimmten Uhrzeit gegen mittlere oder Sternzeit zurück oder voraus ist. Man nimmt ihn positiv im ersten, negativ im zweiten Falle, so dass immer $u + x$ die der Uhrzeit u entsprechende mittlere oder Sternzeit ist, wenn x den zur Uhrzeit u stattfindenden Stand der Uhr gegen mittlere oder Sternzeit bedeutet.

Unter täglichem Gang der Uhr gegen mittlere oder Sternzeit versteht man die Anzahl mittlere, beziehungsweise Stern-Zeitsecunden, um welche die Uhr in 24 Stunden Uhrzeit gegen mittlere oder Sternzeit zurückbleibt oder voreilt. Es ist daher der tägliche Gang die Aenderung des Standes der Uhr in 24 Stunden Uhrzeit. Der Gang wird ebenfalls positiv oder negativ genommen, je nachdem die Uhr retardirt oder accelerirt.

Kennt man aus Beobachtungen die zwei verschiedenen Uhrzeiten u, u' entsprechenden Uhrstände x, x' , so ergibt sich hieraus der Gang der Uhr in der Zwischenzeit. Da nämlich die Uhr in dem Uhrzeit-Intervall $u' - u$ ihren Stand um $x' - x$ geändert hat, so ist, wenn man den täglichen Gang (in 24 Stunden Uhrzeit) mit Δx bezeichnet: $u' - u : x' - x = 24 : \Delta x$, somit:

$$\Delta x = 24 \frac{x' - x}{u' - u},$$

wo $u' - u$ in Stunden auszudrücken ist; der Factor 24 entfällt, wenn man $u' - u$ in Tagen und Bruchtheilen eines Tages ausdrückt.

Es sei z. B. für eine nach Sternzeit gehende Uhr aus astronomischen Beobachtungen gefunden:

Juli	28,	$18^h 52^m 17^s.3 = u,$	Stand der Uhr:	$x = - 1^m 2^s.75$
August	4,	$16 44 32.1 = u',$	" " "	$x' = - 0 54.19$

so ist: $u' - u = 6^d 21^h 52^m 14^s.8 = 6.911$ Tage (Uhrzeit); $x' - x = + 8^s.56$

folglich der tägliche Gang gegen Sternzeit:

$$\Delta x = \frac{+ 8.56}{6.911} = + 1^s.239,$$

d. h. die Uhr bleibt in 24 Stunden Uhrzeit um $1^s.239$ (d. i. Sternzeitsecunden) gegen Sternzeit zurück.

Ist der Stand der Uhr für irgend eine Uhrzeit, so wie der tägliche Gang derselben bekannt, so kann der Stand derselben für irgend eine andere Uhrzeit, und hiemit die der letzteren entsprechende mittlere oder Sternzeit bestimmt werden. Es sei z. B. an obiger Uhr eine Beobachtung gemacht worden am 31. Juli, $14^h 7^m 21^s.83$ Uhrzeit, und man sucht die diesem Momente entsprechende Sternzeit, so steht die Rechnung folgendermassen:

Juli 28, $18^h 52^m 17^s.3$	Uhrstand = $- 1^m 2^s.75$
Zeit der Beobachtung Juli 31, $14 7 21.83$	

Zwischenzeit $2^d 19^h 15^m 4^s.53 = 2^d.804$	
Gang in der Zwischenzeit = $+ 1^s.239 \times 2.804$ + 3.57
	Stand am 31. Juli, $14^h 7^m.4 = - 59.18$
	Beobachtungszeit $14^h 7^m 21^s.83$
	Sternzeit $14 6 22.65$

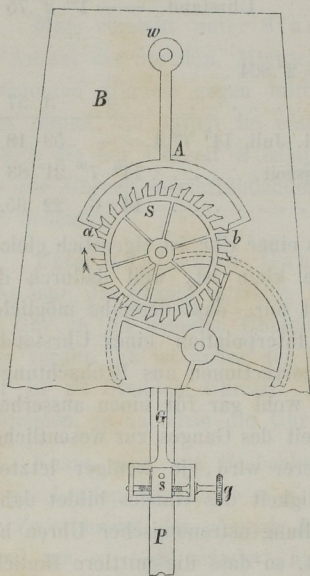
Die absolute Grösse des täglichen Ganges einer Uhr ist eigentlich gleichgiltig, und es ist nur bequem, wenn derselbe klein ist, weil dadurch die Reductionen erleichtert werden. Wesentlich ist nur, dass derselbe möglichst constant sei, weil, wie leicht einzusehen, die Interpolation eines Uhrstandes zwischen zwei Epochen, für welche die Uhr correctionen aus Beobachtungen bekannt sind (wie im vorigen Beispiele), oder wohl gar für einen ausserhalb derselben liegenden Moment, die Gleichförmigkeit des Ganges zur wesentlichen Voraussetzung hat, und daher um so unsicherer wird, je weniger letztere zutrifft. Die grössere oder geringere Beständigkeit des Ganges bildet daher das Mass für die Güte einer Uhr; die Herstellung astronomischer Uhren hat einen hohen Grad der Vollkommenheit erreicht, so dass die mittlere tägliche Unsicherheit oder Variation des täglichen Ganges bei vorzüglichen Pendeluhren wenige Hundertel, bei Chronometern ersten Ranges 0.2 Secunden nicht überschreitet.

143. Die Einrichtung der Pendeluhren ist im wesentlichen bekannt. Das zeitmessende Organ oder der Regulator der Uhr ist das Pendel, dessen Schwingungen von gleicher Zeitdauer oder isochron sind, so lange die Länge des Pendels, so wie die Schwingungsamplitude (der Ausschlag) unverändert bleiben. Da jedoch das Pendel, einmal in Bewegung gesetzt, in Folge des Widerstandes am Aufhängepunkte und der Luft bald zur Ruhe kommen würde und die Schwingungen auch mechanisch gezählt werden müssen, so wird ein Räderwerk mit demselben in Verbindung gebracht, welches, durch ein Gewicht angetrieben, einerseits die Zeiger in Bewegung setzt, andererseits das Pendel dauernd in schwingender Bewegung erhält. Letzteres geschieht durch ein eigenes Organ, die Hemmung (das Echappement), welches die Verbindung zwischen Räderwerk und Pendel herstellt, und so eingerichtet ist, dass bei jeder Schwingung durch den vom Gewicht herrührenden Antrieb ein

Impuls auf das Pendel ausgeübt wird, welcher eben hinreicht, dasselbe dauernd in Bewegung zu erhalten.

Die Hemmung ist der wesentlichste Bestandtheil der Uhr, von dessen zweckentsprechenden Einrichtung und vollkommenen Ausführung vorzugsweise der gute Gang der Uhr abhängt. Unter den zahlreichen Constructions, welche erdacht wurden, ist der Graham'sche Anker (ruhende Ankerhemmung) die

Fig. 80.



am meisten angewendete. Fig. 80 zeigt den Anker *A* in Verbindung mit den nächstliegenden Uhrtheilen, namentlich dem Steigrade oder Hemmungsrade *S*, dem letzten Rade des Räderwerkes. Der Anker ist mit zwei Lappen (Paletten) *a*, *b* versehen, deren schief abgeschnittene Enden zwischen die Zähne des Steigrades abwechselnd auf der einen und anderen Seite eingreifen, und ist mit einer Welle *w* fest verbunden, welche sich um Zapfen dreht, die in die beiden Bodenplatten *B* des Werkes gelagert sind. Mit der Ankerwelle in fester Verbindung steht eine nach abwärts gerichtete Stange *G*, die sogenannte Gabel; diese trägt an ihrem unteren Ende einen auf die Schwingungsebene senkrechten Stift *s*, welcher in eine in der Pendelstange *P* befindliche Schlitze reicht und so die Verbindung zwischen Pendel und Gabel herstellt.

Das Spiel der verschiedenen Theile ist leicht zu übersehen. Bei der in Fig. 80 angenommenen Lage des Pendels liegt ein Zahn des Steigrades auf der Ankerpalette *a* auf, wodurch die Bewegung des Steigrades und hiemit des ganzen Räderwerkes gehemmt ist. Bewegt sich nun das Pendel nach links, welcher Bewegung auch der Anker in Folge seiner Verbindung durch die Gabel folgt, so wird, sobald die Elongation eine gewisse Grösse erreicht hat, der Zahn von der Palette *a* abfallen, das Steigrad in Bewegung gerathen, jedoch sofort wieder angehalten, indem nun auf der anderen Seite die Palette *b* zwischen die Zähne des Steigrades eintritt, und ein Zahn derselben auf die Palette auffällt, wodurch auch der hörbare Schlag der Uhr bewirkt wird. Dasselbe Spiel wiederholt sich nun in entgegengesetzter Weise, sobald das Pendel, zurückkehrend, über die Ruhelage hinaus nach rechts schwingt. Mit jeder Schwingung des Pendels fällt also abwechselnd auf der einen und anderen Seite ein Zahn des Steigrades ab, mit dessen Axe, wenn es 30 Zähne hat, auch unmittelbar der Secundenzeiger verbunden ist. Bei jedem solchen Abfalle gleitet aber der betreffende Steigradzahn über die schiefe Endfläche der

Palette, und übt dadurch einen Druck auf den Anker und durch Vermittelung der Gabel auf das Pendel aus, wodurch dieses einen Impuls in der Richtung der Schwingung erhält, welcher den bei jeder Schwingung durch die Widerstände entstehenden Verlust an Bewegung wieder ersetzt und das Pendel in Gang erhält.

Das Pendel ist an einer Uhrfeder oder mittelst einer Schneide aufgehangen. Obgleich die letztere Aufhängungsart der Bewegung des Pendels einen geringeren Widerstand entgegengesetzt, gibt man der ersteren den Vorzug, weil sie keiner Abnützung unterliegt und der Gang der Uhr durch kleine Erschütterungen derselben weniger beeinflusst wird. Auch bietet sie ein Mittel dar, durch gehörige Wahl der Feder in Bezug auf Stärke und Länge den Einfluss kleiner Aenderungen des Ausschlages auf die Schwingungsdauer zu vermindern.

Am unteren Ende ist das Pendel gewöhnlich mit einer Spitze versehen, welche an einem Gradbogen spielt, um die Grösse des Ausschlages oder der Schwingungs-Amplitude ablesen zu können.

Der Stift *s* ist mit dem Gabelende in einer Weise verbunden, welche eine seitliche Verrückung desselben gegen die Axe der Gabel gestattet, etwa mittelst einer Schraube *g* in Fig. 80, zu dem Zwecke, um hiedurch den Abfall reguliren, d. h. den Anker in die richtige Stellung zum Steigrade bringen zu können, bei welcher der Abfall, somit auch die Uhrsschläge genau in gleichen Zwischenzeiten aufeinanderfolgen. Derselbe Zweck wird übrigens auch durch eine seitliche Verrückung des Uhrkastens erreicht; es wird nämlich, wie leicht einzusehen, wenn man sich das Pendel ruhend denkt, im ersteren Falle der Anker gegen das ruhende Steigrad, im zweiten das Steigrad gegen den ruhenden Anker verstellt. Diese Regulirung ist bei der Aufstellung der Uhr mit aller Sorgfalt vorzunehmen. Man bringt zunächst den Kasten in eine solche Lage, dass das ruhende Pendel die Mitte desselben einnimmt, und versetzt hierauf das Pendel in Schwingungen von möglichst kleiner Elongation, so dass nur eben noch beiderseits der Abfall stattfindet, weil, je kleiner die Amplitude, um so auffällender eine Ungleichheit in der Aufeinanderfolge der Schläge sich bemerklich macht. Findet eine solche statt, so schafft man sie durch Drehung der Schraube *g* weg, oder begnügt sich wohl auch häufig mit einer genäherten Regulirung auf diesem Wege, und beseitigt den Rest der Ungleichheit durch Verrückung des Uhrkastens. Die Gleichheit der Intervalle zwischen den aufeinanderfolgenden Schlägen beurtheilt man nach dem Gehöre. Man kann zu diesem Zwecke auch den Gradbogen benützen; führt man das Pendel aus der Ruhelage langsam nach der einen und anderen Seite und bemerkt jedesmal am Gradbogen den Ort, wo der Abfall eintritt, so muss der Ort der Ruhelage genau in der Mitte liegen. Ein schärferes Mittel, diese Regulirung zu bewerkstelligen, gewährt übrigens die Vergleichung der Pendeluhr mit einem Chronometer mittelst Coincidenzen (§. 149) oder ein Chronograph.

144. Die Dauer einer Schwingung hängt bekanntlich von der Länge des Pendels ab, und nimmt mit derselben im Verhältniss der Quadratwurzel der Länge zu und ab. Der Gang einer Pendeluhr kann daher durch entsprechende Aenderung der Pendellänge regulirt werden, zu welchem Zwecke die Pendellinse an der Pendelstange verschiebbar ist und auf einer Schraubenmutter ruht, welche sich auf einem an dem unteren Ende der Pendelstange angeordneten Schraubengewinde befindet, mittelst welcher die Linse gehoben und gesenkt werden kann. Am Umfange der Mutter ist eine Theilung angebracht, um die Drehung um einen gegebenen Bruchtheil eines Schraubenganges bewirken zu können.

Um die Regulirung des Ganges einer Pendeluhr rasch und sicher bewerkstelligen zu können, soll der Werth eines Schraubenganges der Pendelschraube bekannt sein. Man lernt denselben kennen, wenn man bei zwei um n Gänge verschiedenen Stellungen der Mutter den täglichen Gang der Uhr beobachtet; die Differenz der beiden Uhrgänge, dividirt durch n , gibt den Werth eines Schraubenganges. Einen, namentlich für die erste Aufstellung einer Uhr hinreichend genauen Werth erhält man übrigens leicht durch directe Abmessung der Höhe eines Schraubenganges.

Bezeichnet man nämlich mit l die Länge des (einfachen) Pendels, mit g die Acceleration der Schwere in 1 Secunde mittlerer Zeit, mit t die Dauer einer Schwingung in Secunden mittlerer Zeit, so ist bekanntlich $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$. Will man, wenn die Uhr nach Sternzeit gehen soll, die Schwingungsdauer in Sternzeit-Secunden ausgedrückt erhalten, so ist, da 1^s Sternzeit = $0^s.99727$ mittlerer Zeit, der zweite Theil noch durch $0.99727 = \alpha$ zu dividiren, oder man hat statt g zu setzen $\alpha^2 g$, d. i. die Acceleration der Schwere in 1^s Sternzeit. Aus obiger Gleichung folgt durch Differenziation:

$$dt = \frac{\pi^2 dl}{2g t} = \frac{\pi^2}{2g} dl,$$

weil für das Secundenpendel $t = 1$. Ist nun Δx der tägliche Gang der Uhr, so hat man, da 24 Stunden Uhrzeit = 86400 Schwingungen des Pendels, $\Delta x = 86400 dt$; somit ist

$$\Delta x = 86400 \frac{\pi^2}{2g} dl$$

die durch eine Aenderung $= dl$ der Pendellänge bewirkte Aenderung des täglichen Ganges.

Hieraus folgt (mit $g = 9808.7$ Millimeter) für eine nach mittlerer Zeit gehende Uhr:

$$\Delta x = 43^s.47 dl,$$

und für eine der Sternzeit folgende:

$$\Delta x = 43^s.71 dl,$$

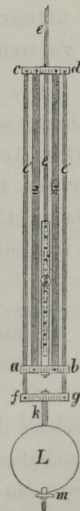
wo dl in Millimeter auszudrücken ist. Setzt man für dl die Höhe h eines Schraubenganges, so ist Δx der Werth desselben in Secunden. Die Höhe h findet man genügend genau; indem man ein längeres Stück der Pendelschraube auf Papier abdrückt, davon eine grössere Anzahl Schraubengänge in den Zirkel nimmt, und auf einem guten Transversalmassstabe abmisst.

Um den Gang der Uhr, ohne dieselbe anzuhalten, um eine geringe Grösse ändern zu können, kann man an der Pendelstange, oberhalb der Mitte derselben, einen kleinen Trichter anbringen, in welchen man, vor der eben besprochenen Regulirung des Ganges mittelst der Pendelschraube, eine Anzahl kleiner Schrottkörner gibt. Durch Hinzulegen von Schrottkörnern wird der tägliche Gang beschleunigt, durch Wegnahme verzögert.

145. Da die Wärme alle Körper ausdehnt, so hat jede Temperaturänderung eine Aenderung der Pendellänge und somit auch des Ganges der Uhr zur Folge. So wird z. B. durch eine Aenderung der Temperatur von 1° C. der tägliche Gang der Uhr, die Pendelstange von Eisen vorausgesetzt, um $0^{\circ}.5$ geändert und zwar verzögert oder beschleunigt, je nachdem die Temperatur um 1° C. zu- oder abnimmt. Man beseitiget diesen Einfluss durch Verbindung zweier Metalle von verschiedenen Ausdehnungscoefficienten in der Art, dass die Ausdehnungen beider Metalle entgegengesetzt wirken, sich compensiren, so dass der Abstand des Schwingungspunctes des Pendels vom Aufhängepuncte bei jeder Temperatur derselbe bleibt. Es sind vorzugsweise zwei Arten von Compensationspendeln in Anwendung, das Rostpendel und das Quecksilberpendel.

Das Rostpendel ist in Fig. 81 dargestellt. e ist die eigentliche Pendelstange aus Eisen (oder Stahl), welche an ihrem unteren Ende das Querstück ab trägt, auf welchem die beiden Zinkstangen zz durch Stifte mit dem Querstücke verbunden, ruhen. Die Zinkstangen tragen an ihrem oberen Ende das Querstück cd , durch welches die Stange e frei hindurchgeht und an welchem wieder die beiden Eisenstangen $e'e'$ befestiget sind, welche, durch zwei Löcher im Stege ab frei hindurchgehend, das Querstück fg tragen, mit welcher endlich die eiserne Stange k fest verbunden ist, an welcher sich die Pendellinse L , auf der Schraubenmutter m ruhend und mittelst derselben verschiebbar, befindet. Man sieht nun leicht, dass, bei zunehmender Temperatur, die Ausdehnung der Eisenstangen e , $e'e'$ und k ein Sinken der Linse zur Folge hat, während durch die Ausdehnung der Zinkstangen der Abstand der beiden Stege ab und cd vergrössert, und hiedurch, so wie auch durch die gleichfals nach aufwärts wirkende Ausdehnung des Bleies,

Fig. 81.



mit welchem die Linse ausgegossen ist, eine Hebung der Linse bewirkt wird. Da nun der Ausdehnungscoefficient des Zinkes nahe 2.5mal so gross ist, als der des Eisens, so ist es möglich, die Ausdehnung der Eisenstangen durch jene der beträchtlich kürzeren Zinkstangen zu compensiren. Die Compensation wird vollkommen sein, sobald die Ausdehnung für 1° der Eisenstangen $e + e'e' + k$ gleich ist der Ausdehnung der Zinkstangen $zz' +$ der Ausdehnung der Linse, so weit letztere mitwirkt, wobei selbstverständlich die Doppelstangen $e'e'$ und zz nur mit einfacher Länge in Rechnung kommen. Die Berechnung der erforderlichen Längen ist sehr einfach, sobald die Ausdehnungscoefficienten der Metalle bekannt sind. Gewöhnlich werden hiebei mittlere Werthe derselben angenommen, welche jedoch von den wahren oft nicht unerheblich verschieden sind, so dass die Compensation nur mehr oder weniger nahe erreicht wird. Um nun in dieser Beziehung eine Correction am fertigen Pendel vornehmen zu können, ist folgende Einrichtung getroffen. Das Querstück ab ist nicht unmittelbar mit der Mittelstange e , sondern mit einem messingenen Rohre fest verbunden, in welches die Stange e bis auf einige Centimeter Entfernung vom ab hineinreicht. Durch das Rohr und die Stange e ist eine Reihe Löcher in gleichen Abständen gebohrt, und ein durch eines dieser Löcher gesteckter mit einem Knopf versehener Stift s bewerkstelliget die Verbindung. Die Wirkung ist leicht einzusehen, wenn man beachtet, dass die Ausdehnung des Messings bedeutend grösser als jene des Eisens ist, und von der Eisenstange e nur der Theil von oben bis zum Stifte, von dem Messingrohre nur jener zwischen Stift und ab wirksam ist. Durch das Hinaufsetzen des Stiftes wird daher die Ausdehnung der Mittelstange vermehrt, durch das Herabsetzen vermindert, und man hat daher den Stift nach aufwärts oder nach abwärts zu rücken, je nachdem das Pendel zu viel oder zu wenig compensirt ist.

Ist ε der Ausdehnungscoefficient des Eisens für 1° C., μ jener des Messings, so ist die durch eine Versetzung des Stiftes um d Millimeter bewirkte Aenderung in der Ausdehnung (also auch in der Länge) der Mittelstange für 1° C. $= (\mu - \varepsilon)d$, wodurch eine Aenderung im täglichen Gange $= \Delta x = 43.71 (\mu - \varepsilon)d$ hervorgebracht wird. Setzt man $\varepsilon = 0.00001170$, $\mu = 0.00001885$, so wird:

$$\Delta x = 0.0003125 d, \quad d = 3200 \Delta x.$$

Ist nun aus Beobachtungen Δx , d. i. die durch eine Temperaturänderung von 1° C. bewirkte Aenderung des täglichen Ganges, in Zeitsecunden ausgedrückt, bekannt, so findet man hieraus d , d. i. die Anzahl Millimeter, um welche der Stift zu versetzen ist, um den Fehler in der Compensation wegzuschaffen. Es bedarf kaum der Erinnerung, dass vor Herausnahme des Stiftes s ein Hilfsstift in irgend eines der Löcher gesteckt werden muss, weil sonst das ganze Pendel von der Stange e abfallen würde.

Das Quecksilberpendel besteht in einer Stange aus Eisen oder Stahl, welche, am unteren Ende mit einem Rahmen versehen, ein cylindrisches, bis zu einer gewissen Höhe (ungefähr 19 Centimeter) mit Quecksilber gefülltes Glasgefäß trägt. Man sieht leicht, dass, wenn bei steigender Temperatur in Folge der Ausdehnung der Pendelstange der Schwingungspunct sinkt, die nach aufwärts wirkende Ausdehnung des Quecksilbers eine Hebung desselben bewirkt, so dass bei einer richtigen, der Ausdehnung des Materials der Pendelstange entsprechenden Höhe der Quecksilbersäule eine vollständige Compensation eintritt. Zeigt sich aus Beobachtungen des Ganges der Uhr bei verschiedenen Temperaturen, dass die Compensation nicht genügend genau ist, so kann dieselbe leicht corrigirt werden, indem man etwas Quecksilber zugiesst oder wegnimmt, je nachdem das Pendel zu wenig oder zu viel compensirt ist. Die erforderliche Menge kann leicht durch Rechnung hinreichend genau gefunden werden.

Sei l die Länge des Pendels vom Aufhängepuncte bis zur Mitte der Quecksilbersäule, wo der Schwingungspunct näherungsweise angenommen werden kann; ε der lineare Ausdehnungscoefficient des Materials der Pendelstange und des Rahmens für 1° C.; h die Höhe der Quecksilbersäule, β die lineare Ausdehnung derselben für die Längeneinheit mit Rücksicht auf die Ausdehnung des Glasgefäßes. Steigt nun die Temperatur um 1° C., so sinkt der Schwingungspunct um $\varepsilon(l + \frac{1}{2}h)$ in Folge der Ausdehnung der Stange und des Rahmens, und hebt sich um $\frac{1}{2}\beta h$ in Folge der Ausdehnung des Quecksilbers; die durch eine Temperaturerhöhung von 1° C. bewirkte Verlängerung des Pendels ist daher:

$$\Delta l = \varepsilon(l + \frac{1}{2}h) - \frac{1}{2}\beta h.$$

Die richtige Höhe h' der Quecksilbersäule muss aber der Gleichung:

$$0 = \varepsilon(l + \frac{1}{2}h') - \frac{1}{2}\beta h'$$

Genüge leisten, durch deren Subtraction von der vorhergehenden man

$$h' - h = \Delta h = \frac{2\Delta l}{\beta - \varepsilon}$$

erhält. Ist V das Volum des Quecksilbers, r der Halbmesser des Gefäßes, so hat man $V = \pi r^2 h$, und durch Differenziation und Division mit V :

$$\frac{dV}{V} = 2 \frac{dr}{r} + \frac{dh}{h}.$$

Lässt man hier dr und dh die durch eine Temperaturänderung von 1° C. bewirkte Aenderung des Halbmessers des Glascylinders und der Höhe der Quecksilbersäule bedeuten, und bezeichnet den Volums-Ausdehnungscoefficienten des Quecksilbers mit q , den linearen Ausdehnungscoefficienten des Glases mit γ , so ist $\frac{dV}{V} = q$, $\frac{dr}{r} = \gamma$ und $\frac{dh}{h}$ die oben

mit β bezeichnete Grösse, somit $\beta = q - 2\gamma$. Setzt man endlich für Δl den Werth von dl aus der Gleichung $\Delta x = 43.71 dl$ [§. 144], so wird

$$\Delta h = \frac{0.04575}{q - 2\gamma - \varepsilon} \Delta x$$

die Aenderung der Höhe der Quecksilbersäule in Millimeter, welche zur Correctur der Compensation erforderlich ist, wenn Δx die durch eine Temperaturänderung von 1°C . bewirkte Veränderung des täglichen Ganges der Uhr in Sec. bedeutet. Mit den Werthen: $q = 0.0001815$, $\gamma = 0.00000885$, $\varepsilon = 0.0000117$ wird:

$$\Delta h = 300.8 \Delta x.$$

Für das Gewicht G dieser Quantität Quecksilber von der Höhe Δh findet man leicht:

$$G = 12.85 r^2 \Delta x \text{ Gramm,}$$

wenn r den inneren Halbmesser des Glasgefässes in Millimeter bezeichnet.

Die Grösse Δx , d. i. die Variation des täglichen Ganges der Uhr für 1°C . ergibt sich aus einer längeren Reihe bei verschiedenen Temperaturen beobachteter Uhrgänge, wobei man durch Zusammenziehung mehrerer nahe bei einanderliegenden in ein Mittel eine Anzahl von Normalwerthen bilden kann. Hat man auf diese Art die Uhrgänge g_1, g_2, g_3, \dots , entsprechend den Temperaturen: t_1, t_2, t_3, \dots , erhalten, und bezeichnet man mit x und g den täglichen Gang beziehungsweise bei den Temperaturen 0° und t° , so ist:

$$g = x + t \cdot \Delta x, \quad (m)$$

und man erhält so viele solche Gleichungen, als Normalwerthe gebildet wurden, und kann aus denselben x und Δx nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmen.

Die Dauer einer Schwingung, und somit der Gang der Uhr, hängt übrigens nicht allein von der Pendellänge, sondern auch von der Grösse des Ausschlagwinkels oder der Amplitude ab und nimmt mit dieser zu, und zwar, für gleiche Aenderung des Ausschlages, um so mehr, je grösser dieser ist. *) Aus diesem Grunde gibt man den Pendeln an astronomischen Uhren nur einen kleinen Ausschlag von 1 bis 2 Graden; allein selbst dann macht sich dieser Einfluss bei vorzüglichen Uhren noch bemerkbar. Aenderungen im

*) Ist t die Dauer einer unendlich kleinen Schwingung, T die Schwingungsdauer für einen Ausschlagwinkel (halbe Amplitude) $= \alpha$, so hat man bekanntlich:

$$T = t \left[1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \sin^2 \frac{1}{2} \alpha^2 + \left(\frac{1.3}{2.4}\right)^2 \sin^4 \frac{1}{2} \alpha^4 + \dots \right].$$

Hiermit findet man leicht die Aenderung dg im täglichen Gange, welche durch eine kleine Aenderung des Ausschlages bewirkt wird:

$$dg = 3^{\text{s}}.142 \sin \alpha d\alpha,$$

wo $d\alpha$ in Bogenminuten auszudrücken ist. Hieraus folgt z. B. für $\alpha = 1^{\circ} 30'$: $dg = 0.^{\text{s}}0822 d\alpha$, so dass bei einem Ausschlage von $1.^{\text{m}}05$ eine Aenderung desselben von nur 1 Minute den täglichen Gang schon um $0.^{\text{s}}08$ ändert.

Ausschläge werden aber durch Aenderungen in den Reibungswiderständen im Räderwerke und in der Hemmung, z. B. durch Verdickung des Oeles bewirkt; bei sonst guter Ausführung aller Bestandtheile der Uhr treten jedoch diese Aenderungen nur sehr allmählig ein, und können, sobald sie anfangen merklich und störend zu werden, durch Reinigung der Uhr wieder beseitiget werden. Auch die das Pendel umgebende Luft beeinflusst den Gang der Uhr, indem mit zunehmender Dichte die Acceleration der Schwere vermindert und das Moment der Trägheit vergrössert wird. Dieser Einfluss lässt sich bestimmen, wenn man während einer längeren Beobachtungsreihe des Ganges der Uhr nebst der Temperatur auch den Barometerstand notirt, und der obigen Gleichung (m) das Glied $+ z(B - b)$ hinzufügt, wo b den beobachteten, B irgend einen angenommenen mittleren Barometerstand, und z die einer Aenderung von 1 Millimeter im Barometerstande entsprechende Aenderung des Uhrganges, vorausgesetzt, dass B und b in Millimeter ausgedrückt sind, bezeichnet. Die Grösse z bedeutet dann den Uhrgang bei der Temperatur 0^0 und dem Barometerstande B . So ergab sich z. B. für die Hauptuhr der Sternwarte zu Pulkowa $z = - 0.80126$, für zwei Uhren von Hohwü beziehungsweise: $- 0.80127$ und $- 0.80106$.

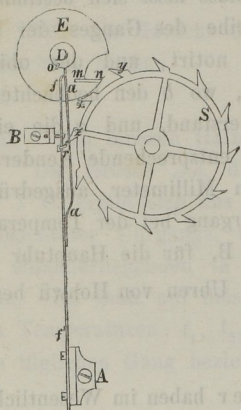
146. Die tragbaren Uhren oder *Chronometer* haben im Wesentlichen die Einrichtung unserer Taschenuhren. Die bewegende Kraft liefert hier die Elasticität einer kräftigen Spiralfeder (Zugfeder), welche, durch das Aufziehen der Uhr zusammengewunden, sich wieder abzuwickeln strebt und hiedurch das Räderwerk in Bewegung setzt. Als Regulator der Bewegung dient die *Unruhe* (Balance), ein um eine Axe drehbarer metallener Ring, mit welchem das eine Ende einer feinen Spiralfeder, deren anderes Ende an der Bodenplatte befestiget ist, in Verbindung steht, durch deren Wirkung die Unruhe, durch einen Stoss in Bewegung gesetzt, regelmässige Schwingungen um eine bestimmte Ruhelage, in welche sie die Spirale stets zurückzuführen strebt, ausführt, ähnlich wie das Pendel unter dem Einflusse der Schwerkraft. Die Verbindung zwischen Räderwerk und Unruhe wird durch die Hemmung oder das *Echappement* bewerkstelliget, durch dessen Vermittelung bei jeder einfachen oder Doppel-Schwingung ein Impuls auf die Unruhe ausgeübt wird, um den Verlust an lebendiger Kraft, welchen letztere durch den Reibungs- und Luftwiderstand erleidet, wieder zu ersetzen.

Man unterscheidet Taschen-Chronometer, im Formate einer gewöhnlichen grösseren Taschenuhr, und See- oder Box-Chronometer, welche in grösseren Dimensionen ausgeführt werden und insbesondere für den Gebrauch auf der See dienen, daher sie auch in ihrem Kasten in einer Compass-Suspension aufgehangen sind, damit sie bei den Schwankungen des Schiffes in horizontaler Lage bleiben. Die Einrichtung ist übrigens bei beiden Arten dieselbe, nur

mit dem Unterschiede, dass die Verschiedenheit der Dimensionen eine Verschiedenheit in der Anzahl der Schwingungen der Unruhe in der Secunde bedingt. Der schwereren Unruhe der See-Chronometer gibt man 4, der kleineren und leichteren der Taschen-Chronometer in der Regel 5 einfache Schwingungen in der Secunde.

Die bei Chronometern gewöhnlich angewendete freie Feder-Hemmung ist

Fig. 82.



in Fig. 82 schematisch dargestellt. Das Hemmungs- oder Steigrad S , welches in Folge des von der Zugfeder herrührenden Antriebes in der Richtung xz sich zu bewegen sucht, ruht mit einem seiner Zähne z auf einem Sperrzahn (Ruhestein) r , welcher in eine Feder ff' (die Hemmungsfeder) eingesetzt ist. Letztere ist mit ihrem Ende an einem mit der Bodenplatte des Räderwerkes verbundenen Stege A befestigt und legt sich an den Kopf einer in dem Stege B befindlichen Regulirungsschraube, durch welche sie verhindert wird, sich dem Steigrade mehr zu nähern. An der Hemmungsfeder ist eine zweite sehr zarte und elastische Feder aa (die Auslösungsfeder) befestigt, welche sich an das Ende f der Hemmungsfeder anlegt. Mit der Axe der Unruhe sind zwei Scheiben D und E verbunden, von welchen die eine D einen Zahn o trägt, welcher auf die Auslösungsfeder aa wirkt, während die andere mit einem Ausschnitte mn versehen ist, auf welchen die Zähne des Steigrades wirken können.

Das Spiel des Mechanismus ist nun leicht zu übersehen. Denkt man sich, während das Steigrad mit dem Zahne z auf dem Ruhestein r aufliegt und dadurch an einer Bewegung gehindert wird, die Unruhe in Schwingung und zwar in der Richtung von f gegen n , so wird der Zahn o an der Auslösungsfeder aa , diese beiseitebiegend, vorübergehen, ohne eine weitere Wirkung auszuüben. Kehrt nun die Unruhe, in Folge der Wirkung der Spirale, um und schwingt in der Richtung von n gegen f , so wird der Zahn o , auf die Auslösungsfeder wirkend, mittelst derselben die Hemmungsfeder ff' beiseite biegen und sie vom Steigrade entfernen, wodurch der Zahn z vom Ruhestein frei wird und das Steigrad in Bewegung kommt, wobei dieses mit dem Zahne y auf den Ausschnitt mn wirksam wird und hiedurch der Unruhe den erforderlichen Impuls gibt; sobald der Zahn y frei geworden, kommt jener x wieder auf den Ruhestein zu liegen, nachdem die Hemmungsfeder mittlerweile in ihre ursprüngliche Lage zurückgekehrt ist.

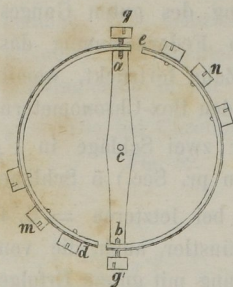
Man sieht, dass die Unruhe nur während der sehr kurzen Zeit, in welcher der Zahn y auf den Ausschnitt mn wirkt und den Impuls gibt, durch

das Steigrad mit dem Räderwerke in Verbindung tritt, sonst aber, von diesem völlig unabhängig, ihre Schwingungen vollführt, worin das Wesen einer sogenannten freien Hemmung, und eine Hauptbedingung des guten Ganges der Uhr besteht; dass ferner bei der beschriebenen Federhemmung das Steigrad nur mit jeder Doppel-Schwingung um einen Zahn fortrückt, womit gleichzeitig ein Sprung des Secundenzeigers erfolgt. Bei den Box-Chronometern (4 einfache Schwingungen in 1^s) wird daher letzterer zwei Schläge in 1^s , bei den Taschen-Chronometern (5 einfache Schwingungen pr. Sec.) 5 Schläge in 2^s machen, also ein Schlag bei ersteren = 0.5^s , bei letzteren = 0.4^s sein. In neuerer Zeit haben namentlich Schweizer Künstler auch die von den Taschen-Ankeruhren her bekannte freie Ankerhemmung mit gutem Erfolge bei Taschen-Chronometern in Anwendung gebracht, bei welcher Hemmung jedoch das Steigrad mit jeder einfachen Schwingung Impuls gebend um einen Zahn fortrückt, daher auch der Secundenzeiger 5 Sprünge in 1^s macht oder 0.2 schlägt; eine Eigenschaft, welche den Gebrauch dieser Uhren für manche Beobachter unbequem machen dürfte, da die rasche Aufeinanderfolge der Schläge die schnelle und sichere Ablesung der Uhr erschwert.

Die Spirale wird bei den Chronometern gewöhnlich cylindrisch hergestellt, so dass die Windungen, sämmtlich von gleichem Durchmesser, in der Mantelfläche eines Cylinders liegen. Sie bietet dem Künstler das Mittel, durch eine entsprechende Ausführung derselben in Bezug auf Länge, Stärke und Gestalt, insbesondere der beiden Enden, den Isochronismus der Schwingungen der Unruhe, und zwar auch für innerhalb gewisser Grenzen verschiedene Schwingungsamplituden zu erzielen. Letzteres ist bei Chronometern um so unerlässlicher, als bei diesen nicht nur, wie bei den Pendeluhren, Aenderungen in den Widerständen der Reibungen, z. B. wegen allmäliger Verdickung des Oeles, Aenderungen der Amplitude erzeugen, sondern noch andere zum Theil weit stärker wirkende Ursachen hinzutreten, wie Veränderungen in der bewegenden Kraft der Zugfeder und in der Elasticität der Spirale (während bei Pendeluhren die Schwerkraft, welche den Antrieb liefert und die Bewegung des Regulators beherrscht, constant ist), ferner Aenderungen der Reibung bei verschiedenen Lagen der Uhr, so wie die unvermeidlichen Erschütterungen bei jedem Transporte.

147. Da die Wärme die Unruhe und die Spirale ausdehnt, so wie die Elasticität der letzteren vermindert, so wird bei steigender Temperatur die Schwingungsdauer grösser und daher der Gang der Uhr verzögert, weil einerseits das Trägheitsmoment der Unruhe vergrössert, andererseits die elastische Kraft der Spirale, von welcher vorzugsweise die Schnelligkeit der Schwingungen abhängt, verringert wird. Um diesen Einfluss der Temperatur so viel wie

möglich zu beseitigen, wird die Unruhe auf die in Fig. 83 dargestellte Weise construirt. Der Arm ab trägt die zwei kreisförmigen, zur Axe c der Unruhe concentrischen Lamellen ad und be , welche aus zwei Metallen von verschiedener Ausdehnung (gewöhnlich Stahl und Messing), durch Löthung verbunden, gebildet sind, so dass das durch die Wärme sich stärker ausdehnende Metall (Messing) nach aussen liegt. Mit jeder Lamelle sind gegen ihr freies Ende hin sogenannte compensirende Massen verbunden, gewöhnlich in Form von mehreren Schrauben m, n mit grösseren Köpfen, deren je zwei von gleichem Gewichte genau in einem Durchmesser



der Unruhe gegenüberstehen. Bei steigender Temperatur werden die Lamellen in Folge der jene des Stahles überwiegenden Ausdehnung des Messings sich gegen den Mittelpunkt krümmen und die compensirenden Massen diesem näher bringen, wodurch das Trägheitsmoment vermindert und, bei gehörigen Verhältnissen, die durch die Abnahme der Elasticität der Spirale eintretende Verzögerung der Schwingungen wieder compensirt wird. Man sieht leicht, dass die compensirende Wirkung um so grösser sein wird, je schwerer die compensirenden Massen sind und je näher diese den freien Enden d, e der Lamellen gebracht werden, wodurch das Mittel zur Regulirung der Compensation geboten ist. Findet man aus Beobachtungen des Ganges der Uhr bei verschiedenen Temperaturen, dass dieselbe bei höheren Temperaturen langsamer geht als bei niedrigeren, also zu wenig compensirt ist, so hat man diese Massen den freien Lamellen-Enden näher zu rücken, zu welchem Zwecke eine Reihe von Löchern in gleichen Abständen, je zwei in einem Durchmesser liegend, gebohrt sind; umgekehrt sind dieselben gegen a, b hin zu versetzen, wenn die Uhr sich übercompensirt zeigt. Hiebei müssen stets zwei gegenüberliegende Schrauben um eine gleiche Anzahl von Löchern versetzt werden, um das Gleichgewicht der Unruhe um ihre Axe nicht zu stören. Man regulirt auf diese Weise die Compensation so, dass der Gang in der Nähe von 0° und von 35 bis 40° C. möglichst nahe gleich ist; hierbei erheblich unter 0° zu gehen, ist nicht räthlich, weil bei grösserer Kälte die Eindickung des Oeles den Gang ändert und störend auf den Versuch einwirkt.

An der Unruhe ist auch in der Regel die Einrichtung zur Regulirung des Ganges angebracht, nämlich zwei Schrauben g, g' an den Enden des Armes ab ; aus dem schon oben erwähnten Grunde werden die Schwingungen langsamer oder schneller, also der Gang verzögert oder beschleuniget, je nachdem man diese Schrauben vom Mittelpunkte der Unruhe entfernt oder diesem nähert. Auch hier ist sorgfältig darauf zu achten, dass stets beide Schrauben um gleichviel heraus- oder hineingeschraubt werden, damit die Aequilibrirung der Unruhe nicht verloren gehe.

148 Chronometer sollen stets in derselben Lage gebraucht werden, am zweckmässigsten in horizontaler, das Zifferblatt nach oben gekehrt, weil der Gang derselben in verschiedenen Lagen, z. B. horizontaler und verticaler, immer mehr oder weniger verschieden sein wird, wenn auch die Künstler auf die Regulirung der Gleichförmigkeit für verschiedene Lagen allen Fleiss verwenden. Es ist wichtig, die Chronometer regelmässig nahe zur selben Zeit aufzuziehen, damit von einem Aufziehen zum andern die Zugfeder stets in derselben Art in Anspruch genommen und dadurch die bewegende Kraft möglichst gleichmässig erhalten wird. Ein Chronometer kommt, wenn es stehen geblieben, nach dem Aufziehen nicht von selbst in Gang, was sich aus der Einrichtung des Echappements leicht erklärt; man muss durch eine leichte Drehung, die man der Uhr in ihrer Ebene gibt, die Unruhe in Bewegung setzen. Beim Aufziehen selbst ist es rätlich, nur den Schlüssel und nicht auch die Uhr zu drehen, weil in Folge letzterer Bewegung dieselbe stehen bleiben kann; denn man kann jedes Chronometer leicht zum Stehen bringen, indem man es mehrmals in seiner Ebene hin und her dreht.

Bei dem Transporte eines Chronometers zu Wagen ist dasselbe so viel als möglich vor den Erschütterungen zu bewahren, und zu diesem Zwecke auf ein sehr elastisches Kissen fest zu stellen. Meistens wird der Gang während des Transportes mehr oder weniger verschieden sein von jenem in der Ruhe, und kann namentlich der Transport auf Eisenbahnen wegen der mehr regelmässigen Aufeinanderfolge der Stösse auf den Schienen nachtheiliger einwirken, als jener in einem Reisewagen auf guter Strasse. Box-Chronometer müssen während des Transportes zu Lande in ihrer Compass-Suspension arretirt werden, wozu die erforderliche Einrichtung stets vorhanden ist. Vorzüglich ist auch darauf zu achten, dass Chronometer während des Transportes regelmässig aufgezogen werden und nicht stehen bleiben, weil die fortwährenden Erschütterungen, welche dann nicht mehr in der schwingenden Bewegung der Unruhe eine abschwächende Gegenwirkung finden, leicht das Verderben der Uhr zur Folge haben können. Ist ein Chronometer zu versenden, so muss man es vorher ablaufen lassen und sodann die Unruhe arretiren, indem man ein doppelt gefaltetes Stückchen Papier von entsprechender Dicke zwischen die Unruhe und die Bodenplatte bringt.

149. Sehr häufig tritt die Nothwendigkeit ein, zwei Uhren miteinander zu vergleichen, um den Stand derselben gegeneinander zu bestimmen. Fallen die Schläge beider Uhren genau zusammen, so hat dies keine Schwierigkeit; meist wird dies aber nicht der Fall sein. Man kann dann die Vergleichung in der Art bewerkstelligen, dass man, bei einer bestimmten im Gedächtniss zu behaltenden Secunde der einen Uhr *A* mit Null beginnend, die Schläge derselben fortzählt, und nun auf die zweite Uhr *B* sehend, irgend einen passend gelegenen Schlag der Uhr *A* zwischen zwei Schläge der Uhr *B* hin-

einschätzt, indem man hiebei das Verhältniss, in welchem das Intervall dieser zwei Schläge durch den dazwischen fallenden Schlag der Uhr A getheilt wird, nach dem Gehöre beurtheilt. Es ist klar, dass, wenn das Hineinschätzen unterlassen und nur der zunächst liegende Schlag der Uhr B aufgefasst wird, der Fehler einer solchen Vergleichung nicht grösser werden kann, als das halbe Zeitintervall zweier Schläge der Uhr B , also z. B. $0^s.2$, wenn letztere ein Taschen-Chronometer, $0^s.4$ schlagend, ist; bei grösserer Uebung wird man, den Bruchtheil schätzend, eine grössere Genauigkeit erreichen, immerhin aber durch dieses Verfahren das Resultat kaum weiter als auf $0^s.1$ verbürgen können.

Eine weit grössere Schärfe erlangt man durch die Beobachtung der Coincidenzen der Schläge beider Uhren, welche stets nach bestimmten Perioden eintreten, wenn der Gangunterschied von Null verschieden, und auch häufig genug, wenn dieser Unterschied nicht zu klein ist. Geht z. B. von zwei Sekunden-Pendeluhrn die eine nach Sternzeit, die andere nach mittlerer Zeit, und sind die Schläge der ersteren gegen jene der zweiten um einen Bruchtheil einer Secunde zurück, so wird dieser Abstand nicht constant bleiben, sondern in Folge des Voreilens der Sternzeit-Uhr immer kleiner werden, bis endlich die Schläge beider Uhren durch das Gehör nicht mehr als getrennt, sondern als coincidirend wahrgenommen werden; nach kurzer Zeit jedoch werden dieselben sich wieder trennen und mehr und mehr auseinandergehen, bis die Schläge der einen Uhr in die Mitte der Schläge der anderen fallen, von wo ab wieder die Annäherung beginnt. Die Erfahrung zeigt, dass das Gehör bei einiger Uebung zwei Schläge schon als getrennt wahrnimmt, sobald das Zeitintervall nicht erheblich kleiner als etwa $0^s.02$ ist, und bis auf diese Grenze genau wird man daher durch Beobachtung einer Coincidenz den relativen Stand zweier Uhren erhalten; selbstverständlich kann durch Beobachtung mehrerer aufeinanderfolgenden Coincidenzen die Genauigkeit gesteigert werden, indem man dieselben zu einem Mittel vereinigt. Da 1^s Sternzeit $= 0^s.99727$ mittl. Zeit, so gewinnt eine nach Sternzeit gehende Uhr in jeder Secunde $0^s.00273$ gegen die der mittleren Zeit folgende, folglich in $\frac{1}{0.00273} = 366^s$ eine volle Secunde, daher bei den hier vorausgesetzten Uhren nach je 366^s Sternzeit oder 355^s mittl. Zt. eine Coincidenz eintreten wird. Bei der Vergleichung eines nach mittlerer Zeit gehenden Chronometers, welcher $0^s.4$ schlägt, mit einer der Sternzeit folgenden Sekunden-Pendeluhr muss, da 2 Chronometerschläge $= 0^s.8 = 1 - 0^s.2$ sind, zwischen je zwei Coincidenzen eine Veränderung des relativen Standes beider Uhren um $0^s.2$ eintreten, daher die Coincidenzen in Intervallen von $\frac{0.2}{0.00273} = 73^s$ stattfinden werden.

Die Vergleichung selbst zur Zeit einer Coincidenz hat weiter keine Schwierigkeit und geschieht in der schon oben angegebenen Art, indem man die Zählung an der einen Uhr kurz vor der eintretenden Coincidenz beginnt, und die Angaben beider Uhren zur Zeit, wo die Schläge am schärfsten zusammenfallend gehört werden, aufschreibt.

Die Periode, nach welcher die Coincidenzen zweier Uhren A und B aufeinanderfolgen, ergibt sich leicht allgemein auf folgende Weise.

Es mache die Uhr $A \dots n$ Schläge in m Sec. Uhrzeit,

„ „ $B \dots n'$ „ „ m' „ „

und seien p Sec. der Uhr $A = p + \delta$ Sec. der Uhr B , d. h. die Uhr B eile jener A um δ Sec. vor in p Sec. der Uhr A . Sei ferner irgend ein Zeitintervall in Sec. der Uhr A ausgedrückt $= t$, in Sec. der Uhr B ausgedrückt $= t'$, so ist $t : t' = p : p + \delta$, also:

$$t' = t \frac{p + \delta}{p}.$$

Macht nun die Uhr A in diesem Zeitintervalle s , die Uhr B s' Schläge, so ist: $n : m = s : t$ und $n' : m' = s' : t'$, somit:

$$s = \frac{n}{m} t, \quad s' = \frac{n'}{m'} t' = \frac{n'}{m'} \cdot \frac{p + \delta}{p} t,$$

woraus folgt:

$$\frac{s'}{s} = \frac{mn'(p + \delta)}{nm' \cdot p},$$

und dieser Bruch, auf seine kleinste Benennung gebracht, gibt das Verhältniss der Anzahl der Schläge beider Uhren von einer Coincidenz zur anderen. Da aber hiebei meistens sehr grosse Zahlen erhalten werden, so verwandle man obigen Bruch in einen Kettenbruch, dessen Näherungsbrüche dann genäherte Auflösungen geben. Sei $\frac{mn'}{nm'}$ (auf die kleinste Benennung gebracht) $= \frac{\alpha}{\beta}$, so ist:

$$\frac{s'}{s} = \frac{\alpha}{\beta} \left(1 + \frac{\delta}{p} \right).$$

Gewöhnlich ist δ gegen p sehr klein und es ist $\frac{s'}{s} = \frac{\alpha}{\beta}$ eine erste Näherung; erscheint der Bruch $\frac{\alpha}{\beta}$ unter den Näherungsbrüchen, so gibt der folgende die erste genäherte Auflösung mit Rücksicht auf δ ; wo nicht, so muss ein Bruch gewählt werden, dessen Zähler und Nenner grösser als α und β .

Die Periode ist dann $t = \frac{m}{n} s$ Sec. der Uhr $A = \frac{m'}{n'} s'$ Sec. der Uhr B .

Beispiele. 1) Beide Uhren seien Secunden-Pendel; A nach mittlerer, B nach Sternzeit gehend. Dann ist: $m = n = m' = n' = 1$; $p = 86400$, $\delta = 3^m 56^s .56 = 236^s .56$, also:

$\frac{s'}{s} = \frac{86636.56}{86400}$; die Näherungsbrüche sind $\frac{s'}{s} = \frac{1}{1}, \frac{366}{365}, \frac{1465}{1461}, \text{etc.}$;

der zweite, $\frac{366}{365}$, ist die erste genäherte Auflösung mit Rücksicht auf den Gangunterschied, wonach also 366 Schläge der Uhr $B = 365$ Schlägen der Uhr A sind; da 365^s mittl. Zt. $= 365^s.99934$ St. Zt. sind, so ist diese Periode schon sehr genau, und der Unterschied bei der Beobachtung verschwindend.

Dieselbe Periode findet übrigens auch statt für irgend zwei Uhren, von welchen die eine nach mittlerer, die andere nach Sternzeit geht, wenn $\frac{m}{n} = \frac{m'}{n'}$.

- 2) A : Taschenchronometer, 5 Schläge in 2^s , nach mittl. Zt. gehend;
 B : Secundenpendeluhr nach Sternzeit gehend.

$n = 5, m = 2, n' = m' = 1; p = 86400, \delta = 236.56$; also:

$$\frac{s'}{s} = \frac{2}{5} \cdot \frac{86636.56}{86400}; \frac{s'}{s} = \frac{1}{2}, \frac{2}{5}, \frac{73}{182}, \frac{586}{1461}, \text{etc.}$$

Es tritt daher nach je 73^s Sternzeit $= \frac{2}{5} \cdot 182 = 72^s.8$ Chronometerzeit eine Coincidenz ein, und schon sehr genau, da $72^s.8$ mittl. Zt. $= 72^s.99932$ Sec. Sternzeit.

Ebenso findet man, dass für ein Box-Chronometer, $0^s.5$ schlagend und nach mittlerer Zeit gehend, und eine der Sternzeit folgende Secunden-Pendeluhr die Coincidenzen nach je 183^s St. Z. $= \frac{1}{2} \cdot 365 = 182^s.5$ Chronometerzeit aufeinanderfolgen.*)

Ist der Unterschied im täglichen Gange beider Uhren nur gering, so werden die Intervalle zwischen zwei Coincidenzen zu gross, um sie leicht abwarten zu können; man erreicht dann den Zweck durch Vergleichung beider mit einer dritten von erheblichem Gangunterschied, wenn eine solche zur Verfügung steht. Z. B. Zwei Taschen-Chronometer, $0^s.4$ schlagend und nach mittlerer Zeit gehend, wurden mit einer nahe der Sternzeit folgenden Pendeluhr verglichen, wie folgt:

*) Man sieht leicht, dass bei mehreren aufeinanderfolgenden Coincidenzen einer Secunden-Pendeluhr und eines Chronometers abwechselnd eine gerade und ungerade Secunde der Pendeluhr zur Coincidenz kommt. Zeigt sich hiebei, dass, im Mittel aus einer längeren Reihe von aufeinanderfolgenden beobachteten Coincidenzen, das Zeitintervall von einer geraden zur ungeraden Coincidenz stets etwas kleiner oder grösser ist als jenes von der ungeraden zur geraden Coincidenz, so liegt die Ursache in einer Ungleichheit des Abfalles der Pendeluhr (§. 143), welche sich auf diese Weise noch zu erkennen gibt, wenn sie ihrer geringen Grösse wegen dem Gehöre nicht mehr sicher wahrnehmbar ist.

Pendeluhr.	Chron. A.	Pendeluhr.	Chron. B.
$19^h 49^m 6^s$	$11^h 1^m 0^s.8$	$19^h 55^m 24$	$11^h 9^m 48^s.0$
<u>50 17</u>	<u>2 11.6</u>	<u>56 37</u>	<u>11 0.8</u>
Mittel: 19 49 41.5	11 1 36.2	19 56 0.5	11 10 24.4

Die Pendeluhr verlor täglich gegen Sternzeit $5^s.13$, und der tägliche Gang des Chronometers *A* gegen mittlere Zeit war $-7^s.38$. Nun ist die zwischen beiden Vergleichen verflossene Zeit der Pendeluhr $= 6^m 19^s.0 = 6^m 19^s.023$ Sternzeit $= 6^m 17^s.988$ mittl. Zeit $= 6^m 18^s.020$ Uhrzeit des Chron. *A*; man hat daher:

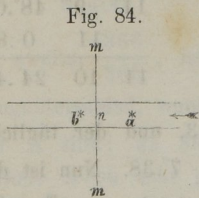
Chron. <i>A</i>	$11^h 1^m 36^s.20$
Zwischenzeit in Uhrzeit <i>A</i>	<u>6 18.02</u>
Chron.-Zt. <i>A</i> , reducirt auf die Zeit der Vergl. von <i>B</i> $=$	$11 7 54.22$
Chron.-Zt. <i>B</i>	<u>11 10 24.40</u>
Differenz: $B - A = +$	$2 30.18$

Es ist somit der relative Stand beider Chronometer $= 2^m 30^s.18$ (*B* voraus gegen *A*), entsprechend der Uhrzeit *A* $= 11^h 7^m.9$ und der Uhrzeit *B* $= 11^h 10^m.4$.

150. Die Art und Weise, wie der Moment des Eintrittes einer zu beobachtenden Erscheinung an der Uhr aufzufassen ist, kann verschieden sein, je nach der Beschaffenheit der Erscheinung und der zur Beobachtung verwendeten Uhr. Dabei kann in der Regel immer vorausgesetzt werden, dass die Zeit des Eintrittes näherungsweise bekannt ist, sei es durch eine Vorausberechnung, wie bei Finsternissen, Sternbedeckungen durch den Mond u. dgl., oder dass sie aus dem Anblicke der sich vollziehenden Erscheinung selbst zu entnehmen ist.

Bei Benützung einer Secunden-Pendeluhr besteht das Verfahren in der Regel darin, dass man kurz vor dem Eintritte der Erscheinung den Secundenzeiger der Uhr abliest, und nun, die gehörten Schläge der Uhr fortzählend, den Eintritt der Erscheinung abwartet; dieser wird meistens zwischen zwei Secundenschläge fallen, wo dann das Verhältniss, in welchem das Intervall getheilt wird, zu schätzen und der Bruchtheil zu der vorausgehenden Secunde zu addiren ist. Diese Schätzung geschieht entweder bloss nach dem Gehöre, wie z. B. bei Beobachtung von Ränderberührungen mit dem Sextanten, etc., oder mit Zuhilfenahme des Augenmaasses, wie z. B. bei der Beobachtung des Durchganges eines Sternes durch einen Faden. Im letzteren Falle verfolgt man die Bewegung des Sternes, die Secundenschläge der Uhr fortzählend, und schätzt das Verhältniss, in welchem der von dem Sterne in 1^s zurückgelegte Weg *ab*

(Fig. 84) durch den Faden mm getheilt wird, nach dem Augenmaasse, indem man den Abstand an , in welchem sich der Stern bei dem letzten vor dem Durchgange gezählten Secundenschlage (z. B. 47^s) befand, im Gedächtnisse behält und mit dem Wege ab vergleicht, welchen er bis zum nächsten Schlage (48^s) zurückgelegt hat. Hat man z. B. $an = 0.7 ab$ geschätzt, so ist die Durchgangszeit $= 47^s.7$.



Auf gleiche Weise beobachtet man an einem, halbe Secunden schlagenden Box-Chronometer, indem man, die halben Secunden auslassend, nur die ganzen Secundenschläge mitzählt.

Bei Benützung eines 0.4 schlagenden Taschen-Chronometers verfährt man in umgekehrter Weise, indem man die Zählung der Chronometerschläge mit dem unmittelbar auf die beobachtete Erscheinung folgenden Schlage mit Null beginnt und bis zu einer am Chronometer sicher abzulesenden Secunde fortzählt, von welcher sodann die Anzahl der gezählten Schläge, eventuell um einen geschätzten Bruchtheil eines Schlages vermehrt und durch Multiplication mit $0,4$ in Secunden verwandelt, abzuziehen ist. Handelt es sich also z. B. um die Beobachtung des Durchganges eines Sternes durch einen Faden, und war der Stern bei einem Chronometerschlage in a , Fig. 84, bei dem Folgenden in b , wobei der Abstand nb gleich $\frac{1}{4}$ von ab geschätzt wurde, so beginnt man bei dem letzteren Schlage mit Null zu zählen, und findet z. B., sofort auf den Chronometer sehend, dass der Secundenzeiger bei dem 9^{ten} Schlage auf 20^s einschlägt; die Zeit des Fadenantrittes ist dann $20^s - 9 \frac{1}{4}$ Chronometerschläge $= 20^s - 3^s.7 = 16^s.3$, welcher Angabe noch die Minuten und Stunde beigefügt werden. In gleicher Art kann jede andere Erscheinung beobachtet werden.

Wie man sieht, wird bei dieser Methode der Beobachtung nebst dem Auge das Gehör des Beobachters in Anspruch genommen, daher sie auch die Aug- und Ohrmethode genannt wird.

151. Eine von der im vorhergehenden §. beschriebenen Methode wesentlich verschiedene Art der Beobachtung findet bei Anwendung der Chronographen oder Registrirapparate statt, welche als eine Ergänzung der astronomischen Uhren betrachtet werden können, indem sie dazu dienen, die Aufeinanderfolge der hörbaren Uhrschläge auf einem Papierstreifen oder Papierblatte in eine Reihe sichtbarer Zeichen (Zeitscala) zu verwandeln. Wird damit eine Einrichtung verbunden, welche dem Beobachter gestattet, im Momente des Eintrittes der zu beobachtenden Erscheinung gleichfalls ein Zeichen auf dem Papiere hervorzubringen, so kann der Ort desselben gegen die beiden benachbarten Secundenzeichen der Zeitscala mit grosser Schärfe

bestimmt, und auf diese Art die Uhrzeit des Eintrittes der Erscheinung von dem Papiere abgelesen werden.

Diese Methode der Beobachtung wird die Registrir- oder Aug- und Handmethode genannt, weil der Beobachter das dem aufzufassenden Momente entsprechende Zeichen auf dem Papiere durch einen Druck auf einen in seiner Hand befindlichen Schlüssel oder Taster hervorbringt, wobei also nebst dem Auge die Muskelthätigkeit in Anspruch genommen wird. Sie wurde von den amerikanischen Astronomen vor nahe 30 Jahren in die astronomische Praxis eingeführt.

Die einfachste Form des Chronographen ist die des bekannten Morse'schen Telegraphenapparates, bei welchem ein Papierstreifen mittelst eines durch Gewicht oder Federkraft angetriebenen Räderwerkes mit gleichförmiger Geschwindigkeit über der an dem einen Ende eines Hebels befindlichen Stahlspitze fortgeführt wird, auf dessen anderes mit einem Anker armirtes Ende ein Elektromagnet wirkt. So oft der Strom der galvanischen Batterie, mit welcher der Elektromagnet in Verbindung steht, momentan geschlossen wird, wird der Anker von dem Elektromagnet angezogen und die Spitze an das Papier gedrückt, welche auf demselben ein sichtbares Zeichen zurücklässt. Nach Unterbrechung des Stromes wird der Anker durch eine Feder (Abreissfeder) vom Magnet losgerissen und der Hebel wieder in seine ursprüngliche Lage versetzt.

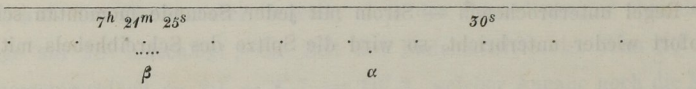
Wird nun in den Stromkreis der Batterie eine Pendeluhr eingeschaltet, welche, mit einer hiezu dienlichen Contact - Vorrichtung*) versehen, den — in der Regel unterbrochenen — Strom mit jeder Secunde momentan schliesst und sofort wieder unterbricht, so wird die Spitze des Schreibhebels mit jeder

*) Die einfachste Einrichtung ist der sogenannte Quecksilbercontact. Er besteht aus einem kleinen, in Holz ausgeführten, communicirenden Gefäss, welches mit Quecksilber gefüllt wird und so eingerichtet ist, dass durch einen, mittelst einer Schraube in dem einen weiteren Schenkel ausgeübten Druck das Quecksilber bis an das obere Ende des anderen engen Schenkels getrieben werden kann, so dass es, daselbst austretend, die Gestalt einer kleinen, das Gefäss überragenden Kuppe annimmt. Das Gefäss wird im Uhrkasten in einer solchen Lage befestiget, dass die metallene Pendelstange in der Ruhelage mit einer an ihrem unteren Ende befestigten Platinspitze in die Mitte der Quecksilberkuppe taucht. Durch Leitungsdrähte, in deren einen der Elektromagnet des Chronographen eingeschaltet ist, wird nun das Quecksilber mit dem einen, das Uhrwerk mit dem anderen Pole der Batterie in Verbindung gesetzt; hiernach wird, wenn die Uhr im Gange, der Strom jede Secunde beim Durchgange des Pendels durch die Ruhelage für die kurze Zeit geschlossen, in welcher die Pendelspitze die Quecksilberkuppe durchschneidet. — Dieser Contact hat den bedeutenden Nachtheil, dass in Folge des bei jedem Durchgange auftretenden Funkens das Quecksilber rasch oxydirt, wodurch die metallische Berührung zwischen Platin und Quecksilber in kurzer Zeit aufgehoben und der Contact unwirksam wird. Die fortschreitende Oxydation ändert überdies beständig den Widerstand, welchen

Secunde einen Eindruck auf dem Papierstreifen machen, und somit auf diesen eine fortlaufende Reihe von Puncten, eine Scala entstehen, deren einzelne Theile Zeitsecunden darstellen. In gleicher Weise wird in den Stromkreis ein Taster oder Schlüssel eingeschaltet, welchen der Beobachter in der Hand hält, und mittelst dessen er, durch einen leichten Druck auf eine Feder, den Strom in jedem beliebigen Augenblicke schliessen und hiedurch gleichfalls ein Zeichen auf dem Papiere hervorbringen kann. Da jedoch bei solcher Einrichtung, wenn ein vom Beobachter gegebenes Signal nahe mit einer Secunde zusammenfällt, die beiden entsprechenden Zeichen auf dem Papiere nicht hinreichend deutlich getrennt erscheinen würden, so werden am Apparate zwei mit Spitzen versehene Hebel und zwei Elektromagnete angebracht und diese durch zwei Batterien bethätiget; in den Stromkreis der einen wird die Uhr, in jenen der anderen der Schlüssel eingeschaltet. Die Hebelenden sind so geformt, dass die beiden Spitzen in einem möglichst geringen Abstände von einander liegen, und zwar in einer zur Bewegungsrichtung des Streifens senkrechten Geraden. Die Spitzen sind durch Charniere mit den Hebelenden verbunden, wodurch erzielt wird, dass sie beim Aufschnellen des Hebels nur feine Löchelchen in das Papier schlagen und wieder frei werden können, ohne den Streifen in seiner Bewegung zu hindern.

Fig. 85 zeigt den Streifen mit der von dem Uhrhebel registrirten Reihe der Secundenpuncte (Zeitscala) und einem vom Beobachter gegebenen und

Fig. 85.



von dem Signalhebel registrirten Signalpuncte α . Die Beziehung zwischen der Zeitscala und der Uhrzeit wird leicht dadurch hergestellt, dass der Beobachter bei einer bestimmten an der Uhr abgelesenen Secunde einige rasch hintereinander folgende Signale (s. Fig. bei β) gibt, welche den dieser Secunde entsprechenden Punct kennzeichnen, zu welchem sodann die volle Uhrzeit geschrieben wird.

das Pendel bei seinem Durchgange durch das Quecksilber erfährt, wodurch der Uhgang sehr veränderlich wird.

Unter den verschiedenen Einrichtungen, welche zur Verbindung der Uhr mit dem Chronographen ausgedacht wurden, mag die von Hansen angegebene als eine der vorzüglichsten bemerkt werden, bezüglich deren Beschreibung wir auf die Abhandlung von Hansen: „Bestimmung des Längenunterschiedes zwischen Gotha und Leipzig,“ in den Abhandlungen der math.-physik. Classe der königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften, VIII. Bd., Nr. II, oder: Carl's Repertorium für physikalische Technik, Bd. II., verweisen.

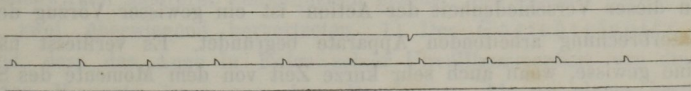
Das bei α registrirte Beobachtungssignal fällt zwischen 28^s und 29^s ; der Abstand von dem Punkte 28^s kann, wenn dies genügend erscheint, durch Schätzung nach dem Augenmasse, genauer aber durch Messung mit einem geeigneten Apparate erhalten werden, wozu zweckmässig ein auf eine Glasplatte eingerissenes System von eilf convergirenden Linien dienen kann, durch welches die Länge von 1^s direct in Zehntel und durch Schätzung in Hundertel Secunden getheilt wird. Hat man z. B. auf diese Art gefunden, dass der Abstand des Punctes α von jenem 28^s $0,37$ des Abstandes 28^s-29^s beträgt, so ist die dem Momente der Beobachtung entsprechende Uhrzeit $7^h 12^m 28^s,37$.

Die Bewegung des Streifens soll eine hinreichend gleichförmige sein, damit dieselbe, worauf es wesentlich nur ankommt, innerhalb jeder einzelnen Secunde ohne merklichen Fehler als vollkommen gleichförmig betrachtet werden kann.

152. Von der obbeschriebenen Einrichtung sind, im Wesentlichen, die Registrirapparate von Mayer und Wolf in Wien, und Ausfeld in Gotha; bei ersterem wird die Bewegung des Räderwerkes durch einen kleinen Elektromotor bewirkt; bei letzterem durch ein Gewicht, wobei ein Centrifugalpendel als Regulator dient, um die Bewegung gleichförmig zu machen.

Bei dem Streifenapparate von Hipp in Neuchâtel sind die Spitzen durch Capillarfedern von Glas ersetzt, d. i. durch Haarröhrchen, welche an dem einen Ende in eine feine Spitze auslaufen und mit dieser den Papierstreifen berühren, während das andere umgebogene Ende in ein mit Tinte gefülltes Gefäss taucht; durch die Capillarwirkung wird die Tinte den Spitzen zugeführt, welch' letztere auf dem sich fortbewegenden Streifen zwei parallele Linien zeichnen. Die Markirung der Secunden und Beobachtungssignale wird durch eine kleine seitliche von den Elektromagneten hervorgerufene Bewegung der Federn erzeugt (Fig. 86), so dass die von den Federn beschriebenen

Fig. 86.



Linien in dem Momente eine Unterbrechung erleiden, in welchem der Strom geschlossen wird. Als Regulator, zur Erzielung der gleichförmigen Bewegung des durch Zugfeder oder Gewicht getriebenen Räderwerkes, dient eine schwingende Feder, deren freies Ende auf einem mit dem Räderwerke verbundenen Sperrrade ruht und bei jeder Schwingung nur einen Zahn vorbeigehen lässt. Die Zahl der Schwingungen in 1^s hängt von der Elasticität der Feder und ihren Dimensionen ab und kann erforderlichen Falles auf eine bestimmte Anzahl regulirt werden.

Streifenapparate, wie die bisher erwähnten, sind ihrer compendiösen Form wegen leicht transportabel und eignen sich daher vorzüglich für den Gebrauch in Feldobservatorien; auf Sternwarten sind häufig die etwas grösseren Cylinderapparate im Gebrauche, bei welchen die Registrirung der Zeichen auf einem Blatte Papier erfolgt, welches über die Mantelfläche einer cylindrischen Trommel gespannt ist. Letztere wird durch ein Uhrwerk mit gleichförmiger Geschwindigkeit (1 Umdrehung per Minute) um ihre Axe gedreht, während gleichzeitig der Schreibapparat parallel zur Trommelaxe mit gleichförmiger Bewegung langsam fortgeführt wird, so dass er in einer gewissen Zeit, z. B. zwei Stunden, die ganze Länge des Cylinders durchläuft. Hierbei beschreibt jede Feder eine Spirallinie auf der Mantelfläche des Cylinders, welche, wenn das Papier von letzterem abgenommen wird, als ein System von parallelen Linien erscheint. Die Markirung der Secunden und Beobachtungszeichen erfolgt in ähnlicher Weise, wie bei dem vorhin erwähnten Streifenapparate von Hipp. Von dieser Art, in den Details übrigens mehr oder weniger von einander verschieden, sind die Cylinderapparate von Mitchel, Saxton, Bond, Krille, Knoblich, Hipp u. A.

153. Es wurde bisher angenommen, dass der Schreibapparat durch Schluss des, sonst unterbrochenen, elektrischen Stromes in Thätigkeit gesetzt werde; es kann dies jedoch auch durch Unterbrechung des, sonst geschlossenen, Stromes geschehen, wozu es nur einer einfachen Umkehrung in der Anordnung der betreffenden Theile des Apparates bedarf. Bei letzterer Einrichtung wird die Bewegung des Schreibhebels, durch welche auf dem Papiere das Zeichen entsteht, durch die Wirkung der Abreissfeder, nach Unterbrechung des Stromes, hervorgerufen, während bei der ersteren diese Bewegung durch die im Augenblicke des Stromschlusses beginnende Wirkung des Magnetes auf den Anker eingeleitet wird, wobei die Spannung der Abreissfeder überwunden werden muss.

In dieser Verschiedenheit der Action ist ein gewisser Vorzug der mit Stromunterbrechung arbeitenden Apparate begründet. Es verfliesst nämlich stets eine gewisse, wenn auch sehr kurze Zeit von dem Momente des Stromschlusses bis zu dem Augenblicke, wo die Spitze oder Feder auf dem Papiere das Zeichen macht. Wäre diese Zeit constant und die gleiche für die Uhr- und Beobachtungssignale, so würde sie offenbar auf den Zeitunterschied zweier registrirter Erscheinungen keinen Einfluss haben; dies ist aber nicht nothwendig der Fall, und im Allgemeinen wird dieselbe, weil abhängig von der Stromstärke und der Trägheit der Magnete nicht nur verschieden sein für beide Magnete, sondern auch veränderlich für jeden derselben, wodurch ein, wenn auch immer sehr kleiner Fehler entsteht. Wenn nicht ganz verschwindend, so doch weit kleiner und constanter, ist hingegen die Zeit vom

Momente der Stromunterbrechung bis zu jenem der Verzeichnung des Signals auf dem Papiere.

Es sollen ferner die beiden Spitzen oder Federn in Bezug auf ihre relative Stellung so adjustirt sein, dass, wenn sie gleichzeitig in Bewegung gesetzt werden, die Zeichen auf dem Papiere in einer auf dem von ihnen beschriebenen Wege senkrechten Geraden liegen. Eine in dieser Beziehung stattfindende Abweichung vermischt sich mit der eben zuvor besprochenen Fehlerquelle und man pflegt die vereinigte Wirkung beider die Parallaxe der Federn (oder Spitzen) zu nennen. So lange dieselbe constant bleibt, ist sie ohne Einfluss auf die aus den registrirten Beobachtungen abgeleiteten Resultate. Der Betrag der Parallaxe kann übrigens jederzeit leicht bestimmt werden, indem man die Uhr gleichzeitig auf den Uhr- und Signalhebel wirken lässt, und zu diesem Zwecke auch den Strom der Signalbatterie durch die Uhr leitet; dies wird einfach dadurch bewirkt, dass man die beiden Klemmen, von welchen die zum Schlüssel führenden Drähte auslaufen, mit jenen zwei Klemmen durch Drähte verbindet, an welchen die zwei zur Uhr führenden Leitungsdrähte befestigt sind. Bei dieser Anordnung werden die beiden Ströme gleichzeitig geschlossen oder unterbrochen, und ist die Ausweichung der von beiden Spitzen oder Federn gemachten Zeichen sofort die gesuchte Parallaxe.

154. Die Genauigkeit, mit welcher die Zeit des Eintrittes einer zu beobachtenden Erscheinung aufgefasst werden kann, oder der wahrscheinliche Fehler, mit welchem dieselbe behaftet ist, hängt vor Allem von der Beschaffenheit der Erscheinung ab, und es kann bei der grossen Mannigfaltigkeit derselben eine hierauf bezügliche Untersuchung selbstverständlich immer nur auf eine bestimmte Gattung von Erscheinungen sich beziehen. Von besonderem Interesse ist die Kenntniss des wahrscheinlichen Fehlers der Beobachtung von Fadendurchgängen der Sterne. Wie dies bei jedem Beobachtungsfehler der Fall ist, so wird auch jener eines Fadenantrittes durch das Zusammenwirken mehrerer Fehlerquellen erzeugt, von welchen jedoch vorzugsweise zwei überwiegend hervortreten. 1) Der Gesichtsfehler, daher rührend, dass das Auge in Folge seiner Unvollkommenheit von einem bestimmten Momente kurz vor dem Durchgange bis zu einem bestimmten Momente nach demselben Stern und Faden als coincidirend wahrnimmt, indem es beide Objecte, sobald der Abstand unter eine gewisse Grenze gesunken ist, nicht mehr zu trennen vermag. Dieser Fehler wird offenbar mit der Vergrößerung des Fernrohres und der auf den Faden senkrechten Componente der Geschwindigkeit des Sternes in verkehrtem Verhältnisse stehen. Setzt man die Geschwindigkeit eines Sternes im Aequator $= 1$, so ist jene eines Sternes von der Declination δ in seinem Parallel $= \cos \delta$, folglich die auf den Faden senkrechte Componente $= \cos \delta \sin \eta$, wenn η den Winkel

bedeutet, welchen der Parallel oder die Bewegungsrichtung des Sternes mit dem Faden bildet. Der Ausdruck des Gesichtsfehlers wird daher die Form:

$$\frac{b}{v \cos \delta \sin \eta} = \frac{b}{v} \sec \delta \operatorname{cosec} \eta$$

haben, wo b eine Constante, und v die Vergrößerung des Fernrohres bedeutet. 2) Ein constanter, von der Geschwindigkeit des Sternes unabhängiger Fehler, welcher bei den Aug- und Ohrbeobachtungen aus der Unsicherheit in der Auffassung der Schläge der Uhr durch das Gehör (Gehörfehler) entsteht, bei Registrirbeobachtungen aber aus der Unsicherheit in der Uebertragung des vom Auge empfangenen Eindruckes auf die Muskeln der Hand, dem Ablesungsfehler der registrierten Zeichen und der veränderlichen Wirkung der elektromagnetischen Apparate zusammengesetzt ist. Bezeichnet man letzteren Fehler mit a , den durch die vereinigte Wirkung beider Fehler hervorgehenden Beobachtungsfehler mit ε , so ist nach einem bekannten Satze der Theorie der kleinsten Quadrate [S. 32, Gl. (33)]:

$$\varepsilon^2 = a^2 + \left(\frac{b}{v}\right)^2 \sec^2 \delta \operatorname{cosec}^2 \eta.$$

Andere Umstände, welche auf den Beobachtungsfehler modificirend einwirken können, wie die Unruhe der Bilder, die verschiedene Helligkeit der Sterne, sind, wie die darauf bezüglichen Untersuchungen*) zeigen, unter gewöhnlichen, den Beobachtungen nicht ungünstigen Verhältnissen, von untergeordnetem Belange, so dass der obige Ausdruck für die Darstellung der Beobachtungsfehler der Fadendurchgänge von Sternen als genügend betrachtet werden kann.

Bedeutet p den parallaktischen Winkel, so ist für Verticalfäden $\eta = 90^\circ - p$, für Horizontalfäden $\eta = p$, und somit der Ausdruck des wahrscheinlichen Fehlers eines Fadendurchganges:

für Verticalfäden:

$$\varepsilon = \sqrt{a^2 + \left(\frac{b}{v}\right)^2 \sec^2 \delta \sec^2 p^2}, \quad (138)$$

für Horizontalfäden:

$$\varepsilon = \sqrt{a^2 + \left(\frac{b}{v}\right)^2 \sec^2 \delta \operatorname{cosec}^2 p^2}. \quad (139)$$

*) Anmerkung. Eine ausführlichere Zusammenstellung und Discussion des vorhandenen Beobachtungsmaterials findet sich in der Abhandlung: „Ueber die Bestimmung von Längen-Differenzen mit Hilfe des elektrischen Telegraphen.“ Von D. Th. Albrecht. Leipzig. 1869.

Für die Constanten a und b ergeben sich aus zahlreichen von verschiedenen Beobachtern an Meridian-Instrumenten angestellten Beobachtungen die folgenden Mittelwerthe:

bei der Aug- und Ohrmethode: $a = 0^s.07$, $b = 3^s.18$,

bei der Registrirmethode: $a = 0.05$, $b = 3.18$.

Die Registrirmethode gewährt daher, in Folge des kleineren Werthes von a , eine grössere Genauigkeit als die Aug- und Ohrmethode, so lange das zweite Glied nicht einen das erste erheblich überwiegenden Werth erreicht. Zur Anwendung dieser Ausdrücke wird sich im Folgenden mehrfache Gelegenheit bieten.

SIEBENTES CAPITEL.

DIE ZEITBESTIMMUNG.

155. Unter Zeitbestimmung versteht man die Aufgabe, die einer bestimmten Uhrzeit entsprechende Ortszeit (Sternzeit, mittlere oder wahre Zeit), oder, was dasselbe bedeutet, die Differenz beider, d. i. den irgend einer Uhrzeit entsprechenden Stand der Uhr gegen Ortszeit zu bestimmen. (Vergl. §. 142).

Jede Methode der Zeitbestimmung kommt darauf hinaus, den der Uhrzeit u entsprechenden Stundenwinkel t eines Gestirnes, dessen Position bekannt ist, durch Beobachtung zu finden. Ist nämlich x der Stand der Uhr gegen Sternzeit, so ist $u + x$ die der Uhrzeit u entsprechende Sternzeit, somit, wenn α die Rectascension des beobachteten Gestirnes, vermöge der Gl. (1): $u + x = \alpha + t$, woraus x erhalten wird, wenn nebst α der zur Uhrzeit u gehörige Stundenwinkel t bekannt ist.

Eine directe Messung des Stundenwinkels ist jedoch mit der hier erforderlichen Genauigkeit nicht ausführbar; man beobachtet daher andere, einer scharfen Messung zugängliche Grössen, aus welchen der Stundenwinkel durch Rechnung gefunden werden kann. Da sich zu diesem Zwecke mehrfache Wege darbieten, so ergeben sich verschiedene Methoden der Zeitbestimmung, von welchen im Folgenden die vorzüglichsten dargestellt werden sollen.

Wie aus Obigem erhellt, hängt der Uhrstand direct von der Rectascension des beobachteten Gestirnes ab, überdies wird bei manchen Methoden der Zeitbestimmung auch ein genauer Werth der Declination zur Berechnung des Stundenwinkels erfordert; es sind daher zur Zeitbestimmung Gestirne zu beobachten, deren Position möglichst genau bekannt ist, also gut bestimmte Fixsterne, namentlich die sogenannten Haupt- oder Fundamentalsterne, deren