

Ueber die Correction eines periodischen Fehlers in der Bewegung des Potsdamer 80 cm Refractors.

Von *J. Hartmann*.

[Mit einer Tafel].

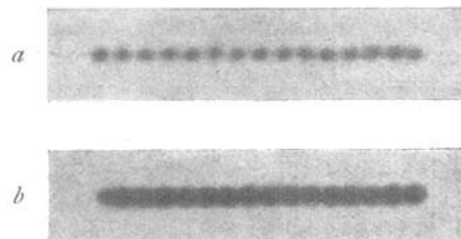
Bei einer früheren Mittheilung *) habe ich darauf hingewiesen, dass bei einem photographischen Refractor von grosser Brennweite ganz besonders hohe Anforderungen an das scharfe Halten des Sterns während der Aufnahme gemacht werden müssen, da die lineare Verschiebung, welche das Sternbildchen bei einer bestimmten Winkelbewegung der optischen Axe erleidet, proportional mit der Brennweite des Objectivs zunimmt. Dem entsprechend müssen auch alle Theile des Uhrwerks und der Transmission mit grösserer Genauigkeit functioniren, als es bei kleineren Instrumenten erforderlich ist. Wie ich a. a. O. bereits hervorheben musste, besass nun die Uhrschaube des 80 cm Refractors einen periodischen Fehler, der äusserst nahe in der Form einer einfachen Sinuscurve verlief. Aus den weiter unten mitgetheilten Messungen ergiebt sich die halbe Amplitude des Fehlers zu 0.00141 der Ganghöhe der Schraube, ein Betrag, der die bei Mikrometerschrauben gewöhnlich vorhandenen Fehler kaum übersteigt. Trotzdem war die dadurch verursachte Störung der gleichförmigen Fernrohrbewegung so störend, dass an eine Beseitigung des Fehlers ernstlich gedacht werden musste. Da höchst wahrscheinlich auch an anderen Refractors Fehler dieser Art vorhanden sein werden, so will ich im Folgenden mittheilen, welches Verfahren ich zur genauen Untersuchung, sowie zur schliesslichen Beseitigung des Fehlers in Anwendung gebracht habe.

Zum ersten Nachweise des Fehlers genügt es, nachdem der Gang des Uhrwerks möglichst genau regulirt ist, das Fernrohr unter Anwendung starker Vergrösserung auf einen Aequatorstern zu richten; ein Fehler der Uhrschaube verräth sich durch eine periodische Bewegung des Sternbildes, deren Dauer mit der Umdrehungszeit der Schraube übereinstimmt. Hat die beobachtete Periode eine andere Dauer, so wird es nicht schwer sein, auf Grund derselben einen anderen Theil des Triebwerks mit entsprechender Umdrehungszeit ausfindig zu machen, in welchem dann der Fehler zu suchen ist.

Sehr einfach und dabei ganz ausserordentlich empfindlich ist das folgende photographische Verfahren, durch welches es gelingt, selbst noch sehr kleine periodische Fehler des Triebwerks nachzuweisen. Man verändert den Gang des Uhrwerks so, dass sich das Sternbild in der Focalebene um etwa 0.2 bis 1.0 mm in einer Zeitminute fortbewegt; dann richtet man den Refractor auf einen Aequatorstern und nimmt

dessen Bild auf einer photographischen Platte auf, während das Instrument ganz ungestört der Bewegung durch das Uhrwerk überlassen wird. In Folge des unrichtigen Uhrganges bewegt sich das Sternbild auf der Platte in einer geraden Linie fort, und die so entstehende photographische Spur wird nur dann von ganz gleichmässiger Intensität sein, wenn das Triebwerk gänzlich frei von periodischen Fehlern ist. Beim Vorhandensein eines periodischen Fehlers im Uhrgange bilden sich dagegen in der Sternspur regelmässig wiederkehrende Intensitätsmaxima aus, deren Anzahl von der Dauer der Periode abhängt. In Fig. 1 sind in zehnfacher Vergrösserung zwei derartige Sternspuren wiedergegeben, die ich am 80 cm Refractor erhalten habe. Die Spur *a*, die am 17. Sept. 1901

Fig. 1.



aufgenommen wurde, zeigt den Schraubenfehler in seiner ursprünglichen Grösse; das Sternbild bewegte sich damals bei jeder Umdrehung der Uhrschaube um 2^h53 hin und her. Die Spur *b* wurde am 26. October aufgenommen, als in der weiter unten zu beschreibenden Weise die Amplitude der Schwankung auf 1^h36 herabgebracht worden war. Abgesehen von der grösseren Intensität der letzteren Spur, die von der grösseren Helligkeit des benutzten Sterns herrührt, erkennt man, dass in *b* der Contrast zwischen den Lichtknoten und den dazwischen liegenden Strecken geringer ist, als in *a*; dies hat seinen Grund in der kleineren Amplitude der Schwankung. Die Anzahl der Knoten ist in beiden Spuren die gleiche, es sind jedes Mal 15; da nun die ganze Spur in 15 Zeitminuten durchlaufen wurde, so beträgt die Dauer der Periode eine Zeitminute. Nun ist beim 80 cm Refractor die Uhrschaube der einzige Theil des Triebwerks, der genau in einer Minute eine Umdrehung macht, und man muss hier-

*) Aufnahmen des Planeten (345) Tercidina mit dem grossen Potsdamer Refractor; A. N. 3726.

aus schliessen, dass die Ursache des beobachteten Fehlers entweder in einer ungleichförmigen Bewegung dieser Schraube oder in einem periodischen Fehler in der Steigung ihres Gewindes liegt.

Auch an einem nur für optische Beobachtung eingerichteten Refractor lässt sich dieser photographische Versuch leicht ausführen. Man legt zu diesem Zwecke vor eine orthochromatische Platte eine kräftige Gelbscheibe und wickelt beide Platten zusammen in ein schwarzes Papier, in welches man nur eine kleine Oeffnung vom Durchmesser der Ocularöffnung am Mikrometerkasten des Refractors schneidet. Durch Gummibänder wird dann diese improvisirte Cassette nach Abschraubung des Ocularstutzens an dem Mikrometerkasten befestigt und letzterer so focussirt, dass auf der Platte ein möglichst scharfes Sternbild entsteht. Auf diese Weise liefert auch jedes optische Objectiv gute Aufnahmen, nur muss man wegen der starken Absorption in der Gelbscheibe etwas hellere Sterne verwenden.

So empfindlich dieses photographische Verfahren für den Nachweis eines periodischen Fehlers ist, so wenig ist es doch zu einer genauen Bestimmung seiner Grösse und Form anwendbar. Hierzu sind directe Messungen mit dem Ocularmikrometer erforderlich, die ich auf folgende Weise ausgeführt habe. Nachdem der Gang des Uhrwerks möglichst genau corrigirt war, wurde das Instrument auf einen Aequatorstern gerichtet. Während der Refractor nun ungestört der Bewegung durch das Triebwerk überlassen blieb, wurden unter Anwendung einer starken Vergrösserung mit der der

täglichen Bewegung der Sterne parallel gerichteten Schraube des Fadenmikrometers möglichst schnell hinter einander Einstellungen auf den Stern ausgeführt. Um den Moment jeder Einstellung gleich in Bezug auf die augenblickliche Stellung des Triebwerks zu fixiren, habe ich an dem einen Ende der Uhrschaube einen Zeiger angebracht, welcher sich auf einem in 60 Theile getheilten Zifferblatt herum bewegt. Da jeder astronomische Beobachter in der Ablesung des 60-theiligen Secundenzifferblattes geübt ist, so glaube ich, dass bei Anwendung dieser Theilung Versehen in der Ablesung des schnell bewegten Zeigers am wenigsten leicht vorkommen werden. Um eine kurze Bezeichnung zu haben, soll im Folgenden die Umdrehungszeit der Uhrschaube mit 1^m und folglich ein Theil jenes Zifferblattes mit 1^s bezeichnet werden. Die Stellung des Zeigers auf dem Zifferblatt wurde durch einen Gehülften auf Zuruf abgelesen. Es kommt darauf an, dass die Einstellungen möglichst schnell hinter einander gemacht werden, weil man nur so den Einfluss der nie ganz zu vermeidenden zufälligen Schwankungen im Uhrgange herabdrücken kann.

Aus dem umfangreichen Beobachtungsmaterial, welches ich zur genauen Untersuchung des Schraubenfehlers verwendet habe, möge zunächst die folgende Messungsreihe hier Platz finden, welche ich am 17. September ausgeführt habe; Beobachter am Zifferblatt war Dr. *Ludendorff*. In der ersten Columnne der Tabelle ist unter t die Ablesung am Zifferblatt der Uhrschaube, in der zweiten unter A die Ablesung der Mikrometerschraube (Bogensekunden) enthalten. Die übrigen Columnnen werden weiter unten erklärt.

1901 September 17.

t	A	B	P	R	F	t	A	B	P	R	F
$0^m 25^s$	5.4	4.1	+1.3	+1.25	+0.05	$4^m 42^s$	6.0	6.7	-0.7	-0.38	-0.32
0 36	5.0	4.2	+0.8	+0.40	+0.40	4 53	5.1	6.8	-1.7	-1.27	-0.43
0 48	3.0	4.3	-1.3	-1.02	-0.28	5 2	6.4	6.9	-0.5	-0.87	+0.37
1 5	3.9	4.5	-0.6	-0.55	-0.05	5 11	7.0	7.0	0.0	+0.23	-0.23
1 15	5.4	4.6	+0.8	+0.72	+0.08	5 18	8.0	7.0	+1.0	+1.00	0.00
1 23	5.6	4.7	+0.9	+1.24	-0.34	5 28	8.5	7.1	+1.4	+1.15	+0.25
1 38	4.4	4.8	-0.4	+0.14	-0.54	5 35	8.0	7.2	+0.8	+0.53	+0.27
1 50	4.1	5.0	-0.9	-1.16	+0.26	5 44	6.2	7.3	-1.1	-0.62	-0.48
2 1	4.3	5.1	-0.8	-0.97	+0.17	5 53	6.0	7.4	-1.4	-1.27	-0.13
2 13	5.6	5.2	+0.4	+0.48	-0.08	6 0	7.0	7.5	-0.5	-1.05	+0.55
2 22	6.9	5.3	+1.6	+1.22	+0.38	6 12	8.0	7.6	+0.4	+0.36	+0.04
2 31	6.3	5.4	+0.9	+0.94	-0.04	6 19	8.9	7.6	+1.3	+1.08	+0.22
2 41	5.0	5.5	-0.5	-0.25	-0.25	6 28	9.0	7.7	+1.3	+1.15	+0.15
2 50	4.5	5.6	-1.1	-1.16	+0.06	6 35	8.6	7.8	+0.8	+0.53	+0.27
3 0	4.1	5.7	-1.6	-1.05	-0.55	6 43	7.8	7.9	-0.1	-0.51	+0.41
3 12	5.9	5.8	+0.1	+0.36	-0.26	6 57	6.9	8.0	-1.1	-1.22	+0.12
3 21	6.5	5.9	+0.6	+1.19	-0.59	7 5	7.9	8.1	-0.2	-0.55	+0.35
3 33	6.8	6.0	+0.8	+0.75	+0.05	7 17	8.9	8.2	+0.7	+0.92	-0.22
3 42	5.4	6.1	-0.7	-0.38	-0.32	7 32	9.0	8.4	+0.6	+0.85	-0.25
3 51	5.1	6.2	-1.1	-1.21	+0.11	7 39	8.8	8.4	+0.4	+0.01	+0.39
4 1	5.3	6.3	-1.0	-0.97	-0.03	7 50	7.9	8.6	-0.7	-1.16	+0.46
4 14	7.0	6.4	+0.6	+0.60	0.00	8 8	8.2	8.7	-0.5	-0.17	-0.33
4 24	8.1	6.5	+1.6	+1.26	+0.34	8 19	10.0	8.8	+1.2	+1.08	+0.12
4 35	7.0	6.6	+0.4	+0.53	-0.13						

Jede Ablesung A lässt sich nun darstellen durch den Ausdruck

$$A = A_0 + A_1 t + P + F,$$

worin A_0 und A_1 Constanten sind, während P die durch den periodischen Fehler der Uhrschraube verursachte Schwankung und F der zufällige Einstellungsfehler ist. Da die Schraube eine Umdrehung in 60^s vollendet, so entspricht 1^s einem Drehungswinkel von 6° , und die Phase φ der Drehung ist mithin gegeben durch den Ausdruck

$$\varphi = 6s,$$

wo s die in t enthaltene Secundenzahl nach Abzug der ganzen Minuten ist.

Um zunächst einen Ueberblick über den Verlauf von P zu erhalten, befreit man A näherungsweise von dem fortschreitenden Fehler des Uhrganges; in der Tabelle habe ich hierfür den leicht zu berechnenden Werth

$$B = 3^{\circ}85 + 0^{\circ}01 t$$

angenommen, wo t in Secunden ausgedrückt ist. Die Zahlen $P = A - B$ lassen dann die periodische Schwankung sehr deutlich erkennen. Ein sehr anschauliches Bild von dem Verlaufe dieses Fehlers, erhält man durch graphische Darstellung der so berechneten Werthe von P nach dem Argument s . In der beifolgenden Tafel sind bei (1) die P aus der Tabelle eingetragen, und man sieht sofort, dass der Verlauf dieses Fehlers äusserst nahe die Form einer Sinuslinie hat. Setzt man daher nunmehr

$$P = a \sin \varphi + b \cos \varphi + c$$

und löst die so erhaltenen 47 Gleichungen nach der Methode der kleinsten Quadrate auf, so ergibt sich für die den Beobachtungen am besten entsprechende Sinuscurve der Ausdruck

$$R = +0^{\circ}726 \sin \varphi - 1^{\circ}037 \cos \varphi - 0^{\circ}011$$

$$\text{oder } R = 1^{\circ}266 \sin (\varphi - 54^{\circ}59'3) - 0^{\circ}011.$$

Dies ist die in der Curventafel unter (1) eingezeichnete Sinuslinie. Bildet man (Tabelle) die Differenz $F = P - R$, so zeigen die F das Verhalten zufälliger Beobachtungsfehler. Als mittlerer Fehler einer Einstellung ergibt sich $\pm 0^{\circ}31$, ein Betrag, der als sehr klein bezeichnet werden muss, wenn man berücksichtigt, dass die Messungen mit ausserordentlicher Schnelligkeit ausgeführt wurden, und dass ferner in den F alle zufälligen Schwankungen des Uhrganges sowie die durch den Wind hervorgerufenen Bewegungen des Fernrohrs mit enthalten sind. Der Uhrkreis des 80 cm Refractors besitzt 1440 Zähne; mithin entspricht jeder Zahn, d. h. jede Umdrehung der Uhrschraube einer Drehung des Fernrohrs um $15' = 900''$. In Theilen der Ganghöhe ausgedrückt ist daher die halbe Amplitude des periodischen Fehlers gleich $1.266 : 900$ oder 0.00141 , wie schon eingangs erwähnt wurde.

Nachdem durch eine Anzahl ähnlicher Beobachtungsreihen, die ohne Ausnahme völlig übereinstimmende Curven ergaben, das Vorhandensein, sowie die Form des in Rede stehenden Fehlers vollkommen sicher gestellt war, wurde die Beseitigung desselben in Angriff genommen. Das Nächstliegende war, zu versuchen, ob etwa durch nochmaliges Nachschleifen der Schraube der periodische Fehler vermindert werden könne. Zweimalige Versuche, die in dieser Richtung

angestellt wurden, blieben jedoch erfolglos. Hierdurch konnte die Vermuthung entstehen, dass der fehlerhafte Theil vielleicht nicht die Schraube selbst, sondern vielmehr das auf ihrer Axe befestigte Antriebsrad sei, durch welches die Umdrehung der Schraube bewirkt wird. Es ist dies ein Schneckenrad mit 60 Zähnen, dessen Antrieb durch eine kleinere Schraube, die ich im Folgenden zum Unterschied von der grossen Uhrschraube immer als die »Schnecke« bezeichnen werde, erfolgt. Die Schnecke führt eine Umdrehung in 1^s aus. Lag der Fehler im Schneckenrade, so konnte man hoffen, ihn durch besonders sorgfältige Anfertigung eines neuen Rades zu beseitigen. In entgegenkommendster Weise liess daher Herr Dr. Repsold selbst ein neues Rad herstellen und genau centrisch auf die Schraubenaxe aufsetzen. Allein auch diese Aenderung hatte keinerlei Erfolg; die von mir ausgeführten Beobachtungsreihen ergaben fortgesetzt eine gänzlich unveränderte Form der Fehlercurve. Hierdurch war nun auch bewiesen, dass der fehlerhafte Theil nicht das Schneckenrad, sondern, wie anfangs angenommen, die Schraube selbst war.

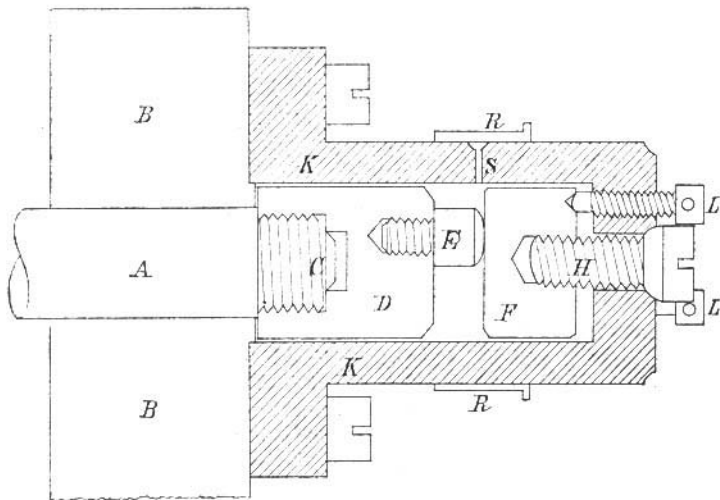
Nachdem die geschilderten Versuche, den Fehler zu entfernen, erfolglos geblieben waren, machte ich den Vorschlag, durch eine mechanische Vorrichtung die Wirkung des Fehlers auf die Bewegung des Refractors zu compensiren. Da der Fehler, wie durch meine Messungen bewiesen war, äusserst nahe die Form einer einfachen Sinuscurve hatte, so liess sich eine derartige mechanische Compensation auf verschiedene Arten leicht ausführen. Ich will hier zunächst einen misslungenen Versuch schildern, da der Vorgang für ähnliche Fälle lehrreich sein kann. Man konnte annehmen, dass durch excentrische Befestigung des Schneckenrades auf der Schraubenaxe eine Ausgleichung des Fehlers möglich sein müsse. Nach einer weit verbreiteten Ansicht entsteht durch excentrische Stellung eines Rades in der Bewegung der angetriebenen Axe eine periodische Ungleichheit von der Form einer einfachen Sinuslinie. War dies im vorliegenden Falle richtig, so musste es möglich sein, durch passende Versetzung des Schneckenrades den periodischen Fehler zu compensiren. Es wurde daher eine einfache Vorrichtung angebracht, die eine wenig excentrische Befestigung des Rades ermöglichte. Sodann ermittelte ich durch Rechnung aus den oben mitgetheilten Beobachtungen den Betrag und die Richtung der auszuführenden Verschiebung; es ergab sich, dass das Rad um 0.0536 mm in der Richtung nach demjenigen Zahne hin verschoben werden musste, der bei der Schraubenstellung $\varphi = 54^{\circ}59'3$ mitten in der Schnecke lag. Nach Ausführung dieser Verschiebung wurde am 20. September der Erfolg durch Beobachtung am Himmel geprüft. Das Ergebniss der Beobachtung war zunächst überraschend: die periodische Bewegung des Sternbildes war gänzlich ungeändert geblieben, obwohl bei der angegebenen excentrischen Stellung das Schlagen des Schneckenrades mit blossen Augen deutlich zu sehen war. Die Erklärung dieses negativen Erfolges ist nicht schwer. Sollte nämlich die Excentrirung den beabsichtigten Erfolg haben, so musste man die Voraussetzung machen, dass die Spitzen der Zähne des Schneckenrades, d. h. Punkte, die bei centrischer Stellung des Rades gleichen Abstand, bei excentrischer Stellung aber ungleichen Abstand von der Rotationsaxe haben, auf der

Schraubenfläche der Schnecke aufliegen und daher in gleichen Zeiten um gleiche Strecken fortbewegt werden. Dies war nun aber bei der vorliegenden Form der Zähne und der Schnecke (die Windungen haben rechteckiges Profil) offenbar nicht der Fall. Es liegen vielmehr die Kanten der Schneckenwindungen auf den Seitenflächen der Zähne des Schneckenrades auf; ist dies der Fall, so bleibt auch bei excentrischer Stellung des Rades der Angriffsradius völlig constant, und folglich hat die Excentrirung keinerlei Einfluss auf die Drehung.

Da das beschriebene Verfahren also nicht den gewünschten Erfolg gehabt hatte, schlug ich nun den folgenden Weg ein, der sicher zum Ziele führen musste.

Die Uhrschraube liegt an der tiefsten Stelle des Uhrkreises horizontal von Osten nach Westen gerichtet. Ist das Uhrwerk im Gange, so drückt die Schraube den gerade im Eingriff befindlichen Theil des Kreises nach Osten, sie selbst übt daher auf ihre Axenlager in der Richtung nach Westen hin einen Druck aus, welcher der Kraft entspricht, die zur Umdrehung des Instrumentes um die Stundenaxe erforderlich ist. Um trotz dieses bei grösseren Refractoren sehr erheblichen Druckes einen leichten und gleichmässigen Gang der Schraube zu erzielen, ist beim Potsdamer Refractor die Einrichtung getroffen, dass sich das westliche, genau senkrecht zur Axe plan geschliffene Ende der Schraube gegen einen ebenfalls planen Stein stützt. An Stelle dieser Aufstützung wurde nun zur Correction des periodischen Fehlers die in Figur 2 in natürlicher Grösse dargestellte Vorrichtung angebracht.

Fig. 2.



A ist das westliche cylindrische Ende der Uhrschraube, welches in dem Axenlager B ruht; C ist die plane Endfläche, die sich früher gegen den Stein stützte. Ueber das Schraubenende C wurde nun ein massiver Stahlcylinder D geschraubt, der etwas ausserhalb seiner Axe die Schraube E trägt. Letztere wurde aus bestem englischen Werkzeugstahl hergestellt, und der kugelförmig abgeschliffene, polirte Kopf ist glashart. Ist das Uhrwerk in Betrieb, so stützt sich dieser Kopf auf die ebenfalls fein polirte und glasharte Planfläche der kräftigen Stahlplatte F. Letztere wird in der aus Rothguss hergestellten, cylindrischen Kappe K durch die Zug-

schraube H und drei Druckschrauben L fest gehalten. Die seitliche Führung der Platte F in dem cylindrischen Hohlraume von K lässt jedoch so viel Spielraum, dass eine geringe Kippung der Planfläche durch verschiedenes Anziehen der Schrauben L möglich ist; ebenso ist die Schraube H durch eine hinreichend weite Oeffnung in der Deckplatte von K hindurchgeführt und ihr Kopf ist in einer kugelförmigen Pfanne gelagert. Die drei Druckschrauben L sind auf den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks angeordnet; ihre abgerundeten Spitzen ruhen in kegelförmigen Vertiefungen der Platte F, wodurch ein seitliches Drehen von F verhindert wird. Bei S ist ein Oelloch angebracht, welches durch den überschobenen Ring R verschlossen werden kann.

Steht die Planfläche von F nicht genau senkrecht auf der Rotationsaxe der Uhrschraube, so nimmt letztere während ihrer Drehung eine hin- und hergehende Bewegung in der Axenrichtung an, da der Schraubenkopf E durch den Widerstand, welchen der Refractor der Schraubendrehung entgegensetzt, dauernd gegen die Fläche F gepresst wird. Diese Längsverschiebung der Schraube benutze ich nun, um eine Compensation des periodischen Schraubenfehlers zu erreichen.

Es sei r der Radius des kleinen Kreises, den die Berührungsstelle der Schraube E auf der Planfläche F beschreibt, und i der Winkel, welchen die Normale dieser Fläche mit der Rotationsaxe der Uhrschraube bildet. Die Längsverschiebung d der Schraube hat alsdann bei der am Zifferblatt abgelesenen Schraubenstellung φ den Betrag

$$d = r \sin i \sin (\varphi - \varphi_0), \quad (1)$$

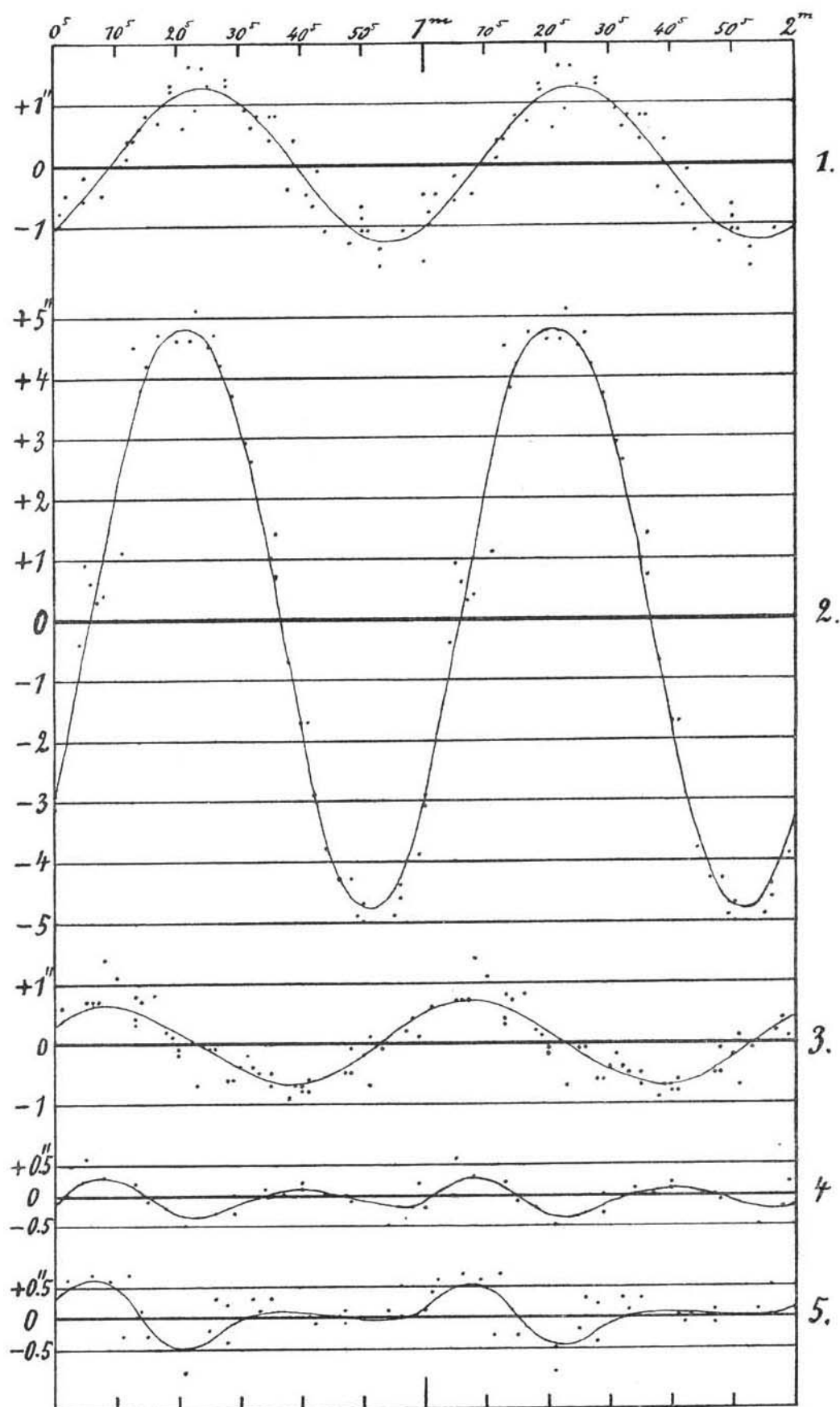
wo φ_0 die Stellung der Schraube ist, bei welcher der Berührungspunkt der Schraube E in diejenige Gerade fällt, längs welcher die Kippung der Fläche F erfolgt ist. Es sei ferner D der Abstand der Schrauben L von der Axe, die ich zur Unterscheidung mit L_1 , L_2 und L_3 bezeichnen will. Endlich sollen mit φ_1 , φ_2 und φ_3 diejenigen Stellungen der Uhrschraube bezeichnet werden, bei denen die Schraube E mit ihrem Contactpunkte in den durch die Schraube L_1 resp. L_2 und L_3 gelegten Axenschnitten liegt. Um obige Kippung, die durch die beiden Grössen i und φ_0 defnirt ist, zu beseitigen, müssen die drei Schrauben L um folgende Beträge S — abgesehen von kleinen Abweichungen, die durch die mechanische Ausführung des Systems bedingt sind — verschoben werden:

$$\begin{aligned} S_1 &= D \sin i \sin (\varphi_1 - \varphi_0) \\ S_2 &= D \sin i \sin (\varphi_2 - \varphi_0) \\ S_3 &= D \sin i \sin (\varphi_3 - \varphi_0) \end{aligned} \quad (2)$$

Als positive Verschiebung der Schrauben L soll das Anziehen derselben, als negative das Herausziehen bezeichnet werden. Bei dieser Festsetzung ist d positiv, wenn die Uhrschraube aus ihrer Mittellage nach Westen, negativ, wenn sie nach Osten gerückt ist.

Am 23. October wurde die hier beschriebene Correctionsvorrichtung an der Schraube des 80 cm Refractors angebracht. Wäre es hierbei zufällig gelungen, die Planfläche F genau senkrecht zur Schraubenaxe zu stellen, so würde sich bei der Beobachtung am Himmel der periodische Fehler wieder in seiner früheren Form

$$R = 1''.266 \sin (\varphi - 54^\circ 59'3'')$$



gezeigt haben. Dass dies eintreten würde, war jedoch sehr unwahrscheinlich. Es war vielmehr zu erwarten, dass in Folge fehlerhafter Stellung der Fläche F zunächst ein neuer, vielleicht sehr grosser periodischer Fehler auftreten würde, mit welchem sich dann der frühere Fehler R vereinigte. Bekanntlich entsteht durch derartige Uebereinanderlagerung zweier Sinuscurven stets wieder eine einfache Sinuscurve. Um den ursprünglichen Fehler R zu compensiren, war es dann nur nöthig, den so entstandenen Summenfehler zu beseitigen. In Folge der mechanischen Unvollkommenheiten des Systems war nicht anzunehmen, dass die Correctur sofort völlig gelingen würde, vielmehr musste man auf eine Reihe successiver Verbesserungen gefasst sein.

Die erste nach Anbringung der Correctionseinrichtung ausgeführte Beobachtungsreihe ergab nun thatsächlich zunächst einen erheblich grösseren Fehler, als früher. Ohne diese langen Messungsreihen hier zum Abdruck zu bringen, will ich nur in der Curventafel das Ergebniss derselben veranschaulichen. Die Curve (2) stellt den am 25. October beobachteten sehr grossen Fehler dar; er entspricht, wie eine Ablesung aus der Curve ergibt, näherungsweise der Sinuscurve

$$R = 4.8 \sin(\varphi - 40^\circ)$$

Die Ganghöhe der Uhrschraube beträgt 3.75 mm, und eine Umdrehung der Schraube bewirkt, wie schon erwähnt, eine Bewegung des Refractors um 900". In linearem Maasse ausgedrückt, hat daher der zuletzt gefundene Fehler den Betrag

$$R = \frac{4.8}{900} 3.75 \sin(\varphi - 40^\circ) = \sin(\varphi - 40^\circ) 0.020 \text{ mm.}$$

Der in der Curventafel dargestellte Fehler wurde positiv gerechnet, wenn der Mikrometerfaden aus der Mittelstellung nach rechts geschraubt war; in diesem Falle war also der Ocularkopf des Refractors gegen das Sternbild nach links gerückt, d. h. das Instrument war durch das Uhrwerk zu viel gedreht worden. Um daher einen positiven Werth von R durch Längsverschiebung der Schraube zu erzeugen, muss die Schraube während ihrer Drehung nach Osten geschoben werden, d. h. einem positiven R entspricht ein negatives α .

Nach Formel (1) hat man daher zu setzen

$$\sin(\varphi - 40^\circ) 0.020 \text{ mm} = -r \sin i \sin(\varphi - \varphi_0),$$

woraus folgt

$$r \sin i = 0.020 \text{ mm}$$

$$\varphi_0 = 220^\circ.$$

Eine genaue Messung ergab nun $r = 2.8 \text{ mm}$, womit weiter folgt

$$i = 24.5^\circ.$$

Den gesammten zuletzt beobachteten Fehler kann man sich also durch eine Neigung der Planfläche F um 24.5° entstanden denken; beseitigt man diese Neigung, so wird auch der Fehler verschwinden.

Um den Betrag, um welchen zu diesem Zwecke jede der drei Correctionsschrauben L gedreht werden muss, zu

berechnen, sind noch folgende Angaben nöthig. Die Ganghöhe dieser Schrauben beträgt 0.707 mm; ferner ist

$$D = 7.8 \text{ mm}$$

$$\varphi_1 = 216^\circ$$

$$\varphi_2 = 336^\circ$$

$$\varphi_3 = 96^\circ$$

Die Gleichungen (2) ergeben nunmehr die folgenden Beträge der an den drei Schrauben vorzunehmenden Verschiebungen

$$S_1 = -0.0039 \text{ mm} = -2^\circ 0 \text{ Drehung}$$

$$S_2 = +0.0500 \text{ „} = +25.4 \text{ „}$$

$$S_3 = -0.0461 \text{ „} = -23.5 \text{ „}$$

Diese Drehungen wurden, ohne an der Stellung der Zugschraube H etwas zu ändern, ausgeführt, und eine am 26. October angestellte Beobachtungsreihe ergab, dass die Correction den gewünschten Erfolg gehabt hatte. Das Ergebniss dieser Messungen ist in der dritten Curve der Tafel dargestellt. Man sieht, dass der Fehler bereits soweit corrigirt ist, dass er nur noch die Hälfte des ursprünglichen Schraubenfehlers beträgt. Aus der Curve findet man nun wieder

$$R = 0.68 \sin(\varphi - 318^\circ) = \sin(\varphi - 318^\circ) 0.00283 \text{ mm,}$$

woraus sich weiter ergibt

$$i = 3.48$$

$$\varphi_0 = 138^\circ.$$

Um den noch gebliebenen Rest des Fehlers fort zu bringen, muss demnach die Neigung der Planscheibe F um 3.48° geändert werden; dies wird durch folgende Verschiebungen der Correctionsschrauben erreicht

$$S_1 = +0.00772 \text{ mm} = +3^\circ 93 \text{ Drehung}$$

$$S_2 = -0.00244 \text{ „} = -1.24 \text{ „}$$

$$S_3 = -0.00528 \text{ „} = -2.69 \text{ „}$$

Nachdem diese zweite Correction ausgeführt war, erhielt ich am 28. October das in der Curventafel unter (4) dargestellte Resultat. Man sieht, dass der in der einfachen Sinuscurve verlaufende Fehler jetzt völlig verschwunden ist, und hiermit war das bei dieser Correctur erstrebte Ziel erreicht.

Es ist sehr interessant, dass nunmehr, nachdem der Haupttheil des Fehlers beseitigt ist, kleinere Unregelmässigkeiten in der Drehung des Refractors deutlich zu Tage treten. Zwar hätte man, ohne den Beobachtungen Zwang anzuthun, die Curve (4) einfach als gerade Linie zeichnen können, da die Abweichungen der beobachteten Punkte von einer Geraden fast völlig innerhalb der zufälligen Beobachtungsfehler bleiben. Allein in zahlreichen Messungsreihen, die ich zur Controlle für das richtige Functioniren der Correctionseinrichtung ausgeführt habe, ergaben sich so regelmässig immer dieselben Abweichungen an derselben Stelle der Schraube, dass an dem Vorhandensein dieser kleineren Fehler nicht zu zweifeln ist. So zeigt z. B. die Curve (5) das Resultat meiner letzten bisher ausgeführten Beobachtungs-

reihe (Nov. 22); sie stimmt völlig mit Curve (4) überein. Besonders auffällig ist der plötzliche Uebergang aus positiven Werthen des Fehlers bei $s = 5^\circ$ bis 10° zu stark negativen Werthen bei $s = 15^\circ$ bis 25° . In den früheren Beobachtungsreihen wurde diese kleine Schwankung durch den regelmässig verlaufenden periodischen Fehler verdeckt, doch kann man sie, nachdem ihre Existenz erst nachgewiesen ist, auch in den Curven 3 und 2 deutlich wieder erkennen. Derartige kleine Fehler können durch Unregelmässigkeiten in der Schraube entstehen; ich halte es jedoch für wahrscheinlicher, dass sie im vorliegenden Falle ihren Grund entweder in geringfügigen Theilungsfehlern des Schneckenrades oder in kleinen Unebenheiten der Planfläche F haben. Eine solche Unebenheit im Betrage von 0.002 mm würde eine Schwankung der optischen Axe um 0.5 verursachen, und sie würde daher zur Erklärung der Wellen in den Curven (4) und (5) völlig ausreichen. Glücklicher Weise sind diese unregelmässigen Fehler, deren Correctur einige Schwierigkeit machen würde (man könnte die betreffenden Zähne des Schneckenrades entsprechend ändern), so gering, dass sie die Beobachtung nicht im mindesten stören und meistens durch die Luftunruhe ganz verdeckt werden.

Soll der Erfolg der ausgeführten Correctur dauernd sein, so kommt es in erster Linie darauf an, die Gleitfläche F möglichst tadellos plan zu erhalten. Wie schon oben erwähnt wurde, ist der Druck, welchen die Schraube während ihrer Drehung auf die Fläche F ausübt, sehr gross; er beträgt, wie ich durch eine genaue Messung gefunden habe, nicht weniger als 112 kg. Lässt man den Kopf der Contactschraube E mit diesem ganzen Drucke auf der Fläche F laufen, so ist eine starke Abnutzung beider Theile unvermeidlich. Findet diese Abnutzung längs der ganzen Kreislinie, die der Contactpunkt auf der Fläche beschreibt, gleichmässig statt, so hat das weiter keinen schädlichen Einfluss auf die Fernrohrdrehung. Anders ist es dagegen, wenn einzelne Unebenheiten und Vertiefungen in der Gleitbahn entstehen sollten; hierdurch würde die regelmässige Drehung arg gestört werden. Eine Veranlassung zur Entstehung einer solchen Vertiefung würde nun jedesmal vorliegen, wenn man den Contactkopf längere Zeit unter obigem Drucke auf demselben Punkte der Fläche F ruhen lässt, was jedesmal dann eintritt, wenn man das Uhrwerk, nachdem es das Fernrohr einige Zeit bewegt hat, anhält. Um diese Gefahr der Löcherbildung in der Gleitfläche zu vermeiden, habe ich die Anordnung getroffen, dass die Contactschraube, sobald das Uhrwerk nicht geht, stets entlastet wird. Dies geschieht sehr einfach auf folgende Weise. Sobald das Uhrwerk angehalten und das Regulatorpendel zur Ruhe gekommen ist, dreht der Beobachter das Handrad der Rectascensions-Feinbewegung um $\frac{1}{2}$ Umdrehung links herum, bevor die Rectascensionsklemme gelöst ist. Durch Drehen dieser Feinbewegung wird bekanntlich das Fernrohr gegen den Uhrkreis gedreht; da nun aber die Drehung des ganzen Fernrohrs viel schwerer erfolgt als die des Uhrkreises, so wird bei Drehung der Feinbewegung zunächst das Fernrohr in Ruhe bleiben und der Uhrkreis so lange gedreht werden, bis er mit seinen Zähnen in der Uhrschraube auf einen Widerstand stösst. Führt man daher nur eine genau bemessene geringe Drehung — im vorliegenden Falle $\frac{1}{2}$ Umdrehung — der Feinbewegung

aus, so kann man es erreichen, dass die Windungen der Schraube vollkommen frei zwischen den Zähnen des Uhrkreises liegen; in diesem Falle ist dann auch der Contactkopf völlig entlastet.

Eine derartige Entlastung der Uhrschraube dürfte sich überhaupt bei grösseren Instrumenten auch aus einem anderen Grunde sehr empfehlen. Die Gänge der Uhrschraube und des Uhrkreises haben in der Regel dreieckigen Querschnitt. In Folge dieser Form des Zahnprofils tritt bei dem grossen Widerstande, den die Drehung des Kreises leistet, eine starke seitliche Kraftcomponente auf, welche die Schraube vom Kreise zu entfernen sucht. Die hierdurch entstehende gewaltsame Durchbiegung der Schraubenaxe beträgt beim 80 cm Refractor etwa 0.5 mm. Während das Uhrwerk geht, ändert sich fortwährend die Lage der Durchbiegungsrichtung im Schraubenkörper, so dass eine dauernde Deformation der Schraube nicht zu befürchten ist. Letztere kann jedoch, selbst bei sehr gutem Material, entstehen, wenn man die Schraube im durchgebogenen Zustande lange Zeit stehen lässt. Ist die Axe der Schraube verbogen, so wird in Folge des verschieden tiefen Eingreifens in den Uhrkreis ein periodischer Fehler in der Drehung des Refractors auftreten, und zur Vermeidung dieser Gefahr ist es daher stets zu empfehlen, die Schraube nach jeder Benutzung in der angegebenen Weise zu entlasten. Ich will noch bemerken, dass das einfache Losklemmen des Instrumentes zur Entlastung der Schraube nicht genügt, da sich hierbei der Uhrkreis nicht zurück dreht.

Aber selbst bei Beobachtung der angegebenen Vorichtsmaassregel kann man nicht erwarten, dass die oben beschriebene Correctionsvorrichtung dauernd brauchbar bleiben wird, da eine starke Abnutzung unvermeidlich ist. Die Einrichtung soll daher nur vorläufig so lange benutzt werden, bis sich Anzeichen der Abnutzung bemerkbar machen. Für dauernden Betrieb soll dann zunächst die Planfläche aus einem Stein hergestellt werden, der an dem Stahlkopfe der Contactschraube geringere Reibung giebt. Sodann aber soll durch zwei zu beiden Seiten der Schraube liegende Frictionsrollen, die durch Gewichtbelastung gegen eine senkrecht auf der Schraubenaxe aufgesetzte Planscheibe angepresst werden, etwa $\frac{9}{10}$ des Druckes vom Contactkopfe fortgenommen werden, so dass letzterer nur noch mit einem Drucke von etwa 10 kg auf dem Steine laufen würde. Bei dieser Umgestaltung der Vorrichtung würde wohl selbst nach jahrelangem Gebrauch kaum eine Verschlechterung des Ganges zu befürchten sein.

Hat die hier beschriebene Vorrichtung den Vorzug, dass sie sich an jedem Refractor ohne grosse Unkosten leicht nachträglich anbringen lässt, so dürfte sich beim Neubau eines grösseren Instrumentes doch eine gänzlich andere Einrichtung empfehlen, bei der eine störende Abnutzung überhaupt ausgeschlossen erscheint. Man lässt die Lagerung der Schraube ungeändert, stützt also ihre Axe centrisch auf einen Stein. Das Schneckenrad wird jedoch nicht auf der Schraubenaxe selbst befestigt, sondern bekommt seine getrennte Axe, die in der Verlängerung der Schraubenaxe liegt. Zur Kuppelung beider Axen dient ein in das Schneckenrad eingeschraubter Mitnehmerstift, der in einer auf der Schrauben-

axe befestigten radialen Gabel läuft. Kann man dann die Gabel in beliebiger Richtung auf der Schraubenaxe festklemmen, so ist nur eine geringe seitliche Parallelverschiebung

des Axenlagers des Schneckenrades nach einer Richtung notwendig, um jeden etwa auftretenden einfachen periodischen Schraubenfehler compensiren zu können.

Potsdam, Astrophys. Observatorium, 1901 December.

J. Hartmann.

On the Period of TX Cygni (Ch. 7539).

The period originally proposed for this variable was $13^d.315$, but the observations published in A. N. 3683 showed that this was probably too short. Last year I observed the brightness of the star on 58 nights between May 21 and Nov. 17, mostly with a $6\frac{1}{2}$ inch reflector, though occasionally a $2\frac{3}{4}$ inch refractor was used. A preliminary discussion of the observations indicated a period of $14^d.73$; and a mean light curve was constructed with this period, and the times of 10 maxima determined by its help. Besides these 10 maxima there are two photographs available on which the star must have been at or very near a maximum. These are dated 1899 Oct. 8.6 and 1900 Febr. 4.3. The mean light curve shows that the maximum is very sharply accentuated and well defined, so that there cannot be much error

<i>E</i>	Obs. max.	Comp. max.	C—O
—50	1899 Oct. 8.6	9.11	+0 ^d .51
—42	1900 Febr. 4.3	3.92	—0.38
—20	Dec. 24.7	24.89	+0.19
—10	1901 May 20.5	21.15	+0.65
—9	June 5.0	4.88	—0.12
—8	„ 19.9	19.60	—0.30
—5	Aug. 2.3	2.78	+0.48

The epoch of maximum, 1901 Oct. 15.41, is derived from the 10 maxima observed in that year. I have not as yet determined the magnitudes of the comparison stars, but assuming the value of a step to be 0^m.06, the range of variation would be 1^m.2. The magnitude at maximum is not far from $8\frac{1}{2}$. The two observations by Dr. Hartwig in A. N. 3744 (col. 372, 373) were made, the first nearly at minimum, and the second 1^d.5 after maximum, by which time the star has already decreased by a quarter of a

in assuming the times of these two photographs as the times of the actual maxima. With the data referred to above*), the period was then carefully re-determined, with the result that $P = 14^d.726$. This period satisfies the 10 observed maxima of 1901 as well as the two photographic observations, and it also represents quite satisfactorily the observed brightness of the star on the three Wolf photographs of 1891 referred to in A. N. 3678. These photographs show the star faint, and indeed not far from minimum; and since the light curve shows that the minima, although not so sharply defined as the maxima, are yet pretty definite, it follows that this period cannot be far from the truth. In the following table the observed and computed times of maximum are compared.

<i>E</i>	Obs. max.	Comp. max.	C—O
—4	1901 Aug. 17.9	17.51	—0 ^d .39
—3	Sept. 1.4	1.23	—0.17
—2	„ 16.3	15.96	—0.34
—1	Oct. 1.2	0.68	—0.52
0	„ 15.6	15.41	—0.19
+1	„ 29.2	30.14	+0.94

magnitude. Three of the comparison stars used by Dr. Hartwig were also employed by me, and his observations are in excellent agreement with the others when reduced to my scale. The rise from minimum is at first gradual, but becomes very rapid towards the end; the fall from max. to min. taking 9^d.6, and the rise from min. to max. 5^d.1. Future maxima should occur on: 1902 Apr. 10.1, 24.8; May 9.6, 24.3; June 8.0, 22.7; July 7.5, 22.2; Aug. 5.9, 20.7; Sept. 4.4, 19.1; Oct. 3.8, 18.6; Nov. 2.3, 17.0; Dec. 1.7, 16.5, 31.2.

Hove, 1902 Jan. 17.

A. Stanley Williams.

*) An observed maximum 1900 Dec. 24.7 was accidentally omitted in this discussion, but it agrees nearly exactly with the computed time, so that its omission cannot have appreciably affected the result.

Planet 1902 HO.

Ueber einen neuen Planeten Palisa, 1902 HO, sind folgende, sofort weiter verbreitete Telegramme von der Wiener Sternwarte hier eingegangen:

- 1) Planet Palisa 4. Febr. $11^h 40^m 0$ M. Z. Wien Gr. 12.0 RA. app. = $149^\circ 36' 12''$ PD. app. = $75^\circ 12' 6''$ tgl. Bew. — $12' - 5'$. Weiss.
- 2) Planet Palisa hat tgl. Bewegung — $12' - 9'$ und dürfte (458) sein. Weiss.

Die Identität mit (458) [1900 FK], wurde zunächst hier für nicht wahrscheinlich gehalten, weil die zuerst mit getheilte tägliche Bewegung zu sehr von der in der Ephemeride (Veröff. R. I. Nr. 17) angegebenen abwich. Nach dem zweiten Telegramme scheint aber die Identität trotz des Helligkeitsunterschiedes zweifellos zu sein.

Kr.