1914AN....198

ASTRONOMISCHE NACHRICHTEN.

Band 198. Nr. 4741. 13.

Die veränderlichen Satelliten des Jupiter und Saturn. Von *P. Guthnick.*

Als planetarische Analoga der Veränderlichen vom δ Cephei-Typus betrachtet.

(Mit Tafel 1.)

Die photometrischen Verhältnisse der Satelliten des Jupiter und Saturn haben mich mit kürzeren Unterbrechungen seit Ende 1904 beschäftigt. Es wurden, anfangs auf der Bothkamper, später auf der Berliner Sternwarte, soweit die Umstände und anderweitige Beobachtungsreihen es erlaubten, die 4 älteren Jupitersatelliten und die Satelliten Enceladus, Tethys, Dione, Rhea, Titan und Iapetus des Saturn, also im ganzen 10 Objekte, mit dem Zöllnerschen Photometer an Refraktoren von 6, 9 und 11 Zoll gemessen. Die seit langem bekannte Veränderlichkeit des Iapetus und der 4 Jupitersatelliten wurde bestätigt und außerdem gefunden, daß die Lichtkurve des Iapetus stark veränderlich ist und daß die Saturnsatelliten Tethys, Dione, Rhea und Titan ebenfalls Lichtschwankungen zeigen, deren Perioden gleich den Umlaufszeiten sind [1]). Von Enceladus konnten an den zur Verfügung stehenden mäßig kräftigen Refraktoren wegen seiner stets sehr geringen scheinbaren Entfernung vom Ring nur wenige brauchbare Messungen in der Umgebung der beiden Elongationen erhalten werden. Die frühere Helligkeitsbestimmung von 1905, die wenig sicher war, wird durch die spätere sehr nahe bestätigt. Über die teils vorläufigen, teils definitiven Untersuchungsergebnisse ist für die Jupitersatelliten hauptsächlich in Mitteilung II der Bothkamper Sternwarte, 1905 (Bothk. Mitt.) und in den Sitzungsberichten der Akademie der Wiss. 1907 p. 339 (Berl. Ber.), für die Saturnsatelliten in A. N. 4098 und in Nr. 14 der Beobachtungsergebnisse der Berliner Sternwarte (Berl. Erg.) Bericht erstattet worden. In diesen Mitteilungen sind verschiedentlich Ansätze zu einer allgemeinen Theorie der Helligkeitsänderungen und des sonstigen photometrischen Verhaltens der Satelliten enthalten, die sich zum Teil mit dem hier dargebotenen Versuch decken, zum Teil aber auf Grund des tieferen Studiums des Beobachtungsmaterials zu modifizieren sind.

Die folgenden Betrachtungen stützen sich in der Hauptsache auf dasjenige Beobachtungsmaterial, welches in den genannten Artikeln und Abhandlungen zusammengetragen ist, und das sich für die Jupitertrabanten mit Einschluß dreier von mir in den Bothk. Mitt. bearbeiteten älteren Beobachtungsreihen auf die Jahre 1858–1860, Stufenschätzungen von *Auwers*; 1870, Messungen von *Engelmann*; 1877–1878, Messungen von *Pickering*, *Searle* und *Upton*; 1904–06, eigene Messungen, erstreckt. Hinzu kommen neuerdings von *Wirtz* veröffentlichte Stufenschätzungen aus den Jahren 1905–07, Straßburger Annalen, Bd. 4 p. 275 (Straßb. Ann.), die in der Originalskala (Stufen) belassen wurden. Für die Lichtkurve von Iapetus lagen die in den Berl. Erg. bearbeitete Reihe von *Pickering*, *Searle* und *Upton*, 1878–79, und eine eigene Reihe von 1905–08, für die Lichtkurven der übrigen Saturnsatelliten eigene Messungen aus demselben Zeitraum vor. Die in den Harv. Ann. Bd. 11 enthaltenen Messungen der übrigen Saturntrabanten sind auf das Helligkeitssystem der Berl. Erg. reduziert worden; sie sind für die Prüfung der Konstanz der mittleren Helligkeitsdifferenzen dieser Satelliten wertvoll. Ferner liegen noch Stufen-Vergleichungen der Saturnsatelliten untereinander von *Wirtz* vor (Straßb. Ann.). Die Messungen der Saturntrabanten von 1905–08 sind in den Berl. Erg. fertig reduziert niedergelegt, aber mit Ausnahme derjenigen des Iapetus erst jetzt weiter bearbeitet worden. Die zahlreichen späteren Messungen an beiden Systemen bis in das Jahr 1912 hinein haben noch keine Bearbeitung gefunden. Das jetzt in reifer Form vorliegende Material bietet jedoch schon so merkwürdige Aufschlüsse über die Natur des Lichtwechsels dieser Himmelskörper, daß eine vergleichende Betrachtung der Beobachtungsergebnisse an der Zeit erscheint. Nicht zum wenigsten geschieht die vorliegende Veröffentlichung auch zu dem Zwecke, andere, mit hinreichenden instrumentellen Mitteln versehene Stellen zur dauernden Überwachung dieser und der bisher noch nicht untersuchten Satelliten anzuregen, da es zweifelhaft ist, ob dies von mir noch weiterhin geschehen kann.

Zunächst muß für Enceladus, Tethys, Dione, Rhea und Titan das aus den Jahren 1907 und 1908 stammende fertig bearbeitete Beobachtungsmaterial mitgeteilt werden. Für die Opposition 1905 sind die die genannten Satelliten betreffenden Messungsergebnisse nach Anbringung einer konstanten Korrektion von $+0^{m}.05$ für die schwächeren Trabanten, um wieviel die Orientierung des Vergleichsternsystemes von 1905 zu korrigieren war, um es homogen mit den Systemen von 1907–1908 zu machen, und nach einer nochmaligen Kritik der Reduktion aus A. N. 4098 übernommen worden. Die Messungen von Rhea und Dione Aug. 24 sind wegen unsicherer Identifizierung des Vergleichsternes ausgeschlossen worden. Bei Titan hat Aug. 2 ein Versehen stattgefunden; die Helligkeit muß heißen $8^{m}.18$ statt $8^{m}.68$. Da ferner spätere Nachmessungen der Vergleichsterne ergeben haben, daß der fast ausschließlich für Titan benutzte Vergleichstern $-12°6260$ merklich zu schwach angenommen worden ist, so haben alle mit diesem Vergleichstern reduzierten Messungen eine Korrektion von $-0^{m}.15$ erfahren. Wegen der nicht genügend genauen Kenntnis und der Veränderlichkeit der

[1]) In jüngster Zeit wurde von der Harvard-Sternwarte die Veränderlichkeit von Titan, von der Lowell-Sternwarte die Veränderlichkeit von Tethys und Dione angezeigt (Harv. Bull. 538 und A. N. 4710); Perioden der Veränderlichkeit in Übereinstimmung mit meiner damaligen Feststellung gleich den Umlaufszeiten. Wie in A. N. 4049 bemerkt, hat auch bereits *Schroeter* die Veränderlichkeit der Saturnsatelliten Tethys, Dione und Rhea erkannt (Berliner Jahrbuch 1800, S. 169); jedoch ist seine Wahrnehmung anscheinend in Vergessenheit geraten.

John G. Wolbach Library, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics • Provided by the NASA Astrophysics Data System

1914AN....198..233

Lichtkurven sind sämtliche Messungen ohne Vergleichstern vorläufig nicht benutzt worden. Aus demselben Grunde sind die Vergleichungen der Saturnsatelliten untereinander von *Wirtz* vorläufig nicht verwertet worden. Ferner fehlen in der graphischen Darstellung der Lichtkurven, die diesem Aufsatz beigefügt ist, die Messungen der saturnnahen Satelliten Tethys, Dione und Rhea für 1907, die sich als minderwertig erwiesen haben, da diejenigen am 9-zöll. Refraktor zu gering an Zahl, die am 6-zölligen wegen der schwachen, nur 60 betragenden Vergrößerung zu unsicher sind. Als erschwerender Umstand kam 1907 die sehr geringe Neigung der Bahnebene gegen die Gesichtslinie hinzu. Die Saturnsatelliten sind nämlich nach meiner Erfahrung in kleinen Entfernungen von den Konjunktionen bei großer Ringöffnung trotz der dann vermehrten Helligkeit des Planeten zweifellos leichter und sicherer zu messen als bei kleiner Ringöffnung. Für Enceladus ist die Zahl der Messungen zu gering und der von ihnen bedeckte Anomalienbereich zu eng für die Konstruktion einer Lichtkurve.

Bezüglich der Reduktion der Messungen ist den ausführlichen Angaben in den Berl. Erg. nur folgendes hinzuzufügen. Für Titan 1908 sind noch drei weitere Vergleichsterne außer den dort festgesetzten zur Reduktion benutzt worden: BD $-0°110 = 7^m.59$, BD $+0°106 = 7^m.72$, BD $+0°107 = 7^m.79$. Die Messungen von Iapetus 1908 mit dem Diaphragma 3 für den künstlichen Stern hatten einen systematischen Unterschied von $0^m.10$ gegen diejenigen mit Diaphragma 1 gezeigt (Berl. Erg. p. 21), dies hat sich bei den übrigen Satelliten bestätigt. Es ergab sich:

Satellit	Diaphr. 3 − 1	Zahl d. Diff.	angenommen
Enceladus	$+0^m.21$	2	$+0^m.20$
Tethys	+0.20	11	
Dione	+0.19	9	
Rhea	+0.13	11	+0.13
Iapetus	+0.10	11	+0.10

Titan ist seiner bedeutenden Helligkeit wegen nur mit dem Diaphragma 3 gemessen worden. Die Messungen mit Diaphragma 3 sind entsprechend der vorstehenden Tabelle auf Diaphragma 1 reduziert worden. In den Differenzen ist ein Gang mit der Entfernung der Satelliten vom Planeten deutlich ausgesprochen; merkwürdigerweise ist dies jedoch innerhalb der Messungsreihe eines jeden einzelnen Trabanten nicht der Fall. Die Messungen mit Diaphragma 1 sind als die von systematischen Fehlern freieren angesehen worden, weil mit Diaphragma 3 die Ablesungen am Intensitätskreis für die inneren Trabanten häufig sehr klein waren. Daß auch die Messungen von Titan in merklichem Grade mit diesem systematischen Fehler belastet sind, ist wegen der beträchtlichen Helligkeit dieses Trabanten nicht wahrscheinlich; keinesfalls ist jedoch ein Fehler relativ zu den übrigen Satelliten zu erwarten, der größer als $0^m.1$ ist.

Die mittl. Zeit Berlin und die Anomalien sind nur genähert berechnet, letztere mit Hilfe der Elongationsdaten des Berliner Jahrbuchs. Wie früher fällt die Anomalie 0° nahe mit der oberen Konjunktion des Satelliten, 90° mit der östlichen Elongation u. s. w. zusammen.

Leider sind die Messungen der inneren Saturnsatelliten noch recht unzulänglich und lassen daher manche interessante Frage vorläufig offen. Diese Satelliten sollten mit einem viel kräftigeren Instrument, als es die mir zur Verfügung stehenden waren, weiter gemessen werden.

Messungsresultate 1907–08 für Tethys, Dione, Rhea und Titan, sowie 1905–08 für Enceladus.

Datum	m. Z. Berlin	Anomalie	Helligkeit (mittl. Opp.)	Instrument
	Enceladus.			
1905 Juli 9	$12^h\,18^m$	71°	$11^m.68$	11″ Refr.
1908 Okt. 1	9 58	79	11.66	9″ Refr.
»	10 47	88	11.66	»
» 3	10 44	254	11.62	»
»	11 7	258	11.59	»
»	11 37	263	11.66	»
» 5	11 6	63	11.74	»
»	11 49	70	11.89	»
	Tethys.			
1907 Sept. 24	11 55	218	11.01	9″ Refr.
» 25	11 7	43	10.53	»
» 28	11 0	254	11.03	»
» 30	12 34	288	10.06:	»
Okt. 1	12 47	121	9.86:	»
» 11	10 44	211	10.61	»
Nov. 3	13 35	301	10.41	6″ Refr.
» 4	9 8	96	10.30	»
» 6	9 5	126	10.40	»
1908 Aug. 18	11 7	298	10.52	9″ Refr.
» 19	10 53	127	10.24	»
» 31	12 11	266	10.73:	»
Sept. 15	10 50	236	10.74:	»
» 18	9 45	80	10.26	»
» 19	9 52	272	10.61	»
» 20	10 51	110	10.43	»
» 21	10 47	301	10.98:	»
» 22	9 15	119	10.94:	»
» 23	10 8	317	10.44	»
» 30	11 35	224	10.44:	»
Okt. 1	10 25	44	10.22	»
» 2	11 37	245	10.28:	»
» 3	11 12	72	10.26	»
» 4	9 50	252	10.73	»
» 5	11 21	95	10.23	»
» 6	9 44	273	10.34:	»
» 7	9 58	107	10.24	»
» 10	9 14	313	10.52	»
» 11	9 22	145	10.38	»
» 19	8 2	220	10.40	»
» 25	8 31	252	10.68	»
» 29	8 23	331	10.66	»
Nov. 5	7 21	217	10.48::	»
» 7	7 50	242	10.34	»
» 11	7 40	284	10.47	»
» 24	10 30	266	10.48	»
	Dione.			
1907 Sept. 24	11 51	54	10.86	9″ Refr.
» 27	10 0	79	10.47	»
» 28	11 6	216	11.14	»
» 30	12 38	128	10.07:	»

John G. Wolbach Library, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics • Provided by the NASA Astrophysics Data System

1914AN...198..233G

Datum	m. Z. Berlin	Anomalie	Helligkeit (mittl. Opp.)	Instrument
1907 Okt. 1	$12^h 42^m$	260°	$10^m 27$:	9″ Refr.
» 8	11 29	95	10.71:	»
» 9	12 25	231	10.57	»
» 11	10 50	126	10.53	»
» 24	9 31	29	10.28	6″ Refr.
Nov. 3	13 32	286	10.80:	»
» 4	9 4	34	10.44	»
» 6	8 55	296	10.44	»
» 7	9 28	71	10.01	»
1908 Aug. 7	11 41	106	10.67	9″ Refr.
» 18	11 11	111	10.38	»
» 19	10 51	241	10.70	»
» 25	10 51	311	10.68	»
» 31	12 4	27	10.92:	»
Sept. 18	9 43	222	10.62	»
» 20	10 22	130	10.65	»
» 21	10 46	263	11.26:	»
» 22	9 13	26	10.92:	»
» 23	10 12	163	11.04	»
» 30	12 7	15	10.84:	»
Okt. 1	10 26	137	10.34	»
» 3	11 10	45	10.58	»
» 5	11 24	309	10.75	»
» 6	9 48	72	10.26:	»
» 7	10 0	205	10.58	»
» 10	9 12	235	10.72	»
» 14	8 9	35	10.50:	»
» 14	9 38	43	10.21	»
» 19	8 4	333	10.65	»
» 25	8 33	45	10.76	»
» 29	8 22	211	10.62	»
Nov. 5	7 16	48	10.18::	»
» 7	7 48	312	10.70	»
» 11	7 42	117	10.45	»
» 16	9 26	65	10.28	»
» 24	10 32	43	10.82	»
Rhea.				
1907 Sept. 24	12 2	106	9.78	9″ Refr.
» 27	9 3	334	10.68	»
» 28	11 0	61	10.02	»
» 30	12 30	226	9.45:	»
Okt. 1	12 37	306	9.64:	»
» 8	11 26	140	10.12	»
» 9	12 7	222	10.28	»
» 11	10 47	3	10.02	»
» 16	10 31	55	9.93	6″ Refr.
» 18	11 42	218	9.83:	»
» 24	9 10	328	9.99	»
Nov. 3	13 41	60	9.96	»
» 4	9 10	125	10.00	»
» 6	9 9	284	9.97	»
» 8	9 42	86	9.72	»
» 30	5 40	26	9.93	»
1908 Jan. 2	5 41	136	10.50::	»
Aug. 7	11 40	231	10.26	9″ Refr.
» 18	11 9	26	9.98	»
» 19	10 49	105	9.75	»
1908 Aug. 25	$10^h 49^m$	223°	$10^m 54$	9″ Refr.
» 31	12 10	346	10.46:	»
Sept. 15	10 48	98	9.78:	»
» 18	9 42	333	9.74	»
» 19	9 50	54	10.00	»
» 20	10 51	137	9.68	»
» 21	10 48	217	10.32:	»
» 22	9 10	291	10.02:	»
» 23	10 10	14	10.05	»
» 30	11 34	217	9.76:	»
Okt. 1	10 25	293	9.56	»
» 2	11 37	17	9.64:	»
» 3	11 18	95	9.54	»
» 4	9 37	169	10.48	»
» 5	10 55	254	9.74	»
» 6	9 40	329	9.86:	»
» 7	10 5	129	9.63	»
» 10	9 12	287	9.93	»
» 11	9 20	7	9.97	»
» 14	8 6	242	10.03:	»
» 14	9 39	247	9.83	»
» 19	8 0	281	9.83	»
» 25	8 35	41	10.23	»
Nov. 5	7 24	194	10.03::	»
» 11	7 38	313	9.70	»
» 24	10 39	279	10.10	»
Titan.				
1907 Sept. 24	11 57	301	8.41	9″ Refr.
» 25	11 14	323	8.19	»
» 27	9 7	14	8.54	»
» 28	11 9	34	8.42	»
» 30	12 45	80	8.22	»
Okt. 1	12 52	102	8.04:	»
» 8	11 13	257	8.13	»
» 9	12 6	280	8.62!	»
» 11	10 43	324	8.38	»
» 16	10 25	80	8.18	6″ Refr.
» 18	11 28	126	8.28	»
» 22	10 12	213	8.44	»
» 24	9 6	257	8.36	»
Nov. 3	13 44	128	8.44	»
» 4	9 10	149	8.50	»
» 6	9 14	191	8.46	»
» 7	9 37	214	8.21:	»
» 8	9 38	237	8.36	»
» 25	6 14	258	8.37	»
» 30	5 36	13	8.44	»
Dez. 6	5 46	145	8.63:	»
1908 Jan. 2	5 21	37	8.50::	»
» 14	5 29	305	8.21:	»
Aug. 7	11 37	266	8.06	9″ Refr.
» 18	11 9	155	8.23	»
» 19	10 52	177	8.17	»
» 20	10 59	199	8.68:	»
» 25	10 49	312	8.44	»
» 31	12 9	90	8.16:	»
Sept. 15	10 47	69	8.19:	»

John G. Wolbach Library, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics • Provided by the NASA Astrophysics Data System

1914AN....198..233

Datum	m. Z. Berlin	Anomalie	Helligkeit (mittl. Opp.)	Instrument
1908 Sept. 18	$9^h 38^m$	135°	$8^m.11$	9″ Refr.
» 19	9 40	158	8.20	»
» 20	10 53	181	8.33	»
» 21	10 29	203	8.28:	»
» 22	9 9	224	8.34:	»
» 23	10 17	248	8.20	»
» 30	11 37	49	8.21:	»
Okt. 1	10 23	70	8.18	»
» 2	11 37	94	8.30:	»
» 3	11 23	117	8.18!	»
» 4	9 58	138	8.28	»
» 5	11 27	162	8.19	»
» 6	9 48	183	8.33:	»
» 7	9 52	205	8.26	»
» 10	9 17	272	8.18	»
» 11	9 34	295	8.13	»
» 13	8 42	339	8.42:	»
» 14	8 51	2	8.40	»
» 19	8 7	116	8.54!	»
» 25	8 29	251	8.18	»
» 29	8 30	341	8.50	»
Nov. 5	7 15	140	8.16:	»
» 7	7 51	187	8.43	»
» 11	7 44	275	8.30	»
» 14	8 18	343	8.33	»
» 16	9 26	31	8.31	»
» 24	10 37	211	8.23	»
Dez. 4	7 35	99	8.14:	»

In der graphischen Darstellung der Helligkeitsbeobachtungen haben (mit den angeführten Ausnahmen) die sämtlichen genannten Reihen, in der Zahl von 35, beider Satellitensysteme Aufnahme gefunden. Als Abszissen sind die in der erwähnten Weise gezählten Anomalien eingetragen; die Helligkeiten sind bei den Jupitersatelliten Mittelwerte aus zu benachbarten Anomalien gehörenden Einzelwerten, bei den Saturnsatelliten Einzelwerte. Erstere sind daher auch aus diesem Grunde bedeutend genauer als letztere. Die älteren Kurven der Jupitertrabanten aus den Bothk. Mitt. sind nach einer nochmaligen Überprüfung im wesentlichen unverändert übernommen worden, nur bei Trabant I erforderte die Lichtkurve im ersten Quadranten eine nennenswerte Änderung, wodurch das Maximum von 80° auf 70° verschoben ist. Im übrigen sind in allen Kurven die unbedeutenden kurzen Wellen ausgeglichen worden, wodurch die wesentlichen Züge der Kurven noch etwas an Deutlichkeit gewonnen haben. Diejenigen Kurvenstücke, welche mehr hypothetischen Charakters sind, wurden durch Punktierung kenntlich gemacht. Die Lichtkurve von Iapetus für 1878–79 hat eine Parallelverschiebung von $+0^m.27$ erfahren, da der von *Pickering* benutzte, aber nicht bestimmte Vergleichstern *b*, wie bereits in den Berl. Erg. p. 29, Anmerkung, angezeigt wurde, erheblich schwächer ist, als l. c. auf Grund einer indirekten Bestimmung angenommen war. Die Helligkeit ($11^m.53$) beruht jetzt auf Anschlüssen von 7 Abenden an die Vergleichsternsysteme für 1907 und 1908 und kann als sehr sicher bestimmt gelten. Damit wächst der Unterschied der Maximalhelligkeit von 1878–79 gegen die von 1905–08 auf $+0^m.57$, während Minimalhelligkeit und mittlere Helligkeit um $+0^m.16$ bezw. $+0^m.18$ verschieden sind. Die starke Veränderlichkeit der Lichtkurve des Iapetus erscheint auf diese Weise noch mehr gesichert als früher. Wie in den Berl. Erg. p. 62 auseinandergesetzt ist, hat auch 1704–05, nach dem Bericht *D. Cassini*s zu schließen, möglicherweise eine starke Veränderung der Lichtkurve stattgefunden, und vielleicht ist diese, an sämtlichen übrigen Satelliten beobachtete Erscheinung auch an Iapetus keine außergewöhnliche. Es wäre noch zu erwähnen, daß diejenigen Lichtkurven des Iapetus hier gegeben sind, welche in den Berl. Erg. »idealisierte« genannt sind, und in welchen eine ganz schwache, nicht zu verbürgende Asymmetrie unberücksichtigt geblieben ist. Sie sind das Resultat einer *Fourier*-Entwicklung. Beobachtungen von geringerer Sicherheit sind außer bei Iapetus durch leere Kreise bezeichnet. Die *Wirtz*schen Kurven für die Jupitersatelliten (Stufenschätzungen) sind unverändert aus den Straßb. Ann. übernommen. Um sie streng mit den übrigen vergleichbar zu machen, müßten die Ordinaten mit 1.7 multipliziert werden. Mit Ausnahme von Jupiter I stimmen die Kurven derselben Opposition von Straßburg und Bothkamp befriedigend überein, besonders in Anbetracht dessen, daß nach *Wirtz* der mittlere Fehler in der Straßburger Reihe nahe doppelt so groß ist als in der Bothkamper.

Vergleicht man die 35 Kurven der 9 Satelliten untereinander, so springen sofort einige sehr merkwürdige gemeinsame Züge in die Augen:

1. Die inneren Satelliten in beiden Systemen, Jupiter I und II, Tethys und Dione hatten zur Zeit der vorliegenden Messungen in der Nähe der östlichen Elongation ein Hauptmaximum; überhaupt waren ihre Lichtkurven einander in den groben Zügen ziemlich ähnlich.

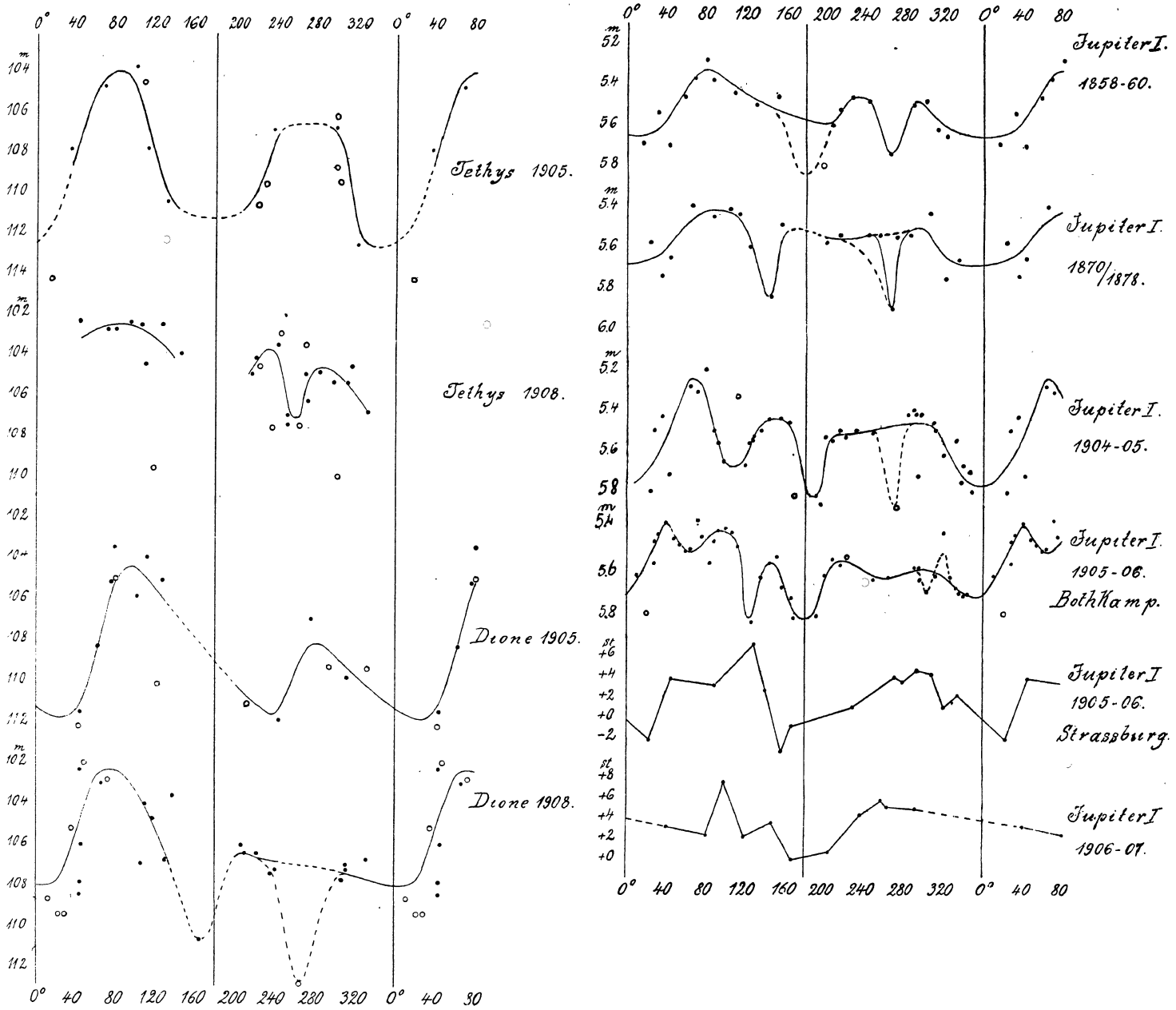
2. Die äußeren Satelliten der beiden Systeme, Jupiter IV und insbesondere Iapetus zeigten umgekehrt ein ausgezeichnetes Maximum in der Nähe der westlichen Elongation.

3. Die mittleren Satelliten Jupiter III, Rhea und Titan gehörten anscheinend zeitweise zur ersten, zeitweise zur zweiten Gruppe oder zeigten einen unbestimmten Typus. Titan neigte 1905 zur zweiten, 1907 zur ersten Gruppe; 1908 war die Helligkeit in der östlichen Elongation wenigstens zeitweise nahe gleich der in der westlichen; Jupiter III gehörte nach den Beobachtungen bis 1906 einschließlich unzweifelhaft zur ersten Gruppe, doch scheint nach *Wirtz* 1906–07 die Helligkeit in der westlichen Elongation größer gewesen zu sein, wobei allerdings die geringere Zuverläßigkeit der Stufenschätzungswerte in diesem Fall nicht außer Acht zu lassen ist. Die endgültige Entscheidung hierüber muß bis zur Erledigung der Bearbeitung der späteren Berliner Messungen zurückgestellt werden. Rhea scheint eine ungewöhnlich stark veränderliche Lichtkurve zu besitzen, sodaß die Klassifizierung dieses Satelliten besonders schwankend ist. Jedenfalls gehört der Trabant nicht ausgesprochen zur ersten Gruppe, obwohl die nicht dargestellten Messungen von 1907, soweit sie einigermaßen sicher sind, ebenso wie die Messungen von 1905 größere Helligkeit in der östlichen Elongation wahrscheinlich machen. Alles dies erweckt den Eindruck, als bildeten die mittleren Satelliten sozusagen einen Übergang von der ersten zur zweiten Gruppe oder umgekehrt. Man könnte vielleicht auch von Jupiter IV vermuten, daß er in diesem Sinne einen

John G. Wolbach Library, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics • Provided by the NASA Astrophysics Data System

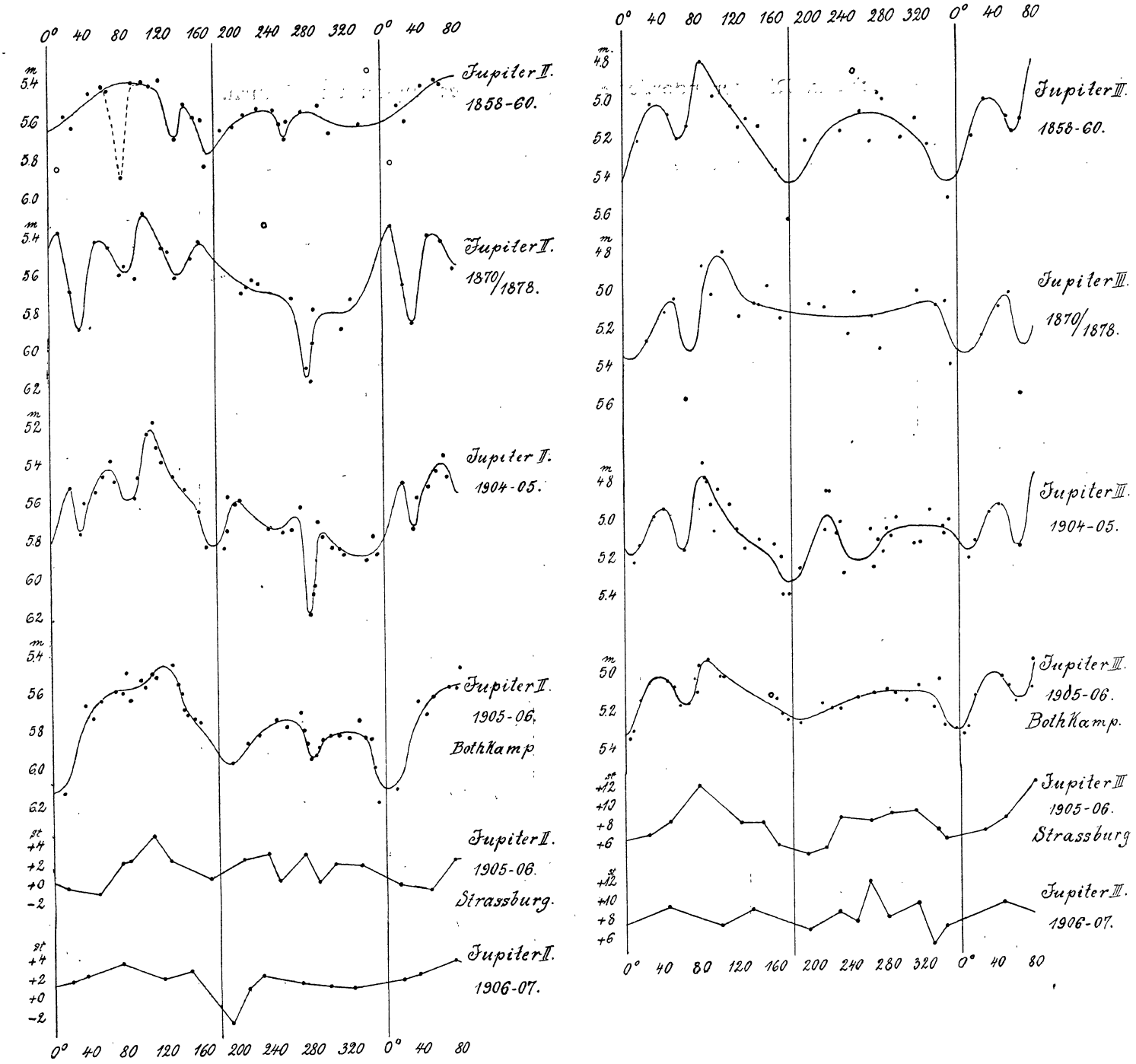
1914AN....

P. Guthnick. **Die veränderlichen Satelliten des Jupiter und Saturn.**



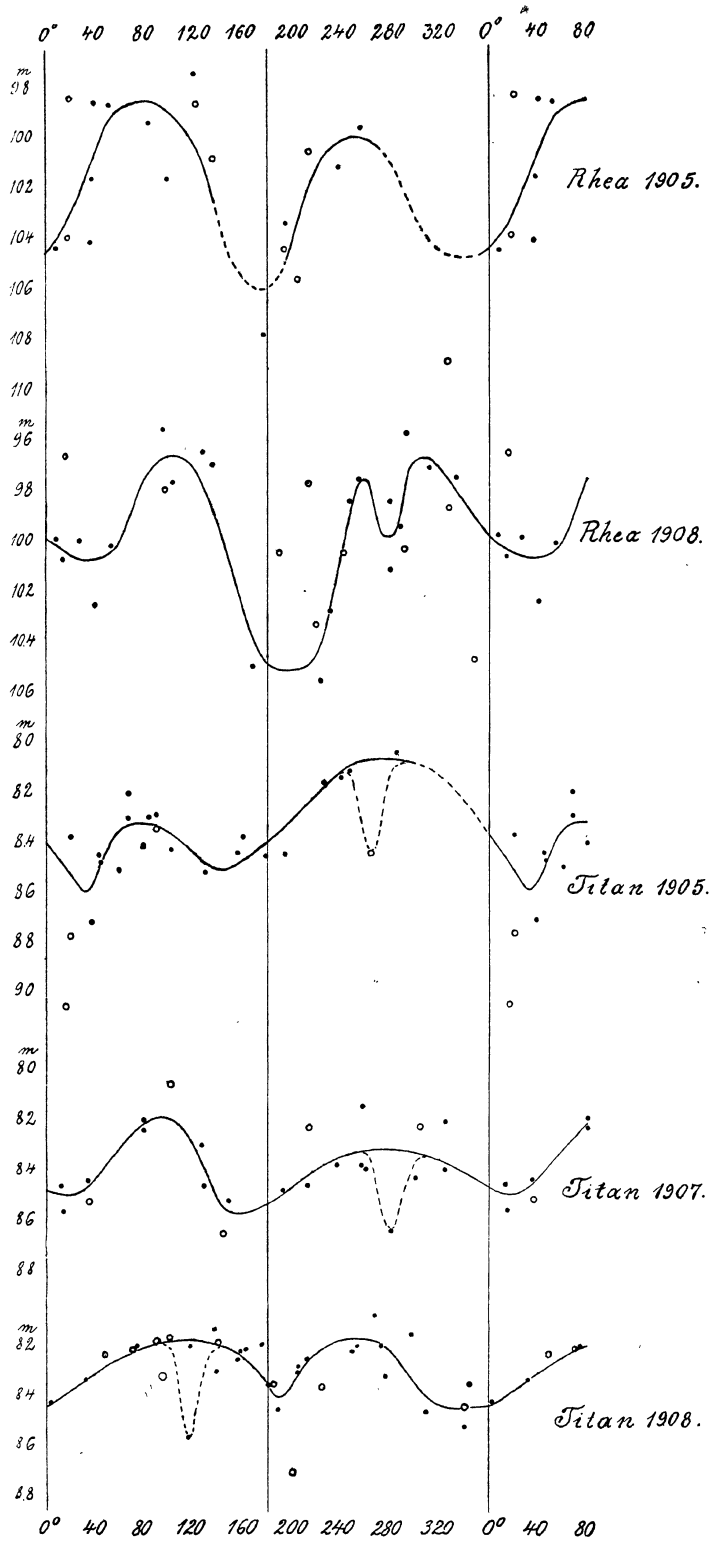
John G. Wolbach Library, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics • Provided by the NASA Astrophysics Data System

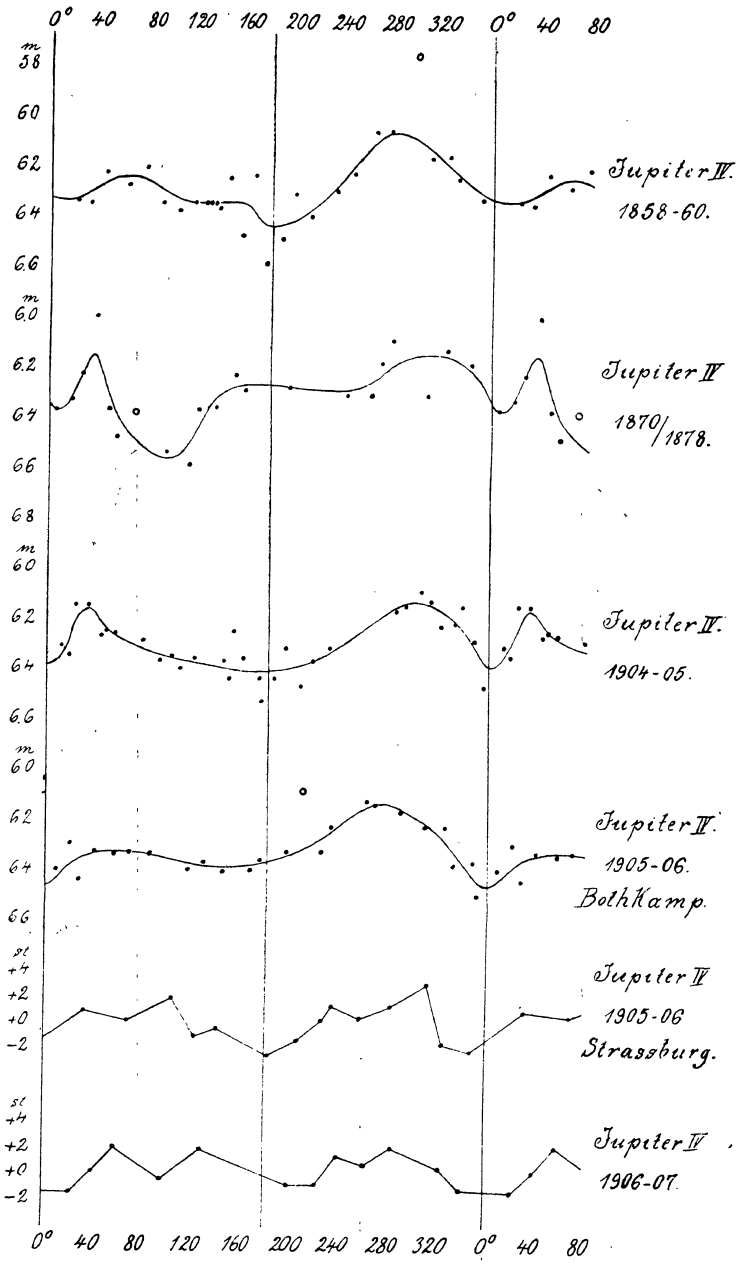
1914AN...



John G. Wolbach Library, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics • Provided by the NASA Astrophysics Data System

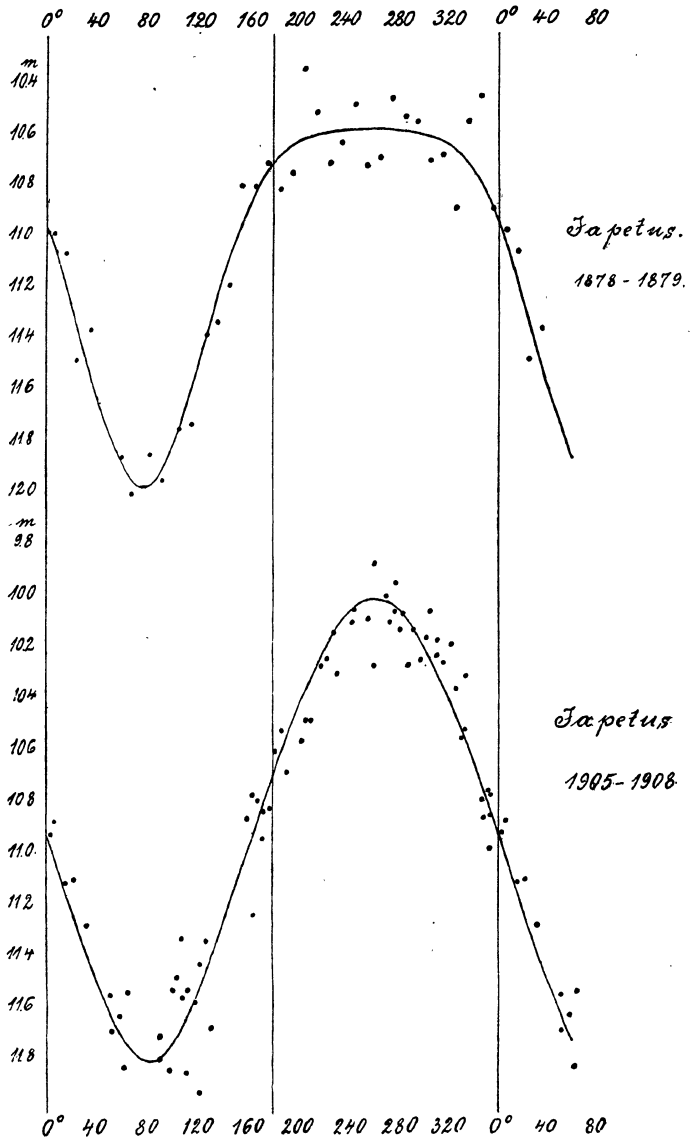
1914AN...

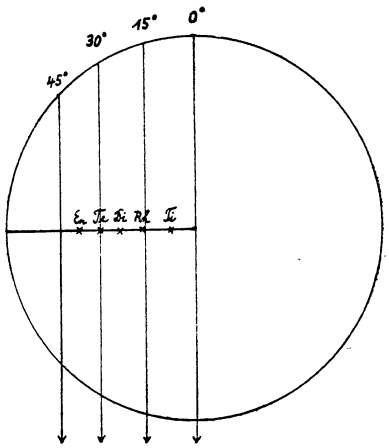




John G. Wolbach Library, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics • Provided by the NASA Astrophysics Data System

1914AN....198..





John G. Wolbach Library, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics • Provided by the NASA Astrophysics Data System

1914AN...198..233

Übergangstypus darstelle, da er zeitweilig ein zweites erhebliches Maximum in der Nähe der östlichen Elongation gezeigt hat. Bei genauerer Betrachtung scheint dasselbe jedoch eher den nachher zu betrachtenden sekundären Wellen zu entsprechen, die bei den anderen Trabanten häufig dem Hauptmaximum folgen.

4. Sämtliche Lichtkurven, insbesondere die der inneren und mittleren Trabanten, unterliegen fortwährenden und zum Teil recht schnellen Veränderungen, sodaß die graphischen Darstellungen nicht so sehr einen bestimmten Zustand repräsentieren, als vielmehr, ähnlich etwa wie eine Karte der Jupiterflecken, die während eines gegebenen Zeitraumes oft zu verschiedenen Zeiten aufgetretenen und verschwundenen Erscheinungen nebeneinander geben. Dies ist besonders für die Beurteilung der Lichtkurven der Jupitersatelliten aus den kombinierten Messungen von *Pickering* 1878 und *Engelmann* 1870 zu berücksichtigen. Jedoch erscheinen die Stellen, welche in den Kurven von besonders markanten sekundären Erscheinungen besetzt sind, zu solchen dauernd disponiert.

5. Einzelne sekundäre Erscheinungen kehren in den Lichtkurven der verschiedenen Satelliten beider Systeme auffallend häufig nahe bei denselben Anomalien und in derselben Form wieder. Wohl die bemerkenswerteste dieser sekundären Erscheinungen ist das so häufig auftretende tiefe Minimum in der Nähe der westlichen Elongation (270°). Es ist vorhanden in der Lichtkurve von Tethys für 1908 bei 260°, und vielleicht auch in der Lichtkurve von Dione für 1908 bei 265°; ferner tritt es auf in der Lichtkurve von Jupiter I von 1858–60 bei 265°, von 1870–78 bei 265°, vielleicht auch 1904–05 bei 265°; ferner ist es angedeutet bei Jupiter II, 1858–60 (255°) und sicher vorhanden bei demselben Trabanten 1870–78, 1904–05, 1905–06 (280°); vermutet wird es bei Jupiter III, 1904–05 (250°), bei Rhea, 1908 (280°), bei Titan, 1905 (255°) und 1907 (280°). Endlich ist es ziemlich sicher vorhanden in der nicht graphisch dargestellten Lichtkurve von Hyperion, die man aus den Harvard-Messungen von 1877–78 erhält und welche auch diesen Satelliten als fast zweifellos veränderlich erscheinen läßt. Es fällt dort auf 280° mit einer relativen Tiefe von etwa einer Größenklasse. Die Harvard-Messungen liefern folgende Normalhelligkeiten für Hyperion in der Form von Differenzen Satellit — Saturn, zu den auf 10° abgerundeten Anomalien:

Anom.	Diff. d. Helligk.	Mess.	Anom.	Diff. d. Helligk.	Mess.
0°	$11^m.85$	3	240°	$12^m.55$	7
40	12.60	2	250	12.43	2
100	13.70	3	270	12.77	3
110	12.86	5	280	13.66	2
130	13.05	3	290	13.23	3
150	12.71	3	300	13.05	3
200	12.52	2	310	12.71	4

Auch in der Umgebung der östlichen Elongation tritt sowohl bei Hyperion wie bei mehreren anderen Satelliten ein ähnliches Minimum auf.

Die Albedowerte der Satelliten, soweit sie bekannt sind, scheinen dieselben in ähnlicher Weise wie die Lichtkurven in Gruppen zu sondern. Die mittlere Albedo (*Seeliger*sche Definition) der Jupitersatelliten war 1904–06 für Jupiter I 0.76 (Grenzwerte 1.03–0.57), für II 0.96 (1.42–0.62), also sehr hoch; für III 0.56 (0.74–0.44), für Titan 0.69 (0.79 bis 0.56), also ziemlich groß; dagegen für Jupiter IV nur 0.22 (0.26–0.18). Für Iapetus habe ich in den Berl. Erg. gezeigt, daß man seinen Durchmesser zu mindestens 0″.25 annehmen müsse. Dieser Wert ergibt für die mittlere Albedo 1905–08 0.52, mit den Extremen 1.14 und 0.22. Die Albedowerte sind aus gewissen Gründen, die hier nicht weiter erörtert zu werden brauchen (man vergl. z. B. Berl. Ber.), nicht als absolute zu betrachten, sondern nur als Relativzahlen, was ja auch schon aus dem Umstand hervorgeht, daß die Maximalwerte zum Teil größer als 1 sind.

Für die inneren Saturnsatelliten hat *H. Struve* durch Vergleichung der von ihm bestimmten Massen mit den Helligkeiten gefunden, daß Rhea, Dione, Tethys, Enceladus und Mimas notwendig eine beträchtlich größere Albedo haben müssen als Titan (Mathem. Abh. d. Akad. d. Wiss. 1907 p. 37). Mit den verbesserten mittleren Helligkeiten der Satelliten (man vergl. die Zusammenstellung am Schluß) ergibt sich das Verhältnis der photometrischen zur wahren Masse — die Voraussetzungen sind ohne weiteres zu erraten — für Mimas zu 28, Enceladus zu 8 bezw. 14, für Tethys zu 8 bezw. 14, Dione zu 4 bezw. 6, Rhea zu 5 bezw. 8, je nachdem man die mittleren Helligkeiten für 1905–08 oder für 1878–79 zugrunde legt; und da man die Dichte dieser Trabanten nicht in dem vollen entsprechenden Maße geringer als die von Titan annehmen darf, wegen der Nichtwahrnehmbarkeit der Scheiben derselben, so muß die Albedo größer sein.

Lehrreich ist auch die Vergleichung der Albedowerte mit den Dichten in der erwähnten Zusammenstellung; freilich sind letztere noch unsicherer als erstere. Für die Jupitersatelliten nehme ich das Mittel der Massenbestimmungen von *de Sitter* und *Sampson*, für die Saturnsatelliten die Bestimmungen von *H. Struve*. Für Iapetus ist nach gütiger Mitteilung des letzteren eine größere Masse als der angesetzte obere Grenzwert so gut wie ausgeschlossen. Zum Vergleich können die entsprechenden Werte für Jupiter, Saturn, Venus, die Erde und ihren Mond dienen. Die Werte sind nicht strenge auf ein homogenes System bezogen, was aber in Anbetracht ihrer Unsicherheit ohne Bedeutung ist. Als Einheit der Massen ist im Jupitersystem die des Jupiter, im Saturnsystem die des Saturn u. s. w. gewählt; als Einheit der Dichte die der Erde. Gemäß der Zusammenstellung haben offenbar Jupiter und Saturn, besonders letzterer, hohe und dichte Atmosphären, was aus der geringen Dichte dieser Planeten einerseits und der hohen Albedo ihrer Oberflächen andererseits folgt. Die direkten Beobachtungen, besonders an Jupiter, bestätigen diesen Schluß. Im Gegensatz hierzu hat offenbar Venus zwar ebenfalls eine sehr dichte, aber wenig hohe Atmosphäre.

Die Satelliten des Jupiter zeigen ein sehr bemerkenswertes Verhalten, indem die Albedo um so kleiner ist, je geringer die Dichtigkeit. Ähnlich wie im Sonnensystem sind die äußeren Glieder des Systems die wenigst dichten. Dies gilt insbesondere für Jupiter IV; wahrscheinlich ist er von einer sehr diffusen und effektiv schwach reflektierenden Atmosphäre umgeben und bezeichnet den frühesten Entwicklungszustand unter den vier Jupitersatelliten; ihm folgt III, dann I und schließlich II mit einer außerordentlich hohen mittleren Albedo, die selbst von Venus nicht ganz erreicht wird.

John G. Wolbach Library, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics • Provided by the NASA Astrophysics Data System

1914AN....198..233

Offenbar haben I und II nicht sehr hohe, aber sehr dichte und stark reflektierende Atmosphären, während III mehr eine Mittelstellung einnimmt, mit merklicher Annäherung an den Zustand seines Zentralgestirns. Eine noch etwas weniger hohe Atmosphäre als Jupiter I und II scheint Titan zu besitzen; seine Albedo ist nicht sehr verschieden von derjenigen des ersten Jupitertrabanten. Von Iapetus läßt sich nur sagen, daß seine Dichte von der Ordnung derjenigen des Titan oder kleiner ist. Seine Albedo muß zur Zeit der Maximalhelligkeit eine sehr hohe, zur Zeit der Minimalhelligkeit eine sehr kleine sein. Der Trabant gleicht im Maximum seiner Helligkeit den Satelliten I und II des Jupiter, im Minimum unserem Monde, oder, falls seine Dichte gering sein sollte, dem Jupitersatelliten IV. Wie man sieht, steht anscheinend keiner der betrachteten Satelliten in seinem physischen Zustande der Erde nahe.

Hinsichtlich der Zuverlässigkeit der zur Berechnung der Albedowerte benutzten *Barnard*schen Durchmesser der Trabanten wird folgende Prüfung der Durchmesser der Jupitersatelliten I und II auf photometrischem Wege von Interesse sein, bei der die Irradiation nicht als Fehlerquelle in Frage kommt. Gelegentlich der Mikrometermessungen an den Jupitertrabanten, die damals am 9-zöll. Refraktor von mir ausgeführt wurden, wurde 1908 April 15 bemerkt, daß eine Bedeckung von I durch II unmittelbar bevorstand. Dieselbe wurde am 6-zöll. Refraktor, dessen Objektiv dabei, wie immer bei den Trabantenmessungen, stark abgeblendet war, photometrisch von dem Zeitpunkt an verfolgt, wo die durch die vermehrte Beugung stark vergrößerten Scheibchen bei der 60-fach. Vergrößerung zusammengeflossen waren, bis zu ihrer Trennung nach dem Vorübergang. Die Messungen ergaben eine typische Algolkurve von rund $0^{m}.55$ Amplitude und mit spitzem Minimum, aus der die Zeit der Konjunktion und die Dauer der Bedeckung mit verhältnismäßig großer Sicherheit abgelesen werden konnten. Außerdem wurde auch die Helligkeit der beiden Trabanten nach der Trennung bestimmt. Eine eingehendere Diskussion dieser Messungen in Hinsicht auf die Genauigkeit der *Sampson*schen Theorie der Jupitersatelliten wird bei einer anderen Gelegenheit erfolgen. Als untere Grenze der Summe der Durchmesser von I und II, nämlich unter Annahme zentraler Bedeckung, ergab sich $1''.75$, während *Barnard*s direkte Messungen (A. N. 3760) die Summe der Durchmesser gleich $1''.90$ ergeben. Die Bedeckung war allem Anschein nach keine zentrale, sowohl nach dem Verlauf des Minimums, als nach gleichzeitiger direkter Beobachtung von *H. Struve* am 9-zöll. Refraktor. Danach stand nämlich II vor und nach der Konjunktion etwas nördlicher als I; doch erschien die vereinigte Scheibe, während der Konjunktion selbst, bei 260-fach. Vergrößerung nicht länglich, sodaß nicht viel an der Zentralität der Bedeckung fehlen konnte. Es scheinen danach *Barnard*s Werte sehr nahe korrekt zu sein. Dieses Ergebnis bedeutet, daß die Ursache der so auffallend hohen Albedowerte der inneren Satelliten, die im Maximum sogar die Einheit beträchtlich übersteigen, augenscheinlich nicht in grober Unrichtigkeit der Durchmesserwerte zu suchen ist. Die Mittel aller Durchmesserbestimmungen weichen nach Harv. Ann. 61.75 für die Satelliten I, II, III, IV der Reihe nach um $+0''.03$, $+0''.13$, $+0''.07$, $-0''.03$ von *Barnard*s Werten ab. *W. H. Pickering*s Bestimmungen, welche in den Mittelwerten nicht eingeschlossen sind, weichen bezw. um $-0''.01$, $+0''.09$, $-0''.09$, $-0''.14$ ab. Eine Änderung des Durchmessers von II um $+0''.11$ würde die Albedo im Verhältnis 1 : 1.28 verkleinern; die Maximalalbedo von II würde selbst in diesem Falle immer noch größer als 1 sein. Andererseits müßte die Sonnenhelligkeit um etwa $0^{m}.5$, auf $-27^{m}.1$, vergrößert werden, um alle mit *Barnard*s Durchmesserwerten berechneten Albedowerte innerhalb plausibler Grenzen zu bringen. Eine so große Korrektion der Sonnenhelligkeit ist aber nach den neueren Untersuchungen von *W. H. Pickering* (Harv. Ann. 61), *Ceraski* (A. N. 4065) und *Birck* (Dissert. Göttingen 1909) nicht mehr wahrscheinlich, wenn auch nicht gerade ausgeschlossen.

Ich kehre zur Beschreibung der gemeinsamen Charakterzüge der Lichtkurven zurück. Der Anstieg zum Hauptmaximum erscheint in der Regel steil und entweder glatt oder mit meist relativ unbedeutenden sekundären Wellen besetzt. Dagegen erscheint der Abfall der Helligkeit nach dem Hauptmaximum fast stets, sogar bei Jupiter IV, mit einer oder mehreren sekundären Wellen besetzt, deren Form und Lage von Opposition zu Opposition, zuweilen sogar innerhalb derselben Opposition, erheblichen Veränderungen unterworfen ist. Daß selbst die Lichtkurve von Iapetus starken Veränderungen unterliegt, ist bereits erwähnt worden und geht auch sehr deutlich aus der graphischen Darstellung hervor. Ganz besonders zu großen und schnellen Veränderungen neigt, wie ebenfalls bereits erwähnt, gemäß den Beobachtungen die Lichtkurve von Rhea, was sich in der starken Streuung der Messungen dieses im Verhältnis zu Tethys und Dione leicht zu messenden Satelliten ausdrückt.

Bezüglich der Lichtkurve von Tethys war in A. N. 4098 die Vermutung ausgesprochen worden, daß sie vielleicht ein stark verlängertes, rotierendes Ellipsoid repräsentiere. Die Wahrscheinlichkeit dieser Vermutung wird durch die Messungen von 1908 verringert, da dieselben deutlich zeigen, daß die Helligkeit in der westlichen Elongation geringer ist als in der östlichen und wenigstens zeitweise an ersterer Stelle ein kurzes Minimum durchläuft.

Diejenigen Minima, welche mit einer der beiden Konjunktionen (0° und 180°) nahe zusammenfallen, bedürfen noch einer Erörterung, da hier der Verdacht vorliegt, daß diese Minima nicht reell, sondern physiologischen Charakters sind. Vorweg sei darauf hingewiesen, daß, wenn letzteres der Fall wäre, das Problem des Lichtwechsels der Satelliten bedeutend an Einfachheit gewinnen würde, daß aber im übrigen die im folgenden ausgesprochene Vermutung über die Ursache des Lichtwechsels von der Entscheidung dieser Frage nicht wesentlich berührt wird. Bezüglich der Konjunktionsminima ergeben sich bei einer genaueren Betrachtung mancherlei Momente, welche nicht recht mit einer physiologischen Erklärung in Einklang zu bringen sind. Zunächst fehlen in den Lichtkurven von Iapetus, Jupiter IV 1905–06 und Jupiter II 1904–05, Rhea 1908 und Titan 1905 und 1907 entweder beide Konjunktionsminima oder eines, oder die Abnahme der Helligkeit verläuft so wenig symmetrisch zur Konjunktion, daß das Minimum an einer Stelle eintritt, die einer beträchtlichen scheinbaren Entfernung des Trabanten vom Planeten entspricht. Dies ist mit Hilfe der letzten Figur Taf. 1, in welcher der Kreis die Bahn eines Trabanten vorstellt, für die

John G. Wolbach Library, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics • Provided by the NASA Astrophysics Data System

1911AN..198..233G

Saturntrabanten leicht festzustellen. Auf der Horizontalen ist das linke Ende der Ringanse relativ zur Bahn von Enceladus, Tethys u. s. w. angedeutet; auf dem Kreise sind die Abstände 15° 30° und 45° von der oberen Konjunktion gewählt und dazu die Lage der Gesichtslinie zur Erde gezeichnet.

Man sollte nun meinen, daß, wenn ein merklicher physiologischer Einfluß des Planetenlichtes auf die Messungen bestände, dieser wenigstens bei denjenigen Trabanten stets und näherungsweise symmetrisch zu den Konjunktionen sich hätte zeigen müssen, die in den Konjunktionen die Planetenscheibe passieren oder doch sehr nahe an ihr vorübergehen; letzteres war aber bei allen, mit Ausnahme von Iapetus — wenngleich dieser in der Nähe der Konjunktionen infolge seiner Lichtschwäche ganz besonders schwierig zu messen war — der Fall. Wenn trotzdem der fragliche Effekt so wenig regelmäßig hervortritt, so muß man füglich an seiner Existenz überhaupt zweifeln. Man beachte in diesem Zusammenhange auch die später folgenden Bemerkungen über eine Beobachtung des Aussehens von Jupiter III in der Nähe der Konjunktion von *Guillaume*. Wenn der Trabant auch nur annähernd die von dem Beobachter gezeichnete Erscheinung dargeboten hat, so muß er zu dieser Zeit sehr merklich lichtschwächer gewesen sein als gewöhnlich, was in der Tat von dem Beobachter bemerkt wurde.

Für die Messungen an den Jupitersatelliten habe ich versucht, den betrachteten Einfluß direkt zu bestimmen. Die hierzu benutzte Vorrichtung war folgende: Vor das Objektiv wurde statt der gewöhnlichen für die Jupitertrabanten benutzten Blende mit kleiner Öffnung eine andere mit zwei Öffnungen gesetzt. Die eine Öffnung hatte einen leicht zu entfernenden Verschluß; über der anderen war ein von meinem Freunde Dr. *Kreusler* für meine Zwecke hergestellter sehr guter Planspiegel angebracht, der um zwei Achsen, eine parallel und eine senkrecht zur Objektivoberfläche, drehbar war. Mittels dieses Spiegels wurden Fixsterne, deren Helligkeit nicht größer als die der Satelliten waren, von passenden Stellen des Himmels in das auf Jupiter gerichtete Fernrohr reflektiert und, je nachdem die erste Öffnung verschlossen war oder nicht, im dunkeln Felde oder dicht neben dem Bilde des Planeten gemessen. Solche Messungen sind allerdings nur an sechs Abenden, mit und ohne Benutzung der Registriervorrichtung des Photometers, angestellt worden, da der Spiegel nur provisorisch montiert und nicht mit Feinbewegung oder gar Einstellungskreisen versehen war, und aus diesem Grunde das Heranbringen eines Sternes von passender Helligkeit an den Planeten sehr mühselig und zeitraubend sich gestaltete. Die Messungen haben aber doch gezeigt, daß der fragliche Effekt in meinen Messungen der Jupitersatelliten in einem Abstande vom Planetenrande, der bezw. den Anomalien 16°, 10°, 6° und $3^1/_2$° der Trabanten I, II, III, IV entspricht, wenn überhaupt vorhanden, keinesfalls größer als $0^m.1$ ist. Dieses Ergebnis kann nicht überraschen, wenn man bedenkt, daß die Messungen in der Weise angestellt wurden, daß die mittlere Entfernung des künstlichen Sternes vom Planetenrande gleich der Entfernung des gemessenen (reflektierten) Sternes vom Planetenrande gehalten wurde. In ganz analoger Weise sind nämlich stets auch die Trabanten in beiden Systemen gemessen worden. Obwohl nicht behauptet werden soll, daß die Konjunktionsminima in jedem einzelnen Falle zweifellos reell sind, glaube ich doch mein Urteil dahin abgeben zu müssen, daß sie es in den meisten Fällen sehr wahrscheinlich sind, daß sie aber physisch mit den Konjunktionen wohl in keinem ursächlichen Zusammenhang stehen, sondern nur zufällig mit denselben kollidieren.

Bezüglich der Minima in der Umgebung der oberen Konjunktion könnte man an eine nachweisbare Absorption des Trabantenlichtes in der Nähe des Planetenrandes durch eine noch in großen Höhen optisch merklich dichte Atmosphäre der Planeten denken. Die Beobachtungen sprechen jedoch nicht in unzweifelhafter Weise für die Existenz einer solchen Absorption, da das Minimum in der oberen Konjunktion nicht in allen Fällen vorhanden war. Diese Frage würde überhaupt einwandfreier durch sorgfältige Helligkeitsmessungen an solchen Sternen zu beantworten sein, an denen Jupiter oder Saturn hinreichend nahe vorübergehen, wobei man eine der beschriebenen ähnliche Einrichtung zur Untersuchung etwaiger systematischer Fehler der Messungen in Anwendung zu bringen hätte.

Auf Grund der erörterten Beobachtungsdaten ergeben sich nun folgende Betrachtungen. Die Satelliten des Jupiter und Saturn stellen gemäß ihrem photometrischen Verhalten anscheinend eine Entwicklungsreihe dar, die jedoch ebensowenig, wie dies bei den Planeten der Fall ist, in einfacher Beziehung zu dem Abstand der Trabanten vom Zentralkörper steht. Die äußeren Satelliten scheinen zum Teil die in der Entwicklung am wenigsten fortgeschrittenen zu sein. Die Unbeständigkeit sämtlicher hinreichend genau untersuchten Lichtkurven und die fast durchweg hohe Albedo der Trabanten machen es wahrscheinlich, daß die Satelliten mit mehr oder weniger dichten und hohen Atmosphären und deren Kondensationsprodukten (Wasserdampf in Wolkenform?) bedeckt sind. Die Atmosphären sind die eigentlichen Träger des Lichtwechsels. Diese letztere Annahme ist insofern von der früheren (mit Ausnahme der für Iapetus gemachten) verschieden, als damals ungleichförmige Reflexionsfähigkeit der Oberfläche selbst als Ursache des Lichtwechsels und die Atmosphäre als Ursache der Störungen des an sich regelmäßigen Lichtwechsels hingestellt wurde. In Verbindung mit den Albedowerten und Dichten führt das ganze physische Verhalten der Satelliten zu dem Schluß, daß Jupiter IV von einer relativ hohen, schwach reflektierenden Atmosphäre umgeben ist — hierfür spricht auch die von allen Beobachtern bemerkte unscharfe Begrenzung und merkwürdige Färbung des Trabanten — ferner, daß die inneren Satelliten beider Systeme mit weniger hohen, aber stark reflektierenden Atmosphären bedeckt sind, und daß die mittleren Satelliten eine mittlere Stellung auch in physikalischer Beziehung einnehmen. Iapetus zeigt auf der hellen Hemisphäre, die in der westlichen Elongation uns zugewendet ist, den Zustand der inneren Satelliten, auf der dunkeln entweder den Zustand, der von Jupiter IV oder den, der vom Erdmonde repräsentiert wird. Wahrscheinlich entspricht der Zustand von Jupiter IV dem frühesten Entwicklungsstadium unter den Trabanten. [1])

Die auffallende Ähnlichkeit der charakteristischen Züge der Lichtkurven sämtlicher untersuchten Trabanten deutet auf eine gemeinsame primäre Ursache des Lichtwechsels hin, da es in hohem Grade unwahrscheinlich ist,

[1]) Vergl. den Zusatz am Schluß des Artikels.

John G. Wolbach Library, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics • Provided by the NASA Astrophysics Data System

1914AN....198..233

daß die Albedoverteilung auf den Trabanten beider Systeme allein durch eine ähnliche Entwicklungsgeschichte in solcher Weise gleichförmig geworden sei. Das ausnahmslos nahe Zusammenfallen des Hauptmaximums, wenn ein solches vorhanden ist, mit einer der beiden Elongationen legt es nahe, die primäre Ursache des Lichtwechsels in der Bahnbewegung der Trabanten zu suchen, in analoger Weise, wie dies für die Veränderlichen vom δ Cephei-Typus geschieht, an deren Lichtkurven diejenigen der Satelliten auch sonst erinnern.

Damit eine solche Wirkung der Bahnbewegung möglich wird, muß man annehmen, daß Jupiter und Saturn von einem dünnen, die Bahnbewegung der Satelliten innerhalb langer Zeiträume nicht merklich beeinflussenden, bis über die äußersten Satellitenbahnen sich erstreckenden Medium umgeben sind, unter dessen Einfluß in den Satellitenatmosphären eigentümliche meteorologische Verhältnisse sich ausgebildet haben, die je nach der physischen Beschaffenheit der Atmosphären und Oberflächen in einem Lichtwechsel, ähnlich entweder dem der Gruppe I der Satelliten, oder dem der Gruppe II, ihren Ausdruck findet, während die mittleren Satelliten einen Übergangstypus bilden. Bei einer Abschätzung der zulässigen oberen Grenze für die Dichte des Mediums wird man nicht den Einfluß dieses Mediums auf die mittleren Bewegungen der Satelliten allein ins Auge zu fassen haben, sondern auch berücksichtigen müssen, daß die Gezeitenreibung einen entgegengesetzten Einfluß ausübt. Es liegt nahe, die Hypothese in allgemeinerer Form aufzustellen, indem man annimmt, daß der ganze Raum um die Sonne bis über die Planetenbahnen hinaus mit einem dünnen Medium erfüllt sei. Dies müßte zur Folge haben, daß alle mit merklichen Atmosphären umgebenen Planeten und Satelliten, bei denen die Rotationszeit mit der Revolutionszeit zusammenfällt, einen Lichtwechsel zeigen, der dem der betrachteten Satelliten ähnlich ist. Da dieses letztere noch keineswegs sicher ist, so ist von der allgemeinen Fassung der Hypothese Abstand genommen worden. Nicht unerwähnt möge aber bleiben, daß nach Potsd. Publ. 8.314 *Müller* aus seinen Messungen der Phasenhelligkeit der Venus fand, daß in der Umgebung der östlichen Elongation die beobachteten Helligkeiten der Venus eine systematische Abweichung von der regelmäßigen Phasenhelligkeitskurve zeigen. Die Beobachtungen deuten ein flaches Minimum an dieser Stelle an. Messungen in der Umgebung der westlichen Elongation sind nicht ausgeführt worden.

Die hier aufgestellte Hypothese erfordert nicht die Voraussetzung einer neuen Tatsache. Es reicht wohl die als feststehend zu betrachtende Tatsache, daß der interplanetarische Raum mit nicht unbeträchtlichen Mengen von in festem Aggregatzustande [1]) befindlicher Materie in feiner und feinster Verteilung erfüllt ist, vollkommen aus, um unter den erwähnten Bedingungen (Vorhandensein einer Atmosphäre und Gleichheit von Rotations- und Umlaufszeit) die Hervorrufung photometrisch merklicher Unterschiede der betrachteten Art auf der Oberfläche eines Planeten oder Satelliten, deren Charakter von den physikalischen Bedingungen auf den Himmelskörpern abhängt, wahrscheinlich zu machen.

Es ist nicht schwierig, die Möglichkeit bestimmter Vorstellungen auf physikalisch-meteorologischer Grundlage darzutun. Ich vermeide aber absichtlich hier eine solche Betrachtung, weil sie wegen der gegenwärtigen Unsicherheit der Stellung einiger Satelliten innerhalb der Entwicklungsreihe und aus anderen Gründen zu einem bestimmten Ergebnis nicht führen kann. Es ist in der Tat möglich, auf mehrfache Weise zu erklären, wie die Albedo in einem frühen Zustande auf der hinteren (zur Bewegungsrichtung entgegengesetzten) Hemisphäre größer als auf der vorderen sein kann, wie das Verhältnis unter anderen physikalischen Bedingungen sich umkehrt und wie es in einem noch späteren Stadium der Entwicklung scheinbar wieder gleich dem anfänglichen werden kann. Nur eine allgemeine Voraussetzung ist dabei zu machen, nämlich die, daß die Albedo eines mit Atmosphäre versehenen Planeten oder Satelliten im Lauf der Zeiten von einem anfänglich niedrigen Wert bis zu einem Maximum zunimmt und dann wieder bis zu einem kleinen Endwert, der Albedo der eigentlichen festen Oberfläche, abnimmt.

Das Verhalten der großen Planeten und des Erdmondes widerspricht dieser Voraussetzung nicht. Ordnet man dieselben nach ihrem Entwicklungsstadium, wie es teils durch die direkten Beobachtungen ihrer Oberflächen, teils durch spektralanalytische Untersuchungen [2]) wahrscheinlich gemacht wird, indem man mit dem frühesten Stadium beginnt, so erhält man folgende Reihe von Albedowerten, die auf das System der PD bezogen sind:

Neptun	0.59	0.64	Saturn	0.81	0.76	Venus	0.85
Uranus	0.68		Jupiter	0.70			
Erde	0.45(?)		Merkur	0.16			
Mars	0.25		Mond	0.10.			

Man ersieht aus dieser Zusammenstellung, daß das Maximum der Albedo nicht mit dem wahrscheinlich frühesten Entwicklungsstadium verknüpft ist, sondern erst auf einer verhältnismäßig späten Stufe eintritt, und daß die Albedo im weiteren Verlauf der Entwicklung wieder abnimmt.

Unter gewissen Einflüssen kann zweifellos dieser Vorgang für verschiedene Teile der Oberfläche in verschiedener Weise und mit verschiedener Geschwindigkeit sich abwickeln.

Vermutlich werden durch die Spektralanalyse und die Spektralphotometrie mit der Zeit greifbarere Aufschlüsse über den physischen Zustand wenigstens der Jupitersatelliten zu erlangen sein, als dies durch visuelle photometrische Beobachtungen allein möglich ist. Die photographischen Helligkeiten der Jupitersatelliten liegen zwischen der 6. u. 7. Größe, sodaß eine genauere Untersuchung ihrer Spektren mittels des Objektivprismas durchaus im Bereich des Möglichen liegt. Es sollte dabei versucht werden, die spektralanalytische Untersuchung auch auf das weniger brechbare Gebiet des Spektrums, mindestens bis in die Region des Jupiterbandes 618 $\mu\mu$, das *H. C. Vogel* auch in den Spektren der Trabanten vermutete, auszudehnen.

[1]) Das *Courvoisier*sche Refraktionsphänomen setzt, in der ursprünglichen Weise kosmisch gedeutet, die Existenz eines gasförmigen Mediums von einer Dichte voraus, die zu nicht beobachteten Konsequenzen führt (Berl. Erg. 15.77-79). Andernfalls könnten die hier beschriebenen Phänomene als eine Stütze seiner Deutung in dem erwähnten Sinne angesehen werden. Immerhin verdient dieser Punkt im Auge behalten zu werden.

[2]) *Slipher*, Spectra of the Major Planets. (Lowell Bull. Bd. 1.)

John G. Wolbach Library, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics • Provided by the NASA Astrophysics Data System

1914AN....1

Es ist noch nötig, die Schlußfolgerung zu betrachten, die aus der Gleichheit der Lichtwechselperioden mit den Umlaufszeiten bezüglich der Rotationszeiten gezogen werden kann. Der Schluß auf Gleichheit der Rotations- und Umlaufszeiten ist auf Grund des Lichtwechsels für Iapetus zuerst von *D. Cassini*, für die Jupitertrabanten von *W. Herschel* gezogen worden und, soweit man die Realität des Lichtwechsels anerkannte, unbeanstandet geblieben. Ich habe ebenfalls, wenn auch nach manchen unausgesprochenen Bedenken, in den erwähnten Veröffentlichungen Gleichheit von Rotations- und Umlaufszeiten angenommen. Unter dem Gesichtspunkte der oben skizzierten Hypothese erscheint nun auf den ersten Blick dieser Schluß nicht länger als ein zwingender. Es ist jedoch eins zu erwägen: Hätten die Trabanten Rotationsperioden, die von ihren Umlaufszeiten verschieden sind, so ist nicht leicht einzusehen, wie es möglich ist, daß sich unter dem vorausgesetzten Einfluß ein dauernder meteorologischer Unterschied zwischen der vorderen und hinteren Hemisphäre von so merklichem Betrage wie bei den untersuchten Satelliten ausbilden könne, da fortwährend andere Teile der Atmosphäre diesem Einfluß unterworfen sein würden [1]).

W. H. Pickering ist allerdings auf Grund seiner und anderer Beobachter Wahrnehmungen periodisch wechselnder elliptischer Gestalt der Scheiben der Jupitertrabanten, über die er in Harv. Ann. 61.72 ff und zuletzt in A. N. 4670 unter Mitteilung zahlreicher Literaturnachweise berichtet hat, zu der Überzeugung gelangt, daß Jupiter I eine kurze Rotationszeit von $11^h 54^m$ besitze. Hält man sich vor Augen, daß Abweichungen von der Kreisform bei den Jupitersatelliten zu verschiedenen Zeiten von mehreren hervorragenden Beobachtern zum Teil an den mächtigsten der heute existierenden Instrumente und in bevorzugten Klimaten wahrgenommen worden sind, so kann man eine gewisse Realität dieser Erscheinungen kaum mehr leugnen. Es unterliegt nun keinem Zweifel, daß das Vorhandensein von starken Helligkeitskontrasten auf den Trabantenoberflächen scheinbare Abweichungen der Trabantenscheiben von der normalen Kreisform vollkommen zu erklären vermag. Als augenfälligstes Beispiel sei die bekannte Beobachtung *Barnards* einer scheinbaren Verdoppelung von Jupiter I vor der Jupiterscheibe erwähnt; auch die jüngste mir bekannt gewordene Wahrnehmung an Jupiter III vom 24. Mai 1913 (Bull. de l'observatoire de Lyon Nr. 1) von *Guillaume*, der den Satelliten sowohl vor der Jupiterscheibe, als auf dem dunklen Himmelsgrund kurz nach dem Austritt stark elliptisch und mit einer, von einer grauen Zone umgebenen, Polarkalotte sah, ähnlich Mars in Quadratur, gehört offenbar zu derselben Kategorie von Erscheinungen.

Es würde sicherlich von Interesse sein zu prüfen, ob die Beobachtungen der elliptischen Figur der Trabantenscheiben einen Zusammenhang zwischen den Deformationen der Trabantenscheiben und den Wellen der Lichtkurven andeuten oder nicht. Die Periode der Deformationen von Jupiter I bestimmte *Pickering* 1892 zu etwas mehr als 13^h, später, 1894, 1901, 1904 und 1912 zu 11^h9–12^h0. *Douglas* fand 1897 12^h4. Der Wert 13^h entspricht einem Längenintervall in der Bahn von rund 110°, der Wert 11^h9 einem Längenintervall von 100°. Betrachtet man nun die Lichtkurven des Trabanten, so zeigt z. B. diejenige von 1904–05 eine ziemlich regelmäßige Folge von Wellen, deren Minima bei 0°, 110°, 190° und 265° (?) liegen; mittleres Intervall also 90°, bezw. 120°, wenn die letzte, zweifelhafte Welle nicht berücksichtigt wird. Die Kurve von 1870–78 kann zum Vergleich nicht ohne Bedenken herangezogen werden, da sie aus Beobachtungen zweier um acht Jahre auseinanderliegenden Epochen zusammengesetzt ist. Sie zeigt drei Minima bei 0°, 140° und 265°; mittleres Intervall also 120°. Die Kurve für 1858–60 hat zwei sichere Minima bei 0° und 265° und ein zweifelhaftes bei 180°. Leider sind für die Jahre, in denen *Pickering* seine Wahrnehmungen machte, Helligkeitsbeobachtungen des Satelliten meines Wissens nicht vorhanden. Werden die Beobachtungen über Monate oder Jahre ausgedehnt, so können infolge der Veränderlichkeit der Lichtkurve aus den Minima offenbar auch solche durchschnittliche Unterperioden erhalten werden, deren Vielfache nicht mehr gleich der Umlaufsperiode des Satelliten sind. *Pickering* spricht l. c. ferner von sehr schnellen Änderungen der Elliptizität des Trabanten innerhalb einer oder zwei Stunden. Es sei darauf aufmerksam gemacht, daß bei Jupiter II auch sehr schnelle Helligkeitsänderungen in der Umgebung von 280° mit völliger Sicherheit festgestellt worden sind, die sich in weniger als 5 Stunden abspielten, und daß solche rapide Helligkeitsänderungen von noch kürzerer Dauer wahrscheinlich auch bei Jupiter I nahe in derselben und in gewissen anderen Anomalien zeitweise auftreten. Ich selbst habe mehr als einmal versucht, Zusammenhänge zwischen den Beobachtungen von Flecken der Satelliten (*W. H. Pickering*, Annals of the Lowell Observatory II) einerseits und den Wellen der Lichtkurven andererseits zu erkennen. Es ist mir dies jedoch nicht gelungen, hauptsächlich weil nicht ersichtlich ist, ob die Intensitäten der dunklen oder hellen Flecken auf verschiedenen Abbildungen miteinander vergleichbar sind. Mir schien es, daß die Intensität der Flecken in den Zeichnungen kein Maß für ihre absolute Helligkeit darstellen soll.

Zum Schluß sei nochmals auf die noch auszufüllenden Lücken unserer Kenntnis des photometrischen Verhaltens der Satelliten hingewiesen. Im Saturnsystem fehlen noch drei wichtige Glieder: Mimas, Enceladus und besonders Hyperion; ebenso ist für die Systeme des Mars, Uranus und Neptun noch fast alles zu tun übrig. Für den Neptuntrabanten vermutet *Wirtz* (Straßb. Ann.) eine periodische Helligkeitsschwankung ähnlich derjenigen der inneren Jupitersatelliten, mit einem Maximum bei 80° und einem Minimum bei 260°. Die Uranussatelliten Ariel und Titania wurden bereits früh, der eine von *Newcomb*, der andere von *H. C. Vogel*, der Veränderlichkeit verdächtigt, und die Realität dieser Wahrnehmung wird durch die Schätzungen und photometrischen Messungen mehrerer Beobachter (*Lassel, Pickering, Hall, Holden, Barnard, Schaeberle, See, Aitken*), die z. T. selbst die Vermutung der Veränderlichkeit aussprechen, wahrscheinlich gemacht. Die Photometrie der Uranustrabanten würde unter Voraussetzung reeller Helligkeitsänderungen und einigermaßen

[1]) Bei der Erde wird trotz ihrer schnellen Rotation eine merkliche Abhängigkeit gewisser meteorologischer Daten von der Lage des Beobachtungsortes zum Apex und Antiapex der Erdbewegung vermutet. Die Frage ist von solcher Bedeutung, daß sie der weiteren Aufmerksamkeit der Meteorologen dringend zu empfehlen ist.

John G. Wolbach Library, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics • Provided by the NASA Astrophysics Data System

1914AN....198..233G

beständiger wahrer Lichtkurven auch Aufschluß über die entwicklungsgeschichtlich wichtige Frage der Lage der Rotationsachsen dieser Satelliten geben, indem die vermutlich kleinen Neigungen dieser Achsen gegen die Uranusbahn sehr beträchtliche charakteristische periodische Veränderungen in den Lichtkurven zur Folge haben müßten [1]). Ob von Jupiter V brauchbare Messungen zu erhalten sind, entzieht sich meiner Beurteilung. Wenn irgend möglich, müßten auch die äußersten und unter diesen insbesondere die rückläufigen Satelliten der Systeme des Jupiter und Saturn photometrisch untersucht werden. Wenn bei ihnen dieselben physischen Verhältnisse vorliegen wie bei den anderen Satelliten, was allerdings a priori sehr zweifelhaft ist, so müßten die rückläufigen einen entgegengesetzten Lichtwechsel wie diejenigen rechtläufigen Satelliten zeigen, mit denen sie nach ihrem photometrischen Verhalten zur gleichen Gruppe gehören.

Tafel I. Zusammenstellung der mittleren Oppositionshelligkeiten, Albedowerte, Massen und Dichten der Satelliten von Jupiter und Saturn.

Objekt	Helligkeit 1904–06 (1905–08) mittlere	größte	kleinste	Albedo 1904–06 (1905–08) mittlere	größte	kleinste	Reduzierte Harv. Mess. mittl. Hell.	Masse	Dichte	Photom. Masse / Wahre Masse 1905–08	1878–79
Jupiter I	$5^m.54$	$5^m.22$	$5^m.84$	0.76	1.03	0.57	$5^m.51$	0.000036	0.39	—	
» II	5.69	5.27	6.15	0.96	1.42	0.62	5.65	0.000024	0.49	—	
» III	5.08	4.78	5.34	0.56	0.74	0.44	5.14	0.000080	0.29	—	
» IV	6.26	6.08	6.42	0.22	0.26	0.18	6.27	0.000044	0.19	—	
Saturn I	—	—	—	—	—	—	12.07	0.00000006	—	—	28
» II	11.69	—	—	—	—	—	11.56	0.00000025	—	8	14
» III	10.56	10.32	11.2±	—	—	—	10.47	0.00000109	—	8	14
» IV	10.71	10.32	11.2±	—	—	—	10.73	0.00000187	—	4	6
» V	9.98	9.74	10.54	—	—	—	9.97	0.00000400	—	5	8
» VI	8.28	8.13	8.50	0.69	0.79	0.56	8.58	0.00002128	0.56	1	1
» VII	—	—	—	—	—	—	12.96	<0.00000021	—	—	>2.4
» VIII	10.85	10.00	11.80	0.52±	1.14±	0.22±	11.03	<0.000001	<0.6	>0.6*)	>0.7*)

*) Grenzen für die extremen Helligkeiten von 1905–08: >2.0 und >0.2, von 1878–79: >1.4 und >0.2.

	Albedo	Dichte		Albedo	Dichte		Albedo	Dichte		Albedo	Dichte		Albedo	Dichte
Jupiter	0.70	0.23	Saturn	0.81	0.13	Venus	0.85	0.87	Erde	0.45 (?)	1.00	Mond	0.10	0.62.

Tafel II. Lichtkurven der Saturnsatelliten, getrennt nach Oppositionen.

(Die eingeklammerten Werte entsprechen den punktierten Varianten in der graphischen Darstellung der Kurven.)

Anomalie	Tethys 1905	Tethys 1908	Dione 1905	Dione 1908	Rhea 1905	Rhea 1908	Titan 1905	Titan 1907	Titan 1908
0°	$11^m.2$:	—	$11^m.11$:	$10^m.78$	$10^m.43$	$9^m.97$	$8^m.38$:	$8^m.46$	$8^m.42$
20	11.1:	—	11.16:	10.76	10.29	10.04	8.50	8.48	8.36
40	10.78	$10^m.32$	11.12	10.53	10.05	10.05	8.53	8.41	8.29
60	10.48	10.26	10.85	10.24	9.88	9.99	8.34	8.30	8.23
80	10.39	10.24	10.50	10.22	9.84	9.75	8.30	8.19	8.18
100	10.46	10.25	10.42	10.31	9.88	9.64	8.34	8.18	8.16 ($8^m.19$)
120	10.81	10.31	10.53	10.50	10.01	9.69	8.43	8.29	8.16: (8.46)
140	11.05	10.41	10.65:	10.76:	10.30:	9.91:	8.49	8.50	8.18
160	11.1:	—	10.77:	11.02:	10.54:	10.25:	8.46	8.55	8.23
180	11.1:	—	10.88:	10.92:	10.59:	10.48:	8.38	8.52	8.33
200	11.1:	10.57:	11.00:	10.64:	10.41	10.50:	8.29	8.45	8.33
220	10.99	10.42	11.09	10.64	10.12	10.44	8.20	8.38	8.20
240	10.72	10.38	11.14	10.66 ($10^m.72$)	10.00	10.05	8.10	8.33	8.16
260	10.64:	10.69	10.94	10.67: (11.21)	10.00	9.74	8.06: ($8^m.38$)	8.30	8.15
280	10.64	10.45	10.80	10.69: (11.05)	10.09:	9.97	8.06: (8.12)	8.30: ($8^m.62$)	8.20
300	10.69	10.48	10.86	10.70 (10.76)	10.30:	9.67	8.07:	8.32 (8.35)	8.33
320	11.11	10.58	10.95	10.73	10.44:	9.70	8.12:	8.34	8.42
340	11.2:	10.71:	11.04:	10.76	10.49:	9.83	8.22:	8.39	8.43

[1]) Literatur: Wash. Obs. 1873 App. I; 1881 App. I; A. N. 2068; A. N. 3806; Amer. Journ. **15**.195; M. N. **13**.147; A. J. 370; A. J. 409; Lick Bull. 7. Der Artikel von *Rodgers* im Amer. Journ. **15**.195 enthält Schätzungen von *Hall* und *Holden* 1875–76 nebst Bemerkungen über *Newcombs* Beobachtungen von Ariel. Die Messungen *Pickerings* (Harv. Ann. 11) ergaben 1878 Oberon in den beiden Elongationen nahe gleich hell, dagegen Titania in der nördlichen Elongation um $0^m.37$ schwächer als in der südlichen. Nach *Lassells* Beobachtungen war 1852 Titania umgekehrt auf der Südseite des Planeten schwächer. Nach *Barnard* war Titania 1894–95 wiederum in der südlichen Elongation schwächer als in der nördlichen. Aus *Halls* Vergleichungen von Titania und Oberon, 1875–76 und 1881–84, z. T. bei sehr geringer Öffnung der Bahnen, ergibt sich kein merklicher Unterschied für die beiden Elongationen, wohl aber, daß die Vergleichungen von Titania mit Oberon sehr von der relativen Distanz der Satelliten vom Planeten abhängen. Das vorliegende Beobachtungsmaterial ist für eine eingehendere Untersuchung noch durchaus unzureichend. Ariel war nach *Newcomb* 1873 auf der Nordseite des Planeten am hellsten, und wahrscheinlich auf der Südseite am schwächsten. In den Jahren 1873, 1878 und 1894–95 war die Bewegung der Satelliten in der nördlichen Elongation auf die Sonne gerichtet, 1852 dagegen von derselben weggerichtet.

John G. Wolbach Library, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics • Provided by the NASA Astrophysics Data System

1914AN....198..233G

Mittelwerte für die Anomalien 40°–140° und 220°–320°.

Tethys 1905	Tethys 1908	Dione 1905	Dione 1908	Rhea 1905	Rhea 1908	Titan 1905	Titan 1907	Titan 1908		
$10^m.66$	$10^m.30$	$10^m.68$	$10^m.43$	$9^m.99$	$9^m.84$	$8^m.40$	$8^m.31$	$8^m.20$	östlich	
10.80	10.50	10.96	10.68	10.16	9.93	8.10	8.33	8.24	westlich	
10.73	10.40	10.82	10.56	10.08	9.88	8.25	8.32	8.22	gesamt	
			10.43			8.40	8.31	8.26	östlich	zweiter Kurvenzug
			10.85			8.16	8.39	8.24	westlich	zweiter Kurvenzug
			10.64			8.28	8.35	8.25	gesamt	zweiter Kurvenzug

Tafel III. Mittlere Helligkeiten der Saturntrabanten, direkt aus den Messungen abgeleitet.

Trabant	1878–79 östl.	1878–79 westl.	1878–79 Mittel	1905–08 östl.	1905–08 westl.	1905–08 Mittel	Differenz 1878–79 u. 1905–08	Rest
Mimas	$12^m.08$	$11^m.56$	$11^m.91$	—	—	—	—	—
Enceladus	11.51	11.03	11.40	$11^m.73$	$11^m.62$	$11^m.69$	$+0^m.29$	$+0^m.13$
Tethys	10.32	10.30	10.31	10.49	10.65	10.59	+0.28	+0.12
Dione	10.54	10.60	10.57	10.60	10.79	10.67	+0.10	−0.06
Rhea	9.75	9.97	9.81	10.00	10.07	10.04	+0.23	+0.07
Titan	8.37	8.39	8.42	8.35	8.30	8.33	−0.09	−0.25
Hyperion	12.80	12.79	12.80	—	—	—	—	—
							+0.16	

Bemerkungen zu Tafel I: Den Albedowerten liegt in beiden Systemen die gleiche Sonnenhelligkeit $-26^m.60$ zugrunde, obgleich die Helligkeitsskalen etwas verschieden sind. Aus diesem und anderen, bei früheren Gelegenheiten mehrfach erörterten Gründen sind die Albedowerte nicht als absolute, sondern nur als relative zu betrachten. Die Albedo der Erde ist nach *Abbot* (Annals Astrophys. Obs. Smiths. Inst. 2.162) 0.37; in den A. N. 4696 leitet *Very* aus visuellen photometrischen Beobachtungen des Erdlichtes auf dem Monde den Wert 0.89 ab. Diesem Werte liegt aber indirekt (infolge der Annahme über die Albedo des Mondes) eine Sonnenhelligkeit von $-26^m.00$ zugrunde; mit der oben angenommenen Sonnenhelligkeit ergibt sich als Albedo der Erde nach *Very* 0.52. Ich setze das Mittel dieser beiden Werte an, möchte aber gleichzeitig die Vermutung aussprechen, daß dasselbe merklich zu klein ist, aus Gründen, die hier nicht erörtert werden können. Sie betreffen hauptsächlich den Anteil der Wolken an der Gesamtreflexion des Sonnenlichtes von der Erde in den Raum, der in dem *Abbot*schen Wert eine wesentliche Rolle spielt. Durch photoelektrische Bestimmung des sekundären Erdlichtes auf dem Monde ließe sich voraussichtlich die Albedo der Erde hinreichend genau feststellen. Versuche in dieser Richtung, welche hier angestellt wurden, ergaben jedoch, daß wegen der großen Ungleichmäßigkeit der Reflexionskraft der Mondoberfläche eine besondere optische Apparatur für diese Aufgabe nötig ist, zu deren Einrichtung mir gegenwärtig die Zeit fehlt. Die Massen der Satelliten sind in Einheiten der Masse ihres Zentralgestirnes, alle Dichten in Einheiten der Dichte der Erde gerechnet.

Die mittleren Helligkeiten der Jupitertrabanten, wie sie sich aus meinen Messungen ergeben, sind nach den Berl. Erg. angenommen, die der Saturntrabanten nach den graphischen Darstellungen der Lichtkurven durch Entnahme der Helligkeiten für die Anomalien von 20° zu 20° mit Ausschluß der Umgebung der Konjunktionen (340°, 0°, 20°, 160°, 180°, 200°) und Mittelung dieser Helligkeiten gebildet. Die direkt durch Mittelung der Messungen selbst sich ergebenden mittleren Helligkeiten weichen in keinem Falle um mehr als $0^m.05$ ab. In den Fällen, in denen infolge vermuteter sekundärer Erscheinungen die Kurven in zwei Varianten gezogen sind, ist das Mittel der Resultate aus beiden genommen worden.

Die letzte Kolumne ist für die Saturntrabanten analog der Zusammenstellung von *H. Struve* (Abh. d. Berl. Ak. 1907) gebildet und dient hauptsächlich zur Beurteilung der wahrscheinlichen Größenordnung der Albedo und Dichte der Satelliten. Titan ist zur Einheit angenommen.

Bemerkungen zu den mittleren Oppositionshelligkeiten, wie sie sich aus den Harvard-Messungen ergeben (Tafeln I und III): Die Harvard-Messungen 1878–79 bestehen aus Differenzen gegen Jupiter bezw. Saturn; um sie direkt vergleichbar mit den neueren Messungen zu machen, ist gemäß der vorletzten Kolumne der Tafel III an die Zahlen für die Saturntrabanten die Korr. $+0^m.16$ anzubringen. Dieser Wert bedeutet also nicht einen systematischen Unterschied zwischen den Harvard- und meinen Messungen. Ein solcher ist auch vorhanden, aber, wie früher auseinandergesetzt worden ist, erheblich größer, nämlich $+0^m.8$ im Sinne Harvard — Bothkamp bezw. Berlin (vergl. A. N. 4098 und Bothk. Mitt. S. 18, wo auch die Erklärung der Differenz gegeben ist). Die mittleren Helligkeiten für die Jupitertrabanten sind aus Harv. Ann. 11.276 entnommen. Da die Helligkeit des Jupiter in dem hier adoptierten System der PD um $0^m.48$ geringer ($-2^m.04$) ist, so müssen sämtliche Harvard-Satelliten-Größen um diesen Betrag korrigiert werden. Dann ergibt sich aber ein systematischer Unterschied von $+0^m.58$ im Sinne Harvard — Bothkamp, ein ganz ähnlicher Betrag, wie er für die Saturnsatelliten gefunden wurde. Ein Wert für Titan ($10^m.04$), einer für Rhea ($10^m.93$), zwei für Tethys ($11^m.74$ und $12^m.49$) sind als offenbar mißglückt ausgeschlossen worden; ferner ist ein Wert für Titan bei der Anomalie 0° nur für das Gesamtmittel berücksichtigt worden. Für Enceladus beruht der westliche Mittelwert der Harvard-Messungen nur auf drei,

John G. Wolbach Library, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics • Provided by the NASA Astrophysics Data System

1914AN....198..233

für Rhea auf nur vier Messungen. In den Differenzen der vorletzten Kolumne ist kein Gang nach der Helligkeit oder mittleren Distanz vom Planeten angedeutet; jedoch erscheint Titan, offenbar wegen seiner rötlichen Farbe, in Cambridge schwächer aufgefaßt als von mir, es sei denn, daß eine Veränderung der mittleren Helligkeit vorliegt.

Die Kurvenzeichnungen sind von Herrn *E. Rosch* für die Reproduktion vorbereitet worden.

Kgl. Sternwarte Berlin-Babelsberg, 1914 März 15. *P. Guthnick.*

Zusatz bei der Korrektur. (Zu p. 246 unten). Eine Vergleichung mit zugänglicheren Verhältnissen wird durch das Ergebnis hiesiger photo-elektrischer Messungen an Mars in der letzten Opposition ermöglicht. Mars zeigte regelmäßige Helligkeitsschwankungen von $0^m.18$ Amplitude (im Violetten), deren Periode gleich der Rotationszeit war. Die Lichtkurve erinnert auffallend an diejenige von Jupiter IV; jedoch darf daraus wegen des großen Unterschiedes der Dichten wohl nicht auf eine besondere physische Ähnlichkeit der beiden Himmelskörper geschlossen werden. Das absolute Minimum der Helligkeit von Mars trat beim Durchgang der Länge 5° durch die Mitte der Scheibe ein; die Helligkeit nahm darauf schnell zu bis zum Maximum bei 120°. Von 195° bis 330° war die Helligkeit nur wenig von der Minimumhelligkeit verschieden und anscheinend nahe konstant. Die Länge 5° entspricht ungefähr dem Zentrum der fleckenreichsten, die Länge 120° dem Zentrum der fleckenärmsten Äquatorgegend der Marsoberfläche (nach den Karten und Zeichnungen von *Schiaparelli, Cerulli, Lowell* und *Graff*). Die Erde stand zur Zeit der Messungen nahe der Marsäquatorebene.

Beobachtungen des Kometen 1914 b *(Zlatinsky).*

1914	mittl. Ortszeit	Δα	Δδ	Vgl.	α app.	log p·Δ	δ app.	log p·Δ	Red. ad l. app.	*
	Am 26 cm-Äquatorial der Hamburger Sternwarte in Bergedorf von Dr. *K. Graff.*									
Mai 18	$10^h\ 5^m35^s$	$-0^m37^s.77$	$+6'\ 13''.1$	34,5	$4^h\ 1^m25^s.44$	9.473	$+49°\ 45'\ 47''.7$	0.898	$-0^s.32$ $+\ 9''.4$	1
18	13 56 56	+0 53.56	−1 58.8	36,5	4 5 15.74	9.338n	+49 41 36.3	0.915	−0.31 + 9.5	2
19	11 16 43	+0 59.46	+1 2.5	24,4	4 26 49.30	9.278	+49 7 56.2	0.920	−0.18 +10.3	3
22	10 48 40	−1 3.14	+4 5.4	30,4	5 38 50.83	9.526	+44 49 10.6	0.887	+0.30 +11.6	4
22	11 9 32	+0 44.47	−0 53.5	30,5	5 39 10.51	9.480	+44 47 23.4	0.899	+0.30 +11.6	5

Mai 17. $10^h\ 30^m$ m. Z. Gr. Großer Refraktor. Kopf groß, blau, ohne auffälligere Struktur mit nahe zentraler heller Verdichtung. Schweif kurz, genau nach dem Stern +50°832 gerichtet. Gesamthelligkeit im Sucher $5^m.5$. — Mai 18. Gr. Refr. Aussehen wenig verändert, nur sind heute im Schweif einige Strähnen erkennbar. Im Spektrum sind auf kontinuierlichem Grunde drei helle Knoten sichtbar, der hellste etwa bei λ 4700. Gesamthelligkeit nach Schätzung im Opernglase $5^m.8$, nach photometrischem Anschluß an drei Sterne $5^m.7$. — Mai 19. Gr. Refr. Kopf ein wenig länglich, auf der nördlichen Seite merklich heller als auf der Südseite. Kern scharf ausgeprägt, im Schweif tritt ein gerader Strahl besonders auffallend hervor. Helligkeitsbestimmung wegen Wolken nicht ausführbar, doch ist der Komet seit gestern anscheinend nicht schwächer geworden. — Mai 22. Gesamthelligkeit nach photometrischem Anschluß an zwei Sterne $5^m.9$.

	Am Leitfernrohr II des Lippert-Astrographen der Sternwarte zu Bergedorf von Prof. *A. Schwaßmann.*									
Mai 19	10 4 28	−0 14.66	+3 32.7	34,5	4 25 35.18	9.525	+49 10 26.4	0.889	−0.18 +10.3	3
22	10 3 41	−0 18.42	+4 45.3	54,10	5 38 7.61	9.603	+44 53 2.3	0.858	+0.29 +11.6	5
	Am 19 cm-Meridiankreis der Hamburger Sternwarte zu Bergedorf von Dr. *F. Dolberg* und Dr. *B. Messow.*									
Mai 16	11 42 51	—	—	—	3 18 5.17	—	+49 51 28.4	0.932	—	—
17	12 0 53	—	—	—	3 40 5.73	—	+49 57 50.5	0.932	—	—
18	12 20 21	—	—	—	4 3 34.29	—	+49 43 21 5	0.932	—	—
	A la lunette méridienne de Besançon par M. *L. Perrot.*									
Mai 19	12 41 17	—	—	—	4 28 33.15	—	+49 4 18.7	0.942	—	—
20	13 2 17	—	—	—	4 53 32.83	—	+47 59 42.8	0.943	—	—

Au moment de l'observation, la comète est à son passage inférieur et très près de l'horizon; elle a l'aspect d'une nébulosité mal définie dont l'observation, surtout en déclinaison, est difficile. La réfraction a été calculée à l'aide des Tables de *Radau,* sous la forme que M. *Andoyer* leur a donnée dans la Connaissance des Temps de 1915. Pour des baromètres normaux de 740.6 mm et 742.1 mm, et des températures de 14°.3 et 14°.4, on a trouvé 7′ 43″.3 et 8′ 50″.2 comme réfractions des deux positions observées.

Mittlere Örter der Vergleichsterne.

*	α 1914.0	δ 1914.0	Autorität
1	$4^h\ 2^m\ 3^s.53$	+49° 39′ 25″.2	Bo 3395 korr.
2	4 4 22.49	+49 43 25.6	» 3418 »
3	$4^h\ 25^m50^s.02$	+49° 6′ 43″.4	Bo 3662 korr.
4	5 39 53.67	+44 44 53.6	» 4702 »
5	5 38 25.74	+44 48 5.3	» 4689 »

Inhalt zu Nr. 4741. *P. Guthnick.* Die veränderlichen Satelliten des Jupiter und Saturn. 233. — Beobachtungen des Kometen 1914 b (*Zlatinsky.* 255.

Mit Tafel 1. Geschlossen 1914 Juni 15. Herausgeber: H. Kobold. Druck von C. Schaidt. Expedition: Kiel, Moltkestr. 80.

John G. Wolbach Library, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics • Provided by the NASA Astrophysics Data System