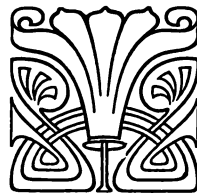


Die Helligkeit der äusseren Saturnringe.

Von

E. Schoenberg.



Jurjew (Dorpat).

Druck von C. Mattiesen.

1914.

des Saturnringes benutzt. Auch die Rückseiten der Spiegel reflektieren, und es ist deshalb am Photometer ein zweites Okular angebracht, in dessen Gesichtsfelde diese von der Lampe beleuchtete Rückseite erscheint, mit dem Himmel als Umgebung. Dieses Okular dient zur Einstellung des Spiegels auf den zu photometrierenden Ausschnitt des Planeten und dient so als Sucher; es kann aber auch zur Photometrie dienen, indem der beleuchtete Spiegel auf dem Planetenausschnitt zum Verschwinden gebracht wird. Bei den folgenden Messungen ist gerade dieses Okular benutzt worden. Der 6"-Spiegel wurde erst auf der Mitte der Saturnscheibe, dann auf der rechten und linken Anse des Saturnringes zum Verschwinden gebracht. Da die Vergrößerung klein war, nur 100-fach, so störte die zwischen den äusseren Ringen liegende Cassinische Teilung nur wenig. Es wurde so die mittlere Helligkeit der beiden äusseren Ringe gemessen. Freilich ist ein vollständiges Verschwinden fast niemals zu erreichen, aber wohl eine solche Helligkeit des Spiegels, dass, wenn man ihn abschwächt, resp. erhellt, er sich deutlich von der umgebenden Ringhelligkeit abzuheben beginnt.

Es wurden bei den Messungen Farbfilter angewandt, ein gelbes, grünes und rotes. Das blaue und violette schwächten das Bild zu sehr, um benutzt werden zu können.

Bei den folgenden Reduktionen wurde mit der Keilkonstante

$$1^{\text{mm}} = 0^{\text{m}}0760 \pm 0.0002,$$

die sich aus zahlreichen Messungen ergab, gerechnet. Der Wert ist übrigens als vorläufiger anzusehen. Für die kleinen Helligkeitsintervalle, die hier in Frage kommen, ist er genügend genau. Der Keil ist nicht fehlerfrei. Bei der Reduktion wurde deshalb eine Korrektionstabelle benutzt, die sich aus einer sorgfältigen Kalibrierung des Keils ergab. In der folgenden Zusammenstellung der Beobachtungen stehen unter *R* resp. *L* die korrigierten Differenzen der Keilablesungen zwischen Saturnmitte und Ring einzeln für die rechte und linke Anse. In der folgenden Kolumne stehen die Differenzen zwischen rechts und links, weiter ihre Mittel in Keilteilen und endlich dieselben in Grössenklassen. In der Kolumne reduziertes Mittel sind die Helligkeitsunterschiede Ring-Saturnmitte für verschiedene Farben auf dieselbe Differenz ohne Filter reduziert. Nebenbei sind die Phasenwinkel und die Elevationswinkel der Erde über der Ringebene angeführt. In der letzten Kolumne „Bemerkungen“ bedeutet die erste Zahl die Zahl der Einstellungen, dann folgen Bemerkungen über die Güte der Bilder, wobei 1 — sehr schlecht bedeutet.

Für die Tage, an denen durch zwei oder mehr Filter beobachtet war, wurden die Differenzen gebildet und gemittelt.

Ohne Filter — gelbes Filter.

Ohne Filter — grünes Filter.

Ohne Filter — rotes Filter.

Gelbes Filter — grünes Filter.

Gelbes Filter — rotes Filter.

Grünes Filter — rotes Filter.

Die Helligkeit der äusseren Saturnringe.

Vorläufige Mitteilung.

Mit einem Flächenphotometer, von dem das Wesentliche mitgeteilt werden soll, dessen genaue Beschreibung und Abbildung ich mir aber für eins der nächsten Hefte vorbehalte, habe ich seit dem Februar 1913 Messungen der mittleren Helligkeit der beiden äusseren Saturnringe ausgeführt. Der Zweck, den ich dabei verfolgte, war die Abhängigkeit der Flächenhelligkeit der Ringe vom Phasen- und Elevationswinkel durch Vergleiche mit der Helligkeit des Zentrums der Saturnscheibe zu untersuchen, wobei gleichzeitige Messungen der Helligkeit des ganzen Systems in bezug auf α Tauri vorgenommen werden sollten. Trotzdem das Material zur Lösung genannter Fragen noch bei weitem nicht ausreicht, so schien es mir doch möglich, die Beobachtungen des ersten Jahres zu veröffentlichen, erstens weil die weiteren Beobachtungen durch eine Änderung am Instrument mit den vorigen nicht ganz homogen sein werden, zweitens wegen des dem Augenschein und allen bisherigen Angaben widersprechenden Ergebnisses meiner Messungen, dass die Helligkeit der Ringe geringer ist, als die der Saturnscheibe. Es sind das meines Wissens überhaupt die ersten Messungen der Ringhelligkeit.

Das benutzte Instrument ist in unserer Universitätswerkstatt vom Herrn Mechaniker B. Messer nach meinen Angaben gefertigt und ist im Wesentlichen ein Hartmannsches Mikrophotometer nur für die Messungen am Fernrohr und nicht auf der Platte zugerichtet. Als Lichtquelle dient eine elektrische 4-Voltlampe, deren Konstanz an einem Milliamperemeter kontrolliert wird. Als Abschwächungsvorrichtung dient ein genau untersuchter Keil. Ein Lummer-Brodhunsches Prisma mit 5 elliptischen Spiegeln auf der Diagonalseite ermöglicht es verschieden grosse Ausschnitte in dem fokalen Bilde eines Planeten oder Nebelflecks zu photometrieren, indem man die umgebende Beleuchtung durch die Lampe ihnen gleich macht und sie so zum Verschwinden bringt. Das Prisma ist von C. Zeiss. Der kleinste Spiegel hat nur 0.1 Millimeter im Durchmesser, was in unserem 8-Zöller 6" ausmacht. Er wurde bei der Photometrie

Die Differenzen der ersten Kolumne wurden dann mit je zweien der zweiten Kolumne so kombiniert, dass je 3 Werte für jede Differenz entstanden und diese wurden dann nach Einführung von Gewichten zu Mitteln vereinigt. So erhielt ich

$$\begin{aligned} \text{Ohne Filter} & - \text{grünes Filter} = -0.059^m \\ \text{„} & - \text{gelbes Filter} = -0.002 \\ \text{„} & - \text{rotes Filter} = +0.031 \end{aligned}$$

Diese Zahlen sind noch recht unsicher wegen der geringen Zahl der Beobachtungen. Jedenfalls ist der Unterschied der Helligkeiten am kleinsten im grünen Filter, weil der Ring grüner ist als die Mitte der Saturnscheibe, und umgekehrt diese röter als der Ring. Am grössten ist die Korrektion für ein blaues Filter, durch welches dank dem Vorwiegen blauer Strahlen im Ringe derselbe fast so hell ist wie die Scheibe. Doch habe ich die vereinzelte Beobachtung durch dieses Filter nicht verwertet. Photographisch wird der Ring vielleicht sogar heller erscheinen als die Scheibe.

Weiterhin will ich die Beobachtungen durch ein schwächeres blaues Filter aufnehmen. Bei allzustarker Abschwächung wird die Beobachtung ungenau, was sich in den mittleren Fehlern meiner Beobachtungen deutlich zeigt.

Diese wurden aus den Differenzen rechts-links für jedes Filter einzeln (3-te Kolumne) berechnet; zuerst wurden diese Differenzen zu einem Mittel zusammengezogen, um den systematischen Unterschied zwischen den Werten für die rechte und linke Anse zu eliminieren. Es ergab sich für alle Filter ein Unterschied in demselben Sinne; danach wäre die im Fernrohr rechte Anse heller als die linke gemessen um die Beträge:

Ohne Filter	Gelbes Filter	Grünes Filter	Rotes Filter
0.023 ± 0.010^m	0.035 ± 0.016^m	0.049 ± 0.020^m	0.010 ± 0.021^m

Das gleiche Zeichen dieser Werte spricht trotz ihrer Unsicherheit dafür, dass wir es hier mit einem persönlichen Fehler zu tun haben.

Bringt man diese Zahlen von den Differenzen rechts-links in Abzug, so findet sich der mittlere Fehler einer beobachteten Helligkeitsdifferenz zwischen Saturnmitte und Ring aus den übrigbleibenden Differenzen v nach der Formel

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum v^2}{2(n-1)}}$$

Der mittlere Fehler eines Mittels von rechter und linker Anse wird dagegen

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}}$$

Ich fand für die einzelnen Filter folgende Werte.

Helligkeitsdifferenzen zwischen den äusseren Ringen und der Mitte der Saturnscheibe.

№ Datum	M. Z. D.	Ohne Filter			Gelbes Filter			Grünes Futter			Rotes Filter			Reduziertes Mittel	Phase	Elevationswinkel der Erde	Bemerkungen
		R.	L.	Differenz	Mittel in Keilables.	Mittel in Grössenkl.	R.	L.	Differenz	Mittel in Keilables.	Mittel in Grössenkl.	R.	L.				
1918																	
1	Febr. 24	7h 30m	6.14	5.91	+0.23	6.03	0.46	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	März 1	6 17	—	—	—	—	—	4.09	5.70	-1.61	4.90	0.37	—	—	—	—	—
3	"	6 50	—	—	—	—	—	5.97	4.89	+1.08	5.43	0.41	—	—	—	—	—
4	März 2	6 20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	"	6 30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	"	7 30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	"	7 50	6.02	6.18	-0.16	6.10	0.46	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	März 4	6 45	—	—	—	—	—	4.54	5.20	-0.66	4.87	0.37	—	—	—	—	—
9	"	7 0	5.45	5.83	-0.38	5.64	0.43	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	"	7 30	—	—	—	—	—	4.22	4.91	-0.69	4.56	0.35	—	—	—	—	—
11	März 26	7 10	4.22	4.06	+0.16	4.14	0.31	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	"	7 50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13	März 27	7 5	6.13	5.30	+0.83	5.72	0.43	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	"	7 48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15	März 28	6 50	5.28	4.29	+0.99	4.78	0.36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16	"	7 10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17	März 29	7 5	4.06	4.35	-0.29	4.20	0.32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18	"	7 35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19	April 3	8 15	4.05	5.24	-1.19	4.65	0.35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	April 4	8 13	4.19	4.36	-0.17	4.27	0.32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
21	"	8 15	—	—	—	—	—	4.53	4.88	-0.25	4.70	0.36	—	—	—	—	—
22	Sept. 1	15 11	5.40	4.98	+0.42	5.19	0.39	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23	Sept. 22	14 52	—	—	—	—	—	3.96	3.36	+0.60	3.66	0.28	—	—	—	—	—
24	"	15 16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25	Sept. 23	14 9	2.80	4.20	-1.40	3.50	0.27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
26	Okt. 16	13 45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
27	"	14 8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
28	Okt. 30	15 17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
29	"	15 41	—	—	—	—	—	4.84	6.82	-1.98	5.83	0.44	—	—	—	—	—
1914																	
30	Jan. 14	11 16	1.75	1.55	+0.20	1.65	0.13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
31	"	11 19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
32	Jan. 17	13 45	2.67	2.66	+0.01	2.66	0.20	0.71	1.37	-0.56	1.54	0.12	—	—	—	—	—
33	Jan. 27	7 24	0.78	2.46	-1.68	1.62	0.12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
34	"	7 50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
35	Jan. 30	6 35	2.21	3.21	-1.00	2.71	0.21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
36	"	6 37	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
37	Febr. 23	9 48	3.80	4.53	-0.73	4.16	0.32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
38	"	9 50	—	—	—	—	—	4.28	4.83	-0.55	4.56	0.35	—	—	—	—	—
39	Febr. 24	9 53	4.36	5.33	-0.97	4.85	0.37	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
40	"	9 48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
41	März 24	9 0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
42	"	9 1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
43	März 26	9 21	2.83	3.80	-0.97	3.32	0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
44	"	9 31	2.90	2.60	+0.30	2.75	0.21	2.47	3.33	-0.86	2.90	0.22	—	—	—	—	—
			2.47	3.59	-1.12	3.03	0.23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Es ist die Saturnscheibe heller als die Ringe um $0^m 317$ bei dem Phasenwinkel $5^\circ 28'$ und dem Elevationswinkel $-25^\circ 40'$.

Nach Anbringung der Korrekturen für die einzelnen Filter, erhalten wir für denselben Phasen- und Elevationswinkel eine Helligkeitsdifferenz

	in grün	um	0.258	Grössenklassen
	„ gelb	„	0.315	„
	„ rot	„	0.348	„

Herr K. Schwarzschild, der mit Versuchen an einem ähnlichen Photometer beschäftigt ist, hatte die grosse Liebenswürdigkeit mir eine von ihm gelegentlich am grossen Potsdamer Refraktor ausgeführte Helligkeitsbestimmung des hellsten Saturnringes zu übergeben. Er fand als Helligkeitsdifferenz zwischen Saturnmitte und Ring

d. 20. April 8 ^h 33 ^m m. E. Z.	in blau	0.13
1914	„ grün	0.24
	„ rot	0.41

Mittel 0.26. Phase $4^\circ 32'$ Elevationswinkel $-26^\circ 47'$.

Wegen der Verschiedenheit der benutzten Farbfilter ist diese vereinzelte Beobachtung nicht mit den meinigen vergleichbar. Sie bestätigt aber meine Resultate, so weit es bei der Verschiedenheit des Phasenwinkels zu erwarten ist.

Ich fasse noch die Resultate dieser Arbeit zusammen.

1) Die mittlere Helligkeit der beiden äusseren und hellsten Saturnringe ist in der Nähe der Elongation um 0.32 Grössenklassen oder 34% geringer als die Helligkeit der Mitte der Saturnscheibe.

2) Diese Helligkeit ist mit dem Phasenwinkel veränderlich.

3) Die Helligkeitsdifferenz ist durch verschiedene Filter gesehen verschieden, am geringsten im blauen und wachsend nach dem roten Ende des Spektrums.

Die Beobachtungen der Gesamthelligkeit des Saturns.

Diese Messungen, die immer mit den Beobachtungen der Ringhelligkeit verbunden sein sollten, um eine Kontrolle für die Messungen der Ringhelligkeit zu liefern, gelang es mir nicht an allen Abenden auszuführen. Umgekehrt wurde an einigen Abenden die Gesamthelligkeit des Saturns mit α Tauri verglichen, während eine Messung der Ringhelligkeit nicht gelang. Die Beobachtung wurde an demselben Fernrohr und mit demselben Photometer ausgeführt. Dasselbe wurde soweit aus dem Fokus des Objektivs verschoben, dass der Saturn als kreisrunde, gleichmässig erleuchtete Scheibe erschien. Bei dieser Einstellung, der äussersten intrafokalen, die der Okularauszug des 8-Zöllers gestattet, 130^{mm} vom Fokus entfernt, wurden alle Messungen sowohl des

Ohne Filter	Gelbes Filter	Grünes Filter	Rotes Filter
$\epsilon_1 = \pm 0.029^m$	$\epsilon_1 = \pm 0.036^m$	$\epsilon_1 = \pm 0.041^m$	$\epsilon_1 = \pm 0.044^m$

Bei der Berechnung erhielten alle Beobachtungen das gleiche Gewicht, trotzdem ein Teil aus 8 Einstellungen auf den Planeten und jede Anse, ein anderer aus 16 bestand. Ich habe aber in der Regel die Zahl der Einstellungen verdoppelt, wenn die Bilder besonders unruhig, oder die Beobachtung aus anderen Gründen mir sehr unsicher erschien. Es gelten deshalb die obigen Werte der mittleren Fehler für 8 Einstellungen und mittelmässige oder gute Bilder.

Auffallend ist die Verminderung der Genauigkeit mit der Durchsichtigkeit des Filters (rot war am dunkelsten). Doch hängt die Genauigkeit so feiner Messungen auch wesentlich von der Übung des Beobachters, der Grösse der beobachteten Fläche, dem Gange des Uhrwerks und anderen Ursachen ab. Meine weiteren Messungen, die ich mit kleineren Spiegeln vornehmen werde, können eine wesentlich andere Genauigkeit ergeben. Berechnet man den mittleren Fehler einer Helligkeitsdifferenz aus den Abweichungen der reduzierten Mittel (24 Kolumne) von den Abendmitteln in den Fällen, wo durch 2 oder mehr Filter beobachtet wurde, so ergibt sich

$$\epsilon_1 = \pm 0.03^m$$

in genügender Übereinstimmung mit den obigen Werten.

Während also die verschiedenen Werte am selben Abend innerhalb der Beobachtungsgenauigkeit übereinstimmen, weisen die verschiedenen Abende Unterschiede auf, die sich durch Beobachtungsfehler nicht mehr erklären lassen. Vergleicht man die reduzierten Mittel mit den Phasenwinkeln (folgende Kolumne), so fällt einem die Abnahme der Helligkeit des Ringes mit wachsender Phase auf. Besonders deutlich ist der Gang in den Beobachtungen des letzten Jahres. Zwei Beobachtungen im Oktober 1913 weisen allerdings starke Abweichungen von einem regelmässigen Gange auf. Sie können vielleicht durch spontane Aufhellung des Ringes, wie sie schon öfters vermutet wurde, oder umgekehrt durch dunkle Flecken auf der Saturnscheibe erklärt werden.

Da es mir bis jetzt nicht gelungen ist Beobachtungen in der Opposition zu machen, wo man nach Seeliger die grösste Helligkeit der Ringe zu erwarten hat, so muss ich mich fürs erste mit diesem Hinweis auf eine Veränderlichkeit des Ringes schon in der Nähe der Elongation begnügen, mir eine eingehende Untersuchung dieser Frage nach weiteren Beobachtungen vorbehaltend.

Da diese Beobachtungsreihe aber infolge der ihr eigentümlichen Beobachtungsart immerhin vereinzelt dastehen wird, so will ich noch die mittlere Helligkeit der beiden äusseren Saturnringe im Verhältnis zum zentralen Teile der Saturnscheibe, wie sie sich als Mittel aus allen Abenden ergibt, hier anführen, indem ich sie mit dem mittleren Phasen- und Elevationswinkel zusammenstelle.

Saturns als des Vergleichsterns gemacht. Nur zwei Messungen am 27-ten und 30-ten Januar 1914 machte ich an einem Merz'schen 6-Zöller von 1.6 Meter Brennweite. Hier war Abstand vom Fokus zu 75^{mm} gewählt.

Es wurde der 3-^{te} Spiegel des Photometers von etwa 1^{mm} Durchmesser auf diesem ausserfokalen Bilde des Saturns resp. des Sternes zum Verschwinden gebracht und die Keistelle abgelesen, nachdem zuvor durch Vorschalten von Blaugläsern eine zwischen Saturn und α Tauri liegende Färbung hergestellt war

Farbfilter benutzte ich bei diesen Messungen nicht, weil sie das Bild zu sehr abschwächten.

Die innere Genauigkeit derartiger Messungen ist etwas grösser als die des Zöllnerschen Punktphotometers. Sie haben ausserdem den Vorzug, dass sie auch bei den grossen Planeten an einem beliebigen Fernrohre ausgeführt werden können. Eingehendere Untersuchungen über die Genauigkeit der Beobachtung von Sternen als Scheiben will ich weiter veröffentlichen. Hier sei nur vorbemerkt, dass die Saturnhelligkeiten, die aus noch nicht ganz gleichartigen Messungen erhalten wurden, Fehler bis zu 0.03 Grössenklasse enthalten können.

Die Messungen sind auf mittlere Opposition reduziert.

In den Kolumne Bemerkungen steht anfangs die Zahl der ausgeführten Vergleiche.

Helligkeitsdifferenzen von α Tauri und Saturn.

Datum	M. Z. D.	Differenz d. Keil- ablesungen	Differenz in Grössen- klassen	Korrektion wegen Extinktion	Reduktion auf mittl. Opposition	Korrigierte Helligkeits- differenz	Phase	Elevations- winkel	Bemerkungen
1913									
März 29	9 ^h 5 ^m	5.72	0.43	+0.09	+0.15	+0.67	4 ^o 58'	-24 ^o 54'	32 Bild. gut.
April 3	8 53	3.85	0.29	+0.09	+0.16	+0.54	4 40	-25 0	32 Bild sehr schlecht.
April 4	8 57	4.91	0.37	+0.09	+0.16	+0.62	4 32	-25 1	32
April 7	9 1	5.60	0.43	+0.10	+0.17	+0.70	4 28	-25 5	32 B. schlecht.
Sept. 23	14 47	8.58	0.65	-0.01	-0.06	+0.58	6 13	-26 24	36
Okt. 21	12 41	12.14	0.92	-0.01	-0.17	+0.74	4 50	-26 21	32 B. genüg.
Okt. 30	14 18	14.34	1.09	-0.02	-0.20	+0.87	4 5	-26 21	16 B. genüg.
1914									
Jan. 27	11 10	12.59	0.96	-0.04	-0.15	+0.77	5 11	-26 18	12 Kl. Refrakt. Bild. gut.
Jan. 30	8 42	12.48	0.95	-0.02	-0.14	+0.79	5 22	-26 18	24 Kl. Refrakt. Bild. gut.
Febr. 23	10 23	7.52	0.57	-0.07	-0.05	+0.45	6 15	-26 24	24 Bild. schlecht.
Febr. 24	8 17	9.11	0.69	-0.03	-0.05	+0.61	6 16	-26 24	44 Bild. schlecht.