

УДК 523.94

Потемнение к краю солнечного диска с учетом линий поглощения

С. И. Осипов

Методом фотоэлектрического сканирования определено потемнение к краю солнечного диска в интегральном (линии плюс континуум) спектре для 111 спектральных участков шириной 5 нм. Результаты, полученные в равнинных (Киев, $\lambda\lambda$ 355—670 нм) и высокогорных (пик Терскол, $\lambda\lambda$ 317.5—362.5 нм) условиях, хорошо согласуются между собой. Для редуциций наблюдаемых кривых потемнения центр — край к истинным учитывались основные искажающие факторы: флуктуации прозрачности земной атмосферы, рассеянный свет в спектрографе, на зеркалах телескопа и в атмосфере, а также замыкание изображения Солнца. Приведены результаты для девяти положений на диске Солнца.

SOLAR LIMB DARKENING ACCOUNTING FOR ABSORPTION LINES, by Osipov S. I.—Solar limb darkening data in integral (lines+continuum) spectrum are obtained in Kiev (111 spectral intervals (width of 5 nm) by drift-curve method. The results obtained in Kiev ($\lambda\lambda$ 355—670 nm) and on peak Terskol ($\lambda\lambda$ 317.5—362.5 nm) agree well. Corrections for atmospheric transparency fluctuations, for scattered light in the spectrograph and for atmospheric and instrumental scattered light and seeing are included in the reductions. The results are presented in the tabular form.

Введение. Данные о потемнении к краю диска Солнца необходимы при решении некоторых научных и прикладных задач в области солнечной физики. К важнейшим из них относятся расчеты физических моделей атмосферы Солнца и создание высокоточных спектрофотометрических моделей интегрального излучения Солнца. Однако до настоящего времени в литературе приводились данные измерений потемнения к краю диска лишь в непрерывном спектре Солнца. Совсем недавно Некел и Лабс [8] выполнили наблюдения потемнения центр — край в интегральном (с учетом влияния линий поглощения) спектре в области $\lambda\lambda$ 330 — 660 нм. К сожалению, они не опубликовали данных непосредственного изменения интенсивности излучения вдоль радиуса диска Солнца, а привели лишь отношение средней по диску интенсивности к центральной. Поэтому результаты [8] требуют не только проверки, но и дополнения.

Нами выполнены измерения потемнения к краю солнечного диска в интегральном спектре в области $\lambda\lambda$ 317.5—670 нм. Наблюдения проведены в 111 спектральных диапазонах в участках спектра шириной 5 нм. Чтобы с большей полнотой исследовать области спектра, насыщенные сильными фраунгоферовыми линиями, наблюдения в них выполнялись в участках, перекрывающихся между собой на половину ширины.

Аппаратура и методика наблюдений. Наблюдения проводились в период с апреля 1984 по май 1985 г. на телескопе АЦУ-5 (Киев, Голошеево, 22 дня наблюдений) в области спектра $\lambda\lambda$ 355.0—670.0 нм и марте — апреле 1985 г. на телескопе СЭФ-1 (ВНБ «Терскол», Северный Кавказ, 8 дней) в области $\lambda\lambda$ 317.5—362.5 нм. Подробное описание и характеристики телескопов приведены в работах [1, 2].

Принципиальная схема приставки, используемой при наблюдениях, и блок-схема регистрирующего устройства показаны на рис. 1, а. Однократно дифрагированный пучок света фокусируется камерным зеркалом 1. В фокальной плоскости находится диафрагма 2, размеры которой подобраны так, что она пропускает полосу спектра 5 нм. Да-

лее в схеме следуют нейтральные и селективные светофильтры 3, линза Фабри 4, которая строит изображение на катоде фотоумножителя 5 (EMI-6094B в Киеве, ФЭУ-79 на Терсколе), усилитель постоянного тока 6 и самописец 7 (ЭПП-09 в Киеве, КСП-4 на Терсколе).

Наблюдения потемнения к краю солнечного диска осуществлялись методом фотоэлектрического сканирования при остановленном часовом

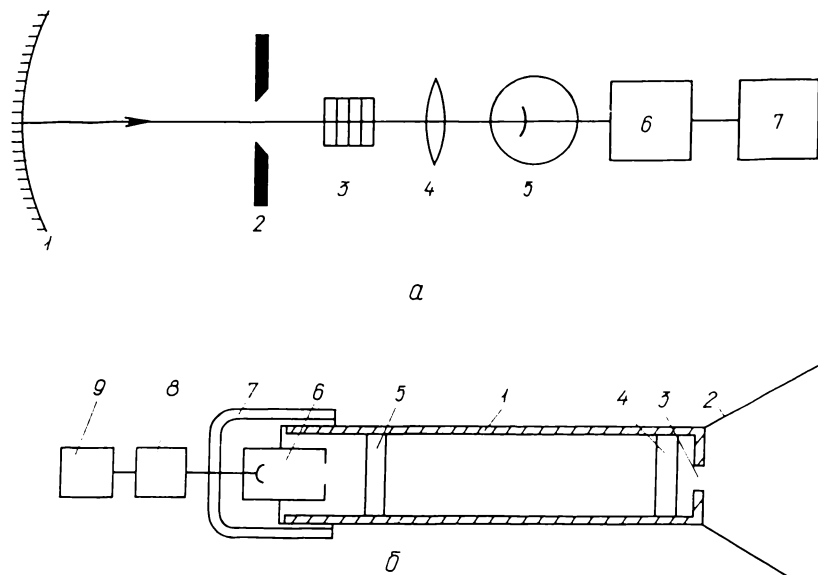


Рис. 1. Принципиальные схемы приставок, используемых при наблюдениях: а — основной канал; б — канал прозрачности

механизме целостатного зеркала. Основное преимущество такого метода — излучение от каждой регистрируемой точки на диске проходит одинаковый путь в телескопе и одинаковую воздушную массу.

При записи распределения яркости в ореоле для увеличения интенсивности сигнала снимались нейтральные фильтры, ослабляющие поток света при сканировании диска Солнца (Киев), или использовались другие режимы работы усилителя (Терсколе). Путем перекрытия светового потока перед входной щелью спектрографа измерялась сумма сигналов паразитной засветки ФЭУ и темнового тока, которая затем вычиталась из наблюдаемого сигнала. Для примера на рис. 2 приведена запись распределения яркости по диску и в ореоле в области спектра $\lambda\lambda$ 520—525 нм. Положение края диска Солнца определялось на регистрограммах как середина участка с максимальным градиентом изменения интенсивности.

Наблюдаемое замывание солнечного диска определяется как атмосферными, так и инструментальными факторами. Мы максимально уменьшили инструментальное замывание, обусловленное расфокусировкой изображения, дифракцией на оправе главного зеркала телескопа и размерами входной щели спектрографа. Размеры диафрагмы главного зеркала, определяющей глубину резкости и разрешающую силу телескопа, находились из условия минимума суммарной ошибки эффекта расфокусировки и дифракции (в Киеве — 0.6", на Терсколе — 1.2"). Исходя из этих значений и учитывая размер диаметра изображения диска Солнца (162 мм — Киев, 30 мм — Терсколе), мы выбирали оптимальные размеры входной щели спектрографа (1300×80 мкм — в Киеве, 500×30 мкм — на Терсколе).

Линейность фотоприемного канала телескопа АЦУ-5 неоднократно проверялась (например, [3]), и отклонения от линейности в нем не превышают ошибок, присущих фотоэлектрическим наблюдениям (око-

до 0.2 %). Проверка линейности работы аппаратуры телескопа СЭФ-1 выполнялась путем сравнения величины потока на входе ФЭУ и сигнала на самописце. Варьирование светового потока осуществлялось изменением ширины выходной диафрагмы спектрографа. Допускалось, что возникающее при этом изменение геометрии оптического пути светового пучка не вносит ошибки в измеряемую нелинейность. Для уменьшения влияния линий поглощения такие измерения выполнялись в

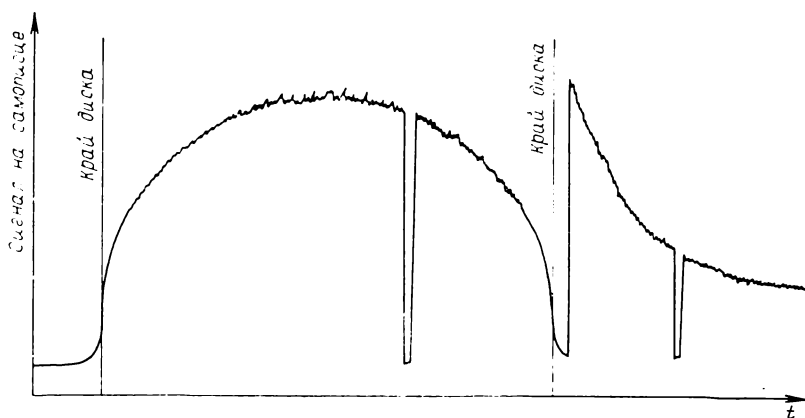


Рис. 2. Регистрограмма, полученная при наблюдениях в области $\lambda\lambda$ 520—525 нм

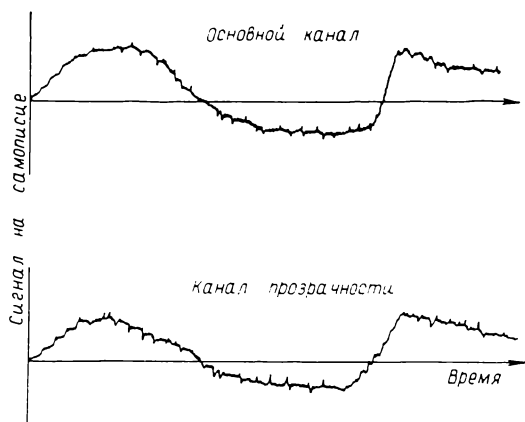
областях спектра, относительно свободных от фраунгоферовых линий, причем результаты усреднялись по измерениям в 3—4 спектральных участках. К сожалению, усилитель У5-9 в трех из пяти используемых режимах работы выявил нелинейность. Максимальная величина вводимых нами поправок за этот эффект для режимов, имеющих нелинейность, составляла 8,5, 2 и 1 %.

Редукция наблюдаемых кривых центр — край к истинным. Наблюдаемое распределение яркости вдоль радиуса диска Солнца отличается от истинного потемнения к краю. Основные причины такого расхождения обусловлены искажениями, вносимыми флуктуациями прозрачности атмосферы во время сканирования, влиянием рассеянного света в атмосфере и на зеркалах телескопа, а также замыванием и дрожанием изображения Солнца. Кроме того, для многих типов используемых спектрографов необходимо учитывать влияние рассеянного света в самом спектрографе.

Несмотря на то что для наблюдений выбирались дни с визуально хорошим качеством атмосферы, при наблюдениях на телескопе АЦУ-5 иногда отмечались довольно значительные флуктуации прозрачности атмосферы. Поэтому для контроля за качеством изображений и для исключения ошибок, вносимых изменениями прозрачности, на телескопе АЦУ-5 параллельно с наблюдениями в основном канале проводилась регистрация излучения от всего диска Солнца с помощью простого вспомогательного устройства (рис. 1, б). Корпус 1 ориентировался на Солнце, а бленда 2 обеспечивала практически равномерную освещенность входного отверстия 3 в течение примерно 1 ч (после этого корпус устройства снова ориентировался в направлении на Солнце). Поток света значительно ослаблялся системой матовых стекол и нейтральных светофильтров 4, а селективные светофильтры 5 пропускали ту спектральную область, в которой проводились наблюдения в основном канале. Далее следуют фотоумножитель 6, усилитель постоянного тока 8 и самописец 9 такие же, как и при наблюдениях в основном канале. Так как прибор подвергался воздействию прямых солнечных лучей, то особое внимание уделялось светозащите (кожух 7).

Отмечалась устойчивая корреляция между сигналами в основном канале и канале прозрачности (рис. 3). Однако флуктуации прозрачности в обоих каналах в общем случае не совпадают между собой по величине. Поэтому в обработку включались только те регистрограммы, во время записи которых отклонения изменения прозрачности от линейной зависимости не превышали 1 %.

После исключения влияния активных образований на поверхности Солнца (пятен и факелов) и учета влияния флуктуаций прозрачности



проводился замер яркости в следующих точках на диске: $\cos \theta = 1.0, 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3, 0.2$. При обработке наблюдений, выполненных на телескопе АЦУ-5, помимо этих положений измерения были дополнитель-

Рис. 3. Исследование корреляций сигналов в основном канале и канале прозрачности при сильных изменениях прозрачности атмосферы

по сделаны в точках $\cos \theta = 0.65, 0.55, 0.45, 0.35, 0.25, 0.17, 0.15$ и 0.1 . Для исключения влияния случайных ошибок результаты в каждом спектральном диапазоне усреднялись по 5—8 регистрограммам. Общее число включенных в обработку регистрограмм — 818 (Киев — 640, Терскол — 178).

Так как при наблюдениях использовались спектрографы, не имеющие устройства для предварительной монохроматизации света (преддисперсера), особое внимание уделялось вопросу о влиянии рассеянного света в спектрографе [4]. Исправленные за рассеянный свет коэффициенты потемнения к краю солнечного диска $j_{\lambda}^{\text{сп}}(\theta)$ связаны с измеряемыми коэффициентами $j_{\lambda}^{\text{из}}(\theta)$ следующим образом:

$$j_{\lambda}^{\text{сп}}(\theta) = [j_{\lambda}^{\text{из}}(\theta) - j_{\lambda}^{\text{р}}(\theta) \kappa_{\lambda}(0)] / [1 - \kappa_{\lambda}(0)], \quad (1)$$

где $j_{\lambda}^{\text{р}}(\theta)$ — потемнение к краю диска в рассеянном свете; $\kappa_{\lambda}(0)$ — относительная величина рассеянного света при наблюдениях в центре диска.

Проблема учета влияния атмосферного и инструментального рассеянного света исследована нами в работе [6]. Инструментальная функция рассеянного света и замыкающая представлялась в следующем виде:

$$\Psi(r) = (1 - \varepsilon) \left\{ \frac{m}{\pi b_1^2} \exp \left[- \left(\frac{r}{b_1} \right)^2 \right] + \frac{1 - m}{\pi b_2^2} \exp \left[- \left(\frac{r}{b_2} \right)^2 \right] \right\} + \varepsilon A \left(\frac{1}{B^2 + r^2} + \frac{D}{C^2 + r^2} \right). \quad (2)$$

Параметры D и ε определялись по наблюдаемому распределению интенсивности в ореоле на расстоянии $0.5\text{--}16'$ за лимбом; значения C подбирались конкретно для каждой области спектра и изменялись от 20 до $50'$; параметр B принимался постоянным и равным $0.5'$; значения b_1 и b_2 определялись по измерениям яркости на расстоянии 4 и $8''$ за лимбом диска. При выборе параметра m мы использовали работы [7, 9, 10] и приняли его равным 0.25 . Характеристики ореола, по данным наших наблюдений, приведены на рис. 4. Значительный разброс точек на рисунке объясняется, очевидно, различием атмосферных и инструментальных условий. Увеличение интенсивности ореола с

уменьшением длины волны заметно лишь в коротковолновой области спектра $\lambda < 380$ нм (рис. 4, а).

На основе обработки результатов в области $\lambda > 380$ нм обнаружена также сезонная зависимость величины ореола (рис. 4, б). Ранней весной, перед установкой на телескопе АЦУ-5, зеркала целостатной

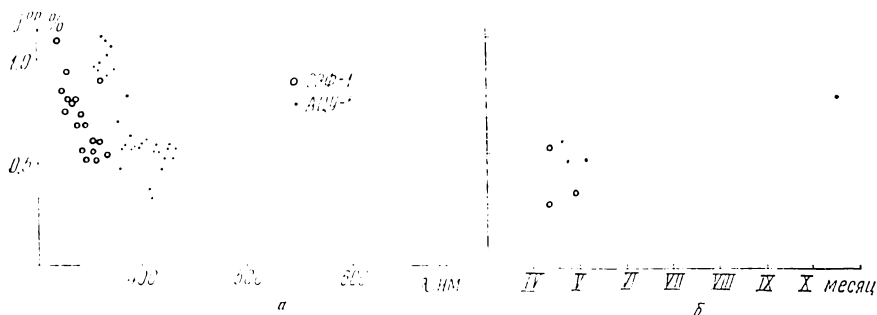
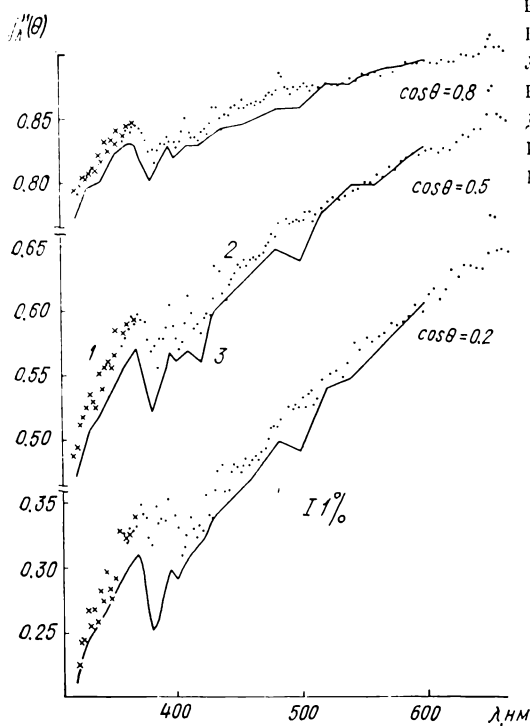


Рис. 4. Средняя величина ореола на расстоянии $1'$ от края диска (в долях интенсивности в центре диска). Зависимость: а — спектральная; б — сезонная

группы моют, а в течение наблюдательного сезона (апрель — ноябрь) пылевое загрязнение их постепенно увеличивается, тем самым существенно увеличивается инструментальный вклад в величину наблюдаемого околосолнечного ореола. Приведенная зависимость (рис. 4, б),



возможно, связана также со средним сезонным изменением ореола, обусловленным изменением высоты Солнца (изменением воздушной массы) при наблюдениях и другими сезонными изменениями атмосферы.

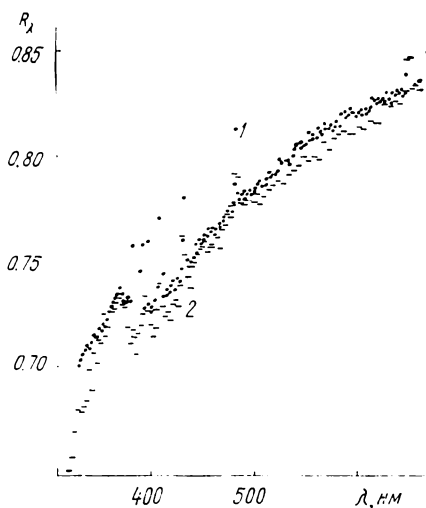


Рис. 5. Потемнение к краю солнечного диска: 1 — СЭФ-1; 2 — АЦУ-5; 3 — по [5]

Рис. 6. Отношение средней по диску интенсивности к центральной: 1 — наши данные (полоса пропускания 5 нм); 2 — по [8] (полоса пропускания 2 нм)

Результаты обработки. По изложенной выше методике проведены вычисления истинных коэффициентов потемнения к краю солнечного диска $j_{\lambda}(0)$. Результаты, полученные в высокогорных (СЭФ-1) и равнинных (АЦУ-5) условиях, хорошо согласуются между собой в перекрывающейся области спектра (рис. 5). Их ошибка составляет при-

Коэффициенты потемнения $j_{\lambda}(0) \times 1000$ к краю солнечного диска в интегральном спектре (полоса пропускания 5 нм) и отношение R_{λ} средней по диску интенсивности к центральной

λ , нм	cos θ									$R_{\lambda} \times 1000$
	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
320.0	886	782	679	578	476	384	299	204	—	650
322.5	890	788	688	587	487	390	307	215	—	657
325.0	896	795	699	605	508	410	330	247	—	669
327.5	899	803	705	609	515	422	335	247	—	675
330.0	900	802	706	614	522	428	349	268	—	679
332.5	899	807	719	625	534	440	347	257	—	683
335.0	901	811	720	621	528	429	357	269	—	683
337.5	905	810	714	618	523	431	344	259	—	683
340.0	910	822	731	645	551	455	372	287	—	698
342.5	906	817	724	632	537	446	357	275	—	690
345.0	913	832	737	654	557	469	383	304	—	706
347.5	911	825	732	652	562	467	383	296	—	704
350.0	918	834	739	652	556	468	381	281	—	706
352.5	916	831	744	658	567	477	391	298	—	710
355.0	922	842	748	674	589	502	419	343	—	723
357.5	915	825	745	661	572	489	403	326	226	714
360.0	916	833	748	663	578	494	408	319	223	718
362.5	922	841	758	672	586	503	418	334	225	726
365.0	919	840	760	677	595	512	422	328	227	727
367.5	924	845	763	682	591	509	416	333	219	730
370.0	924	846	763	681	597	514	428	349	271	732
372.5	923	843	761	679	590	506	424	342	264	729
375.0	921	840	760	677	592	509	425	338	243	728
377.5	915	834	752	666	578	494	408	323	239	718
380.0	909	825	740	655	568	485	404	319	256	710
382.5	910	826	745	661	575	499	424	349	278	717
385.0	907	816	727	645	557	480	405	336	267	705
387.5	907	827	746	665	580	498	416	338	246	715
390.0	915	830	749	667	580	496	416	337	236	719
392.5	916	831	751	669	588	510	430	355	279	725
395.0	916	836	758	683	606	531	456	381	265	733
397.5	917	834	754	671	588	508	425	340	232	723
400.0	919	834	748	668	579	490	403	321	221	719
402.5	914	829	745	661	572	486	397	310	216	713
405.0	916	833	748	666	576	494	405	316	215	717
407.5	921	842	757	681	591	507	420	325	226	727
410.0	925	852	776	699	612	524	437	339	224	739
412.5	919	840	763	683	599	511	423	330	206	728
415.0	918	837	752	670	588	507	419	325	242	723
417.5	921	837	752	668	591	507	419	334	277	726
420.0	917	836	753	672	586	501	415	328	226	722
422.5	920	841	759	678	595	514	428	337	245	728
425.0	923	843	761	683	599	516	434	341	213	731
427.5	919	839	763	680	598	515	429	340	167	727
430.0	923	848	772	692	611	530	445	361	223	738
432.5	934	862	790	715	636	553	467	375	215	755
435.0	931	860	786	712	632	553	470	380	279	753
437.5	926	852	765	696	616	535	448	360	278	742
440.0	922	843	768	690	609	529	445	362	261	737
442.5	929	856	778	699	622	544	457	372	307	747
445.0	928	855	779	705	625	547	464	378	285	749
447.5	932	860	788	711	631	548	464	378	302	753
450.0	934	862	791	714	637	555	468	374	275	756
452.5	932	861	791	714	635	554	469	380	292	756
455.0	934	867	796	718	641	560	475	385	305	759
457.5	930	860	791	712	636	556	469	380	257	754
460.0	931	862	790	717	641	562	473	384	293	757
462.5	932	864	793	718	643	563	477	387	279	759
465.0	931	864	791	717	641	561	474	384	290	757
467.5	934	866	794	720	645	566	481	391	288	761
470.0	933	866	795	720	647	568	483	393	289	761
472.5	934	867	799	729	652	574	491	401	295	765
475.0	938	870	801	731	655	579	497	411	299	769
477.5	938	872	807	735	661	584	503	414	326	772

Продолжение таблицы

λ , нм	cos θ									$R_\lambda \times$ $\times 1000$
	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
480.0	937	872	803	735	660	584	502	410	314	771
482.5	938	875	808	743	670	594	512	416	293	776
485.0	948	888	827	761	690	616	531	444	339	792
487.5	943	866	825	761	691	619	535	449	305	790
490.0	940	878	813	743	672	594	513	426	331	778
492.5	939	876	810	740	670	594	513	425	331	777
495.0	938	872	809	742	671	595	517	427	343	777
497.5	940	878	814	747	672	597	517	427	294	779
500.0	941	876	812	744	672	596	517	433	322	779
502.5	940	878	811	744	672	593	511	425	319	778
505.0	940	880	818	749	678	602	522	435	338	782
507.5	940	878	816	750	679	604	525	439	328	782
510.0	938	874	810	742	671	595	513	427	298	776
512.5	941	880	816	746	677	600	521	433	336	781
517.5	939	878	816	751	682	611	534	447	324	783
522.5	940	881	819	755	687	614	536	452	303	786
527.5	941	880	821	760	691	619	539	454	309	788
532.5	941	879	821	759	689	621	540	449	258	787
537.5	943	881	824	763	692	625	546	460	270	791
542.5	944	886	827	766	695	628	545	469	272	792
547.5	945	884	824	762	697	626	550	472	362	794
552.5	946	890	831	771	703	635	560	481	365	800
557.5	945	888	828	768	703	634	559	477	342	798
562.5	945	889	831	775	708	639	565	483	351	800
567.5	943	887	828	770	706	640	564	483	349	798
572.5	950	895	838	778	715	648	571	490	353	807
577.5	945	890	833	773	713	646	570	490	374	802
582.5	949	895	840	781	719	654	578	494	315	808
587.5	950	899	842	784	722	654	580	499	390	810
592.5	950	897	843	785	725	659	584	507	402	812
597.5	949	897	842	785	724	658	588	501	386	811
602.5	952	900	847	790	728	666	595	516	412	811
607.5	949	898	844	790	730	663	589	514	411	814
612.5	950	898	843	785	726	663	590	512	405	813
617.5	953	900	849	791	729	666	596	521	406	817
622.5	952	898	845	790	728	666	598	530	389	816
627.5	949	899	846	793	734	671	599	526	394	816
632.5	956	905	856	801	739	678	608	538	393	824
637.5	955	905	853	799	739	678	610	537	412	823
642.5	954	904	857	807	745	686	618	535	402	826
647.5	952	906	855	803	746	683	615	533	394	824
652.5	955	911	862	813	757	697	629	546	422	831
655.0	963	920	876	831	776	721	653	576	452	846
657.5	962	921	878	831	779	721	654	575	454	847
660.0	956	911	863	814	757	696	629	550	441	833
662.5	960	911	863	813	756	696	626	551	445	834
667.5	956	908	861	808	753	695	628	549	469	832

мерно 0.5 % (относительно интенсивности в центре диска), за исключением значений в области $\cos \theta = 0.1$, где ошибка увеличивается до 2—3 %. На рисунках 5, 6 результаты сравниваются соответственно с данными [5] (выведенными на основе моделирования характера изменения по диску фраунгоферовых линий и величин потемнения центр — край в непрерывном спектре), и [8] (полученными из непосредственных наблюдений).

Отношение средней по диску интенсивности к центральной определялось по формуле

$$R_\lambda = \frac{1}{2} \sum_{i=2}^n [j_\lambda(\theta_{i-1}) + j_\lambda(\theta_i)] (\sin^2 \theta_i - \sin^2 \theta_{i-1}). \quad (3)$$

При расчетах значений R_λ использовались коэффициенты $j_\lambda(\theta)$, найденные для тех положений на диске, в которых проводились изме-

рения яркости, а также проинтерполированные для нескольких других значений θ .

Результаты, полученные в нашей работе, систематически выше данных [5], но ниже значений [8]. В таблице приведены коэффициенты $j_{\lambda}(\theta)$ для девяти положений на диске и отношение средней по диску интенсивности к центральной R_{λ} .

Автор выражает благодарность Э. А. Гуртовенко за постановку задачи и полезные советы, а также Е. П. Яценко за помощь при обработке наблюдений.

1. Гуртовенко Э. А. Солнечный горизонтальный телескоп АЦУ-5 с монохроматором двойной дифракции // Астрометрия и астрофизика.— 1969.— Вып. 8.— С. 77—85.
2. Гуртовенко Э. А. Поле скоростей и строение солнечной фотосферы: Автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук.— Л., 1975.— 28 с.
3. Гуртовенко Э. А. Солнечный спектрометр для измерений распределения энергии в спектре Солнца в абсолютных энергетических единицах // Солнечные инструменты: Тез. докл. (Иркутск, 12—20 сент. 1982 г.).— Иркутск, 1982.— С. 16—17.
4. Гуртовенко Э. А., Осипов С. П. Рассеянный свет в спектрографе и его влияние на измеряемое потемнение к краю солнечного диска // Кинематика и физика небес. тел.— 1986.—2, № 3.— С. 59—62.
5. Макарова Е. А., Харитонов А. В. Потемнение диска спокойного Солнца к краю (усредненные данные). Интегральный спектр // Астрон. журн.— 1977.—54, вып. 1.— С. 115—122.
6. Осипов С. Н. Влияние атмосферного и инструментального рассеянного света на кривые потемнения к краю солнечного диска // Кинематика и физика небес. тел.— 1986.—2, № 1.— С. 24—27.
7. Maltby P. The effect of scattered light on solar intensity observation as derived from 9 May, 1970 Mercury Transit // Solar Phys.— 1971.—18, N 1.— P. 3—21.
8. Neckel H., Labs D. The solar radiation between 3300 and 12500 Å // Ibid.— 1984.—90, N 2.— P. 205—258.
9. Staveland L. Determination of the spread function for solar stray light // Ibid.— 1970.—12, N 2.— P. 328—331.
10. Wittmann A., Wohl H. Scattered light — a comparison between theory and experiments during the 1973 Transit of Mercury // Ibid.— 1975.—44, N 1.— P. 231—238.

Глав. астроном. обсерватория АН УССР,
Киев

Поступила в редакцию 12.08.86,
после доработки 04.10.86

РЕФЕРАТ ПРЕПРИНТА

УДК 523.4

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕЯНИЯ СВЕТА ПОВЕРХНОСТЯМИ В ПОЛЯРИМЕТРИИ БЕЗАТМОСФЕРНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ТЕЛ / Колоколова Л. О.

(Препринт / АН УССР. Ин-т теорет. физики; ИТФ-87-70Р)

Описывается модель рассеяния света статистически шероховатой поверхностью с учетом поляризации. Рассмотрены эффекты затенения и кратные отражения света. С помощью факторного анализа получены в линейном приближении уравнения, связывающие поляриметрические характеристики рассеянного света с оптическими и структурными параметрами модели. Эти уравнения сравниваются с закономерностями, известными из наблюдений безатмосферных космических тел. Обращается внимание на возможность оценки диаметров астероидов по характеристикам отрицательной ветви поляризации.