

Е. В. ПЯСКОВСКАЯ-ФЕСЕНКОВА

НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ ОБ АТМОСФЕРНОЙ ИНДИКАТРИСЕ РАССЕЯНИЯ СВЕТА

(Представлено академиком В. Г. Фесенковым 13 VIII 1952)

Закон рассеяния света можно характеризовать величиной

$$\frac{dF'}{F'd\omega} \frac{\mu}{2\pi \int_0^{\pi} \mu \sin \vartheta d\vartheta} = \frac{\mu}{\tau}$$

для разных углов рассеяния.

Здесь $dF'/d\omega$ — световой поток, рассеянный в единицу телесного угла под углом рассеяния ϑ ; F' — световой поток, рассеянный по всем направлениям. Если выразить эти величины в единицах падающего светового потока F , то $dF'/Fd\omega = \mu = \sigma f(\vartheta)$ — коэффициент рассеяния под углом ϑ ($f(\vartheta)$ — относительная индикатриса рассеяния света);

$F'/F = 2\pi \int_0^{\pi} \mu \sin \vartheta d\vartheta = \tau$ — оптическая толщина атмосферы при условии

отсутствия поглощения в данном участке спектра.

На основании наблюдательного материала мною было показано, что в среднем закон рассеяния света в атмосфере одинаков на всех высотах над уровнем моря h в аэрозольном слое атмосферы (1). Этот наблюдательный материал был получен из визуальных измерений яркости ясного дневного неба на разных высотах (до 3140 м) при различном состоянии атмосферы в отношении запыленности и влажности и с различными климатическими характеристиками места наблюдений.

На рис. 1 изображены две относительные индикатрисы рассеяния, полученные в окрестностях г. Иваново ($h = 150$ м) 12 VII 1945 г. и на горе Кумбель в окрестностях г. Алма-Аты ($h = 3140$ м) 10 VIII 1949 г. Видно, что в указанные дни рассеяние света в атмосфере на равнине на высоте 150 м происходило по тому же закону, что и на горе на высоте 3140 м на расстоянии приблизительно 3000 км в совершенно других климатических условиях. Не существует в аэрозольном слое атмосферы каких-то особенных форм индикатрисы рассеяния света $f(\vartheta)$, присущих только горной местности или же равнине, можно говорить только о большей или меньшей повторяемости определенных $f(\vartheta)$ в каждой данной местности. Интересно отметить, что наименьший эффект Ми, т. е. наибольшее приближение индикатрисы рассеяния к релеевской, наблюдался мною не на наибольшей высоте в горах, а в песчаной пустыне на высоте 400 м.

В табл. 1 приведены средние из всех наблюдаемых мною на разных высотах значения μ/τ и $f(\vartheta)$, полученные с синим, зеленым и красным фильтрами (эффективные длины волн λ_0 системы глаз — фильтр, соответственно, 476, 546 и 625 м μ). Величины μ/τ можно представить в виде $\mu/\tau = a/16\pi$ по аналогии с релейским рассеянием, для которого $\mu/\tau = 3/16\pi$ для $\vartheta = 90^\circ$. В табл. 1 даны величины числителя a .

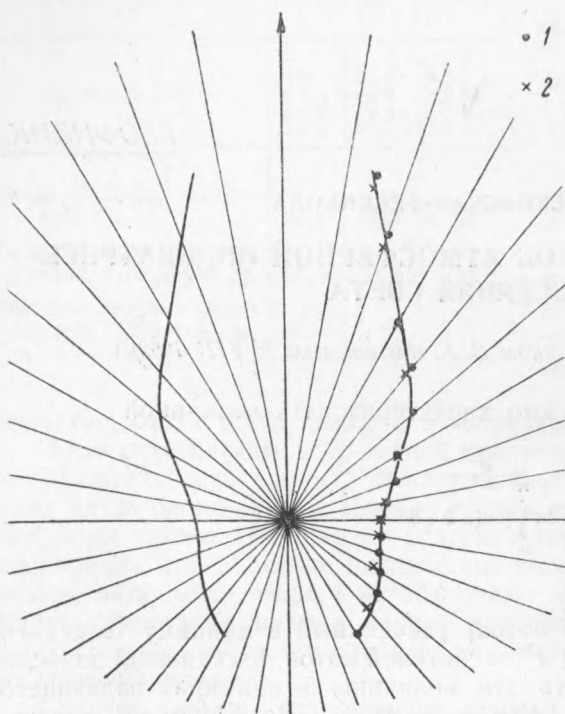


Рис. 1. Относительная индикатриса рассеяния света, 1—Иваново, $h = 150$ м, 2—гора Кумбель, $h = 3140$ м

Имея подобную таблицу значений μ/τ , можно получать коэффициенты рассеяния μ для любого коэффициента прозрачности $p > 0,75$, поскольку $p = e^{-\tau}$.

Значения μ/τ и $f(\vartheta)$ для $\vartheta = 130, 150$ и 160° получены на основании малого числа наблюдений и потому определены с меньшей точностью, чем остальные. Каждая отдельная μ/τ определяется с точностью в 5—8%.

Независимо от h , как правило, отклонение отдельной μ/τ от среднего, данного в табл. 1, для $40^\circ < \vartheta < 120^\circ$ лежит в пределах точности наблюдений. Эти отклонения постепенно увеличиваются в сторону как больших, так, особенно, малых ϑ . Для $\vartheta = 15^\circ$

наибольшее наблюдаемое отклонение для $\lambda_0 = 546$ м μ равнялось 24%, но уже для $\vartheta = 2^\circ$ это отклонение может доходить до многих сотен процентов. Таким образом, можно говорить о среднем законе рассеяния света во всем аэрозольном слое атмосферы, за исключением малых ϑ порядка нескольких градусов и меньше (околосолнечный ореол).

Таблица 1

$\vartheta, \text{ в } ^\circ$	$\lambda_0 = 476 \text{ м}\mu$		$\lambda_0 = 546 \text{ м}\mu$		$\lambda_0 = 625 \text{ м}\mu$		Релей	
	a	$f(\vartheta)$	a	$f(\vartheta)$	a	$f(\vartheta)$	a	$f(\vartheta)$
15	9,5	3,28	10,9	3,84	12,6	4,60	5,80	1,93
20	8,01	2,76	8,71	3,06	10,2	3,72	5,65	1,88
40	5,36	1,85	5,49	1,93	5,71	2,08	4,76	1,59
60	3,90	1,34	3,83	1,34	3,86	1,41	3,75	1,25
80	3,06	1,06	3,01	1,06	2,94	1,07	3,09	1,03
90	2,90	1,00	2,84	1,00	2,74	1,00	3,00	1,00
100	2,87	0,99	2,81	0,99	2,65	0,97	3,09	1,03
120	3,27	1,13	3,18	1,12	2,92	1,07	3,75	1,25
130	3,65	1,26	3,48	1,23	3,29	1,20	4,24	1,41
140	3,93	1,36	3,67	1,30	3,28	1,20	4,76	1,59
150	4,30	1,48	4,09	1,44	3,84	1,40	5,25	1,75
160	4,70	1,62	4,43	1,56	4,27	1,56	5,65	1,88

Из табл. 1 видно, что доля рассеянного света для $\vartheta = 60^\circ$ по отношению ко всему рассеянному световому потоку μ/τ почти одна и та же в интервале $476 \text{ м}\mu \leq \lambda \leq 625 \text{ м}\mu$, т. е. не зависит от λ в этой области спектра. Как показало более точное исследование, для всех трех значений λ_0 μ/τ одинаковы для угла рассеяния $\vartheta = 55 - 57^\circ$. Известно, что для релеевского и сферического рассеяния (для последнего $\mu/\tau = 1/4\pi$ для всех ϑ) величины μ/τ не зависят от λ . Для обоих μ/τ равны для $\vartheta = 54^\circ 44'$ и $125^\circ 16'$. Следовательно, для атмосферного, по крайней мере в визуальной области спектра, а также релеевского и сферического рассеяния μ/τ под углом $\vartheta = 55^\circ$ будут одинаковы. Это означает, что при равенстве τ коэффициенты рассеяния μ для $\vartheta = 55^\circ$ будут одинаковы независимо от формы индикатрисы рассеяния. Известно, что для сферического рассеяния $\mu = \tau/4\pi$ при всех ϑ . Следовательно, также для атмосферного и релеевского рассеяния $\mu = \tau/4\pi$ для $\vartheta = 55^\circ$ (для релеевского точно для $\vartheta = 54^\circ 44'$). Отсюда коэффициент прозрачности атмосферы p , по крайней мере для визуальной области спектра, может быть определен из выражения

$$\lg p = -4\pi M = -5,46 \mu,$$

где M — модуль логарифмов, μ относится к $\vartheta = 55^\circ$. Эту величину можно определить на основании наблюдений яркости ясного неба в одной точке, находящейся на альмукуантарате Солнца на угловом расстоянии от него, равном $\vartheta = 55^\circ$, а также яркости экрана с известным альбедо, освещенного Солнцем. Наблюдения подтверждают возможность подобных определений p с точностью порядка 1%.

На рис. 2 представлены средние относительные индикатрисы рассеяния $f(\vartheta)$ для трех λ_0 , данные в табл. 1. Из табл. 1 и рис. 2 видно, что чем больше индикатриса рассеяния вытянута в направлении падающего луча в сторону малых ϑ , тем она менее вытянута в обратном направлении (увеличение эффекта Ми).

Атмосферную относительную индикатрису рассеяния света В. Г. Фенсенов представил выражением

$$f(\vartheta) = 1 + a \cos \vartheta + b \cos^2 \vartheta + c \cos^3 \vartheta. \quad (1)$$

Это выражение довольно хорошо представляет наблюдаемую индикатрису рассеяния за исключением малых ϑ . Так, для $\lambda_0 = 476 \text{ м}\mu$ среднюю $f(\vartheta)$, данную в табл. 1 и изображенную на рис. 2, можно представить в виде

$$f(\vartheta) = 1 + 0,049 \cos \vartheta + 1,093 \cos^2 \vartheta + 0,704 \cos^3 \vartheta. \quad (2)$$

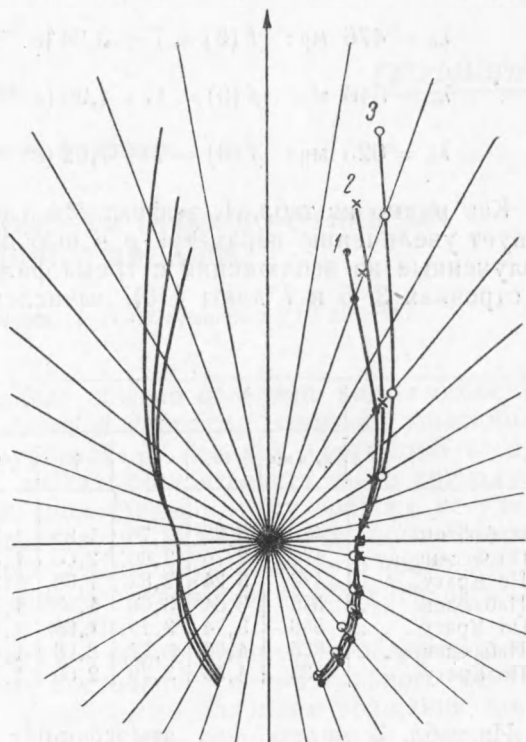


Рис. 2. Средние относительные индикатрисы рассеяния света в атмосфере. 1 — $\lambda_0 = 476 \text{ м}\mu$; 2 — $546 \text{ м}\mu$; 3 — $625 \text{ м}\mu$

В табл. 2 даны $f(\vartheta)$, полученные из наблюдений с синим фильтром, а также вычисленные из (2) (строчки 1-я и 2-я).

В. А. Крат изменил индикатрису рассеяния Шенберга, введя экспоненциальный член, и получил следующее выражение (2)

$$f(\vartheta) = 1 + p(e^{-3\vartheta} - 0,009) + q \cos^2 \vartheta. \quad (3)$$

Параметры p и q были вычислены мною для трех λ_0 , данных в табл. 1:

$$\lambda_0 = 476 \text{ м}\mu: f(\vartheta) = 1 + 3,64(e^{-3\vartheta} - 0,009) + 0,65 \cos^2 \vartheta;$$

$$\lambda_0 = 546 \text{ м}\mu: f(\vartheta) = 1 + 4,99(e^{-3\vartheta} - 0,009) + 0,55 \cos^2 \vartheta; \quad (4)$$

$$\lambda_0 = 625 \text{ м}\mu: f(\vartheta) = 1 + 7,02(e^{-3\vartheta} - 0,009) + 0,44 \cos^2 \vartheta.$$

Как видно из табл. 1, эффект Ми увеличивается с λ . Это соответствует увеличению параметра p в выражении (3). В табл. 2 даны $f(\vartheta)$, полученные из наблюдений с тремя фильтрами (строчки 1-я, 4-я и 6-я). В строчках 3, 5 и 7 даны $f(\vartheta)$, вычисленные из (4).

Таблица 2

	λ_0 в м μ	ϑ°								
		15	20	40	60	80	90	100	120	140
1. Наблюден. . .	476	3,28	2,76	1,85	1,34	1,06	1,00	0,99	1,13	1,36
2. По Фесенкову .	476	2,70	2,60	2,00	1,38	1,05	1,00	1,02	1,16	1,29
3. По Крату . . .	476	3,24	2,82	1,80	1,29	1,04	1,00	1,01	1,14	1,35
4. Наблюден. . .	546	3,84	3,06	1,93	1,34	1,06	1,00	0,99	1,12	1,30
5. По Крату . . .	546	3,74	3,19	1,89	1,31	1,05	1,00	1,00	1,10	1,28
6. Наблюден. . .	625	4,60	3,72	2,08	1,41	1,07	1,00	0,97	1,07	1,20
7. По Крату . . .	625	4,55	3,79	2,06	1,35	1,05	1,00	0,99	1,06	1,20

Из табл. 2 видно, что атмосферная индикатриса хорошо может быть представлена для не малых ϑ как формой В. Г. Фесенкова, так и В. А. Крата. Поскольку в последнюю входит экспоненциальный член, то эта форма должна лучше представлять малые ϑ . Однако, как пишет В. А. Крат, выражение (3) все же не представляет околосолнечный ореол.

Институт астрофизики
Академии наук Каз.ССР
Алма-Ата

Поступило
12 VIII 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Е. В. Пясковская-Фесенкова, ДАН, 73, № 2 (1950). ² В. А. Крат, Изв. Главн. астр. обс. в Пулкове, № 135 (1946).