

ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ИНТЕНСИВНОСТЬ КОРПУСКУЛЯРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА

Н.А. КОЗЫРЕВ

Количественное исследование люминесценции лунной поверхности осуществлено сравнением контуров широких фраунгоферовых линий спектров лунных деталей с контурами этих линий в солнечном спектре. Удалось установить и измерить люминесцентное свечение системы Аристарх-Геродот. Люминесцентные свойства оказались связанными с белым веществом лучевых систем лунной поверхности. Другие обследованные детали лунной поверхности люминесценции не показали. Эти измерения вместе с измерениями спектральной отражательной способности кратера Аристарх позволили найти кривую люминесценции в зависимости от длины волны. По-видимому, существует две полосы: более яркая ультрафиолетовая с максимумом около 3900 Å и синяя, определенная менее уверенно с максимумом около 4300 Å. Люминесценция кратера Аристарх сильнее после полнолуния. 4 октября 1955 г. наблюдалась особенно сильная люминесценция, превышавшая нормальную в четыре раза. Повышение люминесценции объяснено действием корпускулярного потока Солнца на поверхность кратера. Отсюда определена концентрация протонов в потоке вблизи Луны, оказавшаяся равной $5 \cdot 10^3$ частиц в 1 см^2 . Эти наблюдения и отсутствие свечения на темной стороне лунного диска показывают, что на Луне нет магнитного поля. Высказаны соображения о природе лучевых систем.

Сумеречные явления на Луне не были обнаружены даже при очень тонких исследованиях. Лио и Дольфус своими наблюдениями на коронографе далеко отодвинули верхнюю границу возможной атмосферы Луны, оценив ее в $3 \cdot 10^{-8}$ атмосферы Земли [1]. Однако эта верхняя граница не исключает возможности существования на Луне ионосферы и связанных с нею явлений, например свечения ночного неба Луны. С этой точки зрения представляет интерес изучение спектра темного края лунного диска вблизи новолуния.

На 50-дюймовом рефлекторе Крымской обсерватории перед новолунием в октябре 1955 г. нами были получены такого рода спектрограммы при перпендикулярном расположении щели спектрографа к краю диска. Спектрограммы получены камерой со светосилой 1:4 при экспозиции около часа. Так как яркость свечения атмосферы Луны около края должна быть в несколько десятков раз больше, чем над диском, то свечение неба Луны, близкое по яркости к свечению неба Земли, должно было быть заметным на наших снимках. На снимках совершенно отчетливо отделяется спектр пепельного света от более слабого спектра фона неба, но никаких особенностей в спектре неба около края Луны обнаружить не удалось.

Таким образом, на Луне практически отсутствует ионосфера. Жесткая радиация Солнца должна непосредственно падать на поверхность Луны и вызывать люминесценцию минералов, слагающих ее поверхность. На Земле корпускулярное излучение Солнца вызывает полярные сияния – катодлюминесценцию ионосферы. На Луне полярные сияния должны разыгрываться прямо на поверхности планеты. При низких температурах ночной стороны Луны, порядка -160° , многие минералы становятся люминофорами с заметным коэффициентом энергетической отдачи. Поэтому на фоне пепельного света полярные сияния на поверхности Луны должны были бы наблюдаться совершенно отчетливо. Подобные явления никогда на Луне не наблюдались; отсюда следует определенное заключение об отсутствии магнитного поля Луны. При отсутствии магнитного поля корпускулярное излучение Солнца должно падать на поверхность Луны вместе с фотонами по тем же геометрическим законам. Следовательно, люминесценция Луны может наблюдаться только на стороне, освещенной Солнцем.

Линк [2] впервые обнаружил следующие признаки люминесценции лунной поверхности: 1) большие относительные яркости некоторых деталей поверхности Луны во время ее затмения, чем это следует из фотометрических измерений этих деталей при солнечном освещении, что объясняется люминесцентным послесвечением значительной про-

должительности; 2) корреляция яркости Луны с возможными колебаниями солнечной постоянной. Колебания яркости Луны могут быть значительными вследствие изменений жесткой радиации Солнца, которая посредством люминесцентного свечения добавляется к отраженному Луной солнечному свету видимой области спектра. Эти признаки – косвенные, и поэтому крайне желательны прямые спектрофотометрические доказательства люминесценции поверхности Луны.

Фотометрическое сравнение непрерывного спектра лунной поверхности со спектром Солнца может определенно показать люминесценцию лишь тогда, когда накладываемый спектр люминесценции содержит отдельные узкие линии. Обычно же спектр люминесценции минералов состоит из широких полос, наложение которых на отраженный солнечный спектр нельзя с уверенностью отличить от особенностей спектральной кривой отражения лунной поверхности. Однако с полной определенностью, допускающей точные измерения, люминесценция может быть обнаружена из сравнения контуров фраунгоферовых линий в спектрах Луны и Солнца. Действительно, обозначим через I_{\odot} интенсивность солнечного спектра внутри фраунгоферовой линии по отношению к непрерывному спектру. Очевидно, что при отсутствии люминесценции контур линии в спектре Луны измениться не может и по спектру Луны должны получаться те же значения I_{\odot} . Допустим, что существует люминесценция яркости x по отношению к непрерывному спектру отраженного Луной света. Яркость x будем считать постоянной для всей фраунгоферовой линии. Чтобы получить контур линии в спектре Луны I_{ζ} , мы должны прибавить к I_{\odot} люминесцентное свечение x :

$$I_{\zeta} = (I_{\odot} + x)k,$$

где k – некоторый коэффициент пропорциональности, величина которого определяется условием интенсивностей в непрерывном спектре: $I_{\zeta} = I_{\odot} = 1$. Таким образом,

$$I_{\zeta} = \frac{I_{\odot} + x}{1 + x}. \quad (1)$$

Отсюда получается возможность определения x сравнением контуров линий в лунном и солнечном спектре:

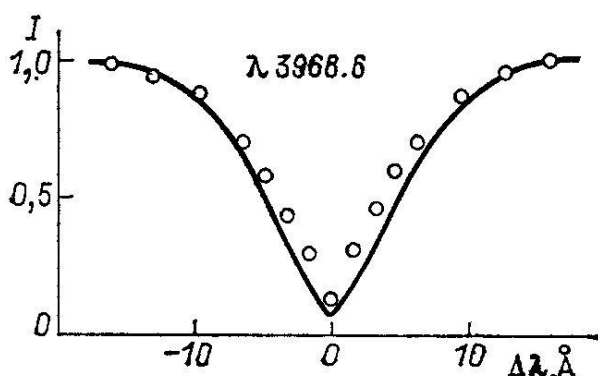
$$x = \frac{I_{\zeta} - I_{\odot}}{1 - I_{\zeta}}. \quad (2)$$

Из формулы (2) видно, что различие яркостей соответствующих точек контура линии лунного и солнечного спектров $(I_{\zeta} - I_{\odot})$ пропорционально $(1 - I_{\zeta})$. Следовательно, наибольшее различие контуров должно наблюдаться в центре линии и наименьшее в крыльях. Остаточная интенсивность линии из-за люминесценции будет большей, а полуширина – меньшей, и в результате линия будет казаться более узкой, чем в солнечном спектре. При умеренной дисперсии во избежание инструментальных и фотометрических ошибок следует ограничиться исследованием контуров только особо широких фраунгоферовых линий. С другой стороны, при той же яркости люминесцентного свечения величина x должна быть больше в фиолетовой части спектра, где происходит значительное уменьшение яркости солнечного спектра и отражательной способности лунной поверхности. Поэтому поиски люминесцентного свечения естественно начать с исследования контуров линий H и K ионизованного кальция.

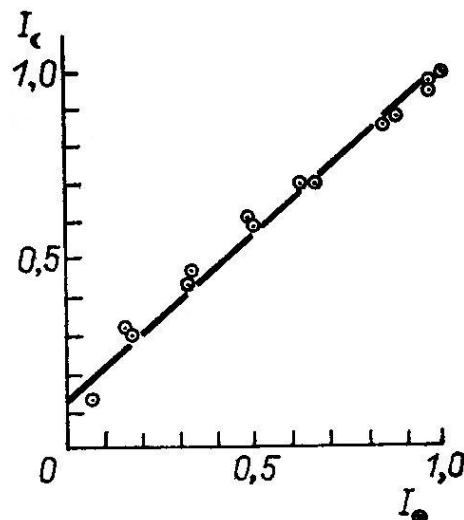
Спектрограммы различных участков лунной поверхности были получены нами осенью 1955 г. на 50-дюймовом рефлекторе Крымской обсерватории спектрографом с большой камерой, дающей линейную дисперсию около 15 Å/мм близ дублета H и K. При ширине щели 0,05 мм на пластинках Ильфорд Гиперпанхроматик-3 экспозиции были порядка 2-10 мин для видимого участка спектра и 30-40 мин для получения контуров H и K. По возможности в дни наблюдений с той же аппаратурой и на тех же пластинках снимался для сравнения спектр Солнца. При наблюдениях Солнца большое зеркало рефлектора

закрывалось диафрагмой с 20 отверстиями диаметром 4 мм, расположенными равномерно по поверхности зеркала. Снимки Солнца получались с различными экспозициями от 0,2 до 10 с, а фотометрическая шкала (ступенчатая щель) – с экспозицией около 5-10 мин. Имея набор этих солнечных спектров, можно было на глаз сравнивать вид линий в спектрах Луны и Солнца при одинаковых плотностях непрерывного спектра. Такая возможность очень облегчала поиски люминесцирующих областей лунной поверхности. Были исследованы поверхности лунных морей (Море Ясности и Море Дождей), гористая часть центральной области Луны, дно некоторых кратеров (Платон, Шиккард, Коперник) и пятно Вуда. Эти исследования дали отрицательный результат – контуры линий Н и К оказались одинаковыми с солнечным спектром. Только кратер Аристарх с прилегающим к нему Геродотом, взятый как образец лучевой системы, показал, несомненно, другой контур этих линий. В спектре Аристарха центральная часть линий Н и К выглядит значительно уже, чем в солнечном спектре.

Кратер Аристарх расположен в восточной части лунного диска и имеет следующие селенографические координаты: $\varphi = +23^\circ, 0$, $\lambda = -47^\circ, 1$. Угол отражения ε , т.е. угол между лучом зрения и нормалью к поверхности кратера, приблизительно равен 46° . Лучевая система кратеров Аристарх-Геродот представляет собой сплошной светлый ореол без отдельных длинных лучей, и поэтому очень удобна для спектральных исследований. Фиг. 1 дает сравнение контуров линии Н (3968.6 \AA) Ca^+ спектров Аристарха 4 октября 1955 г. и Солнца. Для уменьшения ошибок характеристической кривой эти контуры были получены по негативам с одинаковой плотностью непрерывного спектра. Построенный контур в солнечном спектре оказался хорошо согласованным с контуром этой линии по фотометрическому атласу Миннаэрта. Полученное большое различие контуров линии в спектрах Аристарха и Солнца иллюстрирует фиг. 2, на которой по оси абсцисс отложены интенсивности линии в солнечном спектре I_\odot , а по оси ординат – интенсивности в спектре Аристарха I_ζ на тех же расстояниях от центра линии. В случае люминесценции согласно формуле (1) должна получаться линейная зависимость I_ζ от I_\odot . Эта прямая должна отсекаеть на оси ординат ($I_\odot = 0$) отрезок $I_\zeta = \frac{x}{1+x}$. Таким образом, по этому графику можно сразу



Фиг. 1. Сравнение контуров линии Н (3968.6 \AA) в спектрах кратера Аристарх 4 октября 1955 г. (в кружках) и Солнца (сплошная линия).



Фиг. 2. Сравнение интенсивностей линии Н (3968.6 \AA) в спектрах кратера Аристарх 4 октября 1955 г. – I_ζ и Солнца – I_\odot .

найти процент люминесценции по отношению к интенсивности непрерывного спектра, отраженного Аристархом: получается $x = 13 \%$. Точки на фиг. 2 достаточно хорошо ложатся на прямую, за исключением точки, ближайшей к началу координат, представляющей остаточную интенсивность линии Н. Существенно, что при измерении других контуров получается то же самое: люминесценция повышает остаточную интенсивность глупо-

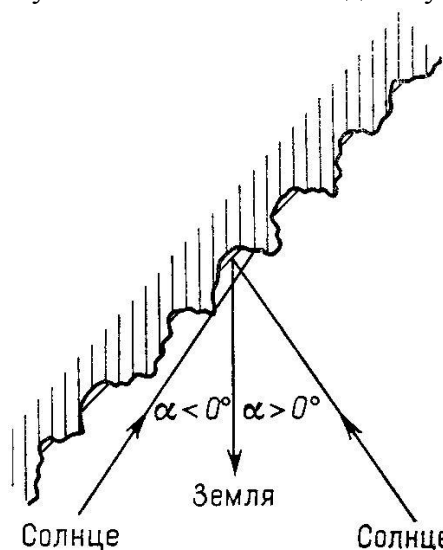
кой линии значительно меньше, чем это следует по другим точкам того же контура. Очевидно, что причиной этого является некоторая систематическая ошибка, связанная, скорее всего, с эффектом Эберхарда. Действительно, на пластинке плотность фона вблизи сильного почернения всегда меньше нормального значения. Благодаря люминесценции контур линии суживается (фиг. 1), и этот эффект должен проявиться с большей силой, чем в солнечном спектре. В результате плотность в центре линии будет увеличена люминесценцией меньше, чем следует.

Результаты измерений люминесценции кратера Аристарха в различные дни приведены в таблице. В ней α – угол фазы Луны, положительный после полнолуния, i – угол

1955 г. (мировое время)	α , град	i , град	x_H , %	x_K , %	x_K/x_H
28.IX, 18 ^h 0 ^m	-38,5	88	0,0	0,0	–
28.X, 18 30	-35,6	85	$2,2 \pm 0,2$	$3,3 \pm 0,5$	1,5
4.X, 22 00	+41,4	23	13 ± 1	19 ± 1	1,5
4.XI, 22 00	+63,8	31	$3,0 \pm 0,3$	$4,2 \pm 0,3$	1,4

падения солнечных лучей, или зенитное расстояние Солнца для Аристарха в момент наблюдений, x_H – процент люминесценции, измеренный по контуру линии Н (3968.6 Å), x_K – по контуру линии К (3933.8 Å), и их отношение.

Таблица показывает, что до полнолуния Аристарх люминесцирует слабее, чем после полнолуния, когда $\alpha > 0^\circ$. 28 сентября Аристарх находился вблизи терминатора, по цвету не отличаясь от соседних участков лунной поверхности, и признаков люминесценции обнаружено не было. При несколько большей фазе 28 октября появилась белая окраска, характерная для лучевых систем, и вместе с ней люминесценция кратера. По-видимому, люминофором является светлое вещество лучевых систем, расположенное на дне мелких неровностей кратера.



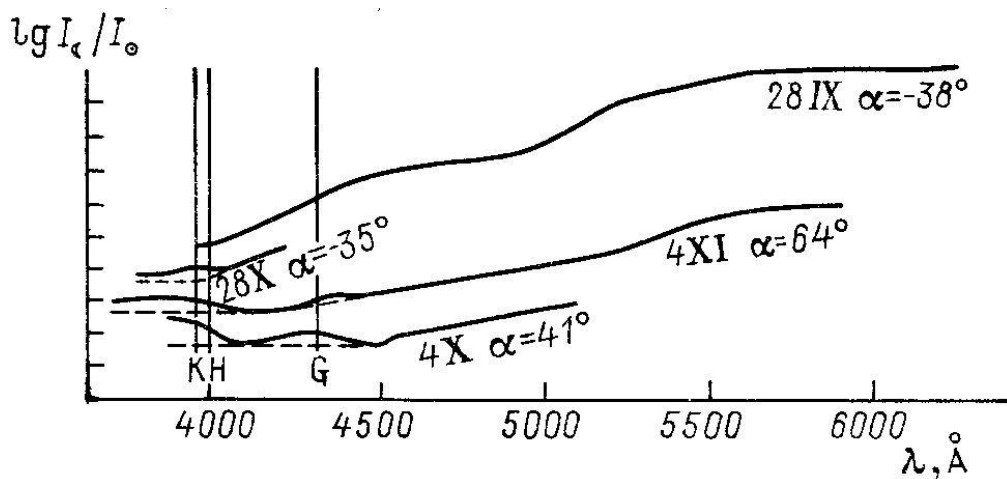
Фиг. 3. Схема освещения поверхности кратера Аристарх до и после полнолуния.

Штриховкой показаны обычные породы лунной поверхности. Отсутствие штриховки указывает на люминесцирующее вещество.

Интенсивность которой увеличивается в ультрафиолетовую сторону спектра. Теперь, зная интенсивность люминесценции для длин волн Н и К, можно пытаться по распределению энергии в непрерывном спектре Аристарха найти полный контур полосы люминесценции.

На фиг. 4 изображены результаты измерений распределения энергии в спектре Аристарха по отношению к спектру Солнца. По оси ординат отложен логарифм отношения яркости в спектре Аристарха к яркости спектра Солнца для тех же длин волн. Построенные кривые представляют спектральную отражательную способность Аристарха для двух наблюдений до полнолуния и двух после. Нуль-пункт этих кривых по вертикали со-

вершено произволен. Самая верхняя кривая дает относительное распределение в спектре Аристарха вблизи терминатора, когда лучевая система не была видна. Нижние кривые показывают более белое, т.е. нейтральное, отражение лучевым ореолом и соответствуют наблюдениям после полнолуния. Данные таблицы позволяют отметить (крестики на фиг. 4) интенсивность непрерывного спектра отраженного Луной света без люминесценции для длин волн Н и К. По этим крестикам можно наметить (пунктирная линия) вероятный ход



Фиг. 4. Кривые спектральной отражательной способности кратера Аристарх: $\lg(I_c/I_\odot)$.

Одно деление вертикальной оси равняется одной десятой десятичного логарифма отношения яркости в спектре кратера к яркости в спектре Солнца. Нуль-пункт кривых произволен

спектральной кривой без люминесценции. В результате получается возможность найти x как функцию длины волны. Весьма вероятно, что подъем кривых около полосы G (4308 Å) также обуславливается люминесценцией. Вследствие малой глубины полосы G трудно сделать по ее контуру уверенное определение x . Все же можно заметить, что глубина полосы G в спектре Аристарха меньше, чем в солнечном спектре. Это обстоятельство подтверждает реальность второй, синей полосы люминесценции с максимумом около 4300 Å. Постараемся теперь от относительных значений $x(\lambda)$, характеризующих люминесценцию, перейти к абсолютным энергетическим значениям.

Обозначим через L_λ абсолютное значение интенсивности люминесцентного свечения, а через B_λ – интенсивность света, отраженного от поверхности Луны при фазовом угле наблюдений. Тогда

$$L_\lambda = x(\lambda)B_\lambda. \quad (3)$$

Под отражательной способностью лунной поверхности будем подразумевать выражение

$$A_\lambda = \frac{\pi B_\lambda}{S_\lambda}, \quad (4)$$

где S_λ – интенсивность солнечной радиации на расстоянии Луны от Солнца, которая может быть выражена через среднюю интенсивность излучения солнечной поверхности F_λ :

$$S_\lambda = 2,16 \cdot 10^{-5} \pi F_\lambda. \quad (5)$$

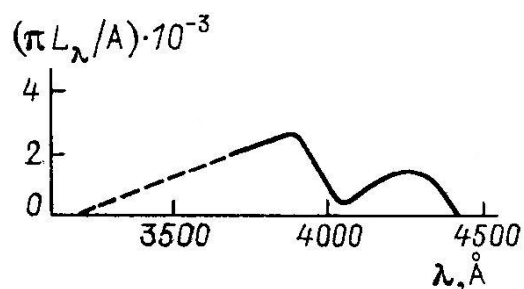
Для полной энергии люминесцентного свечения с единицы площади в секунду в единичном интервале длин волн получается выражение

$$\pi L_\lambda = A(\lambda)x(\lambda) \cdot 2,16 \cdot 10^{-5} \pi F_\lambda.$$

Пользуясь значениями F_λ по измерениям Аббота, обработанным Миннаэртом [3], можно вычислить величину

$$\pi L_\lambda / A_\lambda = x(\lambda) \cdot 2,16 \cdot 10^{-5} \pi F_\lambda. \quad (6)$$

Результаты этих вычислений, выполненных для случая наибольшей люминесценции (4 октября; нижняя кривая фиг. 4), представлены на фиг. 5. Как видно из фиг. 4, отражательная способность $A(\lambda)$ для этой фазы в интересующем нас участке спектра не зависит от длины волны: $A(\lambda) = A = \text{const}$. Таким образом, кривая фиг. 5 воспроизводит интенсивность люминесценции как функцию длины волны. Пунктиром показана вероятная экстраполяция этой кривой для коротковолновой части спектра. Значения πL_λ (фиг. 5) отнесены к интервалу длин волн, равному 100 \AA , т.е. единице горизонтального масштаба. Таким образом, для вычисления полной энергии люминесценции достаточно определить площадь этой кривой и умножить ее на 10^3 . Получается



Фиг.5. Спектральная кривая люминесцентного свечения кратера Аристарх 4 октября 1955 г.

достаточно определить площадь этой кривой и умножить ее на 10^3 . Получается

$$\int_0^{\infty} \pi L_\lambda d\lambda = 1,6 \cdot 10^4 \cdot A \text{ эрг}/(\text{см}^2 \cdot \text{с}). \quad (7)$$

Энергию жесткой радиации Солнца E , которая вызвала люминесценцию кратера Аристарх 4 октября 1955 г., можно определить из выражения (7), вводя коэффициент энергетического выхода люминесценции Q нашего вещества. Обозначим через n долю площади, которую занимает светлое люминесцирующее вещество на видимой поверхности кратера. Тогда

$$E = \frac{A}{nQ} \cdot 1,6 \cdot 10^4 \text{ эрг}/(\text{см}^2 \cdot \text{с}). \quad (8)$$

Таким образом, энергия, возбуждающая люминесценцию, получается весьма значительной, порядка процента солнечной постоянной ($S = 1,32 \cdot 10^6$).

Данные таблицы показывают, что 4 октября наблюдалась аномально большая люминесценция. Действительно, через месяц (4 ноября) при сходных условиях, т.е. близких значениях α и i , люминесценция оказалась в четыре раза слабее. Скорее всего, эта люминесценция нормальная, поскольку она согласуется с предыдущими наблюдениями 28 октября. Можно считать, что нормальная люминесценция существует постоянно и возбуждается энергией в четыре раза меньше, чем приведенное значение (8). Возбудителем этой люминесценции может быть близкое ультрафиолетовое излучение Солнца: $\lambda < 3000 \text{ \AA}$. Однако это ультрафиолетовое излучение Солнца соответствует температуре обращаемого слоя (4800°) и не может испытывать заметных колебаний. Поэтому аномальная вспышка люминесценции должна вызываться другим агентом.

Источником жестких ультрафиолетовых и рентгеновских лучей Солнца является солнечная корона. Поток этого излучения в основном зависит от концентрации электронного газа в короне и может быть поэтому вычислен с достаточной уверенностью. Как показывают исследования И.С. Шкловского, этот поток на расстоянии Земли составляет лишь доли эрга [4] и совершенно не достаточен для возбуждения люминесценции. Ультрафиолетовое излучение хромосферы в линиях должно быть значительно больше, но и оно не достаточно для объяснения наблюдаемой люминесценции. Остается считать, что люминесценция возбуждается корпускулярным потоком Солнца. Подсчитаем число частиц – протонов n_p на 1 см^3 в корпускулярном потоке. Поток частиц переносит энергию

$$E = \frac{m_p v^2}{2} n_p v, \quad (9)$$

где $v = 1500 \text{ км/с}$ и $m_p = 1,7 \cdot 10^{-24} \text{ г}$. Сравнивая выражения (8) и (9), находим

$$n_p = \frac{3,2 \cdot 10^4}{m_p v^3} \frac{A}{nQ} = \frac{A}{nQ} \cdot 5 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}. \quad (10)$$

Абсолютное значение отражательной способности Аристарха, определяемое выражением (4), было получено А.В. Марковым [5] для визуальной области спектра ($\lambda = 5500 \text{ \AA}$): вблизи полнолуния $A_v = 0,20$. При фазовом угле около $40-50^\circ$ это значение должно быть уменьшено вдвое. Из кривых на фиг. 4 видно, что отражательная способность поверхности Аристарха в ультрафиолетовой части спектра должна быть еще в два раза меньше. Получается $A = 0,05$. Значительно труднее оценить значение коэффициента полезного действия Q . Для фотолюминесценции обычно Q велико и может приближаться к единице. В нашем случае, аналогичном катодолюминесценции, Q должно быть значительно меньше. Люминесцирующее вещество кратера Аристарха существенно светлее других пород лунной поверхности. Поэтому даже при отвесном падении солнечных лучей оно едва ли нагревается до положительных температур. Это обстоятельство способствует повышению Q . Поэтому можно принять $Q \approx 0,1$. Считая далее n порядка $1/2$, находим $A/nQ \approx 1$. Следовательно,

$$n_p \approx 5 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}. \quad (11)$$

Наша оценка плотности корпускулярного выброса Солнца находится в соответствии с оценками других авторов, полученными совершенно иными методами. Так, еще в 1929 г. Чепмен и Ферраро [6] нашли, что умеренную магнитную бурю создает корпускулярный поток с плотностью $n \sim 10^3 \text{ см}^{-3}$. С.К. Всехсвятский, считая корональные лучи корпускулярными потоками Солнца, получает для плотности потоков то же значение порядка 10^3 см^{-3} [7].

Окончательное доказательство правильности объяснения люминесценции Луны корпускулярным излучением Солнца должно быть получено из сопоставления интенсивности люминесценции с интенсивностью полярных сияний и магнитных бурь на Земле. Нам представляется, что систематическое наблюдение люминесценции кратера Аристарха и других подобных образований лунной поверхности может дать много ценных сведений о корпускулярном излучении Солнца. Поверхность кратера Аристарха представляет собой естественный люминесцирующий экран, вынесенный за пределы земной атмосферы и совершенно свободный от действия магнитного поля. Большая ширина (свыше 10 \AA) линий Н и К может позволить вести систематические наблюдения над люминесценцией весьма умеренными средствами. Представляется легко осуществимым и прибор, ведущий систематическую запись интенсивности люминесценции.

Следует сказать несколько слов о возможной природе люминесцирующего вещества Аристарха. К сожалению, распределение энергии в спектре люминесценции (фиг. 5) не может привести к однозначному определению люминофора. Дело в том, что ничтожные минеральные примеси могут значительно менять вид этой кривой энергии. С определенностью можно сказать только то, что это вещество не одержит даже ничтожных примесей железа, поскольку железо – очень активный тушитель люминесценции. По-видимому, на Луне люминесцирует светлое вещество лучевых систем, заполняющее углубления и трещины около кратеров, являющихся согласно А.В. Хабакову [8] самыми молодыми формациями лунной поверхности. Это вещество должно быть почти белым со значительным альбедо. Поскольку для Аристарха среднее альбедо в полнолуние $A_v = 0,20$, визуальное альбедо люминофора при $n = \frac{1}{2}$ должно быть около $0,30-0,40$, т.е. порядка альбедо белых песков. Мелкие, невидимые при наблюдениях трещины, содержащие это вещество, могли образоваться преимущественно по радиальным направлениям под действием сил, центром которых был кратер данной лучевой системы. По трещинам могли выделяться газы и растворы, из которых образовался белый люминесцирующий налет. Поэтому очень возможно, что вещество лучевых систем является некоторой разновидностью кварца. С течением

времени это вещество должно оказаться засыпанным метеорной, нелюминесцирующей пылью, непрерывно падающей на поверхность Луны. Вероятно, этим объясняется полное отсутствие лучевых систем у кратеров старой формации.

По-видимому, можно считать, что общая масса метеорных пылинок размером меньше 2-3 μ , выпадающая на всю поверхность Земли, составляет около одной тонны в сутки. Таким образом, за год на Землю выпадает около 10^8 см^3 этой пыли. Поверхность Земли имеет площадь около $5 \cdot 10^{18}$ см^2 . Следовательно, за $5 \cdot 10^{10}$ лет эта пыль должна покрыть поверхность слоем в 1 см. Заметное запыление упомянутой пылью должно получиться за 50 млн лет. Отсюда следует, что последний горообразовательный период в жизни Луны был не раньше 50 млн лет тому назад.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lyot B., Dollfus A. Recherche d'une atmosphere au voisinage de la Lune // Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de L'Academie des Sciences. 1949, T.229. N24. P.1277-1280.
2. Link F. Variations lumineuses de la Lune // Colloques internationales du Centre national de la Recherche scientifique. 1947. Vol.9, P.308.
3. Унзольд А. Физика звездных атмосфер. М., 1949, с.42.
4. Шкловский И.С. Ультрафиолетовое излучение короны и хромосферы и ионизация земной атмосферы // Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1949, т.4, с.88.
5. Марков А.В. Отражательная способность и показатели цвета Земли и деталей Луны по электрофотометрическим промерам // Бюл. Абастуманской астрофиз. обсерв. 1950. №11, с.107-142.
6. Chapman S., Ferraro V.C.A. The Electrical State of Solar Streams of Corpuscles // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 1929, Vol.89, N5, p.470-479.
7. Всехсвятский С.К., Никольский Г.М., Пономарев Е.А., Черденченко В.И. К вопросу о корпускулярном излучении Солнца // Астрон. журн., 1955, т.32, Вып.2, с.165-176.
8. Хабаров А.В. Об основных вопросах истории развития поверхности Луны. М., 1949, с.179.

Известия Крымской астрофизической обсерватории, 1956, т.16, с.148-158.

Адрес страницы: <http://www.nkozyrev.ru/bd/026.php>