

экз. N178

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ

НАУЧНЫЕ ТРУДЫ

ТОМ
VII
ВЫП.
3

МОСКВА • 1965

Предисловие

Настоящий выпуск "Научных трудов" целиком посвящен результатам экспериментов, выполненных в ионосфере при помощи спутника "Космос-2". Из четырех помещенных здесь статей три полностью посвящены описанию указанных экспериментов и их результатов, и лишь в одной ("Ионы гелия в ионосфере"), помимо материалов, непосредственно относящихся к опытам на "Космосе-2", приводится довольно обширный обзор других опубликованных теоретических и экспериментальных работ по рассматриваемой проблеме.

Подобная публикация в одной книге полученных одновременно и взаимно дополняющих друг друга экспериментальных результатов весьма удобна, хотя практически трудно осуществима в журналах.

Можно надеяться, что публикуемые в настоящем выпуске материалы представят интерес не только для специалистов, занимающихся космическими исследованиями, но и для специалистов по распространению радиоволн, так как они содержат, в частности, результаты прямых измерений концентраций заряженных частиц до высот ~ 1500 км.

Н.М.Шютте

ИЗМЕРЕНИЕ ФОТОЭМИССИИ ЭЛЕКТРОНОВ ВДОЛЬ ОРБИТЫ СПУТНИКА "КОСМОС-2"

Описываются постановка опыта по измерению фотоэмиссии электронов с металлов на спутнике "Космос-2" и полученные результаты. Приводятся данные о распределении нормальных к плоскости эмиттера компонент скоростей фотоэлектронов, эмитированных под действием солнечного излучения.

Измерения фотоэмиссии используются для определения поглощения интегрального коротковолнового излучения Солнца в верхней атмосфере в интервале высот $\sim 300-550$ км.

Наряду с измерениями различных параметров ионосферы, на спутнике "Космос-2" регистрировалась и фотоэмиссия электронов с металлических поверхностей под действием солнечного излучения. Измерение фотоэмиссии представляет значительный интерес как с точки зрения определения потенциала тела на больших расстояниях от Земли, где фототок с поверхности космического аппарата и отдельных приборов может влиять на результаты измерений окружающей среды зондовыми методами, так и с точки зрения получения сведений о характере вызывающего фотоэмиссию солнечного излучения.

Метод изучения характера падающего излучения путем анализа энергетического распределения фотоэлектронов, эмитированных под действием этого излучения (так

называемый метод задерживающих потенциалов), не нов. В лабораторных условиях он широко использовался исследователями еще в десятые-двадцатые годы этого столетия [1]. До появления дифракционных спектрографов скользящего падения, а в некоторых случаях и значительно позднее [2] с помощью этого метода исследовалось мягкое рентгеновское излучение. Хинтереггером [3] была подробно исследована в лабораторных условиях возможность применения метода задерживающих потенциалов для изучения спектральной интенсивности далекого ультрафиолетового излучения при экспериментах на небольших спутниках, для которых не предусмотрена ориентация относительно Солнца.

В дальнейшем для получения сведений о возможных потоках фотонов в широких участках солнечного спектра без детального разрешения Хинтереггером и др. был использован именно этот способ исследования [4]. Простота метода задерживающих потенциалов особенно ценна в связи с трудностями применения дифракционных спектрографов или монохроматоров [5, 6]. В результате поставленного эксперимента были впервые получены данные об абсолютных величинах интегральных потоков солнечного излучения в диапазоне от $\sim 1000 \text{ \AA}$ до рентгеновских лучей [4].

В августе 1959 г. эксперимент был повторен. Кроме данных о величинах потоков излучения, было зарегистрировано поглощение ультрафиолетового излучения Солнца в области высот 110-235 км [7]. Характерно, что плотность интегрального фототока в августе 1958 г. была в полтора раза выше, чем в августе 1959 г. Вполне возможно, что наблюдаемое уменьшение фототока связано с уменьшением солнечной активности. Следует отметить, что полученные в результате этих измерений данные о потоках далекого ультрафиолетового излучения находятся в хорошем согласии с результатами, полученными впоследствии посредством ракетных монохроматоров в этом же диапазоне высот [6].

Для изучения фотоэмиссии электронов на неориентированном относительно Солнца спутнике "Космос-2" была применена эта же методика. В качестве анализирующего устройства была использована трехэлектродная ловушка (см. настоящий сборник [8]), состоящая из коллектора, плоской внутренней сетки и полусферической наружной сетки. Коллектор в данном случае являлся эмиттером фотоэлектронов. Всего на спутнике было установлено три

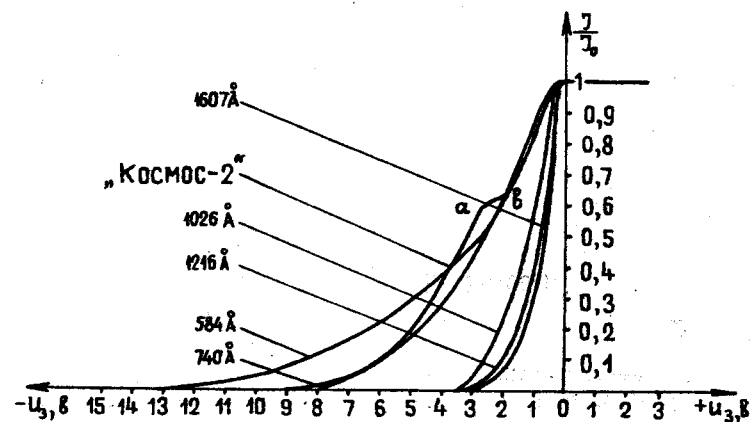
анализатора фотоэлектронов по трем взаимно перпендикулярным направлениям. Угловая апертура каждого анализатора равнялась 160° . При вращательных движениях спутника относительно центра массы вероятность освещения Солнцем хотя бы одного из них в каждый момент времени при произвольной ориентации спутника составляла $\sim 7/8$.

На электроды анализаторов фотоэлектронов относительно корпуса спутника были поданы следующие напряжения, в: на внешние сетки $+36$, на эмиттер 1 $-41,0$; на эмиттер 2 $-41,2$; на эмиттер 3 $-40,0$; на внутренних сетках напряжение линейно изменялось в течение $0,75$ сек от -34 до $-61,1$ в. Таким образом, ни положительные ионы с тепловыми скоростями, ни электроны с тепловыми скоростями из окружающей среды не могли достигнуть эмиттера.

Освещаемая Солнцем площадь эмиттера при нормальном падении излучения равнялась $15,2 \text{ см}^2$. Общая оптическая прозрачность сеток анализатора фотоэлектронов составляла 61% . Эффективная площадь фотоэмиттера равнялась $9,3 \text{ см}^2$. Таким образом, из-за плоскопараллельной конструкции внутренней сетки и эмиттера сведения об излучении Солнца можно было получать по результатам измерения распределения нормальных к плоскости эмиттера компонент скоростей фотоэлектронов.

Вольт-амперные характеристики зависимости фототока эмиттера от напряжения на внутренней сетке показаны на фиг.1, 4, 11, 14.

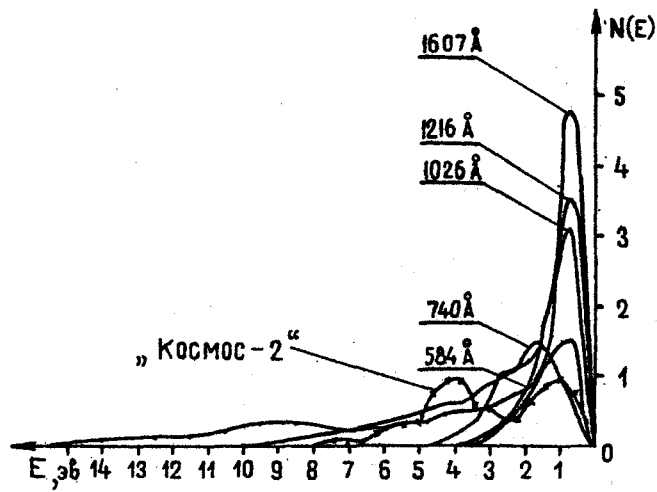
Для расшифровки полученных характеристик, подобно тому как описано в работе [4], были сняты "градуировочные" вольт-амперные характеристики при облучении экспериментальной модели анализатора фотоэлектронов монохроматическим излучением различных длин волн. Измерения проводились при помощи вакуумного монохроматора нормального падения с дифракционной решеткой 600 штрихов/мм [9]. В качестве источника излучения была использована разрядная трубка с открытым концом (без окна), работавшая в проточном газе (водород, аргон, неон, гелий). Давление газа в трубке и разрядный ток регистрировались в процессе работы. Лабораторные вольт-амперные характеристики анализатора были сняты для длин 1607 , 1216 , 1026 , 740 и 584 \AA . Интенсивность излучения при указанных длинах волн измерялась с помощью



Фиг.1. Вольт-амперные характеристики фотоэмиттера, полученные при облучении его монохроматическим излучением различных длин волн и во время полета спутника "Космос-2"

эталонного платинового фотокатода, квантовый выход которого был известен. Точность определения интенсивности падающего потока излучения в единицах фотон/см²·сек составляла $\sim 50\%$. Полученные таким образом вольт-амперные характеристики с поправкой на "обратный ток" (обратный фототок определяется, в основном, фотоэлектронами, выбитыми со стороны внутренней сетки, обращенной в сторону эмиттера) показаны тоже на фиг.1. Для удобства сравнения все характеристики нормированы. На фиг.2 показаны распределения фотоэлектронов по энергиям, полученные в результате графического дифференцирования кривых фиг.1.

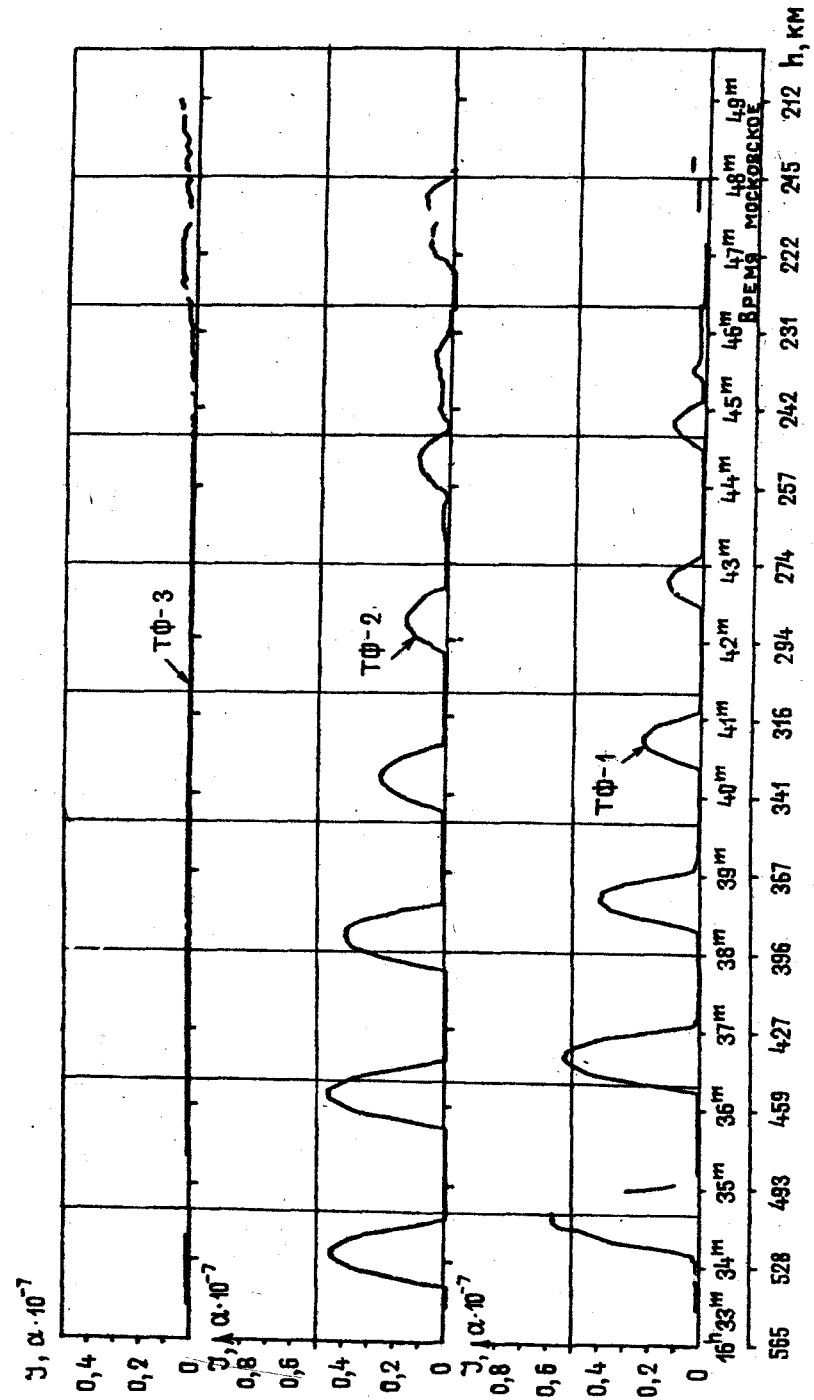
Измерения фототоков на спутнике "Космос-2" проводились только в режиме непосредственной радиотелеметрической передачи и относятся к области высот $600-220$ км. Имеющиеся в настоящее время данные как о спектральном поглощении солнечного излучения [6], так и об интегральном поглощении [7], как уже отмечалось, относятся к области высот ниже 235 км. Поэтому получение данных о характере поглощения солнечного излучения в земной атмосфере на больших высотах безусловно интересно.



Фиг.2. Энергетические распределения фотоэлектронов для различных длин волн и во время полета спутника "Космос-2"

Известно, что ток фотоэмиттера при отсутствии тормозящего электроны электрического поля (так называемый фототок "насыщения") пропорционален интенсивности вызывающего его потока излучения. Поэтому, не анализируя пока форму полученных вольт-амперных характеристик, рассмотрим изменение токов насыщения в анализаторах фотоэлектронов при движении спутника в диапазоне высот от 550 до 220 км.

Измерение изменений интегрального потока солнечного излучения с помощью ориентированного на Солнце фотоэмиттера не представляет трудности. В нашем случае для неориентированного относительно направления на Солнце спутника эта задача усложняется. На фиг.3 показано изменение токов насыщения в анализаторах фотоэлектронов в указанном диапазоне высот на одном из витков. Видно, что в этом случае вращение спутника было таково, что один анализатор (№3) большую часть времени находился в тени спутника, тогда как периоды вращения двух других относительно направления на Солнце были почти одинаковыми. Если учесть, что геометрическая апертура анализатора фотоэлектронов равна 160° , а угловой интервал освещенности для эмиттера 1 на этом участке орбиты, как



Фиг.3. Изменение токов насыщения $I_{\text{макс}}$ в анализаторах фотоэлектронов на одном из витков

видно из фиг.3, остается равным $\sim 150^\circ$ и для эмиттера 2 изменяется от 150 до 135° , то можно полагать, что в данном случае в моменты времени, соответствующие максимальным значениям фототоков в период освещенности, углы между плоскостями фотоэмиттеров 1 и 2 и направлением на Солнце мало различались между собой и были близки с точностью $\pm(4-5^\circ)$ к 90° . Видно, что по мере погружения спутника в область меньших высот наблюдается уменьшение фототоков эмиттеров, обусловленное поглощением солнечного излучения земной атмосферой. Для других оборотов спутника при произвольной ориентации фотоэмиттеров относительно направления на Солнце оценить изменение регистрируемого потока излучения можно лишь в том случае, если в каждый момент времени фототоки всех трех эмиттеров отличны от нуля.

Поток солнечного излучения P , падающий под углом φ на поверхность эмиттера, можно считать равным

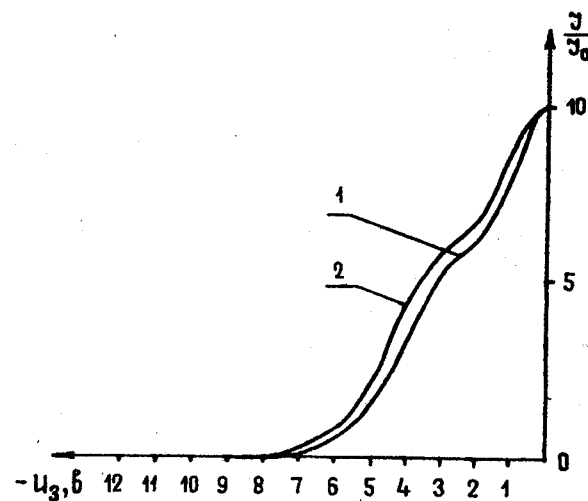
$$P = P_0 \cos \varphi,$$

где P_0 — величина потока излучения, падающего нормально к поверхности.

В дальнейшем будем везде полагать, что потоку P_0 соответствует ток насыщения анализатора фотоэлектронов $I_{0\text{макс}}$.

Имеющиеся аналитические формулы зависимости фотоэмиссии от оптических постоянных металла, угла падения излучения, граничной частоты и пр. [11, 12] представляют собой довольно громоздкие выражения, практическое использование которых для излучения широкого спектрального диапазона невозможно. Однако известно, что квантовый выход электронов в зависимости от угла падения можно считать пропорциональным секансу угла падения [10, 11, 13]. Таким образом, зависимость тока насыщения эмиттера от угла падения излучения (см., например, кривые фиг.3) должна определяться зависимостью коэффициента отражения излучения от угла падения. Другими словами, фототок определяется количеством поглощенной энергии излучения.

Следует отметить, что, как показали результаты эксперимента, характер вольт-амперной характеристики не меняется при косом падении излучения (фиг.4). Наблюдаемое смещение энергии максимального числа электронов в сторону больших энергий объясняется тем,



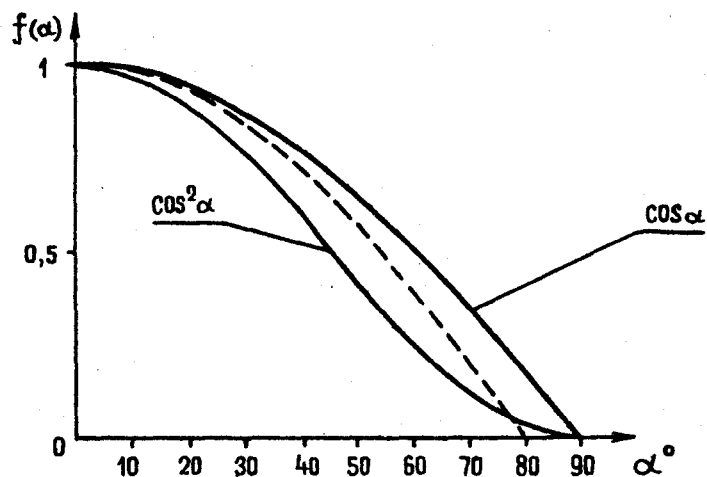
Фиг.4. Вольт-амперные характеристики при нормальном (1) и наклонном (2) падении излучения

что при наклонном падении излучения зарождение фото-электронов происходит ближе к поверхности и вероятность потерь энергии уменьшается [14].

Зависимость коэффициента отражения от угла падения определяется значениями показателей преломления и поглощения для данной поверхности, являющимися функциями длины волны, материала катода, состояния поверхности и пр. [1, 15], значения которых в ультрафиолетовой области спектра неизвестны.

В данном случае угловую зависимость фототока с точностью $\pm(4-5^\circ)$ удалось определить в результате обработки кривых фиг.3, представляющих собой зависимости фототоков насыщения анализаторов 1 и 2 от угла падения солнечного излучения. Полученная зависимость показана на фиг.5. На этой же фигуре для сравнения показаны

функции $\cos \varphi$ и $\cos^2 \varphi$. Видно, что зависимость тока фотоэмиттера от угла падения излучения представляет собой некую среднюю функцию между $\cos \varphi$ и $\cos^2 \varphi$, причем для $\varphi > 45^\circ$ эта зависимость приближается к функции $\cos^2 \varphi$. Полученный результат хорошо согласуется с данными Поля для платиновых зеркал [16] (поверхности



Фиг.5. Угловая зависимость тока насыщения фотоэмиттера

эмиттеров были, кстати, зеркальными) и с данными ряда других экспериментов [10]. Одной из причин приближения кривой фиг.5 к функции $\cos^2 \varphi$ для $\varphi > 45^\circ$ в данном случае является, очевидно, тот факт, что для $\varphi > 50^\circ$ освещаемая Солнцем площадь эмиттера начинала уменьшаться.

Три анализатора фотоэлектронов, расположенные по трем взаимно-перпендикулярным направлениям, могут быть одновременно одинаково освещены Солнцем, если углы между нормальными к эмиттерам этих анализаторов и направлением на Солнце равны $54^\circ 30'$. Во всех других случаях одновременной освещенности трех эмиттеров наиболее вероятно, что по крайней мере для двух из них эти углы будут больше $54^\circ 30'$. Поэтому в тех случаях, когда показания всех трех эмиттеров отличны от нуля, в первом приближении можно полагать, что фототок насыщения каждого эмиттера пропорционален $\cos^2 \varphi$, то есть

$$I_{1\text{ макс}} \approx I_{0\text{ макс}} \cos^2 \varphi_1,$$

$$I_{2\text{ макс}} \approx I_{0\text{ макс}} \cos^2 \varphi_2,$$

$$I_{3\text{ макс}} \approx I_{0\text{ макс}} \cos^2 \varphi_3,$$

или

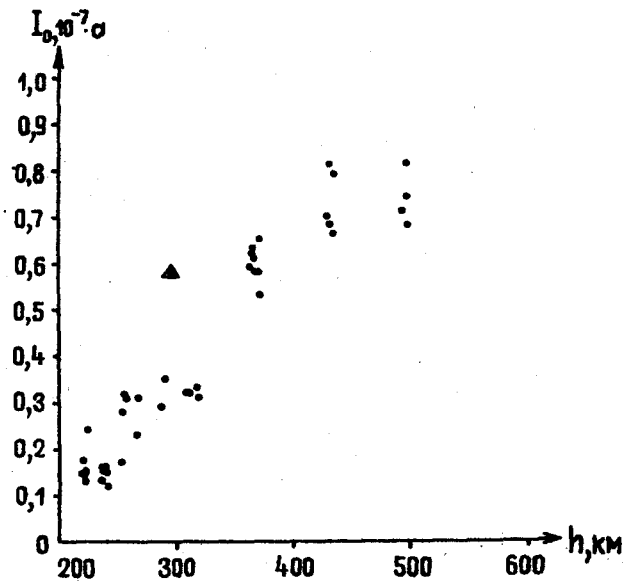
$$I_{0\text{ макс}} \approx I_{1\text{ макс}} + I_{2\text{ макс}} + I_{3\text{ макс}}.$$

Анализ величин токов насыщения анализаторов фотоэлектронов на спутнике "Космос-2" показал, что в моменты времени, соответствующие одновременной освещенности всех трех эмиттеров, действительно имеет место пропорциональность фототоков $\cos^2 \varphi$. Таким образом, при наличии трех одинаковых анализаторов фотоэлектронов, расположенных по трем взаимно-перпендикулярным направлениям, можно определить значение тока $I_{0\text{ макс}}$, соответствующее нормальному падению потока излучения на эмиттер, для тех моментов времени, когда значения токов всех эмиттеров отличны от нуля. При этом ориентация каждого эмиттера относительно направления на Солнце может быть любой.

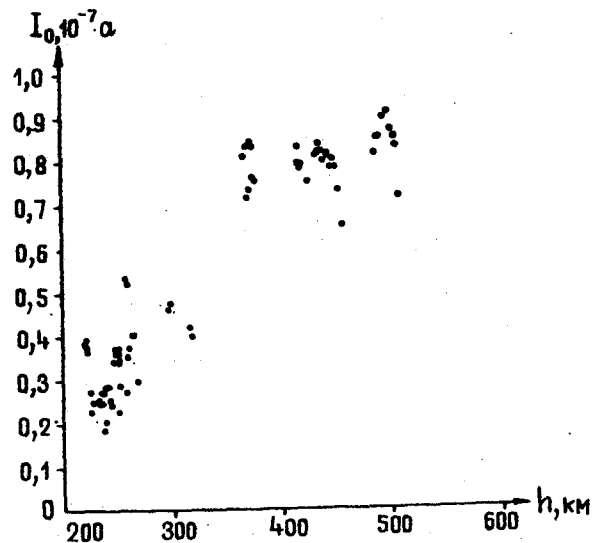
Следует отметить, что в нашем случае эмиттер одного из приборов (№ 1) был изготовлен из никеля, тогда как остальные два эмиттера были платиновые. Тем не менее сопоставление токов этих эмиттеров вполне оправдано, так как угловые зависимости фототоков для этих материалов одинаковы (см. фиг.3), а различие в фотоэлектрической эффективности никеля и платины в далеком ультрафиолете, как показали многие измерения, чрезвычайно мало [17-19].

На фиг.6 и 7 показаны значения $I_{0\text{ макс}}$, определенные описанным выше способом по данным измерения фототоков насыщения трех эмиттеров на одном из витков спутника в указанном диапазоне высот и по данным шести других витков соответственно. На фиг.6 в треугольнике отдельно показано максимальное значение фототока эмиттера 3, соответствующее, судя по характеру изменения фототоков других эмиттеров на этом участке орбиты, падению излучения, близкому к нормальному. Из фиг.6 и 7 видно, что значение $I_{0\text{ макс}}$ резко падает с высотой из-за поглощения солнечного излучения в атмосфере.

Показанная на фиг.6 и 7 зависимость $I_{0\text{ макс}}$ от высоты по существу не является истинной зависимостью от высоты, так как орбита спутника "Космос-2" была такова, что одновременно с изменением высоты менялось и зенитное



Фиг.6. Изменение токов насыщения $I_{0,max}$ вдоль части орбиты спутника на одном из витков (8 апреля 1962 г.) ($I_{0,max}$ соответствует нормальному падению излучения)



Фиг.7. Изменение $I_{0,max}$ вдоль части орбиты спутника по данным шести витков (8 апреля 1962 г. и 9 апреля 1962 г.)

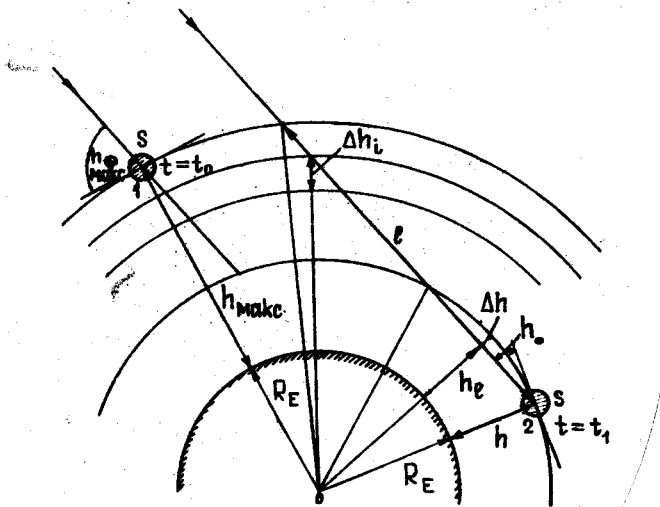
расстояние. Поэтому наблюдаемое изменение $I_{0,max}$ фактически является изменением $I_{0,max}$ вдоль орбиты в связи с увеличением расстояния по лучу ℓ по мере погружения спутника в более низкие слои атмосферы. Изменение ℓ вдоль орбиты (фиг.8), можно определить по формуле, которую нетрудно вывести, если известны некоторые орбитальные данные:

$$\ell = -\sin h_{\odot} (R_E + h_{max}) + \sqrt{(R_E + h_{max})^2 - (R_E + h)^2 \cos^2 h_{\odot}},$$

- где h_{\odot} - угол возвышения Солнца над горизонтом спутника;
- R_E - радиус Земли;
- h_{max} - максимальная высота спутника над Землей в рассматриваемом интервале высот;
- h - высота спутника над Землей.

Изменение ℓ в зависимости от высоты представлено на фиг.9. На фиг.10 показано относительное изменение $I_{0,max}$ от ℓ . Из фиг.10 видно, что несмотря на то, что характер поглощения отдельных участков и линий спектра солнечного излучения в различных областях ионосферы (в зависимости от состава, плотности и др.) существенно различен, ослабление интегрального потока солнечного излучения широкого спектрального диапазона, определенное по значениям токов насыщения анализаторов фотоэлектронов, в области высот 220-550 км в зависимости от расстояния по лучу в целом довольно равномерное.

Для более детального рассмотрения характера поглощения солнечного излучения земной атмосферой необходимо проанализировать также и значение фототоков при различных задерживающих потенциалах, то есть форму вольт-амперной характеристики. Предварительно следует отметить, что начиная с $h = 290$ км угол возвышения Солнца над горизонтом спутника начинает принимать отрицательные значения. Следовательно, в этих случаях солнечное излучение дважды проходит некоторый интервал высот. Поэтому в дальнейшем, рассматривая поглощение солнечного излучения, будем ограничиваться диапазоном высот 550-290 км.



Фиг.8. Схема движения спутника "Космос-2" в области высот 550-220 км:

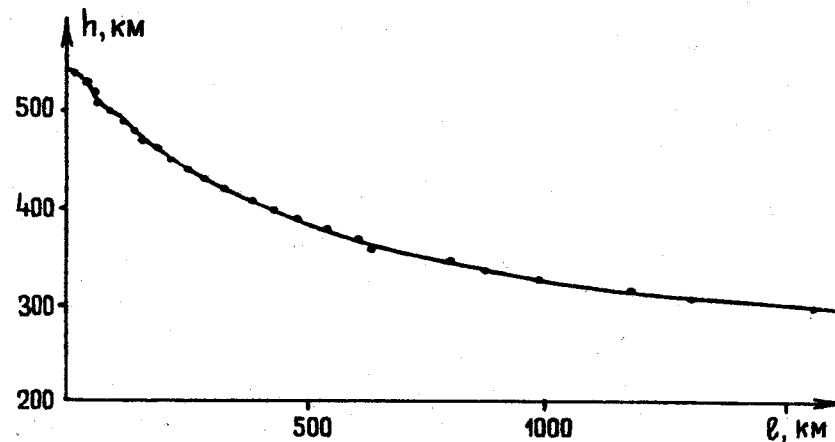
- 1 - положение спутника в момент времени $t = t_0$, когда $h = h_{\text{макс}} = 550$ км;
- 2 - положение спутника в момент времени $t = t_1$, l - расстояние по лучу, h - высота спутника над Землей, h_1 - высота максимального погружения луча, h_0 - угол возвышения Солнца над горизонтом спутника

Изменение высоты максимального погружения луча может быть определено из следующих выражений:

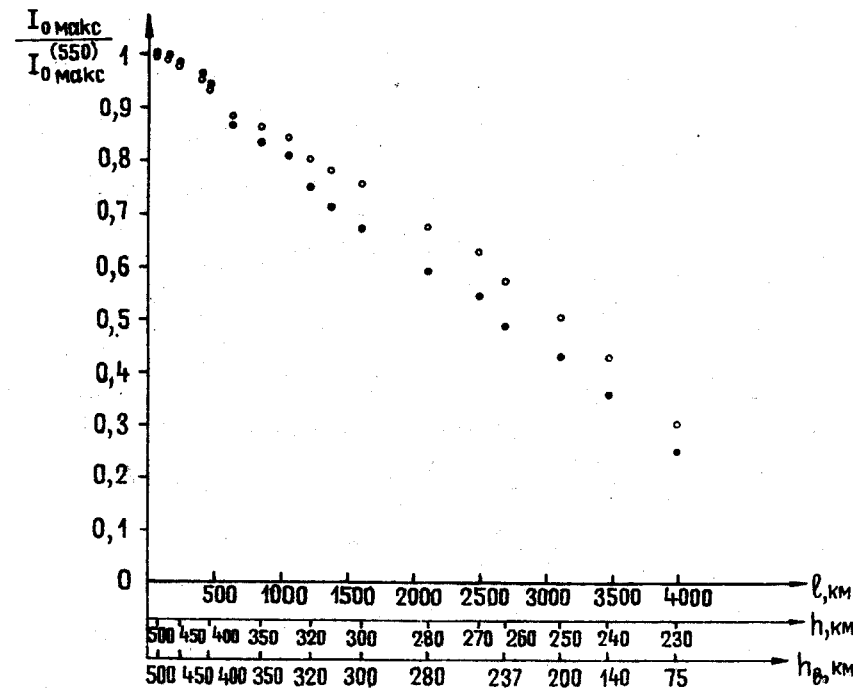
$$h_l = h - \Delta h, \quad \Delta h = (R_E + h)(1 - \cosh \theta).$$

Пример полученной во время полета спутника "Космос-2" вольт-амперной характеристики был показан на фиг.1 совместно с лабораторными вольт-амперными характеристиками. Нетрудно заметить, что форма характеристик существенно отличается от "градуировочных". Участок "а-в" с пониженной крутизной, присутствующий на всех полетных характеристиках, отсутствует на лабораторных.

Для определения спектрального состава зарегистрированного излучения было проведено сопоставление полученных



Фиг.9. Изменение расстояния по лучу l в зависимости от высоты спутника над Землей

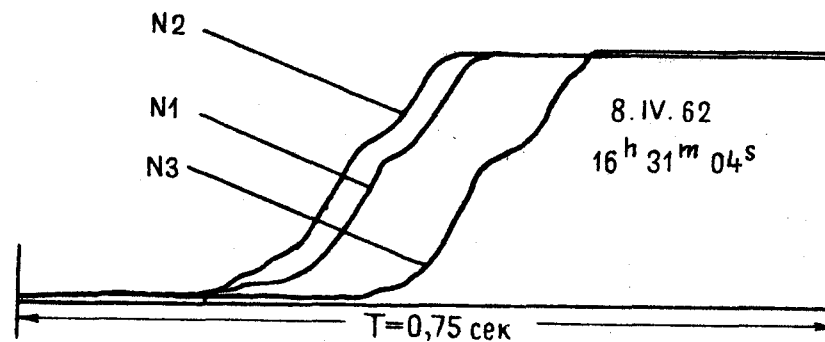


Фиг.10. Относительное изменение I_0 в зависимости от расстояния по лучу

вольт-амперных характеристик с лабораторными, согласно описанной в работе [4] методике. В результате этого сопоставления выяснилось, что зарегистрированное анализаторами фотоэлектронов спутника "Космос-2" солнечное излучение не определяется, по-видимому, полностью излучением указанных длин волн. Ранее отмечалось, что эмиттеры были изготовлены из разных материалов (Pt и Ni). В результате обработки полученных данных выяснилось, что вольт-амперные характеристики платиновых и никелевого эмиттеров ничем друг от друга не отличались. Лабораторные характеристики были сняты как для платины, так и для никеля. Кривые фиг.1 соответствуют платиновому эмиттеру. Для никеля вольт-амперные характеристики аналогичны. Следует обратить внимание, что приведенные на фиг.1 характеристики имеют такой же вид, как и лабораторные, характеристики, приведенные в работе [4] для вольфрама, и хорошо согласуются с экспериментальными результатами, полученными при облучении далеким ультрафиолетом берилля [20], золота и германия [21]. Все это свидетельствует о том, что полученные лабораторные характеристики типичны, и лишний раз подтверждает известный экспериментальный факт, что распределение энергии фотоэлектронов для различных металлов при облучении их далеким ультрафиолетом должно быть очень похожим. Исключение может составлять лишь область, где энергия фотоэлектронов близка к нулевой. В данном случае, как видно из фиг.1 и 2, у вольт-амперных характеристик, полученных со спутника, область максимальной энергии электронов очень сильно отличается от лабораторных и описанных различными авторами [4, 7, 20, 21].

Анализ работы аппаратуры на спутнике "Космос-2" показал, что несколько необычный вид зарегистрированных вольт-амперных характеристик не может быть следствием аппаратного эффекта. На связь вида полученных характеристик с природой падающего излучения может указывать следующий факт. Потенциалы трех анализаторов фотоэлектронов были различными, а напряжения на внутренних сетках в каждый момент времени - одинаковыми. Участок же с пониженной крутизной ("а-б"), присутствующий абсолютно на всех вольт-амперных характеристиках, появляется у всех трех анализаторов только при одном определенном значении задерживающего напряжения относительно

потенциала эмиттера. На фиг.11 показаны вольт-амперные характеристики трех анализаторов фотоэлектронов для одного периода изменения пилообразного напряжения на внутренних сетках. Из фигуры видно, что участок "а-б" появляется на характеристиках в разные моменты времени,



Фиг.11. Вольт-амперные характеристики трех анализаторов фотоэлектронов для одного из периодов изменения напряжения на внутренних сетках

то есть при различных напряжениях на внутренних сетках анализаторов как относительно корпуса спутника, так и относительно напряжения на внешней сетке. Если же построить эти характеристики в зависимости от разности потенциалов между эмиттером и внутренней сеткой, то они совпадут друг с другом. Таким образом, очевидно, что полученные вольт-амперные характеристики представляют собой энергетическое распределение фотоэлектронов, эмитированных под действием падающего на фотоэмиттеры излучения. Было высказано предположение, что в данном случае при регистрации далекого ультрафиолетового излучения значительная доля фототока была обусловлена мягким рентгеновским излучением.

Характер внешнего фотоэффекта под действием мягкого рентгеновского излучения описан в целом ряде работ [22-24]. В работе [23] приводится вольт-амперная характеристика фототока в задерживающем поле, полученная при облучении золотого фотокатода мягким рентгеном. Авторы интерпретируют результаты следующим образом. Образующиеся в результате поглощения квантов рентгеновского излучения быстрые электроны, вероятность

образования которых больше, чем медленных, двигаясь в веществе фотокатода, постепенно теряют свою энергию и образуют медленные электроны, часть которых дает основной вклад в измеряемый фототок. Это означает, что фототок при сравнительно больших энергиях квантов имеет много общего со вторичной эмиссией [13, 22, 24] и так же, как и вторичная эмиссия, есть явление объемное. Таким образом, можно предположить, что нижняя часть вольт-амперной характеристики (фиг.1 и 2), в основном до участка "а-в", соответствующая фотоэлектронам с максимальными скоростями, представляет собой преимущественно спектр вторичных медленных электронов, возбужденных первичным рентгеновским фотоэлектроном при прохождении им зоны выхода медленных, аналогично тому, как быстрые вторичные электроны, проходя зону выхода медленных, возбуждают в ней добавочные медленные электроны, у которых максимум приходится на электроны с энергиями 2-4 эв (для металлов) и основная доля заключена в интервале 0-15 эв [23, 25, 26]. Из фиг.2 видно, что второй максимум энергетического распределения фотоэлектронов на "Космосе-2" соответствует энергиям электронов ~4 эв.

Однако высказанная гипотеза встречает серьезные возражения. Руководствуясь ею, довольно трудно объяснить тот факт, что во время аналогичных экспериментов Хинтереггера и др. [4, 7] в 1958 и 1959 гг., соответствовавших периоду максимума солнечной активности, когда потоки рентгеновского излучения были более интенсивными [28], подобного явления не наблюдалось. Ранее было отмечено, что фотоэлектроны, выходящие с поверхности под действием мягкого рентгеновского излучения, являются электронами вторичной эмиссии, коэффициент выхода которых в значительной мере определяется состоянием поверхности.

Можно предположить, что состояние поверхности эмиттеров анализаторов фотоэлектронов спутника "Космос-2" способствовало значительно более высокому выходу вторичных электронов, чем во время экспериментов 1958-1959 гг. Ниже приведены значения зарегистрированных во время этих трех экспериментов плотностей фототока.

<u>Дата</u>	<u>Высота, км</u>	<u>Плотность фототока, а/см²</u>
Август 1958 г.	185	$4,0 \cdot 10^{-9}$
Август 1959 г.	234	$2,5 \cdot 10^{-9}$
Август 1962 г.	230	$2,6 \cdot 10^{-9}$

Таким образом, несмотря на то, что, с одной стороны, 1962 г. соответствует минимуму солнечной активности, когда интенсивность солнечного излучения в 1,5-2 раза ниже, чем, например, в 1959 г., а с другой стороны угол возвышения Солнца на высоте 230 км у спутника "Космос-2" был отрицательный ($h_0 \approx -12^\circ$), в 1959 г. и 1962 г. были зарегистрированы одинаковые плотности фототоков. Это позволяет думать, что коэффициенты выходов вторичных электронов во время этих экспериментов были существенно различны.

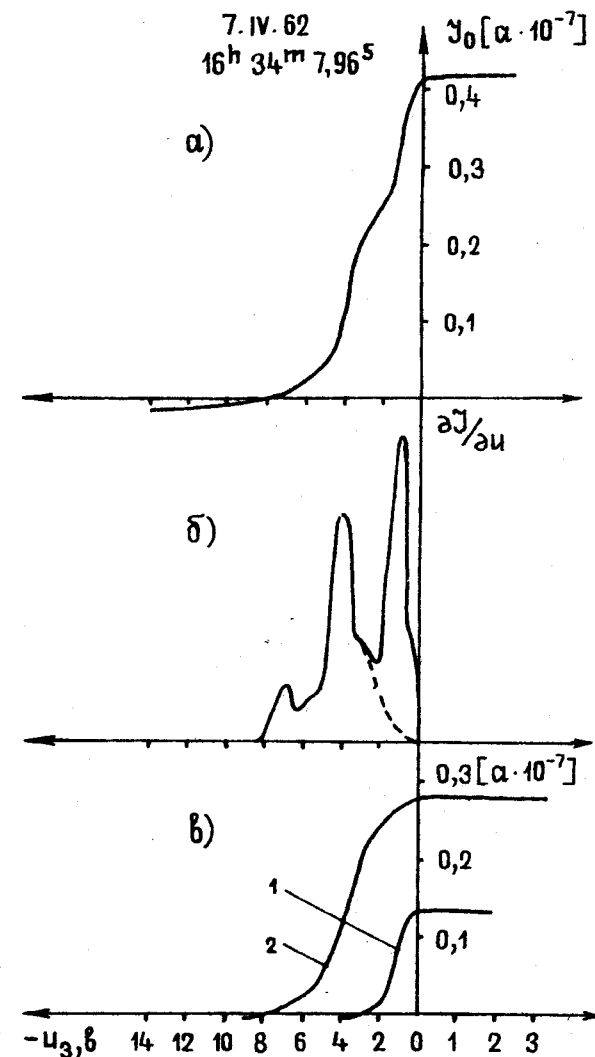
Может быть высказано предположение, что наблюдаемая особенность вольт-амперных характеристик обусловлена одновременным облучением анализатора фотоэлектронов потоками ультрафиолетового излучения и корпускулярными потоками, энергия которых позволяет им попасть на эмиттер анализатора. Однако подобие вольт-амперных характеристик, полученных на различных высотах и широтах и при различных зенитных расстояниях, и отсутствие токов в анализаторах в ночное время свидетельствует о том, что это предположение мало вероятно.

Следует отметить, что участки пониженной крутизны (типа участка "а-в") на вольт-амперных характеристиках наблюдали в лабораторных условиях Диккей на калии и натрии [29] и Метфессель на цезии и калии [30] при облучении этих металлов монохроматическим ультрафиолетовым излучением. Полученные результаты авторы качественно интерпретировали как "объемный" фотоэффект, характеризующийся резким увеличением квантового выхода и изменением формы распределения электронов по энергиям. Если предположить, что подобный эффект имел место и во время эксперимента на спутнике "Космос-2", то, как видно из лабораторных характеристик, это означало бы, что фотоэмиттеры регистрировали в основном солнечное излучение короче 500 \AA , а это еще менее вероятно, чем высказанное ранее. Если же предположить, что на "Космосе-2" были зарегистрированы потоки ультрафиолетового и мягкого рентгеновского излучений, то можно провести распределение полученных характеристик на две, определяющих эти излучения в отдельности. В предположении, что энергии вторичных электронов, обусловленных действием рентгеновского излучения, заключены в интервале 0-10 эв [23, 25], а максимальная энергия большинства

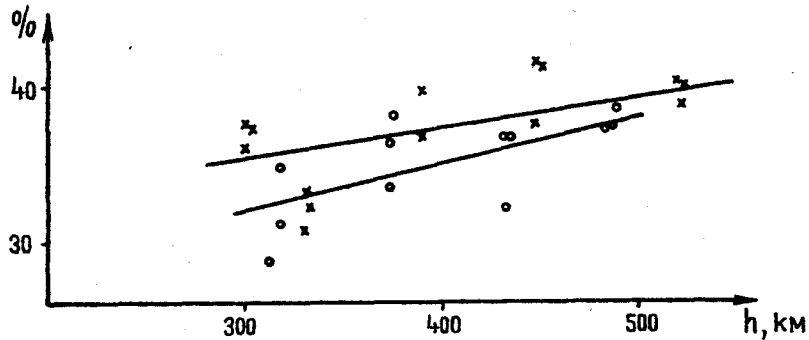
фотоэлектронов, эмитированных под действием ультрафиолетового излучения, согласно данным фиг.2, составляет 3-3,5 эв, была проведена экстраполяция второго максимума энергетического распределения полученных характеристик в начало координат (пунктирная кривая на фиг.12,б). На фиг.12 показаны исходная и полученные после разделения вольт-амперные характеристики. Видимый на фиг.12,б дополнительный максимум в области наибольших энергий электронов является, очевидно, проявлением тонкой структуры спектра вторичных электронов [31, 32]. В свете сделанных предположений статистическая точность разделения составляет +5%.

Сравнивая полученную таким образом вольт-амперную характеристику, относящуюся к ультрафиолетовой части солнечного спектра, с имеющимися данными лабораторных измерений, можно сделать вывод, что в этой области спектра преобладает излучение с $\lambda > 300-1000 \text{ \AA}$. По этим вольт-амперным характеристикам оценен поток излучения в области 1216 \AA на высоте 500 км. $P_0(1216 \text{ \AA}) \approx 1 \text{ эрг/см}^2 \text{ сек} \pm 0,5$. Если высказанное предположение справедливо, то плотность фототока за счет ультрафиолетового излучения на высоте 230 км должна равняться $1,05 \cdot 10^{-9} \text{ а/см}^2$, а за счет мягкого рентгена - $1,55 \cdot 10^{-9} \text{ а/см}^2$. Экстраполируя имеющиеся данные о квантовых выходах металлов [17-19, 22] на область $584-3 \text{ \AA}$, можно оценить интегральный поток солнечного излучения в этой области спектра в $\sim 10^{10} \text{ квант/см}^2 \text{ сек}$, что с точностью до коэффициента 2-4 согласуется как с расчетными, так и с экспериментальными данными [27].

Ранее было показано, что регистрируемое фотоэмитерами спутника "Космос-2" солнечное излучение заметно ослабляется по мере погружения спутника в более низкие слои атмосферы. При этом характерно, что вид вольт-амперной характеристики на различных высотах практически остается неизменным. На основе сделанных предположений о характере излучения описанное выше разделение вольт-амперных характеристик было проведено для целого ряда высот и для различных анализаторов. На фиг.13 показано изменение амплитуды вольт-амперных характеристик, характеризующих ультрафиолетовую часть спектра

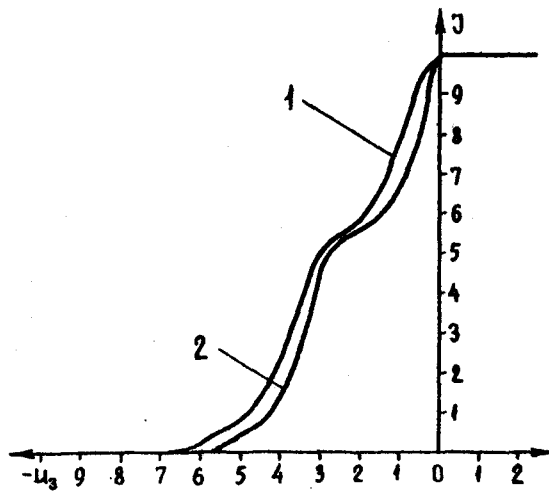


Фиг.12. Пример разделения вольт-амперных характеристик:
 а - исходная вольт-амперная характеристика;
 б - энергетическое распределение фотоэлектронов;
 в - разделенные вольт-амперные характеристики:
 1 - характеристика, относящаяся к ультрафиолетовой части спектра;
 2 - характеристика, относящаяся к рентгеновской части спектра



Фиг.13. Относительное изменение фототока за счет ультрафиолетовой части спектра: --- анализатор №1; xxx - анализатор №2

относительно величины суммарной фотоэмиссии в интервале высот 550-300 км. Кроме того, на фиг.14 в относительном масштабе построены вольт-амперные характеристики для эмиттера 2, соответствующие высотам 525 и 300 км.



Фиг.14. Вольт-амперные характеристики для различных высот: 1 - $h = 525$ км; 2 - $h = 300$ км

Рассматривая атмосферу в диапазоне высот 300-550 км, как совокупность тонких слоев с толщинами Δh_i , интегральный коэффициент поглощения солнечного излучения на высоте h можно в первом приближении оценить

по ослаблению фототока в таком тонком слое, основание которого лежит на высоте h (см.фиг.8).

Имеем

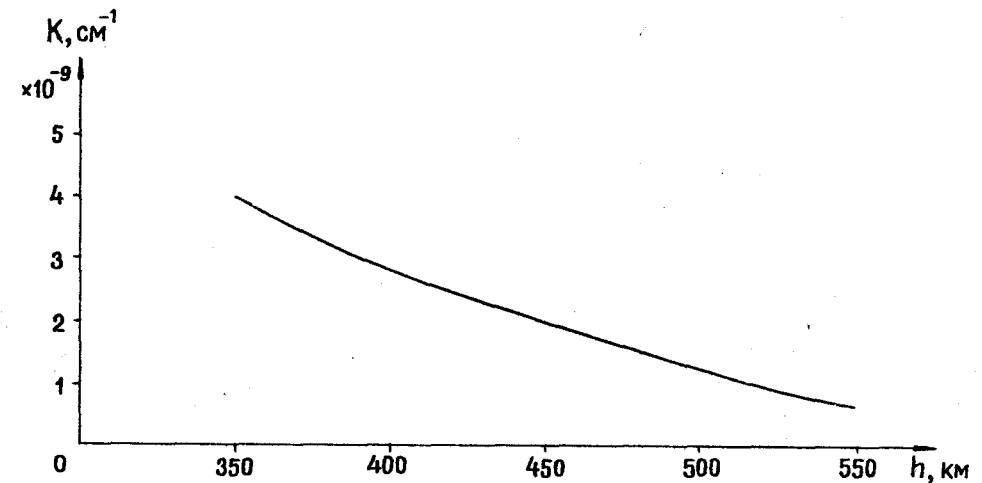
$$dI = -K_i I dl, \quad \ln \frac{I}{I_0} = -K_i \ell_i,$$

то есть

$$K_i = \frac{1}{\ell_i} \ln \frac{I_0}{I},$$

где I - ток на высоте h , I_0 - ток на высоте $h + \Delta h_i$, а ℓ_i - длина луча в слое $h \div h + \Delta h_i$.

Предполагая, что поглощающую способность можно считать в каждом из таких сферических слоев неизменной (по существу не учитывая географических вариаций плотности верхней атмосферы на данной высоте и ее зависимости от местного времени), можно по найденным таким образом значениям K_i построить высотный ход интегрального коэффициента поглощения коротковолнового солнечного излучения, приведенный на фиг.15.



Фиг.15. Изменение интегрального коэффициента поглощения с высотой

Заметим, что на участке орбиты спутника "Космос-2", соответствующем изменению его высоты от 300 км до 550, географическая широта менялась на 40° , а местное время - от полудня до захода.

Исходя из значений плотностей частиц в указанном диапазоне высот, взятых из таблиц стандартной атмосферы 1962 г. или, например, из работы [27,г], можно оценить эффективное сечение поглощения солнечного излучения широкого спектрального диапазона. В области 550-300 км сечение поглощения составляет $\sim 2 \cdot 10^{-17} - 4 \cdot 10^{-18} \text{ см}^{-2}$. Характерно, что большим высотам соответствуют большие значения среднего сечения поглощения.

Таким образом, в результате поставленного эксперимента несмотря на сравнительно ограниченные возможности примененного метода были получены данные о характере интегрального поглощения солнечного излучения в области высот 550 - 300 км и вычислен коэффициент поглощения. Выяснилось, что для этих высот коэффициент поглощения излучения еще довольно велик и при наклонном падении солнечных лучей (например, при заходе и восходе Солнца) ослабление солнечного излучения в этой области высот оказывается существенным. Кроме того, если высказанная гипотеза о характере зарегистрированного излучения справедлива, то это должно означать, что совершенно различные по своему взаимодействию с земной атмосферой области спектра солнечного излучения ослабляются сравнительно равномерно. Так как поглощение в области $\lambda < 800 \text{ \AA}$ происходит за счет ионизации основных составляющих атмосферы и сечение поглощения в этой области порядка $10^{-18} - 10^{-19} \text{ см}^2$, а излучение с $\lambda > 1000 \text{ \AA}$ может поглощаться как за счет диссоциации молекулярных составляющих атмосферы [33, 34], так и за счет возбуждения атомарного кислорода [35], являющегося в рассматриваемой области высот основной составляющей атмосферы, то полученные данные возможно свидетельствуют о наличии в верхних слоях атмосферы целого ряда непредусмотренных процессов.

В заключение считаю своим долгом выразить благодарность О.М.Сорокину и А.И.Ефремову за любезно предоставленную возможность провести лабораторные испытания моделей фотоэмиттеров и Б.Н.Горожанкину за обсуждение и внимание к работе.

Литература

1. Hushes, A.L. Du Bridge, Фотоэлектрические явления, Нью-Йорк. 1932 ; P. Lukirsky, S. Prilezayev, Z.f.Phys., 49, 236 (1928).
2. Shinoda G., Suzuki T., Kato S. J.Phys.Soc.Japan, 11, 657 (1956).
3. Hinteregger H.E. Vistas in Astronautics. Pergamon Press, London - New York - Los Angeles, p.146-156, 1958.
4. Hinteregger H.E., Damon K., Hall L.A. J.Geophys. Res., 64, 8, 961 (1959).
5. Джонсон Р., Малитсой Х., Перселл Дж, и Тауси Р. J.Astrophys., 127, 1, 80 (1958); Беринг У., Мак-Аллистер Г., Ренсе У., J.Astrophys., 127, 3, 676 (1958); Эбауд А., Беринг У., Ренсе У., J.Astrophys., 130, 2, 381, (1959); Вайолетт Т., Ренсе У., J.Astrophys., 130, 3, 954 (1959).
6. Hinteregger H.E., J.Geophys.Res., 66, 2367 (1961); Hall L.A., Schweizer W., Hinteregger H.E., J. Geophys.Res., 68, 6413 (1963); Hall L.A., Schweizer W., Hinteregger H.E., J.Geophys.Res., 70, 105 (1965); Hinteregger H.E., Hall L.A., Schmidtke G., Space Research V, North-Holland Publ.Co. Amsterdam, p.1175 (1965).
7. Hinteregger H.E. Space Research, North-Holland Publ.Co. Amsterdam, p.304 (1960).
8. Грингауз К.И., Горожанкин Б.Н., Гдалевич Г.Л., Рыбчинский Р.Е., Шютте Н.М. Настоящий выпуск, стр.4.
9. Тютиков А.М., Шуба Ю.А. Оптика и спектроскопия, 9, 5, 631 (1960).
10. Weissler G. Handbuch der Physik, ed.Flügge, XXI (1956).
11. Гамм И.Е., Шубин С. Zeitschr.Phys., 68, 97 (1931)

12. Вонсовский С.В., Соколов А.В., Векслер А.З., У.Ф.Н., LVI, 4, 477 (1955).
13. Румш М.А., Лукирский А.П., Щемелев В.Н., ДАН СССР, 135, 1, 55 (1960).
14. Пятницкий А.М. Изв. АН СССР, сер.физ., У111, 5, 304, (1944).
15. Пришивалко А.П. Отражение света от поглощающих сред. Изд. АН БССР, Минск, 1963.
16. Pohl R. Verb., d., Deutsch., Phys.Ges., 10, 339, 609, 715 (1909).
17. Hinterregger H.E., Watanabe K. J.Opt.Soc. Amer., 43, 604 (1953).
18. Wainfan N., Walker W., Weissler G. J.Appl.Phys., 24, 1318 (1953).
19. Walker W., Wainfan N., Weissler G. J.Appl.Phys., 26, 1366 (1955).
20. Hinteregger H.E. Phys.Rev., 96, 538 (1954).
21. Walker W., Weissler G. Phys.Rev., 97, 4, 1178 (1955).
22. Ганеев А.С., Израилев И.М. ЖТФ, XXXI, 3, 376, (1961); Израилев И.М. ЖТФ, 32, 11, 1382 (1962).
23. Находкин Н.Г., Мельник П.В. Радиотехника и электроника, У1, 7, 1209 (1961); Находкин Н.Г., Мельник П.В. Радиотехника и электроника, У111, 2, 303 (1963).
24. Румш М.А., Щемелев В.Н. и Пройс Х. ФТТ, 1У, 1, 69 (1962).
25. Бронштейн И.М., Сегаль Р.Б. ФТТ, 1, 10, 1489 (1959).
26. Румш М.А., Щемелев В.Н., Пройс Х. ФТТ, 1У, 1, 63 (1962).
27. Hinteregger H.E., Hall L.A., Schmidtke G. Space Research V, North-Holland Publ.Co., Amsterdam, p.1175 (1965); Hinteregger H.E., Watanabe K. J.Geophys.Res., 67, 999 (1962).
28. Friedman H. Astronautics, 7(8), 14 (1962).

29. Dickey Y. Phys.Rev., 81, 612 (1951).
30. Methfessel S. Zs.Phys., 147, Hf. 4, 442 (1957).
31. Вятский А.Я. ЖТФ, XXV111, 10, 2217 (1958).
32. Вятский А.Я. ЖТФ, XXV111, 11, 2455 (1958).
33. Николе М. Аэрономия, изд-во "Мир", М., 1964.
34. Watanabe K. Advances Geophys., 2, 152 (1953).
35. Hanson W.B., Johnson F.S. Memories Soc.R.Sc.Liege, 4, 390 (1961).

Статья поступила в редакцию 29/У 1965 г.