

*К. И. Грингауз, В. В. Безруких, В. Д. Озеров,  
Р. Е. Рыбчинский*

ИЗУЧЕНИЕ МЕЖПЛАНЕТНОГО ИОНИЗОВАННОГО ГАЗА,  
ЭНЕРГИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ И КОРПУСКУЛЯРНОГО  
ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА ПРИ ПОМОЩИ ТРЕХЭЛЕКТРОДНЫХ  
ЛОВУШЕК ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ  
НА ВТОРОЙ СОВЕТСКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ РАКЕТЕ \*

Опыты с трехэлектродными ловушками заряженных частиц были поставлены на первой, второй и третьей советских космических ракетах. Наиболее статистически полноценные материалы по рассматриваемым опытам (около 12 000 отдельных замеров коллекторных токов) были получены при полете второй космической ракеты. Поэтому далее в основном полагаются данные именно этого полета.

Объем полученной информации о работе трехэлектродных ловушек на первой космической ракете был существенно меньше; данные с автоматической межпланетной станции (третьей космической ракеты) в настоящее время обработаны лишь частично. Тем не менее, учитывая важность наблюдавшейся повторяемости результатов, ниже будут приведены отдельные ссылки на данные, полученные при полетах первой и третьей космических ракет.

На советской космической ракете, запущенной на Луну 12.IX 1959 г., был поставлен эксперимент по изучению межпланетного ионизованного газа, электронов с энергиями IV, большими примерно 200 эв. и корпускулярного излучения Солнца. При помощи радиотелеметрической системы во время полета ракеты регистрировались электрические токи, создаваемые заряженными частицами, попадающими в ловушки, установленные на отделявшемся от ракеты контейнере с научной аппаратурой. На поверхности контейнера были установлены четыре трехэлектродные ловушки, расположенные по вершинам вписанного в сферу тетраэдра. Каждая ловушка состояла из полусферической внешней никелевой сетки (с радиусом 30 мм), внутри которой находился плоский никелевый коллектор. Между коллектором и внешней сеткой была расположена плоская вольфрамовая внутренняя сетка (рис. 1). Потенциалы электродов ловушек относительно корпуса контейнера были: коллекторов  $\varphi_k = -(60 \div 90)$  в, внутренних сеток  $\varphi_{г1} = -200$  в; внешние сетки четырех ловушек имели различные потенциалы:  $\varphi_{г2} = -10, -5, 0$  и  $+15$  в.

Основное назначение внутренних сеток — подавление фотоэффекта с коллекторов, возникающего под действием ультрафиолетового излучения Солнца, а также подавление вторичной электронной эмиссии из-за

\* Впервые опубликовано в Докл. АН СССР, 131, 1301, 1960.

бомбардировки коллекторов электронами и протонами. На внешние сетки ловушек были поданы различные потенциалы, для того чтобы создать возможность оценить энергию положительных частиц, попадающих в ловушки, и, в частности, для того чтобы отличать токи, которые могут быть созданы протонами межпланетной стационарной плазмы (с энергиями порядка  $1 \text{ эв}$ ) от токов, создаваемых протонами корпускулярных потоков,

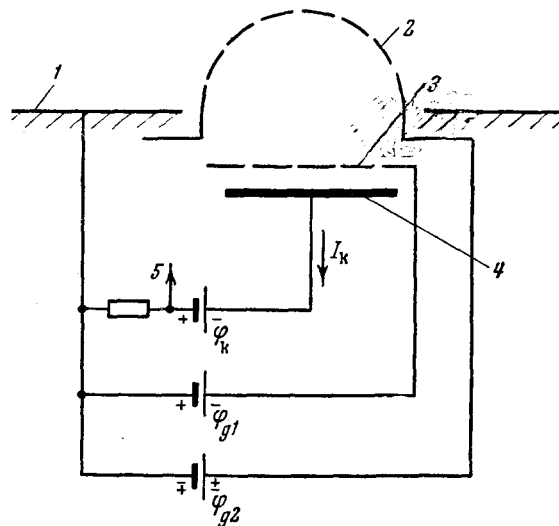


Рис. 1. Схема трехэлектродной ловушки.

1 — корпус контейнера; 2 — внешняя сетка; 3 — внутренняя сетка; 4 — коллектор; 5 — к усилителю коллекторного тока

имеющих энергии на три порядка больше. Электроны стационарной плазмы (с энергиями до нескольких электронвольт) и солнечных корпускулярных потоков (с энергиями до  $25 \text{ эв}$ ) не участвуют в создании коллекторных токов ловушек, так как они не могут преодолеть тормозящее поле, создаваемое разностью потенциалов между внутренней и внешней сетками (равной примерно  $-200 \text{ в}$ ). Электроны же, движущиеся в магнитной ловушке Земли (в так называемом внешнем радиационном поясе), имеющие достаточную энергию, чтобы преодолеть тормозящее поле между сетками ловушки, могут создавать отрицательный коллекторный ток.

Следует иметь в виду, что отрицательный коллекторный ток создается также частью фотоэлектронов, эмиттируемых внутренней сеткой при освещении ее Солнцем и попадающих на коллектор под действием электрического поля между этой сеткой и коллектором. Для дальнейшего существования, что в неосвещенной Солнцем ловушке (а ловушки были размещены на контейнере так, что хотя бы одна из них в каждый данный момент находилась в тени) отрицательный ток может быть создан только энергичными электронами, удерживаемыми геомагнитным полем.

При выборе характеристик аппаратуры принимались в качестве наиболее вероятных следующие модели межпланетной газовой среды (согласно имевшимся литературным данным [1—4]). А. Имеется стационарная газовая среда, состоящая в основном из ионизованного водорода с концентрацией  $n_i = 5 \cdot 10^2 \div 10^3 \text{ см}^{-3}$ , с электронной температурой порядка  $10^4 \text{ К}$ , близкой к ионной температуре. Б. Имеются только

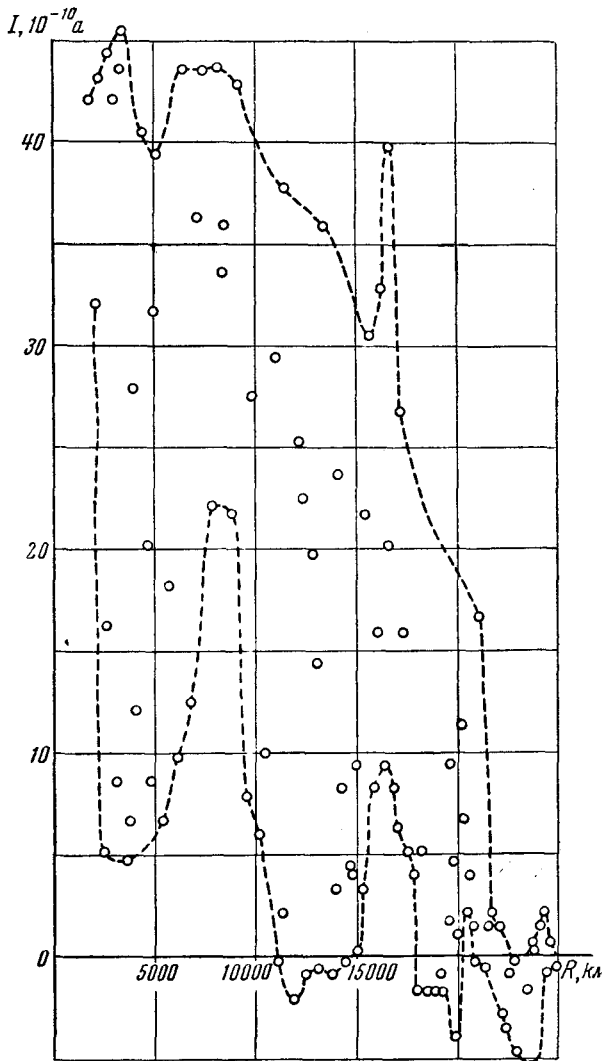


Рис. 2. Значения коллекторных токов, зарегистрированные в ловушке с  $\varphi_{g2} = -10$  в на участке  $R < 25\ 000$  км.

спорадические корпускулярные потоки, состоящие из протонов и электронов со скоростями  $(1 \div 3) \cdot 10^8$  см · сек<sup>-1</sup> и с концентрациями  $n_i = 1 \div 10$  см<sup>-3</sup>, иногда доходящими до  $n_i \approx 10^3$  см<sup>-3</sup>. Имелась в виду также возможность случая *В* — одновременного существования *А* и *Б*. Ожидалось, что в случае *А* будет наблюдаться уменьшение величины коллекторных токов  $I_K$  при увеличении  $\varphi_{g2}$  и отсутствие положительных токов  $I_K$  при  $\varphi_{g2} = +15$  в. В случае *Б* положительные значения  $I_K$  должны быть одинаковы, независимо от значения  $\varphi_{g2}$ . В случае *В* положительные значения  $I_K$  должны наблюдаться во всех ловушках, но убывать при увеличении  $\varphi_{g2}$ .

Усилители коллекторных токов и телеметрическая система обеспечивали возможность регистрации положительных коллекторных токов от

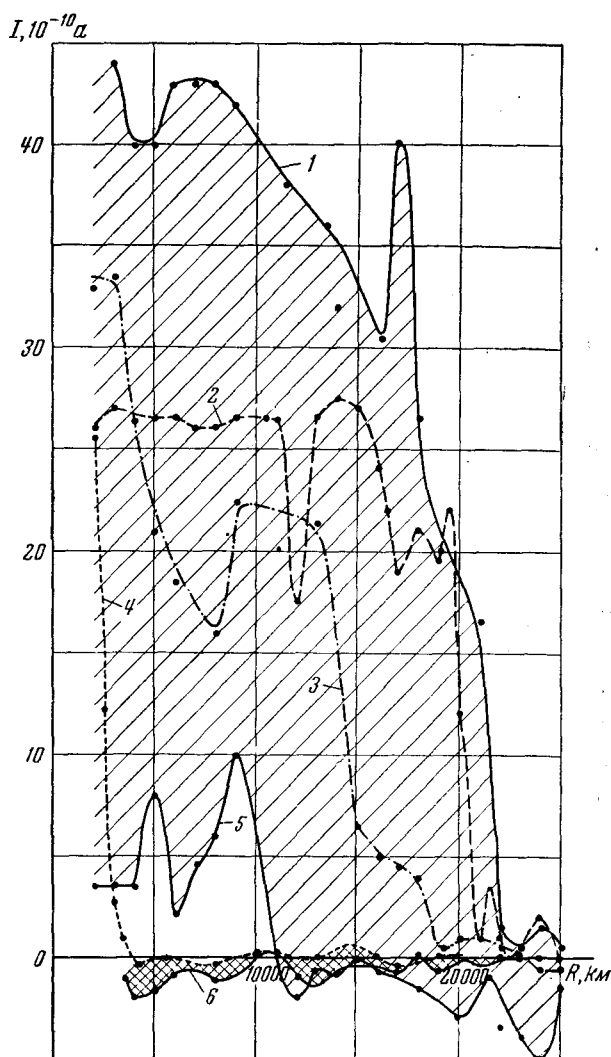


Рис. 3. Границы коллекторных токов на участке  $R < 25\,000$  км.

Верхние границы: 1 — при  $\Phi_{g2} = -10$  в, 2 — при  $\Phi_{g2} = -5$  в,  
3 — при  $\Phi_{g2} = 0$  в и 4 — при  $\Phi_{g2} = +15$  в; нижние  
границы: 5 — общая для ловушек с  $\Phi_{g2} = -10, -5$  и 0 в,  
6 — при  $\Phi_{g2} = +15$  в

$10^{-10}$  до  $50 \cdot 10^{-10}$  а и отрицательных коллекторных токов от  $10^{-10}$  до  $15 \cdot 10^{-10}$  а. Мгновенные значения каждого коллекторного тока регистрировались 2 раза в минуту.

Перемещаясь по траектории, контейнер с научной аппаратурой одновременно совершал сложные быстрые вращательные движения. Из-за этого ориентация каждой ловушки относительно вектора скорости и направления на Солнце непрерывно менялась, что вызывало соответствующие колебания коллекторного тока (рис. 2). Наибольшие (так же как и наименьшие) значения соответствовали некоторым близким одна к другой ориен-

тациям контейнера. Поэтому изменения значений  $I_K$  вдоль траектории, зависящие главным образом от окружающей среды, могут быть описаны при помощи кривых, огибающих наибольшие и наименьшие значения  $I_K$ ; при этом влияние вращения контейнера на результаты опыта можно в некоторой степени исключить.

На рис. 3 подобным образом представлены экспериментальные результаты на участке траектории, соответствующем расстояниям от поверхности Земли, меньшим 25 000 км, а на рис. 4 — результаты, относящиеся к расстояниям от 25 000 км до падения контейнера на Луну.

Отсутствие подобия в ходе кривых на рис. 3, по-видимому, объясняется особенностями изменений ориентации различных ловушек относительно вектора скорости сферического контейнера, связанными с различным расположением их на поверхности контейнера, вращавшегося сложным образом.

13.IX 1959 г. в 2 час. 15 мин. московского времени, когда контейнер находился на расстоянии  $R \approx 190\,000$  км от Земли, радиосвязь с ним с территории СССР была прервана, так как в указанное время он находился над Западным полушарием Земли. После возобновления связи характер регистрируемых коллекторных токов изменился и до конца эксперимента был таким, как на последнем участке рис. 4.

Рассмотрение приведенных экспериментальных данных показывает:

1. На расстояниях  $R$  от поверхности Земли до четырех земных радиусов обнаружена плазма с температурой не более десятков тысяч градусов. Это следует из отчетливо видного на рис. 3 существенного влияния сравнительно небольших (равных 5e) отличий одного от другого потенциалов внешних сеток ловушек на величины коллекторных токов и из отсутствия (на расстояниях  $R > 3000$  км) тока в ловушке с положительным потенциалом внешней сетки. Существование плазмы на указанных расстояниях от Земли подтверждается результатами, полученными на первой космической ракете в январе 1959 г. и на третьей космической ракете в октябре 1959 г. (в последнем случае до 7000 км, так как на этом расстоянии был прекращен первый сеанс радиосвязи с автоматической межпланетной станцией). Вопросы, связанные с оценками концентрации обнаруженной нами плазмы, а также возможной концентрации межпланетной плазмы (при больших  $R$ ), выходят за рамки настоящего сообщения и рассмотрены отдельно в [5].

2. На участке  $55\,000 < R < 75\,000$  км зарегистрирован поток электронов  $N_e \sim 10^8$  см<sup>-2</sup> · сек<sup>-1</sup> с энергиями, превышающими примерно 200 эв. Это следует из того, что за время прохождения контейнером этого участка (более 1,5 час) во всех ловушках регистрировались только отрицательные токи, что, согласно сказанному выше, возможно только при воздействии энергичных электронов. Существование подобного потока электронов в районе этого участка траектории ракеты подтверждается результатами опыта на первой космической ракете в январе 1959 г.

3. Начиная с 9 час. 30 мин. московского времени 13.IX 1959 г. до момента падения контейнера второй космической ракеты на Луну зарегистрировано прохождение контейнера через поток положительных ионов (по всей вероятности протонов) с энергиями, превышающими 15 эв;  $N \sim 2 \cdot 10^8$  см<sup>-2</sup> · сек<sup>-1</sup>. Это следует из того, что в указанное время регистрировались примерно одинаковые положительные коллекторные токи во всех четырех ловушках (см. последний участок рис. 4).

Существование в различное время потока протонов с энергиями, превышающими 25 эв, обнаружено при помощи аналогичной аппаратуры на различных расстояниях от Земли (в частности при  $R \sim 125\,000$  км) во

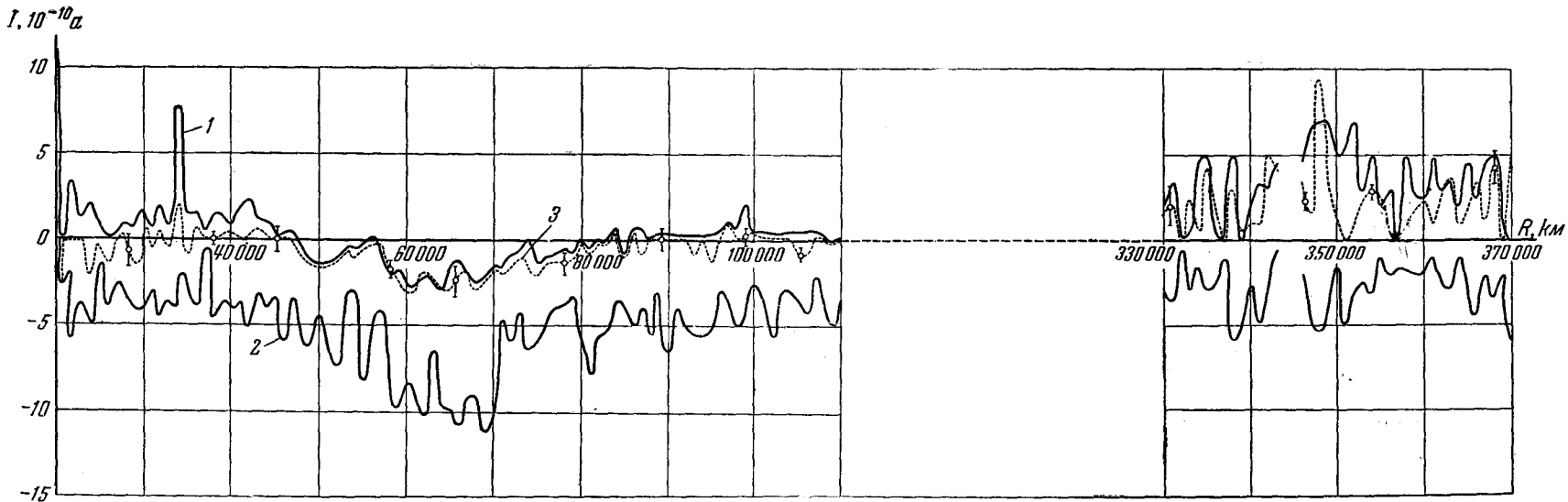


Рис. 4. Кривые 1 и 2 — соответственно общие верхняя и нижняя границы коллекторных токов в ловушках с  $\varphi_{g2} = -10, -5$  и  $0$  в. Кривая 3 — верхняя граница токов в ловушке с  $\varphi_{g2} = +15$  в. Кривые относятся к двум участкам траектории; конец первого участка (от 110 000 до 190 000 км) опущен, так как он по характеру токов соответствует участку от 80 000 до 110 000 км; начало второго участка (от 245 000 до 330 000 км) опущено, так как оно по характеру токов соответствует участку от 330 000 до 370 000 км.

время ряда сеансов передачи радиотелеметрических данных при полете автоматической межпланетной станции в октябре 1959 г. Зерегистрированные потоки протонов относятся, по-видимому, к солнечному корпускулярному излучению, впервые наблюдавшемуся, таким образом, в межпланетном пространстве вне магнитного поля Земли.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. A. Ве hr, H. S i e d e n t o p f. *Zs. Astrophys.*, **32**, 19, 1953.
2. И. С. Ш к л о в с к и й. *Астр. ж.* **35**, 557, 1958.
3. L. B i e r m a n. *The Observatory*, **77**, 187, 1957.
4. Сб. «Физика солнечных корпускулярных потоков и их воздействие на верхнюю атмосферу Земли». М., Изд-во АН СССР, 1957.
5. К. И. Г р и н г а у з, В. Г. К у р т, В. И. М о р о з, И. С. Ш к л о в с к и й. *Докл. АН СССР*, **132**, 1062, 1960; Сб. «Искусственные спутники Земли», настоящий выпуск, стр. 108.