

012000/68ил
А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р

ИСКУССТВЕННЫЕ СПУТНИКИ ЗЕМЛИ

Выпуск 12

~~2 соавтора - автор дис. Фарашич~~

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р

ИСКУССТВЕННЫЕ
СПУТНИКИ
ЗЕМЛИ

Выпуск 12

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

Москва 1962

В настоящем выпуске сборника публикуются экспериментальные данные по исследованию излучений в космическом пространстве, полученные при полетах второго и третьего советских кораблей-спутников. Значительная часть работ посвящена дозиметрии в космическом пространстве и исследованиям ряда вопросов космической биологии и медицины.

Ответственный редактор
Л. В. КУРНОСОВА

К. И. Грингауз

**НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ,
ПРОВЕДЕННЫХ В МЕЖПЛАНЕТНОМ ПРОСТРАНСТВЕ
С ПОМОЩЬЮ ЛОВУШЕК ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ
НА СОВЕТСКИХ КОСМИЧЕСКИХ РАКЕТАХ ***

На всех запущенных до настоящего времени советских космических ракетах (включая ракету, запущенную 12 февраля 1961 г. в направлении к Венере) были поставлены опыты с трехэлектродными ловушками заряженных частиц для получения сведений об ионизованном газе в пространстве, окружающем ракету во время их полетов, и потоках заряженных частиц со сравнительно малыми энергиями, лежащими ниже пределов чувствительности индикаторов, применяемых для регистрации космических лучей. Изучение токов, созданных заряженными частицами, попадавшими в ловушки на различных участках траекторий ракет, и, в частности, сопоставление токов, одновременно регистрируемых в ловушках с различными электрическими потенциалами их внешних сеток и различным образом расположенных, привело к обнаружению самого внешнего пояса заряженных частиц, окружающего Землю, позволило впервые зарегистрировать солнечные корпускулярные потоки вне геомагнитного поля в межпланетном пространстве и оценить возможную концентрацию предположительно существующего межпланетного ионизованного газа.

1. НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПОСТАНОВКЕ ОПЫТОВ

Во всех опытах с ловушками заряженных частиц использовались трехэлектродные ловушки, описанные в [1]. Ловушки устанавливались на отделяющихся от ракет-носителей контейнерах и автоматических межпланетных станциях (АМС), содержавших научную и радиотелеметрическую аппаратуру. Контейнеры первых трех космических ракет на тех участках их траекторий, на которых происходила передача телеметрической информации, не имели принудительной ориентации (т. е. могли свободно вращаться); на четвертой космической ракете АМС была определенным образом ориентирована на Солнце, и во время сеансов передачи радиотелеметрических данных нормали к коллекторам ловушек совпадали с направлением на Солнце.

На рис. 1 показана конструкция ловушек, установленных на первой космической ракете, запущенной 2 января 1959 г. В ловушке применялась полусферическая внутренняя антифотоэлектронная сетка. Для значительного уменьшения обратного фототока, создаваемого фотоэмиссией электронов с внутренней сетки, в ловушках, установленных на контейнере

* Доклад, прочитанный на Международном симпозиуме по исследованию космического пространства во Флоренции 10—14 апреля 1961 г.

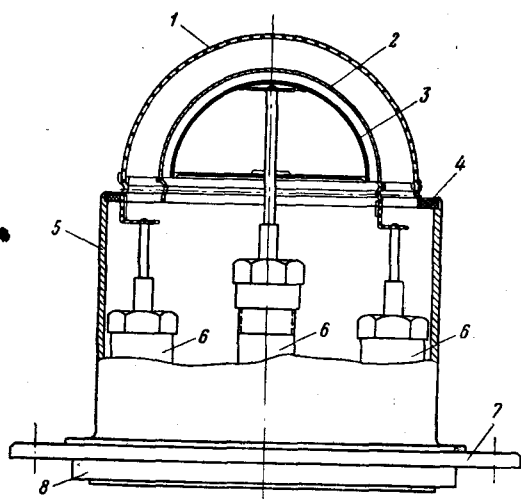


Рис. 1. Конструкция ловушки, установленной на первой космической ракете:

1 — внешняя сетка (никель); 2 — внутренняя сетка (никель); 3 — коллектор (никель); 4 — фторопластовая изоляция; 5 — алюминиевый экран; 6 — гермоводы; 7 — основание; 8 — резиновое уплотнение

в ловушку) и поля между коллектором и внутренней сеткой (тормозящего фотоэлектроны с коллектора) изучалась с помощью электролитических ванн.

На рис. 3 показаны ловушки, размещенные на контейнере первой космической ракеты. Все четыре ловушки размещены в одной меридиональной плоскости. На второй космической ракете ловушки были установлены в вершинах вписанного в сферический контейнер тетраэдра (верхняя полусфера контейнера первой ракеты была как бы повернута на 90° относительно нижней, рис. 4). Это обеспечивало в каждый данный момент пребывание в тени хотя бы одной из четырех ловушек.

На рис. 5 показано размещение ловушек на третьей космической ракете. Ловушки на верхней полусфере и ловушки на нижней полусфере расположены во взаимноперпендикулярных плоскостях. На рис. 6 показано расположение ловушек на АМС четвертой космической ракеты. Как указывалось, они так же, как и солнечные батареи, ориентированы на Солнце.

второй космической ракеты, запущенной 12 сентября 1959 г. на Луну, была применена плоская внутренняя сетка, значительно менее плотная, чем в первом варианте конструкции. Ловушка, примененная на второй космической ракете, показана на рис. 2. Эта же конструкция использовалась на третьей космической ракете, запущенной 4 октября 1959 г. На четвертой космической ракете, запущенной 12 февраля 1961 г., конструкция ловушки была облегчена, а внутренняя сетка сделана еще менее плотной, для дальнейшего уменьшения обратного фототока. Во всех случаях структура электрического поля между внешней и внутренней сетками (собирающего «тепловые» ионы, попадающие

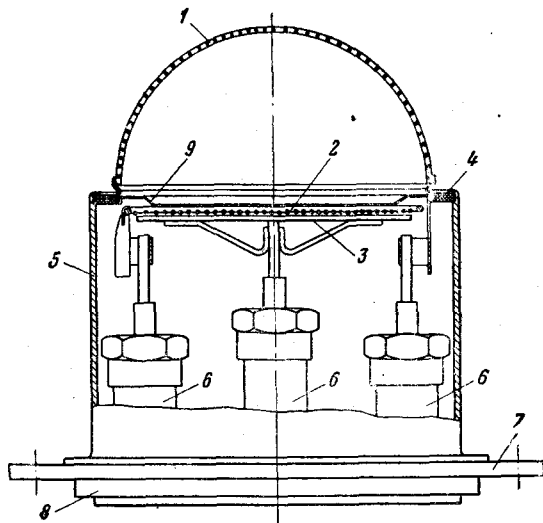


Рис. 2. Конструкция ловушки, установленной на второй космической ракете.

Обозначения те же, что на рис. 1; внутренняя сетка 2 здесь изготавливалась из вольфрама; 9 — никелевая бленда

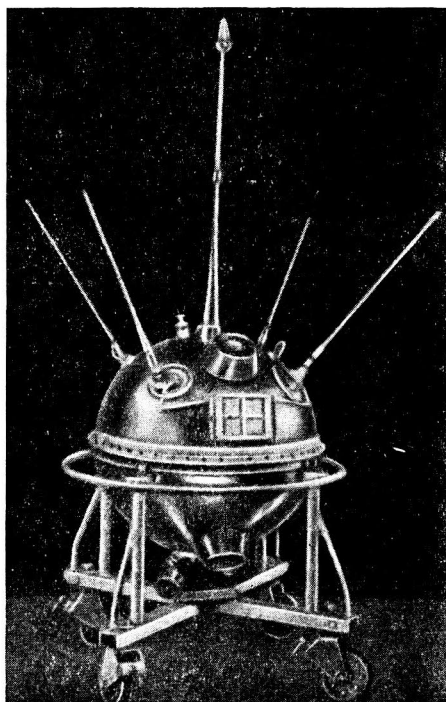


Рис. 3. Внешний вид контейнера первой космической ракеты.

Стрелками отмечены ловушки, расположенные на видимой стороне

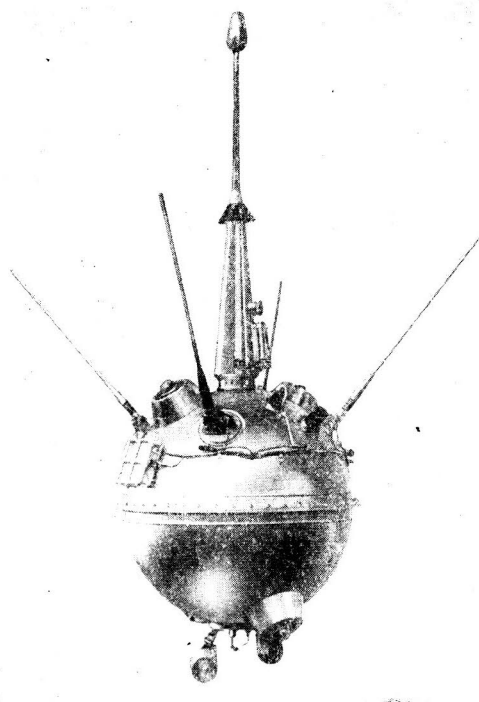


Рис. 4. Внешний вид контейнера второй космической ракеты

Во всех опытах применялись однотишные ламповые усилители малых токов, обеспечивающие передачу через радиотелеметрическую систему величин как положительных, так и отрицательных коллекторных токов.

Одна из ловушек, как правило, имела положительный потенциал относительно корпуса ($\varphi_{g2} = +15$ в на первой и второй космических ракетах, $\varphi_{g2} = +25$ в на третьей и $\varphi_{g2} = +50$ в на четвертой космических ракетах), создававший тормозящее поле для «тепловых» положительных ионов, но не препятствовавший попаданию в эту ловушку протонов солнечных корпускулярных потоков, обладающих энергиями порядка единиц и десятков *кэв*.

Из четырех ловушек, установленных на АМС третьей космической ракеты, две работали длительное время с постоянными потенциалами внешних сеток, а две включались лишь на короткие интервалы времени, причем потенциалы их внешних сеток менялись по «пилообразному» закону.

Вообще говоря, коллекторный ток в трехэлектродной ловушке, включаемой по указанной схеме (рис. 5 в [1]), может создаваться следующими заряженными частицами: положительными ионами из внешней среды с энергиями, достаточными для преодоления торможения поля, создаваемого внешней сеткой (в случае, если ее потенциал создает тормозящее поле для положительных ионов); быстрыми электронами из внешней среды с энергиями, достаточными для преодоления тормозящего поля, создаваемого внутренней сеткой ловушки; частью фотоэлектронов, эмиттируемых внутренней сеткой под действием солнечного ультрафиолета.

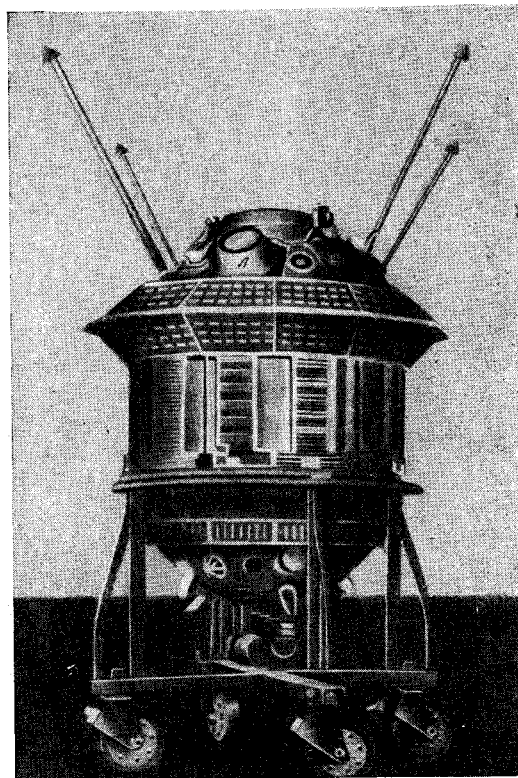


Рис. 5. Внешний вид АМС третьей космической ракеты.
Видимая на снимке ловушка отмечена буквой Л

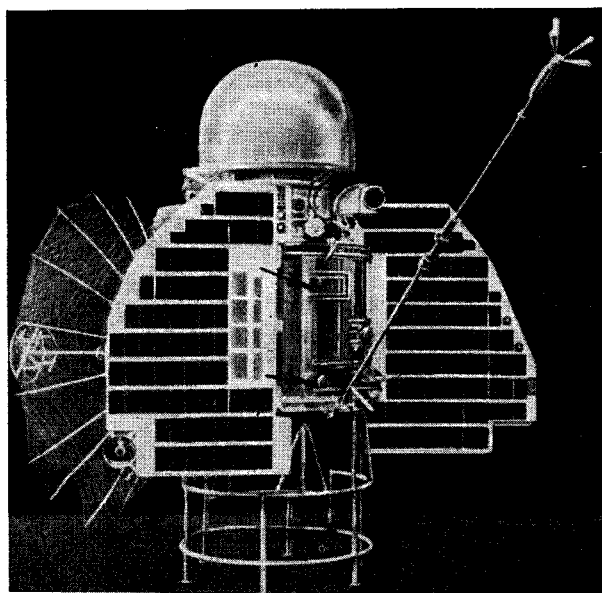


Рис. 6. Внешний вид АМС четвертой космической ракеты,
запущенной к Венере 12.ІІ 1961 г.
Ловушки отмечены стрелками

На первый взгляд вследствие этого интерпретация измерений коллекторных токов может оказаться неоднозначной. Однако при соответствующем выборе потенциалов внешних сеток и размещении ловушек на контейнере внимательное рассмотрение результатов измерений, полученных на различных участках траекторий ракет, позволяет уверенно отделять одни эффекты от других и получать необходимые оценки.

2. САМЫЙ ВНЕШНИЙ ПОЯС ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ, ОКРУЖАЮЩИЙ ЗЕМЛЮ

Рис. 7 характеризует результаты измерений коллекторных токов при полете второй космической ракеты на расстояниях от поверхности Земли $R > 20$ тыс. км. Кривые 1 и 2 — соответственно верхние и нижние границы значений, в пределах которых лежали величины коллекторных токов ловушек 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 до 190 тыс. км) опущен, так как он по характеру токов соответствует участку от 80 до 110 тыс. км, и начало второго участка (от 245 до 330 тыс. км) опущено, так как оно по характеру токов соответствует участку от 330 до 370 тыс. км. Перерыв от $R \sim 110$ тыс. км до $R \sim 245$ тыс. км был вызван отсутствием радиоприема на территории СССР из-за прохождения ракеты над западным полушарием. Внутри указанных интервалов расстояний значения токов каждой ловушки колеблются, причем их колебания хорошо согласуются с периодами вращения контейнера, определенными по данным, не зависящим от показаний ловушек (например, по вращению плоскости поляризации радиосигналов, принимаемых с контейнера).

Следует обратить внимание на то, что наибольшие значения регистрируемых коллекторных отрицательных токов на участках $R < 50$ тыс. км и $R > 75 \div 80$ тыс. км нигде не превышают $6 \cdot 10^{-10}$ а, а начиная с $R \sim 48 \div 50$ тыс. км наблюдается отчетливое увеличение отрицательных коллекторных токов, достигающих при $R \sim 65 \div 70$ тыс. км величины $11 \cdot 10^{-10}$ а. Следует также отметить, что на участке от 55 до 75 тыс. км (в течение примерно 1,5 часа полета) во всех четырех ловушках регистрировались только отрицательные токи. Так как ловушки были расположены по вершинам вписанного в сферу тетраэдра и хотя бы одна из них в каждый данный момент находилась в тени, то одновременное наличие отрицательных коллекторных токов может быть объяснено только попаданием контейнера на этом участке в поток электронов с энергиями, большими 200 эв (такие электроны способны преодолеть тормозящее поле внутренней сетки и попасть на коллектор). Так как эти потоки не были зарегистрированы приборами для измерения космических лучей (минимальная энергия регистрируемых частиц примерно 20 кэв), установленными на том же контейнере, то верхний предел энергии этих электронов составляет 20 кэв.

Опыты с ловушками, аналогичными стоявшим на второй космической ракете, проведенные в электронном ускорителе, показали, что при облучении ловушки потоком электронов с энергиями от 200 эв до 40 кэв ток в цепи коллектора может быть меньше величины, определяемой попадающим на коллектор потоком, не более чем в 2 ÷ 3 раза (в результате отражения электронов от коллектора и за счет наиболее энергичной части вторичных электронов, не подавляемой тормозящим полем второй сетки). При учете этого обстоятельства оценка плотности потоков электронов, регистрируемых на участке 50—75 тыс. км от Земли, дает $N \approx (1,5 \div 4) \cdot 10^8$ см⁻²·сек⁻¹.

Эти измерения, подтверждаемые данными первой космической ракеты

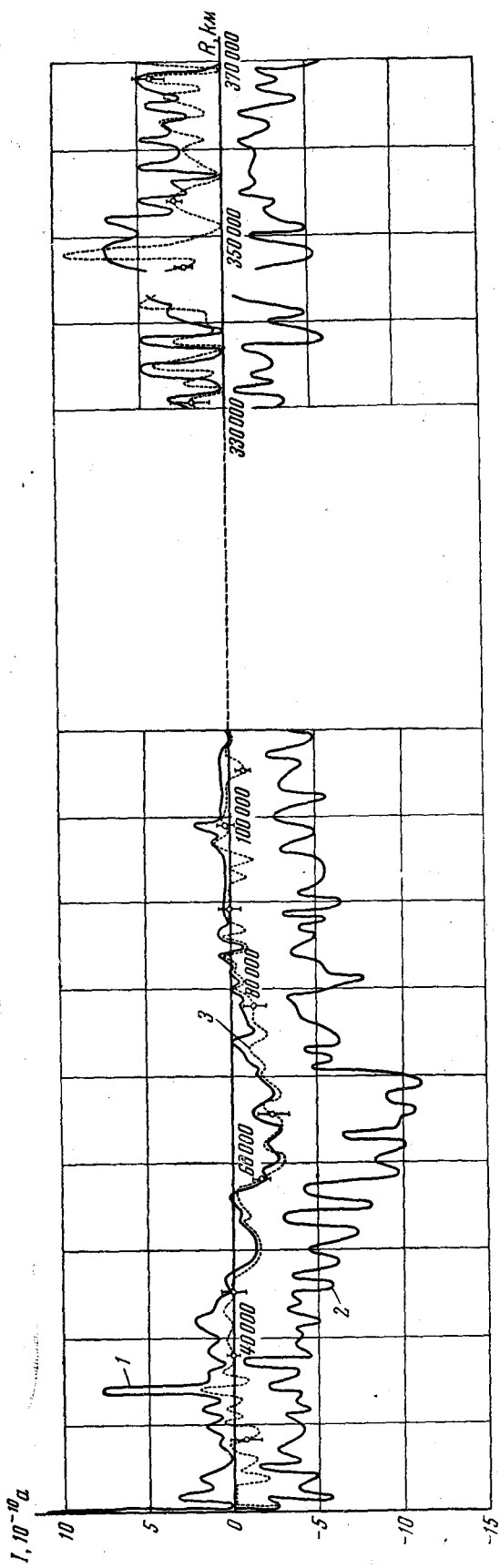


Рис. 7. Измерения коллекторных токов в ловушках на второй космической ракете:

1 и 2 — верхняя и нижняя граница коллекторных токов в ловушке с $\varphi_{с2} = -10$, -5 и 0 в; 3 — верхняя граница токов в ловушке с $\varphi_{с2} = +15$ в

дали основания для утверждения о существовании самого внешнего пояса заряженных частиц, окружающего Землю и расположенного за радиационными поясами. Границы этого пояса проходят вдоль силовых линий геомагнитного поля, подобно границам радиационных поясов Земли (рис. 8). Он образован частицами, энергии которых не достаточны для того, чтобы их могли отметить индикаторы, регистрирующие частицы в радиационных поясах.

Сообщения об обнаружении потоков электронов на расстояниях $50 \div 74$ тыс. км от поверхности Земли и о третьем поясе содержатся в статьях [2—5].

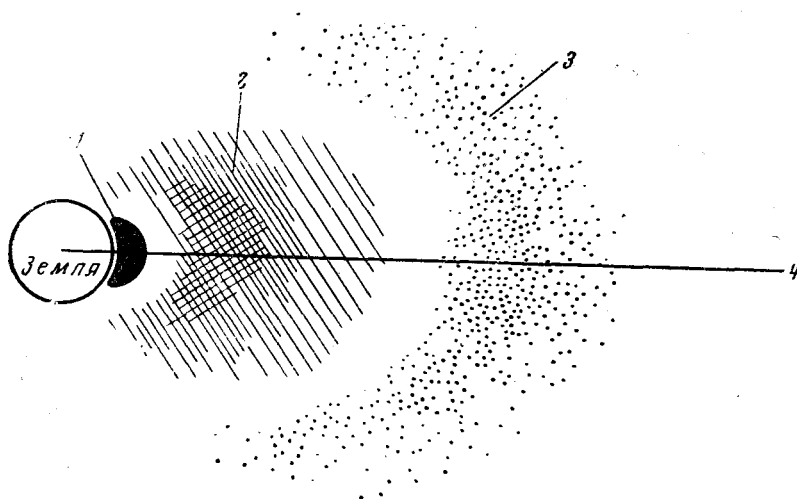


Рис. 8. Схема расположения поясов заряженных частиц:

1 — «внутренний» радиационный пояс; 2 — «внешний» радиационный пояс;
3 — самый внешний пояс; 4 — геомагнитный экватор

Сопоставление результатов магнитных измерений, проведенных на американском спутнике Эксплорер VI в августе 1959 г. и на космической ракете Пионер V в марте 1960 г., привело авторов [6] этих опытов к представлению о существовании токового кольца, окружающего Землю, с полным током $5 \cdot 10^6$ а. Указанные авторы пришли к выводу о том, что с экспериментальными данными по магнитным измерениям хорошо согласуется тороидальная модель кольца с постоянной по сечению плотностью тока, круглого сечения с центром на расстоянии $10R_E$ от центра Земли (т. е. примерно 58 тыс. км от поверхности Земли) и с радиусом, равным $3R_E$ (примерно 19 тыс. км).

Первые две советские космические ракеты пересекли геомагнитный экватор на расстоянии примерно 60 тыс. км от поверхности Земли, т. е. в том районе, где расположен центр токового кольца, существование которого следует из данных американских магнитных измерений. Как видно из рис. 7, центр области, в которой при полете второй космической ракеты были обнаружены потоки электронов с $E_e > 200$ эв, находится на высоте порядка $60 \div 65$ тыс. км от поверхности Земли, т. е. вблизи центра токового кольца, рассчитанного по данным Эксплорер VI. Максимум плотности электронных потоков лежит в области протяженностью 20 тыс. км (на высотах 55—75 тыс. км), а протяженность всей области, в которой обнаружены электронные потоки, примерно 40 тыс. км, что очень близко к диаметру токового кольца ($2a = 6R_E$), рассчитанному в работе [6].

Плотность тока (потока электронов) по данным опытов с ловушками заряженных частиц увеличивается по мере приближения к центру области их существования и убывает у границ области, в то время как в [6] она принята неизменной по сечению токового кольца. Однако совершенно ясно (и это указано в [6]), что подобная модель токового кольца была принята лишь для упрощения расчетов. Можно полагать, что ток, создающий магнитные эффекты, зарегистрированные в американских опытах, возникает вследствие неоднородности магнитного поля и представляет собой дрейфовый ток электронов в самом внешнем поясе.

Количественное сопоставление плотности потоков электронов, определенных с помощью ловушек, с плотностью тока в «токовом кольце», рассчитанном в [6], затруднено тем, что задача об определении дрейфового тока в плазме, у которой удельная (т. е. отнесенная к единице объема) кинетическая энергия частицы W_k близка к удельной энергии магнитного поля W_H , еще не решена. В самом внешнем поясе наблюдается именно такой случай: это видно из того, что возмущения магнитного поля соизмеримы с самим магнитным полем. Если, однако, воспользоваться обычными формулами для дрейфового тока (справедливыми, строго говоря, только при $W_H \gg W_k$), то, как видно из [5], можно разумным образом согласовать величину потока электронов, зарегистрированного ловушками, и величину возмущений геомагнитного поля, обнаруженных в этой же области в [6].

Результаты опытов с ловушками заряженных частиц на удалениях от Земли порядка (50 ÷ 80) тыс. км и данные магнитных измерений [6] на тех же расстояниях свидетельствуют о том, что самый внешний пояс заряженных частиц вокруг Земли не спорадическое явление, а постоянное образование. Задача дальнейших исследований этого пояса — уточнение его свойств, в частности его изменчивости во времени и пространстве, а также энергетического спектра электронов, создающих эффекты, обнаруженные в советских и американских опытах.

3. СОЛНЕЧНЫЕ КОРПУСКУЛЯРНЫЕ ПОТОКИ. МЕЖПЛАНЕТНЫЙ ИОНИЗОВАННЫЙ ГАЗ

На том же рис. 7 отчетливо видно, что на последнем участке траектории второй космической ракеты (начало которого соответствует возобновлению радиосвязи с контейнером в 19 ч. 02 м. московского времени 13 сентября 1959 г. при $R \sim 255$ тыс. км) зарегистрированы положительные коллекторные токи во всех ловушках, включая ловушку с положительным потенциалом на внешней сетке, $\varphi_{g2} = +15$ в. Наибольшие величины токов во всех четырех ловушках одинаковы. Геомагнитные возмущения на Земле во время этой части полета характеризуются K -индексом, равным 5 [7, 8]. Таким образом, впервые были зарегистрированы потоки положительных ионов солнечных корпускул (электроны корпускулярных потоков не обладают достаточной энергией, для того чтобы преодолеть тормозящее поле, создаваемое внутренней сеткой ловушки). Положительный коллекторный ток $I_k \sim (5 \div 7) \cdot 10^{-10}$ а соответствует плотности потока корпускул примерно $2 \cdot 10^8$ см⁻² · сек⁻¹.

Ранее, на протяжении 11 час полета контейнера (от $R \sim 80$ тыс. км до $R \sim 190$ тыс. км) во всех четырех ловушках регистрировались токи, значения которых колебались между отрицательными значениями, достигавшими $(5 \div 6) \cdot 10^{-10}$ а, и нулем (соответствовавшим, очевидно, нахождению ловушки на теневой стороне вращающегося контейнера). Геомагнитные возмущения за это время характеризовались K -индексами, последовательно принимавшими значения 4, 2 и 2 [7, 8].

При появлении положительных токов на последнем участке траектории отрицательные токи не исчезли и величина их уменьшилась незначительно. Это свидетельствует о том, что ориентация ловушки, при которой попадающий на нее поток корпускул достигает максимального значения, не совпадает с ориентацией, при которой достигается максимума обратный ток, создаваемый фотоэмиссией с внутренней сетки ловушки (в противном случае не могли бы наблюдаться отрицательные токи).

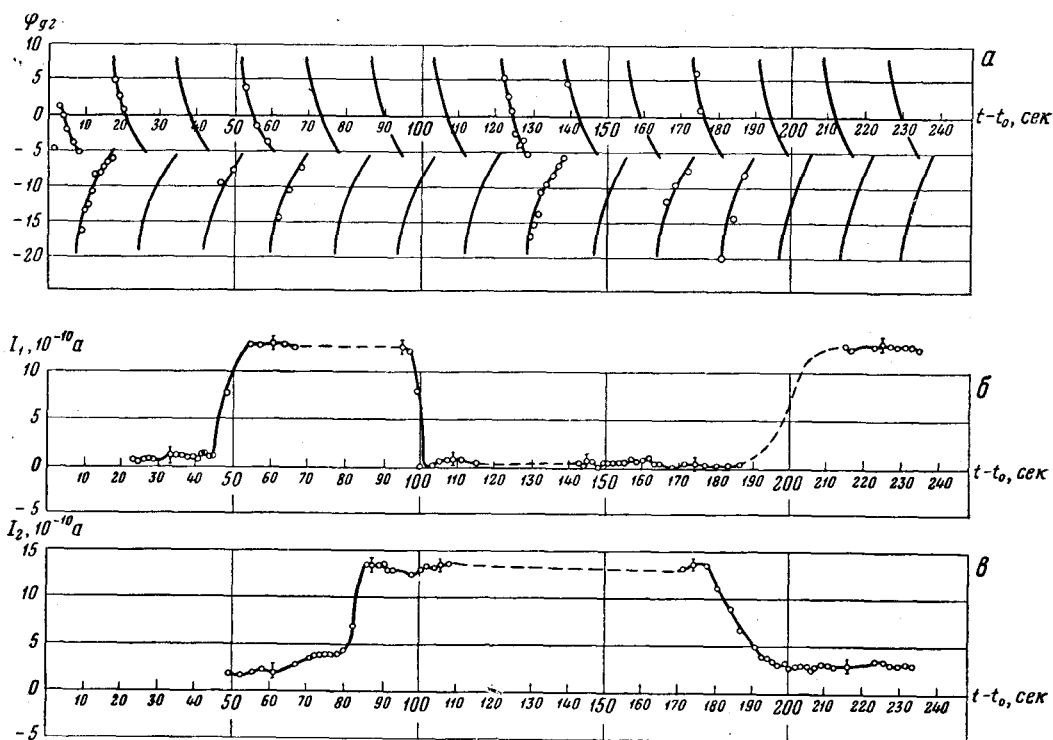


Рис. 9. Изменения токов в ловушках вследствие вращения АМС третьей космической ракеты:

а — периодическое изменение φ_{g2} , задаваемое аппаратурой; б, в — коллекторные токи в ловушках 1 и 2

Случаи отсутствия положительных токов $I_K > 10^{-10}$ а неоднократно регистрировались во время полета АМС, запущенной с помощью третьей космической ракеты. Так, например, положительные токи полностью отсутствовали в двух ловушках с потенциалами на внешних сетках $\varphi_{g2} = +25$ в и $\varphi_{g2} = -10$ в в течение получасового сеанса передачи радиотелеметрических данных, начавшегося в 17 ч. 30 м. (моск. вр.) 8 октября 1959 г. на расстоянии порядка 449 тыс. км от Земли. Во время этого сеанса и в последующие 3 часа геомагнитные возмущения характеризовались K -индексом, равным 2.

Интересны случаи регистрации более значительных корпускулярных потоков, чем при полете второй космической ракеты, наблюдавшиеся при полетах АМС третьей и четвертой космических ракет.

На АМС третьей космической ракеты на две ловушки (из четырех установленных на ней) несколько раз во время полета в течение четырехминутных интервалов подавались пилообразные импульсы напряжения с периодом примерно 20 сек, наложенные на постоянное напряжение минус 5 в

относительно корпуса контейнера, в результате чего потенциалы φ_{g2} внешних сеток этих ловушек относительно корпуса менялись от $+9$ до -19 в. Графики изменений коллекторных токов обеих ловушек во время одного из таких интервалов (в 14 ч. 52 м. московского времени 4 октября 1959 г. при $R \sim 126$ тыс. км от Земли) приведены на рис. 9. Для построения этих графиков использовано 240 точек, распределенных в известном порядке между записями переменного напряжения на внешних сетках ловушек и записями их коллекторных токов. Пунктир на графиках тока соответствует отсутствию данных об измеряемых величинах.

На графиках рис. 9 отчетливо виден эффект вращения АМС, выражающийся в попеременном увеличении и уменьшении положительных коллекторных токов обеих ловушек (с периодом 150 сек). Вместе с тем совершенно ясно, что изменение коллекторных токов ловушек не связано с изменениями потенциалов их внешних сеток. Это, по-видимому, объясняется тем, что энергии положительных частиц, создающих коллекторные токи, достаточно велики и изменения потенциалов сеток примерно на 30 в не существенны. Интенсивность потока корпускулов в этом случае может быть оценена как $4 \cdot 10^8$ см⁻²·сек⁻¹. Заметим, что указанное определение относится к интервалу времени от 14 ч. 54 м. до 14 ч. 58 м. московского времени. Характеристики геомагнитных возмущений (K -индексы) в ближайшие интервалы времени следующие:

в интервале 12 ч. — 15 ч. (моск. вр.) $K = 4$

в интервале 15 ч. — 18 ч. (моск. вр.) $K = 6$.

Значительный интерес, с нашей точки зрения, представляют измерения плотности корпускулярного потока, проведенные во время полета четвертой космической ракеты, запущенной к Венере в феврале 1961 г. Это единственный до настоящего времени случай, когда измерения проводились с постоянно ориентированными на Солнце двумя ловушками с потенциалами внешних сеток $\varphi_{g2} = +50$ в и $\varphi_{g2} = 0$ в.

На рис. 10 приведены графики * коллекторных токов во время трех сеансов передачи радиотелеметрической информации, сведения о которых даны в таблице.

Номер сеанса	Дата (февраль 1961 г.)	Начало сеанса (моск. вр.)		Удаление от Земли, км
		час.	мин.	
1	12	6	45	26 400
2	12	14	25	165 000
3	17	14	35	1 890 000

Из рис. 10 видно, что впервые за время наших опытов с ловушками заряженных частиц на графиках отсутствует модуляция коллекторных токов, вызванная вращением контейнера. Как видно из графиков, во время первого сеанса токи в обеих ловушках колеблются вблизи нулевых значений; во время второго сеанса зарегистрированы в обеих ловушках одинаковые положительные токи $I_k \sim 5 \cdot 10^{-10}$ а.

Следует иметь в виду, что усилитель коллекторного тока ловушки с потенциалом внешней сетки $\varphi_{g2} = 0$ имел характеристику, состоявшую из двух линейных участков. Крутизна верхнего участка была сравнительно мала, максимальный измеряемый ток был близок к $8 \cdot 10^{-8}$ а. Усилитель

* Демонстрировавшийся на симпозиуме график был построен по данным предварительной обработки; на рис. 10 приводится скорректированный график.

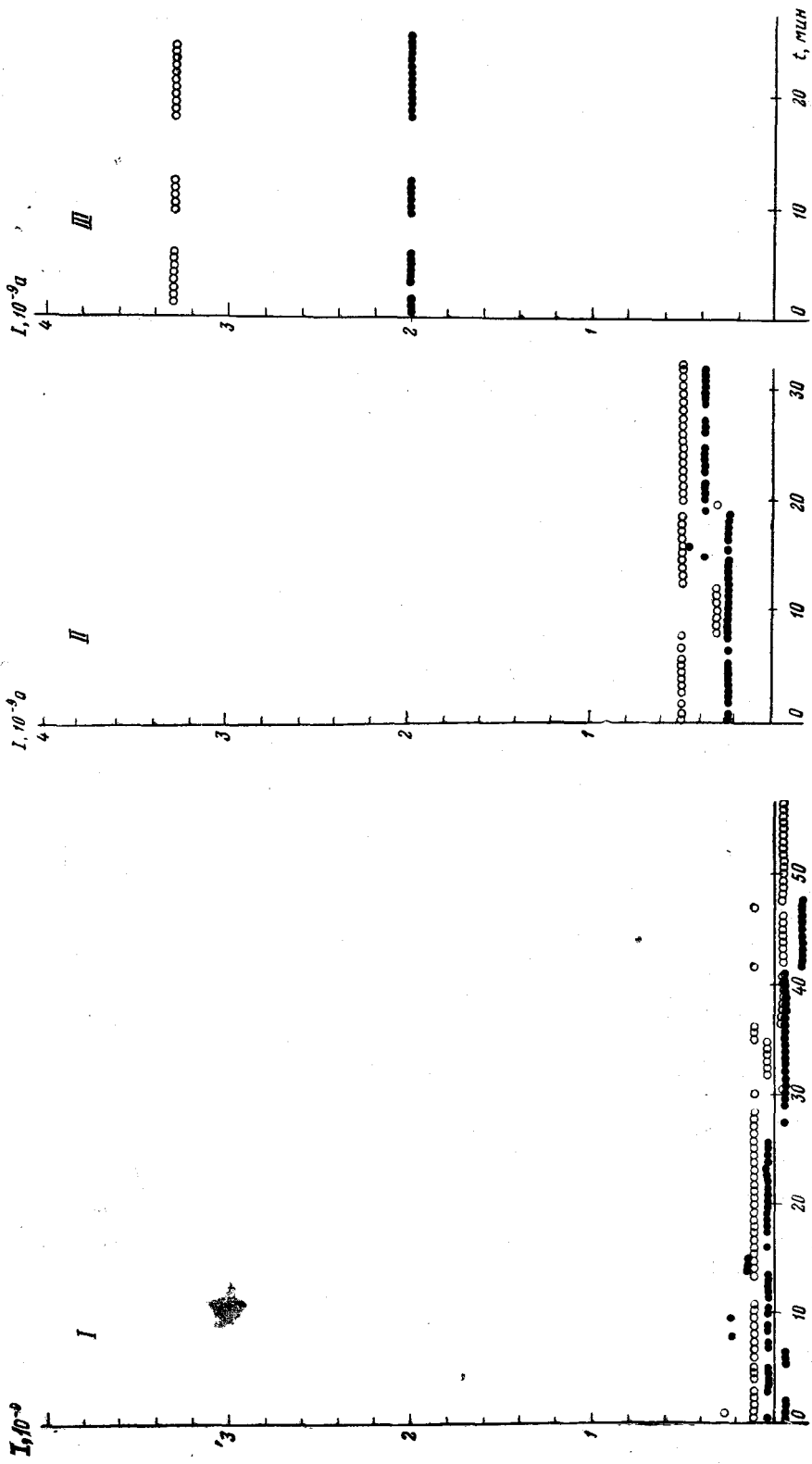


Рис. 10. Коллекторные токи, измеренные во время трех сеансов передачи с борта АМС четвертой космической ракеты (запущена 12. II 1961 г.).

Римскими цифрами указан номер сеанса. Черные точки — измерения в ловушке с $\Phi_{g_2} = 50$ в, светлые точки — измерения в ловушке с $\Phi_{g_2} = 0$

коллекторного тока ловушки с $\Phi_{g2} = +50$ в имел характеристику, близкую к линейной; максимальный измеряемый ток был равен $2 \cdot 10^{-9}$ а.

На рис. 10 видно, что во время третьего сеанса приема радиотелеметрических данных в обеих ловушках зарегистрированы большие, чем когда-либо раньше, положительные токи, соответствующие плотности потока положительных корпускул $N \approx 10^9$ см⁻² · сек⁻¹. Весьма важно, что примерно в 12 ч. московского времени на Земле зарегистрировано начало магнитной бури с амплитудой возмущения $H \sim 100$ γ.

Таким образом, наблюдения корпускулярных потоков в межпланетном пространстве впервые дают сведения, необходимые для установления количественных соотношений между плотностью солнечного корпускулярного потока и интенсивностью вызываемых им геомагнитных возмущений.

Изложенные сведения могут быть использованы для оценки возможных концентраций предположительно существующего стационарного межпланетного ионизованного газа. Для этого, в частности, можно воспользоваться графиками, приведенными на рис. 9.

Одна из трудностей при оценке концентрации стационарного ионизованного газа (не имеющего направленной скорости относительно Солнца) связана с тем, что при малых концентрациях газа плотность потока фотоэлектронов с поверхности контейнера начинает превышать плотность потока электронов из окружающей среды. В результате контейнер приобретает положительный потенциал относительно среды, и концентрация положительных ионов вблизи него падает по сравнению с их концентрацией в невозмущенной области. Несмотря на то что межпланетный ионизованный газ за пределами геомагнитного поля имеет значительную направленную скорость относительно контейнера (примерно равную орбитальной скорости Земли), энергия протонов в потоке газа, набегающего на контейнер, всего лишь примерно 5 эв, и при положительном потенциале контейнера порядка нескольких вольт такие протоны могут полностью затормозиться.

Как уже отмечалось, на графиках рис. 9 отчетливо видно, что изменения потенциала внешних сеток ловушек примерно на 30 в (от +9 в до -19 в) никак не влияют на величину коллекторного тока. Так как при этом потенциалы внешних сеток ловушек относительно окружающей нейтральной среды обязательно проходят через нулевые и даже отрицательные значения, то сам факт отсутствия влияния на измеряемые токи столь значительных изменений потенциала (по сравнению с возможной энергией протонов) свидетельствует о малости концентрации стационарного газа. Предполагая, что во время какой-то части интервала времени, соответствующего рис. 9, хотя бы одна из двух ловушек занимает оптимальное положение по отношению к потоку стационарного газа (т. е. ее ориентация совпадает с вектором скорости v_0 орбитального движения контейнера вокруг Солнца), и рассматривая момент, когда потенциал ее внешней сетки относительно среды близок к нулю (при этом считаем $v_i = \sqrt{\frac{2kT_i}{m_i}} \ll v_0$, что может лишь завязать оценку концентрации ионов стационарного газа n_{i0}), имеем

$$n_{i0} \leq \frac{I_{\min}}{S\alpha e v_0},$$

где I_{\min} — минимальное изменение коллекторного тока, которое можно надежно отсчитать ($I_{\min} = 2 \cdot 10^{-10}$ а); S — сечение ловушки в см²; $v_0 \approx 3 \cdot 10^6$ см · сек⁻¹; e — заряд электрона; α — суммарный коэффициент прозрачности сеток ловушек. Подстановка численных значений дает $n_{i0} \approx 1,5$ см⁻³.

В 1958—1959 гг., когда готовились и начали проводиться опыты с ловушками заряженных частиц на космических ракетах, общепринятым

было представление, согласно которому в районе орбиты Земли концентрация межпланетного ионизованного газа была порядка $5 \cdot 10^2 \div 10^3 \text{ см}^{-3}$. Такая картина основывалась, с одной стороны, на опытах Зидентопфа и Бэра [9] по наблюдениям поляризации зодиакального света, а с другой — на опытах Стори [10] по наблюдению свистящих атмосфериков, которые случайно дали оценку электронной концентрации, близкую к оценке Зидентопфа и Бэра. Сейчас из опытов с ловушками мы знаем, что оценка Стори, относившаяся к высоте порядка 11 000 км, была верной, но характеризовала не межпланетную среду, а периферийную область газовой оболочки Земли, простирающуюся примерно до 20 000 км. Оценка концентрации межпланетного газа, получающаяся на основе измерений токов в ловушках заряженных частиц на космических ракетах, была неожиданной и расходилась с существовавшими представлениями и теориями (например, с теорией С. Чепмена [11], рассматривавшего межпланетный газ как продолжение солнечной короны с концентрацией в районе Земли порядка 10^3 см^{-3} и температурой $T \sim 10^5 \text{ }^\circ\text{K}$).

Вместе с тем следует отметить, что еще в 1957—1958 гг. Ван де Холст [12] и В. Г. Фесенков [13] показали, что поляризация зодиакального света, рассеянного на пылинках, может быть высокой. В самое последнее время (вторая половина 1960 г. и начало 1961 г.) появились работы, из которых следует, что концентрация межпланетного газа весьма мала. Это статьи Блекуелла [14] о зодиакальном свете и Попа [15] о наблюдениях свистящих атмосфериков типа «poses».

В заключение следует сказать о перспективах дальнейших опытов с ловушками заряженных частиц в межпланетном пространстве. В поставленных до сих пор опытах с ловушками чувствительность измерений коллекторных токов была ограничена обратным током, создаваемым фотоэлектронами с внутренней сетки. Наличие этого тока затрудняло также в некоторых случаях интерпретацию результатов. В настоящее время заканчивается изготовление двух вариантов приборов с ловушками (также полусферического типа), в которых используется модуляция потока частиц, поступающих из окружающей среды, без модуляции тока фотоэлектронов. Новые приборы предназначены для изучения энергетического спектра электронов в самом внешнем поясе заряженных частиц, окружающем Землю, энергетического спектра солнечных корпускул, а также для попытки обнаружения стационарного ионизованного межпланетного газа (даже на фоне корпускулярных потоков). Мы с интересом узнали из статьи [16], что в США также готовятся измерения в межпланетном пространстве с ловушками, близкими по типу к разработанным нами. Для изучения ионосфер планет, по-видимому, найдут применение трехэлектродные ловушки с подачей пилообразных напряжений на их внешние сетки. Результаты опытов, описанных здесь и в [1], позволяют считать, что ловушки заряженных частиц на космических ракетах сыграют значительную роль в изучении межпланетного пространства, атмосфер других планет и солнечной деятельности.

Кроме автора доклада, в подготовке и проведении экспериментов и в обработке результатов, описанных в этом докладе, участвовали сотрудники Радиотехнического института АН СССР В. В. Безруких, В. Д. Озеров и Р. Е. Рыбчинский. В интерпретации части экспериментальных результатов, относящейся к самому внешнему поясу заряженных частиц, участвовали сотрудники Астрономического института им. Штернберга проф. И. С. Шкловский, В. Г. Курт, В. И. Мороз. В рассмотрении взаимной связи результатов измерений с помощью ловушек и американских магнитных измерений в районе самого внешнего пояса участвовал проф. С. М. Рытов.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. И. Грингауз. Сб. «Искусственные спутники Земли», наст. вып., стр. 105.
2. К. И. Грингауз, В. В. Безруких и др. Докл. АН СССР, **131**, 1301, 1960; сб. «Искусственные спутники Земли», вып. 6. Изд-во АН СССР, 1961, стр. 101.
3. К. И. Грингауз, В. Г. Курт и др. Докл. АН СССР, **132**, 1062, 1960; сб. «Искусственные спутники Земли», вып. 6. Изд-во АН СССР, 1961, стр. 108.
4. К. И. Грингауз, В. Г. Курт и др. Астрон. ж., **37**, 716, 1960.
5. К. И. Грингауз, С. М. Рытов. Докл. АН СССР, **135**, 48, 1960.
6. E. J. Smith, P. J. Coleman Jr., et al. J. Geoph. Res., **65**, 1958, 1960.
7. Космические данные, вып. 12. Гидрометеиздат, 1959.
8. Космические данные, вып. 2. Гидрометеиздат, 1960.
9. A. Behr, H. Siedentopf. Zs. Astrophys., **32**, 19, 1953.
10. L. R. O. Storey. Canad. J. Phys., **34**, 1153, 1956.
11. S. Chapman. J. of Atm. and Terr. Phys., **15**, 43, 1959.
12. H. C. Van de Hulst. Light Scattering by Small Particles. London, 1957.
13. В. Г. Фесенков. Астрон. ж., **35**, 513, 1958.
14. D. E. Blackwell. Scientific American, **203**, № 1, 54, 1960.
15. J. H. Pore. J. Geophys. Res., **66**, 67, 1961.
16. H. S. Bridge, C. Dilworth et al. J. Geoph. Res., **65**, 3053, 1960.