

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ИСКУССТВЕННЫЕ
СПУТНИКИ
ЗЕМЛИ

Выпуск 15

(Отдельный оттиск)

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

Москва 1963

*К. И. Грингауз, С. М. Баландина,
Г. А. Бордовский, Н. М. Шютте*

**К РЕЗУЛЬТАТАМ ОПЫТОВ
С ТРЕХЭЛЕКТРОДНЫМИ ЛОВУШКАМИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ
ВО ВТОРОМ РАДИАЦИОННОМ ПОЯСЕ
И В САМОМ ВНЕШНЕМ ПОЯСЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ¹**

В статьях С. Н. Вернова, А. Е. Чудакова и др. [1, 2] и в статьях Дж. А. Ван-Аллена и др. [3—4], Р. Арнольди и др. [5], Дж. А. Симпсона и др. [6], посвященных описаниям исследований внешнего радиационного пояса, определенные авторами величины электронных потоков оценивались как $10^{10} - 10^{11} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$. Эти оценки противоречили результатам измерений токов, созданных потоками заряженных частиц, попадающих в трехэлектродные ловушки, установленные на тех же космических ракетах, что и приборы С. Н. Вернова и др. [2]. В статьях К. И. Грингауза, В. Г. Курта, В. И. Мороза и И. С. Шкловского, опубликованных в апреле — июле 1960 г. [7, 8], было указано, что верхняя граница потоков электронов в радиационном поясе во время проведения опытов [1—6] не превышала $(2 \div 3) \cdot 10^7 \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$. При этом отмечалось, что скорости счета, наблюдавшиеся в экспериментах со счетчиками космических лучей [1—6], следует объяснять не воздействием мягких электронов с максимумом интенсивности в области порядка 30 кэв, как это сделано в [1—6], а воздействием электронов, потоки которых по крайней мере в 1000 раз меньше, чем приводимые в работах [1—6], и с энергиями значительно большими 30 кэв.

На рис. 1 воспроизведена схема пространственного расположения поясов заряженных частиц вокруг Земли из статьи [7] и приведены результаты оценки потоков во втором поясе и в самом внешнем поясе заряженных частиц (который был открыт во время тех же опытов с трехэлектродными ловушками).

В самом внешнем поясе, который не был обнаружен счетчиками космических лучей, были зарегистрированы потоки электронов с энергиями более 200 эв и менее примерно 20 кэв, превышающие на порядок потоки электронов во втором поясе.

Авторы настоящего сообщения подвергли ловушки, по конструкции идентичные примененным на второй советской космической ракете, облучению потоками электронов с энергиями, которые приписывались мягким электронам во втором и в самом внешнем поясах. Мы хотели убедиться в том, что отсутствие значительных отрицательных токов в ловушках при прохождении космических ракет через второй радиационный пояс не может объясняться какими-либо паразитными эффектами (типа значительной вторич-

¹ Доклад на Международном симпозиуме по исследованию космического пространства (Вашингтон, 1—7 мая 1962 г.).

ной электронной эмиссии с коллектора под действием потоков мягких электронов в радиационном поясе). Одновременно необходимо было оценить погрешности в определении потоков электронов в самом внешнем поясе, обусловленные теми же причинами. О результатах этих опытов упоминалось в докладе К. И. Грингауза на симпозиуме во Флоренции в 1961 г. [9]. В настоящее время представляется, однако, целесообразным привести более детальные сведения.

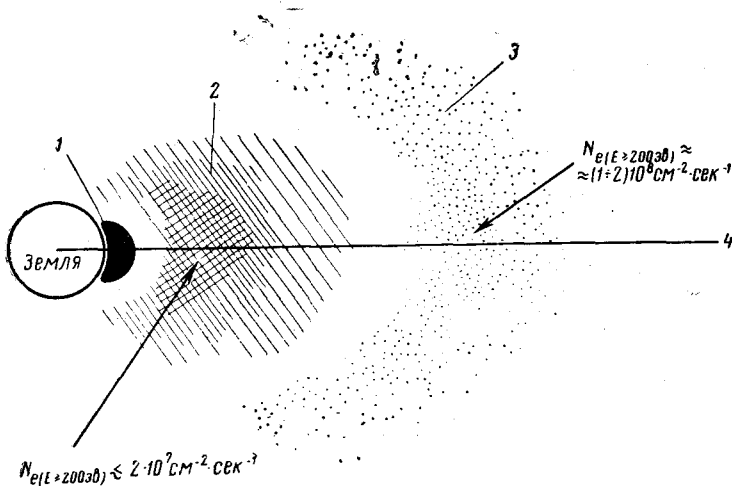


Рис. 1. Схема расположения радиационных поясов:

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

Схема эксперимента приведена на рис. 2. Поток электронов, создаваемый электронной пушкой 1, фокусировался с помощью цилиндра 2. Изменение напряжения на цилиндре относительно анода 3 позволяло изменять энергию электронов от 150 эв до 40 кэв. Контрольные измерения величины общего тока проводились с помощью специального зонда 4, который ставился на пути потока и конструкция которого обеспечивала возможность проведения абсолютных замеров. После каждого контрольного измерения зонд убирался. Степень фокусировки пучка электронов проверялась с помощью убирающегося люминесцентного экрана 5. Ловушка 6 могла поворачиваться относительно направления потока электронов; напряжения на ее внешней и внутренних сетках во время опыта могли изменяться.

На рис. 3 приведены зависимости тока в цепи коллектора ловушки от потенциала внутренней сетки при различных энергиях электронов в падающем потоке и неизменной его величине ($I_0 = 5 \cdot 10^{-9} \text{ а}$).

Верхняя шкала на оси абсцисс показывает изменение потенциала внутренней сетки φ_{g1} относительно нулевого уровня (соответствующего потенциалу корпуса контейнера с научной аппаратурой), нижняя — изменение потенциала внутренней сетки $\varphi_{g1,к}$ относительно коллектора. Из кривых рис. 3 отчетливо виден известный эффект убывания коэффициента вторичной электронной эмиссии по мере увеличения энергии первичных электронов [10]. Измеряемый отрицательный коллекторный ток также уменьшается (по абсолютной величине) с увеличением энергии электронов в падающем потоке. При этом для каждого значения энергии электронов в падающем потоке изменение φ_{g1} в интервале от — 150 до — 200 в не вызывает какого-либо изменения коллекторного тока. Уменьшение коллекторного тока

объясняется в основном тем, что с увеличением энергии электронов в первичном потоке увеличивается доля электронов, покидающих поверхность коллектора с высокой скоростью (неупруго рассеянные и отраженные электроны); такие электроны не могут быть задержаны внутренней сеткой ($\varphi_{g1} = -200 \text{ в}$) [11, 12].

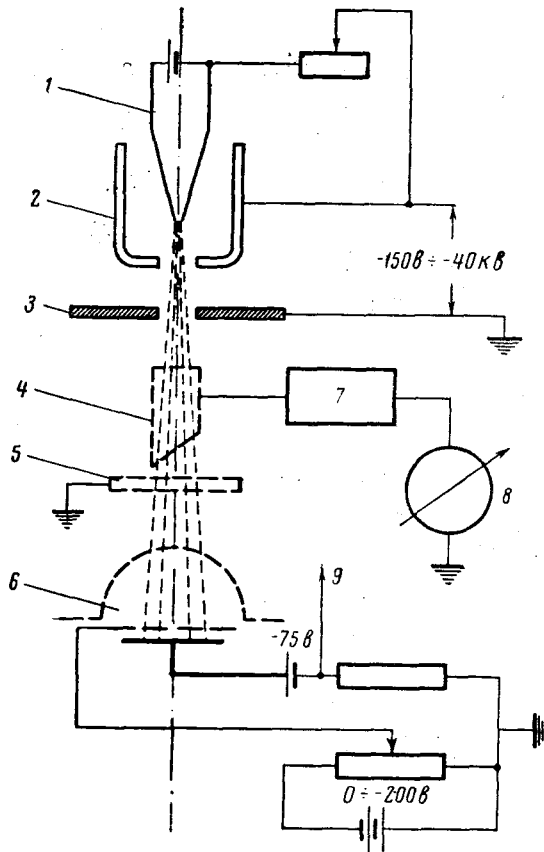


Рис. 2. Схема эксперимента по облучению ловушек мягкими электронами:

1 — электронная пушка; 2 — фокусирующий цилиндр; 3 — анод; 4 — измерительный зонд; 5 — люминесцентный экран; 6 — ловушка; 7 — усилитель тока измерительного зонда; 8 — измерительный прибор; 9 — к усилителю коллекторных токов

На рис. 4 приведена зависимость отношения тока коллектора I_K к величине тока I_0 , соответствующего падающему потоку электронов (измеренному с помощью контрольного зонда), от энергии электронов в различных по величине падающих потоках (I_0 изменялось от 10^{-10} до $5 \cdot 10^{-9} \text{ а}$). На внутренней сетке при этом поддерживался постоянный потенциал $\varphi_{g1} = -200 \text{ в}$, а потенциал внешней сетки φ_{g2} изменялся от 0 до $+50 \text{ в}$. Из рис. 4 отчетливо видно, что отношение I_K/I_0 в исследуемом диапазоне энергий практически не меняется при существенных изменениях падающего потока электронов.

Таким образом, очевидно, что значения потоков электронов с энергиями до 40 кэВ , определенные с помощью трехэлектродных ловушек типа

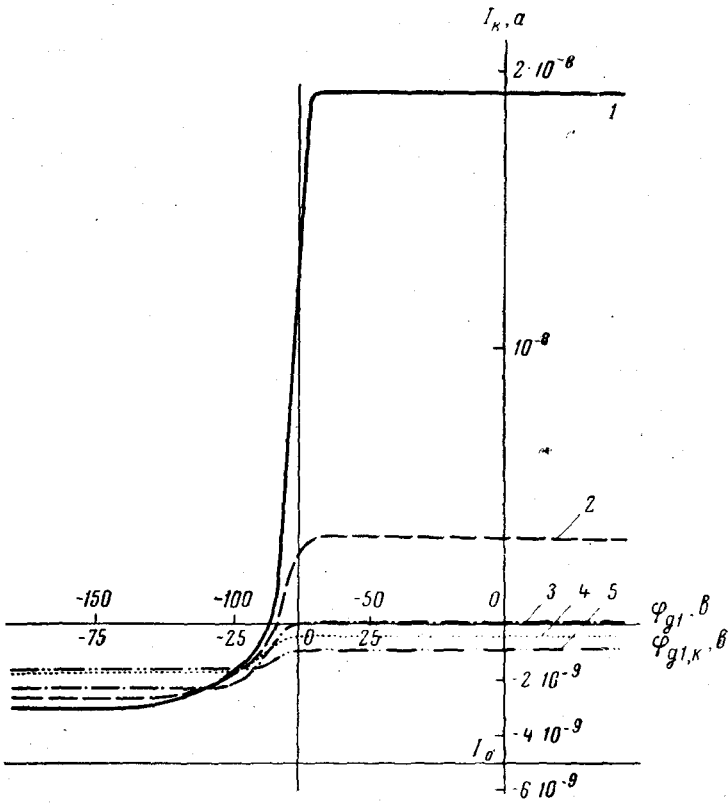


Рис. 3. Зависимость коллекторного тока I_k от потенциала внутренней сетки при различных значениях энергии падающих электронов:

1 — 500 эв; 2 — 1 кэв; 3 — 5 кэв; 4 — 7 кэв; 5 — 20 кэв

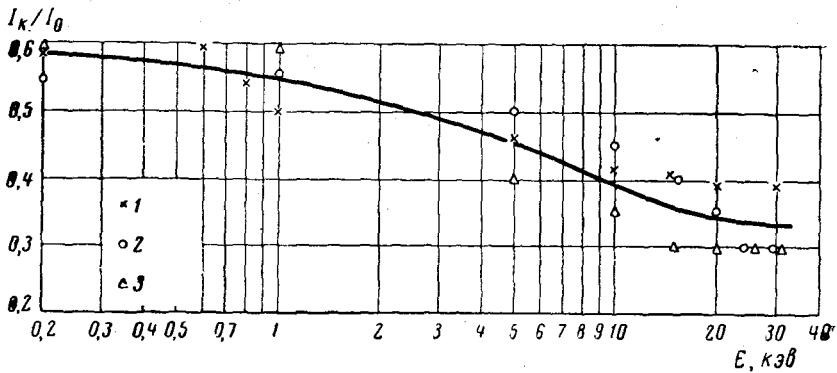


Рис. 4. Зависимость отношения $\frac{I_k}{I_0}$ от энергии падающих электронов при различных значениях тока I_0 :

1 — $(I_0) = 5 \cdot 10^{-9}$ а; 2 — $(I_0) = 10^{-9}$ а; 3 — $(I_0) = 5 \cdot 10^{-10}$ а

стоявших на второй советской космической ракете, оказываются не более чем в 2—3 раза ниже истинных значений. Отсюда следует, что оценка (по порядку величины) потоков электронов с указанными энергиями с помощью таких ловушек верна.

Следует отметить, что регистрируемые коллекторные токи ловушек рассматриваемого типа могут определяться, вообще говоря, разностью потоков электронов с энергиями, превышающими $e\varphi_{g1}$ (φ_{g1} — отрицательный потенциал внутренней сетки), и потоков протонов с энергией большей, чем $e\varphi_{g2}$ (φ_{g2} — положительный потенциал внешней сетки). Однако вероятность того, что при регистрации электронного потока имеет место существенная компенсация электронного тока протонным, мала. Если предположить, что концентрация энергичных протонов равна концентрации энергичных электронов, то энергия протонов, которые могли бы компенсировать ток, создаваемый электронами, должна быть на три порядка выше энергии электронов. Это означает, что потоки электронов с энергиями порядка десятков килоэлектронвольт могли бы компенсироваться потоками протонов с энергиями порядка десятков мегаэлектронвольт. Как следует из [13], подобные протоны при никелевом коллекторе ловушки толщиной 0,4 мм могли бы регистрироваться лишь с весьма малой эффективностью. Заметим, что, как следует из [14], электроны с энергиями до 1 Мэв должны еще сравнительно эффективно задерживаться подобным коллектором, т. е. должны достаточно эффективно регистрироваться рассматриваемыми ловушками.

Таким образом, проделанные эксперименты подтвердили правильность вывода, сделанного в статьях [7] и [8], о том, что во втором радиационном поясе потоки мягких электронов не превышают единиц на $10^7 \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$, а скорость счета в счетчиках заряженных частиц, наблюдавшаяся во втором поясе, объясняется не большими потоками электронов с энергиями порядка десятков килоэлектронвольт, а, скорее всего, потоками гораздо более энергичных частиц.

В заключение следует остановиться на замечании Уинклера и Келлога [15], относящемся к результатам измерений, проведенных с помощью ловушек в самом внешнем поясе заряженных частиц. Согласно расчетам, проведенным авторами [15], электронные потоки в самом внешнем поясе должны быть порядка $10^9 \text{ эл} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$. Опыты с ловушками [16] дали величину потока — $2 \cdot 10^8 \text{ эл} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$. Уинклер и Келлог отмечают, что в упомянутых измерениях усилители ловушек были близки к насыщению и не могли бы измерить электронные потоки порядка $10^9 \text{ эл} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$, которые должны были бы иметь место по их расчетам. Это замечание верно. Следует, однако, иметь в виду, что измеренные токи вполне определенно не достигали уровня насыщения усилителя. С другой стороны, так как ловушки не могли регистрировать потоки электронов с энергиями, меньшими 200 эв, то вполне вероятно, что общий поток может достигать величины $10^9 \text{ эл} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$ именно за счет электронов с энергиями $E < 200 \text{ эв}$.

Электроны с энергиями 10 кэв, зарегистрированные в области самого внешнего пояса на спутнике «Эксплорер-12» Л. Р. Дэвисом [17], по-видимому, относятся к энергичному участку спектра электронов этого пояса.

Дата поступления
20 апреля 1962 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. Н. Вернов, А. Е. Чудаков и др. Докл. АН СССР, **125**, 304, 1959.
2. С. Н. Вернов, А. Е. Чудаков, П. В. Вакулов и др. Докл. АН СССР, **130**, 157, 1960.
3. J. A. Van Allen, L. A. Frank. Nature, **183**, 430, 1959.
4. J. A. Van Allen, L. A. Frank. Nature, **184**, 219, 1959.
5. R. L. Arnoldy, R. A. Hoffman, J. R. Winckler. J. Geophys. Res., **65**, 1361, 1960.
6. C. J. Fan, P. Meyer, J. A. Simpson. J. Geophys. Res., **66**, 2607, 1961.
7. К. И. Грингауз, В. Г. Курт и др. Докл. АН СССР, **132**, 1062, 1960.
8. К. И. Грингауз, В. Г. Курт и др. Астрон. ж., **34**, 4, 1960.
9. К. I. Gringauz. Space Res., II, North-Holland Publ. Co., Amsterdam, 1961, p. 539; Сб. «Искусственные спутники Земли», вып. 12. Изд-во АН СССР, 1962, стр. 119.
10. J. G. Trump, R. J. van de Graaff. J. Appl. Phys., **18**, 327, 1947.
11. Г. Месси, Е. Бархоп. Электронные и ионные столкновения. ИЛ, 1958.
12. Н. Д. Моргулис. Труды совещания по катодной электронике. Киев, 1951.
13. H. Smith. Phys. Rev., **71**, 32, 1947.
14. L. Spenser. Phys. Rev., **98**, 1597, 1955.
15. P. J. Kellogg, J. R. Winckler. J. Geophys. Res., **66**, 12, 1961.
16. К. И. Грингауз, В. В. Безруких и др. Докл. АН СССР, **131**, 1301, 1960.
17. W. Beller. Missiles and Rockets, N 5, 31, 1962.