

УДК 537.591.2

Н. Н. Володичев, Н. Л. Григоров, И. А. Савенко

## ИЗУЧЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ С РАЗЛИЧНЫМИ МАССАМИ НА ИСЗ «ПРОТОН-1» И «ПРОТОН-2»

Описываются результаты изучения спектров по жесткостям ядер в интервале зарядов  $Z \geq 2 \div 21$  с помощью черенковского спектрометра на ИСЗ «Протон-1» и «Протон-2».

Изучение энергетических спектров различных зарядовых компонент первичного космического излучения дает возможность судить о характере ускорения космических лучей в источниках и распространения их в Галактике. К настоящему времени нет единого мнения относительно спектров различных зарядовых групп в области умеренных энергий, подверженных действию магнитного поля Земли.

В обзорной работе [1], например, приводятся результаты измерений в верхних слоях атмосферы отношений групп тяжелых ядер  $H (Z \geq 10)$  и средних ядер  $M (6 \leq Z \leq 9) - H/M$  в диапазоне пороговых магнитных жесткостей  $1,5 \div 4 B\epsilon$  и группы легких ядер  $L (3 \leq Z \leq 5)$  и  $S$ -группы ( $Z \geq 6) - L/S$  в диапазоне  $1,3 \div 4,5 B\epsilon$ , выполненные различными авторами. В обоих случаях имеется слабая тенденция возрастания отношений с уменьшением значений магнитных жесткостей, но считать это возрастание достоверным нельзя из-за больших ошибок измерений. Более естественно говорить о постоянстве отношений  $H/M$  и  $L/S$  в указанных интервалах магнитных жесткостей.

Об одинаковости показателей энергетических спектров для ядер с  $Z \geq 2$  и  $Z \geq 4$ , регистрировавшихся одним и тем же дифференциальным черенковским счетчиком, и для ядер с  $Z \geq 5$  и  $Z \geq 12 \div 14$ , которые регистрировались одним и тем же интегральным черенковским счетчиком, установленных на искусственных спутниках Земли, сообщается в работе [2]. По мнению авторов этой работы, такой вывод согласуется с представлением о составе «первичных» космических лучей, как результате фрагментации очень тяжелых ядер, ускоренных в источнике космических лучей.

Иные выводы об увеличении крутизны спектров с увеличением заряда ядер делаются в работах [3, 4], доложенных на Международной конференции по космическим лучам в Лондоне в 1965 г.

Анализ результатов измерений, выполненных с помощью черенковского сцинтилляционного счетчика в верхних слоях атмосферы на разных широтах, позволил авторам заключить, что показатели спектров ядер  $M$ - и  $LH$ -групп ( $10 \leq Z \leq 15$ ) по абсолютной величине на  $0,1 \pm 0,03$ , а  $L$ -группы на  $0,3 \pm 0,1$  больше показателя спектра ядер  $He$  в диапазоне значений магнитных жесткостей  $3 \div 16 B\epsilon$ . Для группы ядер  $VH (Z \geq 20)$  не было обнаружено резкого отклонения показателя спектра от показателя спектра ядер  $He$ . Следует, однако, отметить, что измерения на различных геомагнитных широтах проводились в разное время в течение 1963—1965 гг.

Изучение энергетических спектров зарядовых групп первичных космических лучей на космических станциях «Протон-1» и «Протон-2» велось

с помощью черенковского спектрометра [5] с использованием широтного эффекта космических лучей. Энергетические спектры зарядовых групп, а точнее спектры по жесткостям, определялись путем сравнения относительных чисел зарегистрированных ядер с данными значениями  $Z$  на определенном участке траектории спутника к числу ядер гелия, зарегистрированных на том же участке, в интервале значений магнитных жесткостей для вертикального направления  $2 \div 15 B\epsilon$ .

На ИСЗ «Протон-1» и «Протон-2» такие отношения были определены соответственно для 199—207 и 105—113 витков траекторий полетов, которые были разбиты на участки, проходимые спутниками примерно за шесть

Таблица 1

$P, B\epsilon$	$t, \text{ мин.}$	$N (Z \approx 2)$	$N (6 \lesssim Z \lesssim 9)$	$N (9 \lesssim Z \lesssim 21)$	$N (Z \gtrsim 21)$
2—3	290	20283	1722	846	117
3—6	101	4440	377	167	24
6—9	88	3920	315	139	26
9—12	151	5399	445	140	32
12—15	113	2993	204	101	14

минут. Для увеличения статистики суммировались ядра с данными значениями  $Z$  на участках, относящихся к одинаковым интервалам жесткости.

На рис. 1 и 2 показана зависимость интенсивности групп ядер с различными зарядами от времени. Разрыв в ходе этой зависимости на рис. 1 для всех ядер обусловлен перерывом в приеме информации со спутника. Оба спутника не были ориентированы, поэтому к широтному ходу интенсивности космических лучей добавляется зависимость интенсивности от ориентации продольной оси спутника, т. е. степени затенения входной апертуры прибора Землей, и скорости вращения спутника вокруг трех осей.

Характер ориентации и вращения ИСЗ «Протон-2» на 105—113 витках описан в работе [6]. Заметим, что ориентация и вращение ИСЗ «Протон-1» на 199—207 витках по предварительным данным очень похожи на ориентацию и вращение ИСЗ «Протон-2» в конце рассматриваемого участка траектории, когда прибор на южных высоких широтах затенен Землей меньше, чем на северных, вследствие того, что продольная ось спутника прецессирует с некоторой частотой вокруг оси, составляющей острый угол с вертикалью на высоких широтах в южном полушарии. Изменением ориентации и вращения объясняется тот факт, что интенсивность различных групп ядер, измеренная на ИСЗ «Протон-2», вначале примерно вдвое превышает интенсивность, измеренную на ИСЗ «Протон-1», а в конце близка к ней.

Таблица 2

$P, B\epsilon$	$t, \text{ мин.}$	$N (Z \approx 2)$	$N (4 \lesssim Z \lesssim 6)$	$N (6 \lesssim Z \lesssim 10)$	$N (10 \lesssim Z \lesssim 21)$	$N (Z \gtrsim 21)$
2—3	206	12374	991	1225	567	115
3—6	206	13454	984	1037	678	111
6—13	206	7841	698	549	410	78
13—15	155	4913	382	320	179	62

В табл. 1 и 2 представлены числа ядер различных зарядовых групп, зарегистрированных соответственно на 199—207 и 105—113 витках траекторий ИСЗ «Протон-1» и «Протон-2» в разных интервалах магнитных жесткостей  $P$  за время, указанное во вторых столбцах.



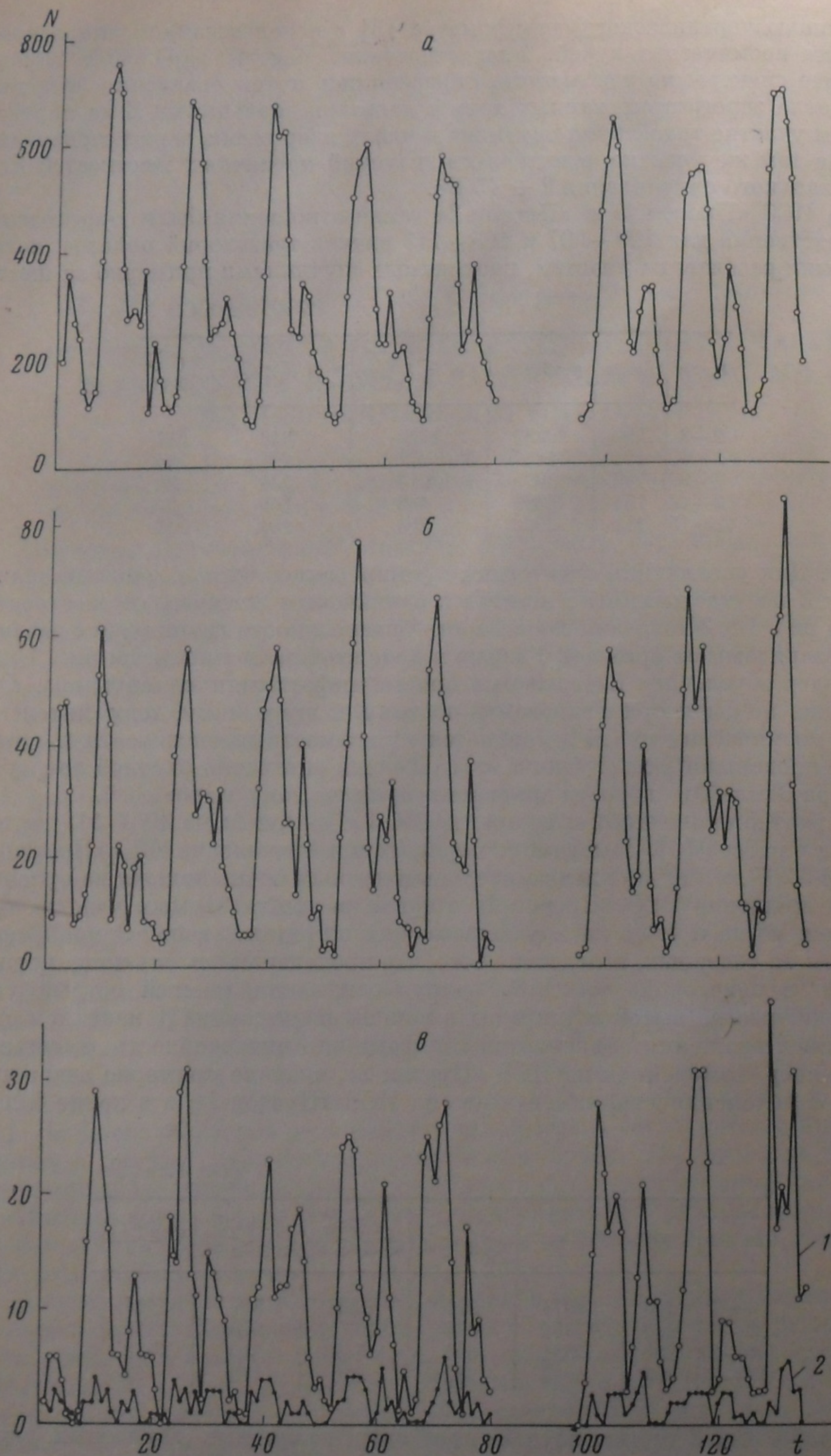


Рис. 1. Зависимость числа ядер с кинетической энергией  $E \geq 400$  Мэв/нуклон, зарегистрированных за интервал времени 378 сек. на ИСЗ «Протон-1» на 199—207 витках траектории, для различных зарядовых групп от времени измерения  $t$ :  
 а —  $Z \approx 2$ ; б —  $6 \leq Z \leq 9$ ; в —  $9 \leq Z \leq 21$  (кривая 1),  $Z \geq 21$  (кривая 2)

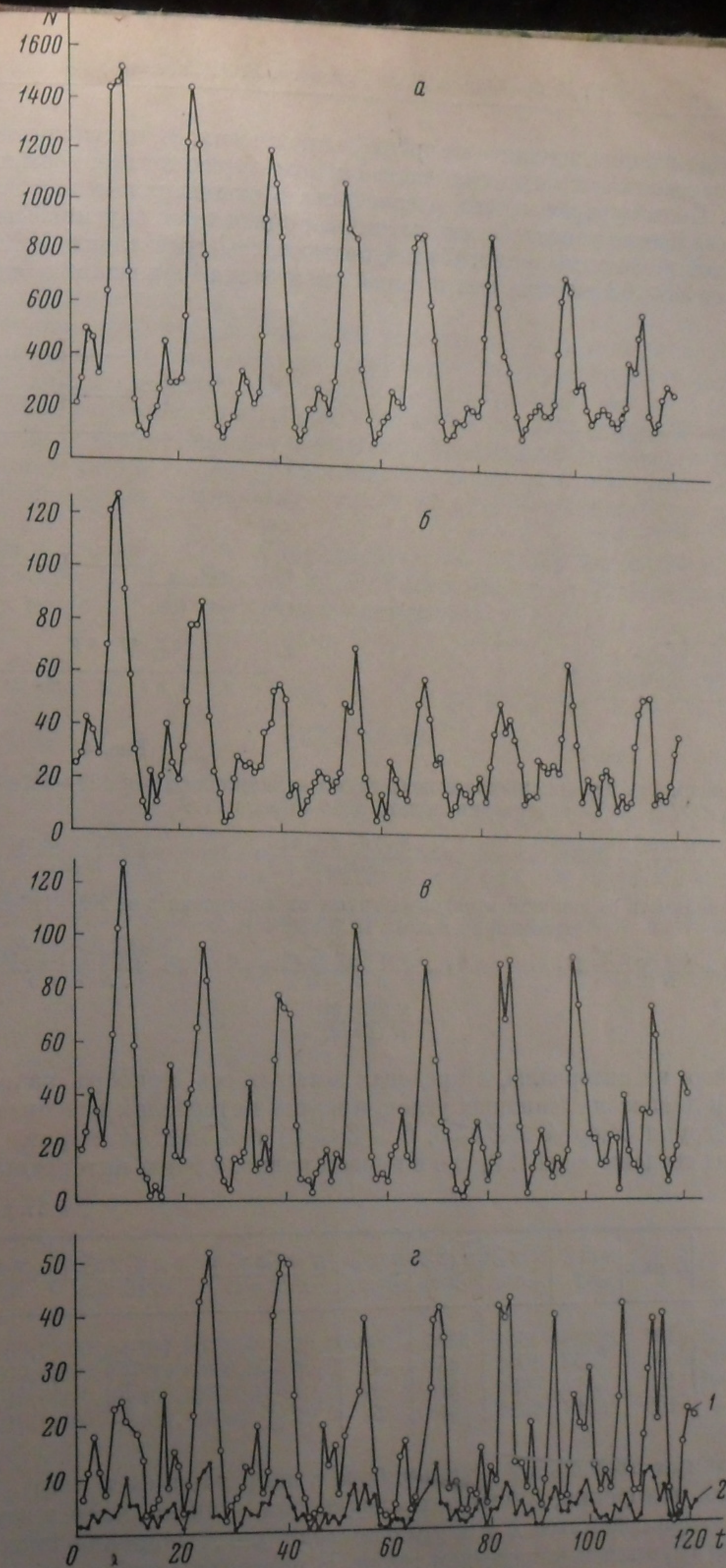


Рис. 2. Зависимость числа ядер с кинетической энергией  $E \geq 400$  Мэв/нуклон, зарегистрированных за интервал времени 387 сек. на ИСЗ «Протон-2» на 105—113 витках траектории, для различных зарядовых групп от времени измерения  $t$ :  
 а —  $Z \approx 2$ ; б —  $4 \leq Z \leq 6$ ; в —  $6 \leq Z \leq 10$ ; г —  $10 \leq Z \leq 21$  (кривая 1),  $Z \geq 21$  (кривая 2)



При движении спутника по орбите, как отмечалось, часть времени прибор не затенен Землей, другую часть он затенен частично и третью — полностью. Поэтому прежде, чем рассматривать отношения между группами ядер, необходимо убедиться, что различная ориентация спутника не вносит изменений в эти отношения. С этой целью часть траектории ИСЗ «Протон-2» на 45—52 витках, для которой рассчитана ориентация спутника,

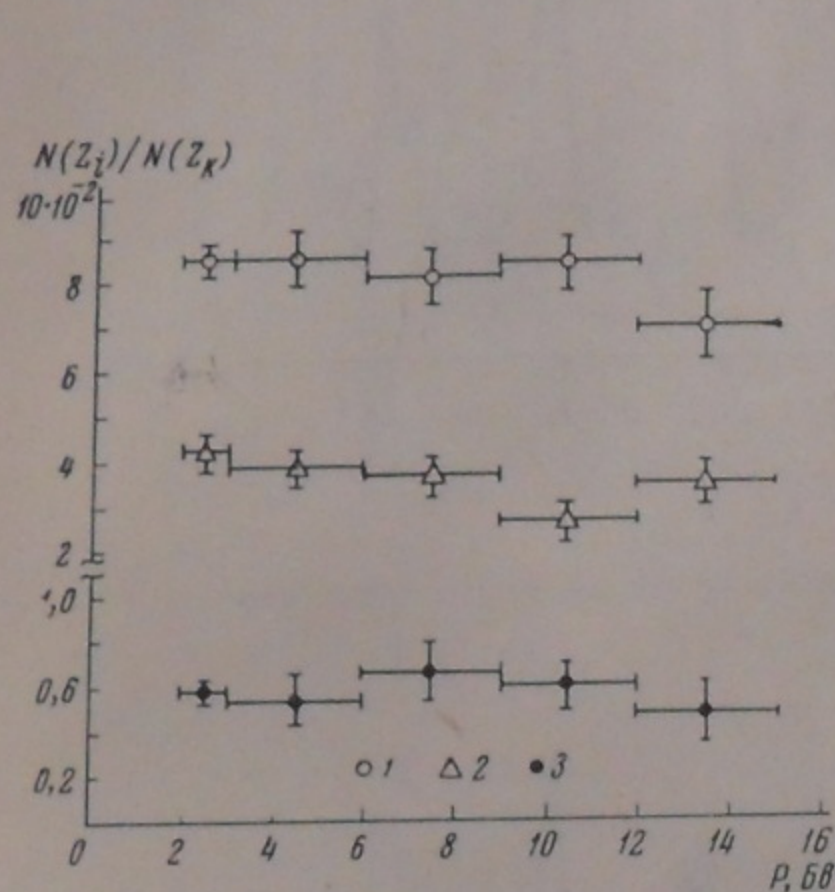


Рис. 3

Рис. 3. Зависимость отношений зарядовых групп от жесткости для 199—207-го витков траектории полета ИСЗ «Протон-1»:

$$1 - \frac{N(6 \lesssim Z \lesssim 9)}{N(Z \approx 2)} \quad 2 - \frac{N(9 \lesssim Z \lesssim 21)}{N(Z \approx 2)} \quad 3 - \frac{N(Z \gtrsim 21)}{N(Z \approx 2)}$$

Рис. 4. Зависимость отношений зарядовых групп от жесткости для 105—113-го витков траектории полета ИСЗ «Протон-2»:

$$1 - \frac{N(4 \lesssim Z \lesssim 6)}{N(Z \approx 2)} \quad 2 - \frac{N(6 \lesssim Z \lesssim 10)}{N(Z \approx 2)} \quad 3 - \frac{N(10 \lesssim Z \lesssim 21)}{N(Z \approx 2)} \quad 4 - \frac{N(Z \gtrsim 21)}{N(Z \approx 2)}$$

была разбита на интервалы, в пределах которых ось прибора находилась в заданном диапазоне зенитных углов, и в этих интервалах подсчитаны отношения групп ядер  $4 \leq Z \leq 6$ ,  $6 \leq Z \leq 21$  и  $Z \geq 21$  к ядрам гелия. Результаты сведены в табл. 3, где в первой колонке даны интервалы углов

Таблица 3

$\theta$	$t$ , мин.	$N(Z \gtrsim 2)$	$N(Z \gtrsim 4)$	$N(Z \gtrsim 6)$	$N(Z \gtrsim 21)$	$\frac{N(4 \lesssim Z \lesssim 6)}{N(Z \approx 2)}$	$\frac{N(6 \lesssim Z \lesssim 21)}{N(Z \approx 2)}$	$\frac{N(Z \gtrsim 21)}{N(Z \approx 2)}$
$\theta < 60^\circ$	194	30224	4544	3205	206	$0,052 \pm 0,003$	$0,117 \pm 0,002$	$0,008 \pm 0,001$
$60^\circ \leq \theta < 90^\circ$	97	6352	1004	650	49	$0,066 \pm 0,008$	$0,112 \pm 0,005$	$0,009 \pm 0,001$
$90^\circ \leq \theta < 120^\circ$	103	4312	656	370	37	$0,078 \pm 0,009$	$0,091 \pm 0,006$	$0,010 \pm 0,002$
$\theta > 120^\circ$	168	6248	1028	646	51	$0,073 \pm 0,008$	$0,114 \pm 0,008$	$0,010 \pm 0,001$

$\theta$ , образованных продольной осью прибора с направлением в зенит, во второй — время измерения, в четырех следующих — число ядер в заданном диапазоне углов с данным  $Z$  и в трех последних — отношения числа ядер в зарядовых группах к числу ядер гелия. В пределах ошибок эти отношения не меняются с изменением зенитного угла.

На рис. 3 и 4 показаны зависимости отношений для различных групп ядер от значений жесткости для вертикального направления.

В качестве предварительного заключения можно сказать, что по данным измерений на ИСЗ «Протон-1» и «Протон-2» изменений в отношениях для различных групп ядер и ядер гелия с жесткостью в интервале  $2 \div 15 Bv$  не наблюдается, т. е. спектры рассматриваемых зарядовых групп подобны спектру ядер гелия. Окончательный вывод можно будет сделать лишь при рассмотрении зависимости этих отношений от истинных значений пороговых магнитных жесткостей.

Следует отметить, что мы измеряем умышленно заниженную интенсивность ядер гелия, так как электрический порог выбирается таким, чтобы исключить вклад «хвоста» распределения однозарядных частиц в область  $Z \geq 2$ , поэтому отношения зарядовых групп на рис. 3 и 4 приблизительно в 1,1 и 1,5 раза соответственно завышены. Завышение отношения группы легких ядер и гелия на рис. 4 обусловлено также тем, что группа ядер  $4 \leq Z \leq 6$  примерно наполовину состоит из ядер бериллия, бора и ядер углерода.

Авторы благодарят Г. А. Скуридина за постоянное внимание к работе и Г. Н. Злотина, И. Н. Кикнадзе, Ю. Ф. Галактионову, А. Н. Подорольского за помощь при обработке результатов измерений.

Дата поступления  
30 января 1967 г.

ЛИТЕРАТУРА

- W. R. Webber. Handbuch der Physik, Preprint, 46/2, 1965.
- В. Л. Гинзбург, Л. В. Курносова, Л. А. Разоренов, М. И. Фрадкин. Усп. физ. н., 82, 585, 1964.
- W. R. Webber. IX Internat. Conf. on Cosmic Rays, London, 1965.
- W. R. Webber, J. F. Ormes, T. von Rosenvinge. IX Internat. Conf. on Cosmic Rays, London, 1965.
- Н. Н. Володичев, Н. Л. Григоров, О. В. Кисляков и др. Космич. исслед., 5, № 1, 119, 1967.
- Н. Н. Володичев, Н. Л. Григоров, В. Е. Нестеров и др. Там же, стр. 115.