

Защита

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. М.В.ЛОМОНОСОВА

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

Н.Л.Григоров, И.П.Иваненко, И.Д.Рапопорт, В.Я.Шестоперов,
Ю.В.Басина, П.В.Вакулов, Р.М.Гольнская, Ю.П.Гордеев,
Л.Б.Григорьева, И.П.Кумпан, Л.Г.Мищенко, Л.П.Папина,
В.В.Платонов, Д.М.Подорожный, Г.А.Самсонов, Л.Г.Смоленский,
В.А.Собиняков, Ю.В.Тригубов, И.М.Фатеева, А.Н.Федоров,
Л.А.Хейн, Л.О.Чикова, В.Я.Ширяева, Б.М.Яковлев, И.В.Яшин

ЧАСТИЦЫ ПЕРВИЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ С ЭНЕРГИЕЙ БОЛЕЕ 1 TeV
ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТА НА ИСЗ "КОСМОС-1713"
С АППАРАТУРОЙ "СОКОЛ-2"

Препринт НИИЯФ МГУ - 88 - 43/64.

Москва 1988

УДК 537.591

Описаны особенности конструкции, работа аппаратуры и методика отбора частиц с разным зарядом. Приведены данные о числе частиц зарегистрированных протонов, ядер гелия и ядер с $Z > 5$ в разных энергетических интервалах.

© НИИ ядерной физики МГУ, 1988

Аппаратура "Сокол" (аббревиатура слов "Состав космических лучей") предназначена для изучения зарядового и энергетического состава первичных космических лучей (ПКЛ) при энергиях $I \leq E \leq 10^2$ ТэВ и зарядах $1 \leq Z \leq 30$. Было проведено два эксперимента в 1984 г. на ИСЗ "Космос-1543" с прибором "Сокол-1" и в 1985-86 гг. на ИСЗ "Космос-1713" с усовершенствованным прибором "Сокол-2". Орбита спутников находилась на высоте 300 км, длительность полета 25 суток. Спутник был ориентирован так, что вертикальная ось прибора располагалась по радиусу Земли. Масса научной аппаратуры 2500 кг, конструкция и габариты аппаратуры схематически изображены на рис. 1 и 2. В приборе "Сокол-2" были использованы 80 сцинтилляторов в ионизационном калориметре (ИК), 11 детекторов заряда ДЗ-1 направленного действия с диапазоном измерения $1 \leq Z_1 \leq 20$ и 4 детектора заряда ДЗ-2 ненаправленного действия для регистрации ядер с $3 \leq Z_2 \leq 30$. Сцинтилляторы в ИК располагались на 10 уровнях под поглотителем из железа. Полная толщина поглотителя составляла около 5,5 пробегов для ядерного взаимодействия протонов.

Приведем некоторые данные о размерах прибора и о количестве вещества, размещенного в приборе вдоль трека регистрируемых частиц: 2 г·см⁻² алюминия и 1,2 г·см⁻² плексигласа (радиатор) - в ДЗ-2; дополнительные 1 г·см⁻² алюминия и 6 г·см⁻² плексигласа вместе с 2,7 г·см⁻² стекла ФФУ - в ДЗ-1; 21,6 г·см⁻² - в алюминиевой мишени; 23,6 г·см⁻² железа над сцинтиллятором (2,4 г·см⁻²) 1-го ряда ИК; 15,8 г·см⁻² железа - над сцинтиллятором 2-го ряда и далее - по 78,8 г·см⁻² железа над сцинтилляторами последующих рядов (рис. 1). Расстояние между верхними поверхностями радиаторов ДЗ-1 и сцинтилляторов ИК в 10-м ряду составляло 135 см. Расстояние между центрами соседних радиаторов ДЗ-1 - 18 см, их диаметр - 16 см (рис. 2).

Для регистрации частицы высокой энергии требовалось одновременное (в пределах одной мкс) появление следующих сигналов: в любом из 11 счетчиков ДЗ-1 сигнала с амплитудой $U \geq 0,5$ $U_{\text{вер}}$, где $U_{\text{вер}}$ - вероятная амплитуда от частицы с $Z = 1$; сигнала о суммарном энерговыделении в ИК, превышающем поро-

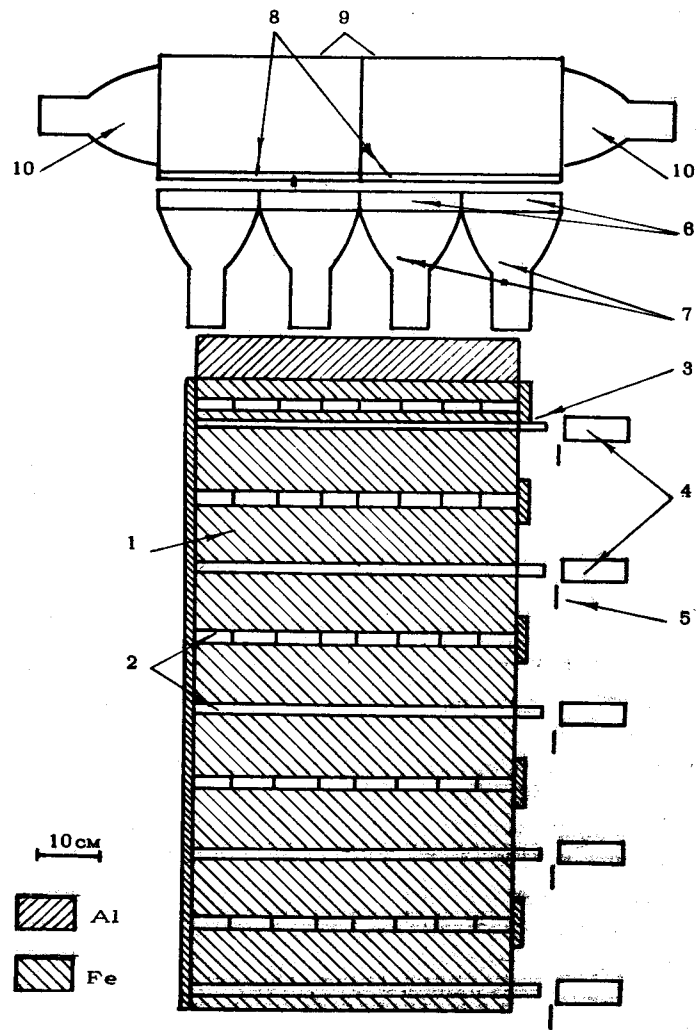


Рис.1

СХЕМАТИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ ПРИБОРА "СОКОЛ-2"

1- поглотители из железа; 2- сцинтилляторы; 3 - световоды;
 4- фотоумножители ФЭУ-84; 5- шторка; 6,8 - радиатор из
 плексигласа; 7,10 - фотоумножитель ФЭУ-49; 9 - светонепро-
 ницаемый кожух

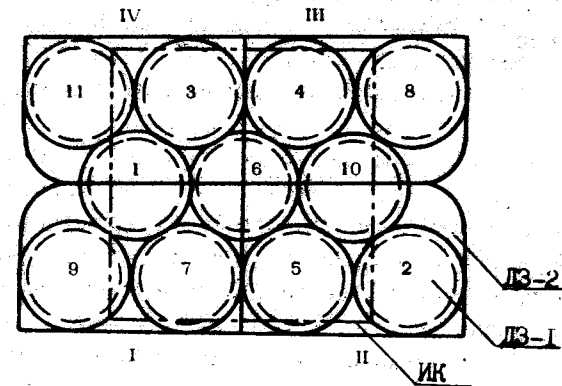


Рис.2

I-IV - детекторы заряда ДЗ-2.

I-II - детекторы заряда ДЗ-1, пунктиром обозначены
 контуры черенковских радиаторов и ФЭУ-49 ДЗ-1

вое значение $E_{пор}$; сигналов от m любых рядов ИК, каждый из которых превышает величину ϵ . Величины $E_{пор}$, m и ϵ могли изменяться по командам с Земли. При выполнении этих условий давалось разрешение на регистрацию амплитуд импульсов во всех 105 измерительных каналах ρ последовательной передачей результатов измерений в двух поддиапазонах (чувствительном и грубом).

Основным режимом работы аппаратуры (чистое время 254 часа) было условие $E_{пор} \approx 1$ ТэВ, $m = 5$ и $\epsilon \approx 20$ ГэВ. Некоторое время (93 часа) было отведено для работы в режиме $m = 7$ ($\epsilon \approx 40$ ГэВ); в этом режиме аппаратура половину времени работала в $E_{пор} = 0,5$ ТэВ.

Отбор частиц проводился следующим образом. По распределению энерговыделения по секциям ряда уточнялось положение оси лавины на каждом уровне. Точность определения координат оси составляет $\sim 0,5$ см при энергии ~ 2 ТэВ. Затем через эти координаты в обеих проекциях проводилась прямая линия, которая принималась за ось лавины и, соответственно, за линию прихода первичной частицы. При восстановлении трека первичной частицы ошибка σ на уровне детекторов заряда составляет $\sim 1,0$ см.

Все зарегистрированные события в зависимости от положения оси ливня в ИК были разделены на несколько классов. Класс А ($\sim 35\%$ всех срабатываний прибора) - это события, для которых ось ливня пересекает детектор ДЗ-2, первый и последний ряд ИК. В это число входят лавины с осью вдоль боковых граней ИК (класс В). Классы С и Д (в сумме $\sim 50\%$ срабатываний) - события вне телесного угла прибора, различающиеся местом входа оси в прибор и выхода из него. Классы Е и F ($\sim 15\%$) - это события, для которых ось ливня не выявляется. Сюда относятся лавины от взаимодействий в веществе, расположенном сбоку от ИК, а также информационные сбои. Весь излагаемый ниже материал относится к событиям классов А и В.

Для каждой частицы определялись следующие физические параметры:

1. Координаты входа первичной частицы в прибор на уровне радиаторов ДЗ-2 и радиаторов ДЗ-1. При этом по положению оси по

отношению к счетчикам ДЗ-1 частицы разделялись по дополнительному геометрическому признаку (на уровне середины радиатора): a - ось проходит через радиатор и отстоит от его края более, чем на одну среднеквадратичную ошибку (σ), получаемую при проведении оси; b - ось проходит через радиатор, но отстоит от края менее, чем на σ ; c - ось за пределами радиатора на расстоянии от края менее, чем на σ ; d - ось проходит на расстоянии более σ от края радиатора. События с признаком d составляют 3-5% от общей статистики и должны быть исключены. Частицы с признаками a и b имеют расстояние $l < 0$ от края ДЗ-1. Частицы с признаком c имеют $0 < l < \sigma$.

2. Номера счетчиков ДЗ-1 и ДЗ-2, через которые прошла первичная частица, и, соответственно, значение заряда первичной частицы z_1, z_2 , измеренные этими счетчиками.

3. Номер ряда ИК, в котором "начинается" лавина.

4. Энергия, выделенная лавиной в ИК, т.е. непосредственно измеренная энергия $E_{изм}$. Энергия $E_{изм}$ определялась по обычным формулам ионизационного калориметра с использованием данных наземной калибровки измерительных каналов ИК по ионизационному эффекту от мюонов. При этом вводилась поправка, учитывающая поглощение света в индивидуальных сцинтилляторах ИК в зависимости от места прохождения ливневой оси, величина которой не превышала 35%. Вводилась также методическая поправка, учитывающая переходный эффект из поглощающего вещества (железо) в пластический сцинтиллятор (на основе полиметилметакрилата); её величина принималась равной $1,4 / I /$.

В величины $E_{изм}$ для каждого индивидуального события вводились следующие поправки:

Учитывалась энергия, вынесенная лавиной через основание и боковые поверхности калориметра.

Вводилась поправка на не регистрируемую прибором энергию ядерных расщеплений. Подробно все эти поправки рассмотрены в / 2 /. Энергия с указанными поправками также использована в таблицах.

Заряд первичной частицы для величин $z = 1$ и 2 определялся

Таблица 2

Число протонов, зарегистрированных прибором "Сокол-2" (режим М=7) в разных энергетических интервалах с взаимодействием в разных рядах ИК

E, ТэВ	V										Суммарное число частиц									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10										
I	$E < 0$	14/14	34/36	5/5	5/5	2/3	2/3	-	1/1	-	-	1/1	-	-	-	-	-	-	-	64/67
	$E > 0$	-	-	-	-	-	1/1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/1
II	$E < 0$	6/6	34/35	11/11	3/3	3/3	3/4	2/3	1/1	-	-	1/1	-	-	-	-	-	-	-	64/67
	$E > 0$	-	-	-	-	-	-	-	1/1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/1
III	$E < 0$	2/2	3/3	2/2	2/2	1/1	1/1	1/1	1/1	-	-	1/1	-	-	-	-	-	-	-	15/15
	$E > 0$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/1
IV	$E < 0$	1/1	2/2	4/4	1/1	-	2/2	2/2	2/2	-	-	1/1	-	-	-	-	-	-	-	3/3
	$E > 0$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/1

Продолжение таблицы 2

E, ТэВ	V										Суммарное число частиц									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10										
III	$E < 0$	3/3	15/15	7/7	5/5	2/3	3/3	2/2	1/1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39/39
	$E > 0$	-	1/1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/1
IV	$E < 0$	2/2	7/7	14/14	2/2	3/3	4/4	4/4	2/2	1/1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39/39
	$E > 0$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/1
V	$E < 0$	1/1	2/2	1/1	1/1	-	2/2	-	1/1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4/4
	$E > 0$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/1
VI	$E < 0$	1/1	2/2	1/1	1/1	-	2/2	-	1/1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7/7
	$E > 0$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0/0
VII	$E < 0$	-	1/1	2/2	1/1	1/1	-	1/1	1/1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7/7
	$E > 0$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0/0

Продолжение таблицы 4

E, ТэВ	: V :										Суммарное число частиц		
	1	2	3	4	5	7-10	10-15	15-20	20-30	30-50		50-70	70-100
N(E _{изм})	ℓ < 0 6/6 8/8 6/6 1/1 -/ -/ 1/1 1/1 -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ 23/23												
	s > 0 -/ -/ 2/2 -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ 2/2												
	s = 0 1/1 1/1 1/1 -/ -/ 1/1 -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ 4/4												
ряд	ℓ < 0 3/3 9/9 5/5 3/3 1/1 -/ -/ 1/1 1/1 -/ -/ -/ -/ -/ -/ 23/23												
	s > 0 -/ -/ 1/1 1/1 -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ 2/2												
	s = 0 1/1 -/ -/ 1/1 -/ -/ 1/1 -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ 4/4												
IV	ℓ < 0 -/ -/ 2/3 -/ -/ 1/1 -/ -/ 1/1 -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ 4/5												
	s > 0 -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ 0/0												
	s = 0 -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ 0/0												
ряд	ℓ < 0 -/ -/ 2/3 -/ -/ 1/1 -/ -/ 1/1 -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ 4/5												
	s > 0 -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ 0/0												
	s = 0 -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ -/ 0/0												

Таблица 5

Число ядер группы M, зарегистрированных прибором "Сокол-2" в разных энергетических интервалах

а) В режиме M=5

E, ТэВ	: V :										Суммарное число частиц		
	1	2	3	4	5	7-10	10-15	15-20	20-30	30-50		50-70	70-100
N(E _{изм})	ℓ < 0 4 85 53 13 4 4 3 - - 2 1 - 1 - 170												
	s > 0 - 5 3 2 - 2 - - - - - - - 12												
	s = 0 - 13 2 1 1 1 2 - - - - - - - 20												
N(E ₀)	ℓ < 0 - 52 63 27 12 6 4 2 - 1 1 1 - 1 170												
	s > 0 - 3 3 2 2 2 - 2 - - - - - - - 12												
	s = 0 - 9 4 2 1 2 - 2 - - - - - - - 20												

б) В режиме M=7

N(E _{изм})	ℓ < 0 34 48 17 7 5 2 2 3 - - - - - 118												
	s > 0 - 2 - 1 - - - - - - - - - 3												
	s = 0 4 4 1 - - - - - - - - - 9												
N(E ₀)	ℓ < 0 13 47 28 13 5 5 2 2 3 - - - - - 118												
	s > 0 - 2 - - 1 - - - - - - - - - 3												
	s = 0 3 5 - 1 - - - - - - - - - 9												

Таблица 6

Число ядер группы N, зарегистрированных прибором "Сокол-2" в разных энергетических интервалах

а) В режиме M=5

E, ТэВ	: V :															Суммарное число частиц
	1	2	3	4	5	7	10	15	20	30	50	70	100	100		
N(E _{изм})	ℓ < 0	4	74	30	10	6	5	7	4	1	-	-	-	-	142	
	{ s > 0	-	5	1	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	8	
	{ s = 0	-	7	4	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	14	
N(E ₀)	ℓ < 0	-	47	40	22	8	9	2	9	3	1	-	1	-	142	
	{ s > 0	-	2	4	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	8	
	{ s = 0	-	3	6	2	1	1	1	-	-	-	-	-	-	14	

б) В режиме M=7

N(E _{изм})	ℓ < 0	26	40	10	7	3	2	-	-	1	1	-	1	-	91
	{ s > 0	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
	{ s = 0	2	10	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	14
N(E ₀)	ℓ < 0	12	41	17	5	7	3	3	-	-	1	1	-	1	91
	{ s > 0	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
	{ s = 0	2	7	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	14

Таблица 7

Число ядер группы UN, зарегистрированных прибором "Сокол-2" в разных энергетических интервалах

а) В режиме M=5

E, ТэВ	: V :																	Суммарное число частиц
	1	2	3	4	5	7	10	15	20	30	50	70	100	100				
N(E _{изм})	ℓ < 0	1	65	36	14	6	4	4	1	1	-	-	-	-	133			
	{ s > 0	-	4	1	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	7			
	{ s = 0	2	12	2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	17			
N(E ₀)	ℓ < 0	1	23	50	30	9	8	5	4	1	1	-	-	1	133			
	{ s > 0	-	-	4	-	2	-	-	1	-	-	-	-	-	7			
	{ s = 0	1	9	6	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	17			

б) В режиме M=7

N(E _{изм})	ℓ < 0	14	29	13	1	3	-	2	1	-	1	-	-	-	64
	{ s > 0	2	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
	{ s = 0	3	4	3	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	11
N(E ₀)	ℓ < 0	6	26	13	9	3	3	1	1	1	1	-	-	-	64
	{ s > 0	2	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
	{ s = 0	1	4	3	2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	11

и по рядам "начала" лавины в ИК (табл. 1-4). Для ядер $z > 5$, лавины которых практически все начинаются с первого ряда, данные представлены по сумме рядов (табл. 5-7). События с $0 < \ell < \zeta$ подразделены на такие, когда траектория пересекает боковую поверхность радиатора ДЗ-1, проходя в нём путь $S < 0,5$ его эффективной толщины, и случаи, когда $S = 0$.

Геометрический фактор прибора для частиц классов А и В, проходящих через радиаторы ДЗ-1, составил $308 \text{ см}^2 \text{ ср}$. Исключение событий, в которых частица могла пройти через фотокатод ФДУ ДЗ-2 (что приводит к искажению сигнала), приводит к уменьшению геометрического фактора до $280 \text{ см}^2 \text{ ср}$. Далее необходимо учесть, что прохождение частиц по краю радиатора ДЗ-1 вызывает такое уменьшение амплитуды сигнала, которое выводит часть событий за пределы, указанные в критериях отбора по z_I (см. выше). Введение поправки на этот эффект приводит к следующим геометрическим факторам: $260 \text{ см}^2 \text{ ср}$ для протонов, $257 \text{ см}^2 \text{ ср}$ для α -частиц и $275 \text{ см}^2 \text{ ср}$ для ядер с $z > 5$.

Для перехода от числа зарегистрированных установкой событий к абсолютной интенсивности интересующей нас компоненты, кроме геометрического фактора прибора и времени экспозиции, необходимо знать эффективность, с которой установка регистрирует данную компоненту.

Величины пробегов взаимодействия для расчета эффективности брались на основании / 4, 5 / и равны:

$$\begin{array}{ll} \lambda^p_{\text{плекс}} = 80 \text{ г/см}^2 & \lambda^\alpha_{\text{плекс}} = 38,6 \text{ г/см}^2 \\ \lambda^p_{\text{Al}} = 115 \text{ г/см}^2 & \lambda^\alpha_{\text{Al}} = 61,2 \text{ г/см}^2 \\ \lambda^p_{\text{Fe}} = 130 \text{ г/см}^2 & \lambda^\alpha_{\text{Fe}} = 83,7 \text{ г/см}^2 \end{array}$$

Анализ влияния мастерных ограничений на энергетический спектр разных зарядовых групп, представленных в таблицах, а также анализ влияния регистрации обратного тока в калориметре, растущего с энергией первичных частиц, на представленные в таблицах распределения по началу каскада в ИК для p и α будет приведен в следующих публикациях.

Литература

1. Kolchuzkin A.M., Bespalov V.I. - I6ICCR, Kyoto, 1979, vol. 9, p. 222-227.
2. Григоров Н.Л., Иваненко И.П., Рапопорт И.Д. и др. ВМУ, сер. 3, Физика, астрономия, 1988, 29, №5, с. 44-50.
3. Иваненко И.П., Григоров Н.Л., Шестоеров В.Я. и др. Космические исследования, 1987, т. 25, №3, с. 471-473.
4. Мурзин В.С. Физика космических лучей. - М.: изд-во МГУ, 1970.
5. Хорозов С.А. Сечения неупругих взаимодействий и множественное рождение частиц во взаимодействиях ^4He и ^{12}C с ядрами при 4,5 ГэВ/нуклон. - Инд. дисс. Дубна: ОИЯИ, 1981.

Н.Л.Григоров, И.П.Иваненко, И.Д.Рапопорт, В.Я.Шестоперов,
Ю.В.Басина, П.В.Вакулов, Р.М.Гольнская, Ю.П.Гордеев,
Л.Б.Григорьева, И.П.Кумпан, Л.Г.Мищенко, Л.П.Папина,
В.В.Платонов, Д.М.Подорожный, Г.А.Самсонов, Л.Г.Смоленский,
В.А.Собиняков, Ю.В.Тригубов, И.М.Фатеева, А.Н.Федоров,
Л.А.Хейн, Л.О.Чикова, В.Я.Ширяева, Б.М.Яковлев, И.В.Яшин

ЧАСТИЦЫ ПЕРВИЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ С ЭНЕРГИЕЙ БОЛЕЕ 1 ТэВ
ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТА НА ИСЗ "КОСМОС-1713"
С АППАРАТУРОЙ "СОКОЛ-2"

Препринт НИИЯФ МГУ - 88 - 43/64.
Работа поступила в ОНТИ 22.08.88

Редактор

Э.П.Чикова

Подписано к печати 8.09.88г. Л- 36829.

Печать офсетная. Бумага для множительных аппаратов.

Формат 60x84/16. Уч.-изд.л. - 1,56. Усл.п.л. - 1,5.

Заказ № 4135. Тираж 150 экз.

Бесплатно

Отпечатано в лаборатории офсетной печати
и множительной техники Отдела научно-технической
информации НИИЯФ МГУ

119899, Москва, ГСП