

## ПРОРЫВ В КОСМОС

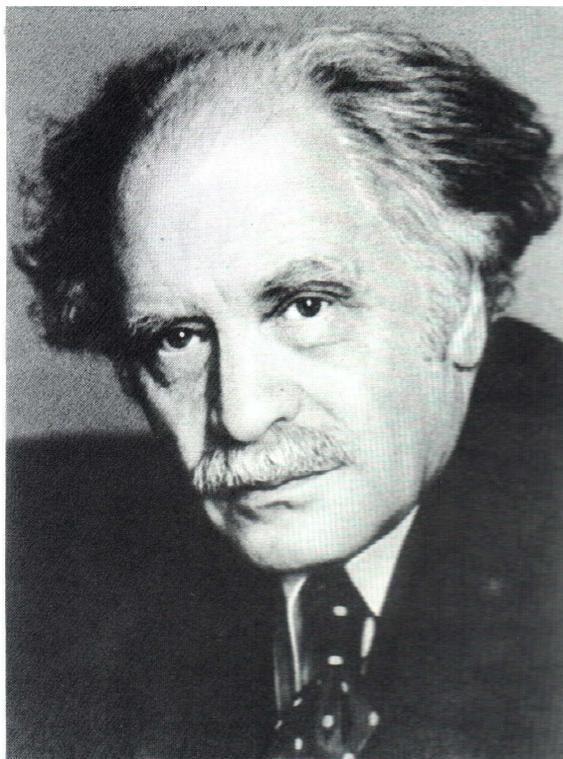
Профессор М.И. ПАНАСЮК,

директор Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д. В. Скобельцына  
Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова

Исследования космоса после запусков первых искусственных спутников Земли позволили ученым сделать выдающееся открытие - обнаружить радиационные пояса нашей планеты. До этого никто не предполагал, что она окружена мощнейшими потоками частиц с гигантскими энергиями, которые могут представлять серьезную угрозу безопасности космическим полетам. Не было данных и о магнитосфере Земли, формирующейся под воздействием потоков солнечной плазмы и межпланетных магнитных полей. Уникальность этого природного явления подчеркивалась отсутствием подобных образований у ближайших небесных тел - Марса, Венеры и Луны. И лишь сейчас стало известно, что они есть у всех планет-гигантов - Юпитера, Сатурна, Нептуна и Плутона. Таким образом, прямые эксперименты в космосе в 50-60-х годах положили начало новой науке - космической физике. У ее истоков стоял выдающийся отечественный ученый - академик Сергей Николаевич Вернов.

Сергей Николаевич родился в Сестрорецке близ Санкт-Петербурга в 1910 г. Он закончил Ленинградский политехнический институт и до Великой Отечественной войны работал в знаменитом Радиевом институте им. В. Г. Хлопина. Затем переехал в Москву и трудился в Физическом институте им. П. Н. Лебедева АН СССР.

В 1940 г. в МГУ им. М. В. Ломоносова по инициативе академика С. И. Вавилова была создана кафедра атомного ядра и радиоактивных излучений. Здесь Вернов начал свою преподавательскую деятельность. В 1944 г. ему присвоили звание профессора, и с тех пор вся жизнь Сергея Николаевича была связана с Московским университетом.



Академик Сергей Николаевич Вернов

В 1946 г. его назначили заместителем директора по науке Научно-исследовательского института ядерной физики (НИИЯФ), созданного при МГУ по инициативе академика

Д.В. Скобельцына, а с 1960 г. С.Н. Вернов — директор этого института, которым руководил до своей кончины в 1982 г.

Космос стал естественным продолжением научных изысканий Сергея Николаевича. Он — ученик выдающегося российского физика, основателя отечественной школы по физике атомного ядра и космических лучей Д.В. Скобельцына. Его главные научные интересы были связаны с изучением космических лучей — частиц сверхвысоких энергий, приходящих к Земле из далеких областей Вселенной. Загадка их происхождения — где, в каких областях они генерируются, из чего состоят и как приобретают столь гигантские энергии — волновала многих ученых первой половины XX в. Сергей Николаевич начинал изучать их с помощью наземных установок и приборов, запускаемых на аэростатах. Затем, вполне естественно, перешел к исследованиям на искусственных спутниках — ведь только они могли дать специалистам возможность изучать космические частицы в среде их «естественного обитания», далеко за пределами атмосферы, которая, конечно, искажает первоначальные характеристики.

Начало истории этих экспериментов полно драматизма, без которого, вероятно, не обходятся выдающиеся научные открытия. В 1956 г. на совещании в АН СССР было решено подготовить проекты экспериментов для первых отечественных спутников. Требования конструкторов космических аппаратов жестко диктовали ограничения по весу и потреблению энергии бортовых приборов. Выбор остановили на газоразрядных счетчиках — надежных, небольших, хорошо зарекомендовавших себя в наземных и аэростатных исследованиях космических лучей. К октябрю 1957 г. приборы были готовы. Но первый спутник полетел без них. Мало того, наши ученые узнали о его запуске лишь из газет. Разочарованию не было предела!

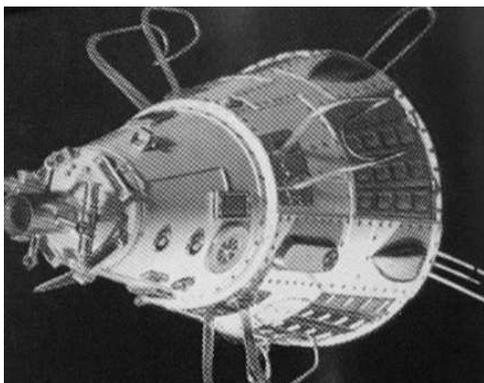
Тогда С.Н. Вернов на приеме у К.Д. Бушуева, заместителя академика С.П. Королева, добился того, что уже на втором спутнике, стартовавшем в ноябре 1957 г., были установлены приборы, изготовленные в НИИЯФ МГУ. Всего десять дней просуществовал этот аппарат на околоземной орбите...

Теперь-то мы знаем: радиационные пояса вокруг нашей планеты располагаются на достаточно больших высотах, «отслеживая» форму силовых линий магнитного поля Земли, которое близко к дипольному. Поэтому спутники, летающие на орбитах в несколько сотен километров, находятся вне зоны интенсивной радиации, лишь иногда задевая ее над Южной Атлантикой вблизи Бразилии. Это район так называемой Южно-Атлантической аномалии, где радиационные пояса «провисают» над Землей, создавая мощные потоки вплоть до высот 200-300 км, но в ограниченном пространстве.

В первом эксперименте на втором отечественном спутнике, чтобы зарегистрировать это явление, информацию о прохождении этой аномалии предполагали передать по радиоканалам. Однако нашим специалистам она была доступна лишь с участков орбиты над территорией СССР,

а участок над Южной Атлантикой оказался вне поля зрения. Тем не менее, показания детекторов на спутнике отличались от ожидаемых характеристик космических лучей — 1 ноября 1957 г. был зарегистрирован всплеск интенсивности, связанный, как стало ясно позднее, с «высыпанием» частиц именно из радиационных поясов во время магнитной бури. Тогда же это явление ученые связали с вторжением солнечных частиц в атмосферу.

Более удачливой оказалась группа Дж. Ван-Аллена из Университета штата Айова (США). О запуске первого советского спутника они узнали на корабле в Тихом океане, занимаясь исследованиями космических лучей. Это известие послужило для американцев толчком к изучению их в космосе. Кстати, в США первый спутник «Эксплорер-1» был запущен 1 февраля 1958 г. (Небезынтересно, что конструктор ракет Вернер фон Браун был готов запустить спутник в 1956 г., но тогда президент Д. Эйзенхауэр запретил использовать третью ступень ракеты-носителя «Юпитер-С», опасаясь усиления военной конфронтации с Советским Союзом.) Эксперименты на «Эксплорере-1» и «Эксплорере-3» позволили американцам обнаружить потоки радиации над нашей планетой, о чем было заявлено 1 мая 1958 г. на заседании Физического общества США.



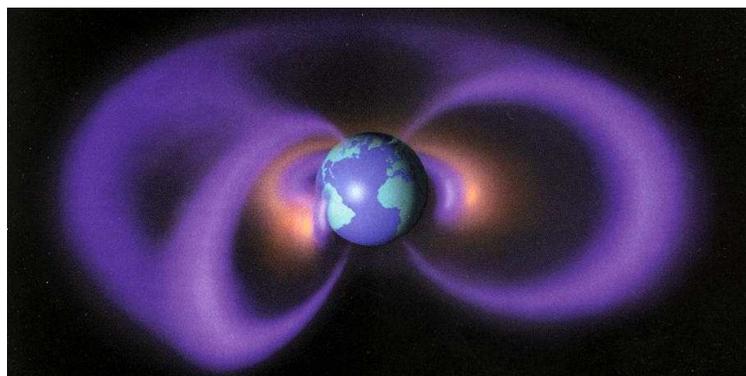
Третий отечественный спутник Земли, запущенный в 1958 году. Установленная на нем аппаратура обеспечила первые комплексные исследования радиационных поясов в большом диапазоне высот.

гигантские тороидальные образования. Кроме электронов и протонов, в их состав входят также ионы и другие элементы, но в значительно меньших количествах. Источником всех этих частиц являются Солнце и ионосфера Земли. Плазма солнечного ветра и ионосферы, попадая внутрь магнитосферы, подвергается ускорению: частицы могут приобретать энергию, в миллионы раз превышающую первоначальную. Наиболее мощные процессы ускорения разыгрываются во время магнитных бурь, вызываемых, как правило, увеличением скорости солнечного ветра во время активных процессов на Солнце.

15 мая 1958 г. С.Н. Вернов с сотрудниками запускает большой по тем временам комплекс аппаратуры для исследования космического излучения на борту третьего отечественного спутника. В ходе этого эксперимента ученые не только подтвердили существование радиационного пояса, открытого Дж. Ван-Алленом, но и обнаружили новый на больших высотах. Кроме того, был исследован их состав. Оказалось, пояс вблизи Земли состоит в основном из протонов, а «внешний» — из электронов.

Радиационные пояса над нашей планетой —

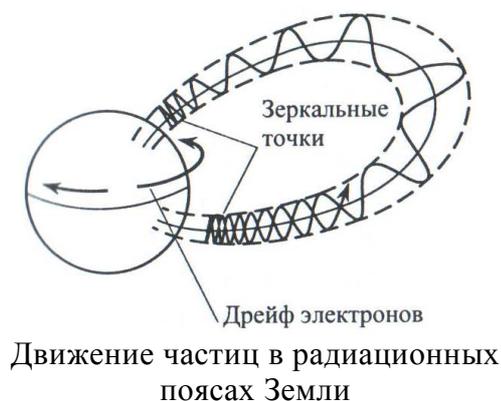
Сергей Николаевич с сотрудниками первыми предложили механизм образования радиационных поясов: космические лучи, взаимодействуя с атмосферой Земли, вызывают ядерные реакции, в результате которых образуются электроны и протоны, захватываемые магнитным полем.



Радиационные пояса Земли

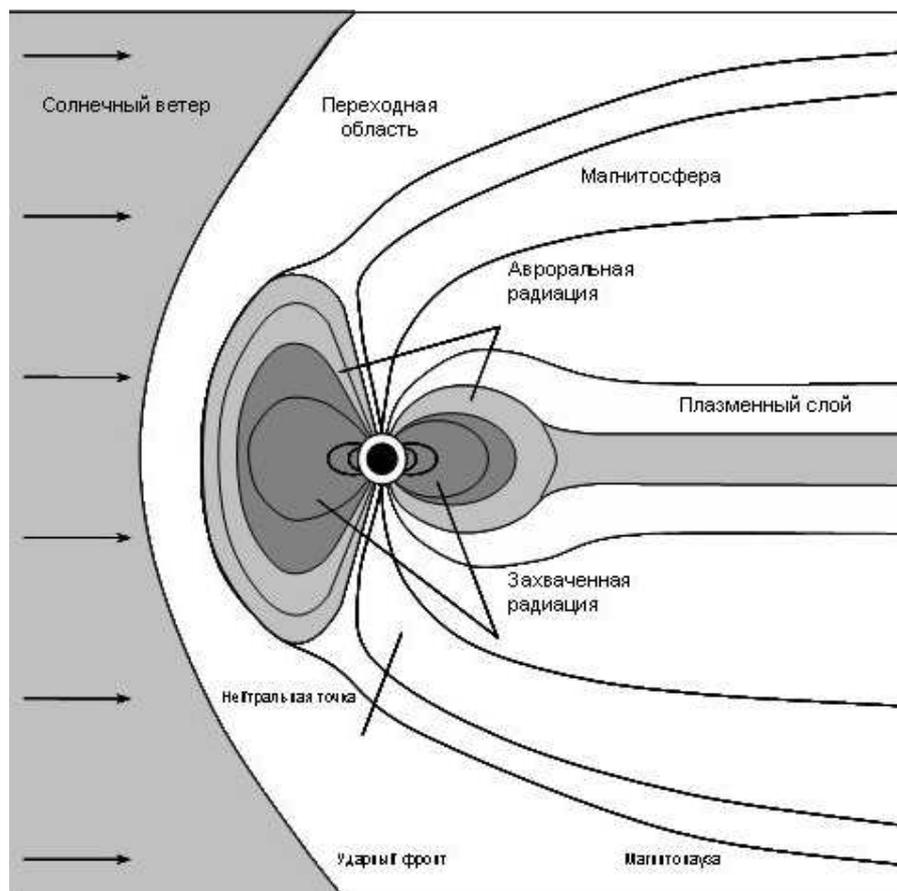
Однако суть открытия была столь неожиданной, что первое время физики полностью не доверяли этой гипотезе. Дело в том, что начало космических исследований совпало с интенсивными испытаниями ядерного оружия. Бомбы взрывали на поверхности Земли и в воздухе. И американские специалисты решили, что радиационные пояса могли возникнуть в результате испытаний в СССР атомного оружия с помощью высотных бомбардировщиков. Оказавшись в 1959 г. в нашей стране, они услышали о подобном предположении от советских коллег, имевших в виду, разумеется, американские испытания. После снятия взаимных подозрений физики убедились в природной уникальности данного феномена.

С середины 1958 г. ядерные испытания были перенесены в ближний космос. США и СССР взорвали там несколько бомб, которые в действительности стали источником дополнительной искусственной радиации в околоземном пространстве. С одной стороны, эти взрывы на многие годы затруднили ученым исследования естественных радиационных поясов, нарушив экологию ближнего космоса, но с другой — создали для физиков уникальную возможность проверить свои гипотезы.



Исследования искусственных поясов проводили параллельно С.Н. Вернов с сотрудниками и группа Дж. Ван-Аллена в засекреченном режиме. И работа в интересах военных играла здесь не последнюю роль. Однако, с точки зрения фундаментальной физики, ядерные испытания в космосе экспериментально доказали справедливость теоретической посылки о характере устойчивого движения заряженных частиц радиационных поясов: они не только вращаются вокруг силовой линии магнитного поля и совершают колебания вдоль них, но и дрейфуют вокруг Земли.

В начале 60-х годов по инициативе Сергея Николаевича был разработан проект парных спутников для комплексного изучения радиационных поясов. И в 1964 г. на околоземную орбиту запустили два таких аппарата «Электрон». Один из них имел вытянутую орбиту, чем обеспечил измерение захваченных частиц и радиации на периферии поясов, а другой (низколетящий) — их внутренних областей. В



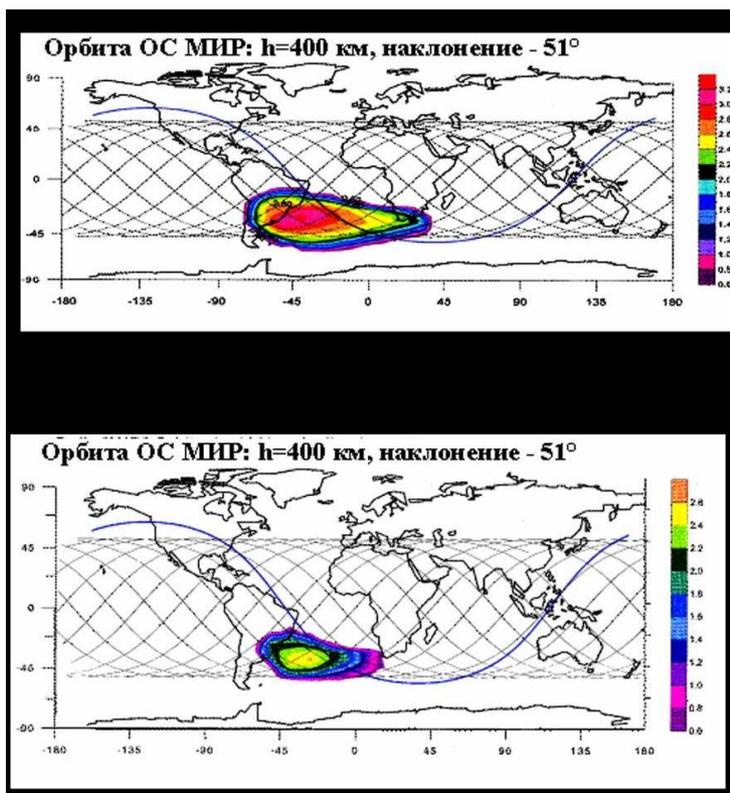
Структура магнитосферы Земли

этом комплексном эксперименте были изучены структура и динамика частиц, связанные с изменением геомагнитной активности. Полученные результаты послужили основой для создания в НИИЯФе МГУ модели окружающей радиации. Они также экспериментально подтвердили теоретически обоснованный к тому времени механизм формирования радиационных поясов (радиальную диффузию) — перенос частиц поперек магнитного поля, возникающий при случайных изменениях давления солнечной плазмы на магнитосферу Земли. Оказалось, этот процесс, наряду с генерацией захваченных частиц космическими лучами, — важнейший механизм их формирования.

В 1958 г. С. Н. Вернов возглавил крупномасштабную программу по изучению радиации и космических лучей вблизи Луны, Венеры и Марса. В 1959 г. были запущены аппараты «Луна-1, 2, 3». На их борту находились газоразрядные и сцинтилляционные детекторы — приборы для регистрации и спектрометрии частиц. Эти зонды пересекли всю область радиационных поясов Земли и дали исчерпывающую информацию о них. Станция «Луна-2» достигла поверхности естественного спутника нашей планеты и представила доказательства отсутствия у него заметного магнитного поля и потоков радиации.

Позднее подобные пионерские эксперименты Сергей Николаевич осуществил на аппаратах, направленных в сторону Венеры и Марса. Они также не обнаружили вблизи них сильных магнитных полей и радиационных поясов. Но если отсутствие магнитного поля у Венеры было

очевидным, то у Марса ученые предполагали наличие слабого магнитного поля. Если бы такое существовало, то там обнаружили бы захваченные заряженные частицы. Я помню, с каким интересом Сергей Николаевич рассматривал в своем кабинете информацию, полученную с борта отечественного аппарата «Марс», достигнувшего его поверхности. Увы! До самого соприкосновения с Красной планетой заметного увеличения потоков радиации не наблюдалось. Итак, до начала 70-х годов, когда американский зонд «Пионер-10» приблизился к Юпитеру, Земля оставалась единственной исследованной планетой в Солнечной системе, имевшей магнитосферу и радиационные пояса.



Южно-Атлантическая аномалия на высоте полета орбитальной станции «Мир» и Международной космической станции в годы минимума (вверху) и максимума (внизу) солнечной активности.

исследования, проведенные впоследствии на орбитальной станции «Мир», показали: потоки радиации в области Южно-Атлантической аномалии испытывают солнечно-циклические вариации, и в годы минимума солнечной активности здесь наблюдаются максимальные ее дозы. На орбитах свыше 400 км они становятся существенными, и риск облучения возрастает.

Так в нашей стране по инициативе С.Н. Вернова родилось новое прикладное научное направление — космическая дозиметрия. С начала полетов и до наших дней дозиметры на борту и пилотируемых, и автоматических аппаратов — неотъемлемый атрибут систем безопасности. Дело в том, что для спутников, состоящих из набора разнообразных материалов и электронных изделий, космос — агрессивная среда. В первую очередь — из-за воздействия радиации, ибо она

С конца 50-х годов в нашей стране стали готовить людей к полетам в космос. Естественно, вопросы радиационной безопасности были одними из главных. И еще до старта Юрия Гагарина коллективу сотрудников, возглавляемому Сергеем Николаевичем, поручили заняться этим. В НИИЯФе создали специальные приборы для измерения радиации, детальные карты распределений радиационных полей вдоль различных орбит и сделали вывод, что на орбитах до 350 км с наклоном до 60° опасность от нее несущественна. На этих высотах облучение возможно лишь при кратковременных пересечениях магнитной аномалии. Однако

может вызывать изменения как поверхностной, так и внутренней структуры твердого тела. Некоторым материалам это грозит изменением их физических свойств, а электронным элементам — выходом из строя.

Существует множество примеров неблагоприятного воздействия облучения на элементы космической техники. Речь идет и о деградации солнечных батарей, приводящей к уменьшению их выходной мощности, и потемнении оптических элементов, и различного рода радиационных пробоях. Известны случаи, когда осуществлявшие съемку земной поверхности спутники возвращались с черной фотопленкой.

Следующий важный шаг в изучении космического излучения был сделан в 1967 г. в многочисленных, так называемых «попутных» экспериментах сначала на аппаратах серий «Молния» и «Космос». Идея установки научной аппаратуры на спутниках специального назначения (военных, коммуникационных и др.) была исключительно плодотворной — она позволила ученым с минимальными затратами получать необходимые данные. В результате с 1967 по 1975 г. было осуществлено более десятка экспериментов по изучению ускорения протонов и электронов в радиационных поясах Земли, позволивших расширить представления о структуре и динамике частиц в геомагнитной ловушке. Оказалось, во время магнитных бурь, когда магнитосфера Земли деформируется под воздействием потоков набегающей солнечной плазмы, в ее внутренних областях за очень короткие промежутки времени происходит ускорение частиц до энергий в десятки и сотни мегаэлектронвольт по сравнению с процессами регулярного ускорения частиц в спокойные периоды. Проблема выявления источников этих частиц была, пожалуй, наиболее важной в 70-80-е годы, когда обнаружили, что наряду с солнечным ветром земная ионосфера является мощным поставщиком плазмы в магнитосферу.

Действительно, если слабые и умеренные магнитные бури генерируются плазменным токовым кольцом, вращающимся вокруг Земли (на расстоянии примерно 3-4 ее радиусов) и состоящим в основном из протонов, то во время сильных бурь основным компонентом кольцевого тока являются ионы кислорода, инжектируемые из ионосферы. Большую роль в исследованиях этих процессов сыграли «попутные» эксперименты на спутниках серии «Горизонт» на геостационарной орбите в 80-90-х годах.

Околосферное пространство заполнено не только частицами радиационных поясов, но и космическими лучами — частицами гигантских энергий, приходящими к нам из далеких областей Вселенной. Скорее всего, они образуются при взрывах сверхновых звезд и ускоряются в процессе распространения в межзвездной среде. В 1958 г. в НИИЯФ МГУ на наземной установке было сделано важное открытие: при энергиях примерно  $10^{15}$  эВ происходит изменение важнейшей характеристики космических лучей — энергетического спектра. В нем появляется

«колени» — переход от пологого к более крутому. Это результат того, что энергия частиц не ускоряется свыше  $10^{15}$  эВ при взрывах сверхновых звезд. С другой стороны, данное явление может быть и следствием их переноса в магнитных полях Вселенной. До сих пор эта проблема — одна из центральных для физики космических лучей.

Поток частиц при энергиях около  $10^{15}$  эВ чрезвычайно мал, поэтому для их регистрации нужны приборы, обладающие очень большой «светосилой». Скажем, для набора приемлемой статистики в области таких энергий необходим прибор массой в несколько тонн. И Сергей Николаевич, когда в середине 60-х годов начались испытания отечественной ракеты «Протон», подготовил с сотрудниками проект экспериментов с аппаратурой весом 2-3 т. Что и было осуществлено. Вместо балласта — песка — ракеты запустили в космос не имевшие аналогов гигантские калориметры, которые перекрыли не только большой диапазон энергий космических лучей от  $10^{12}$  до  $10^{15}$  эВ, но и впервые измерили их химический состав. Полученный тогда энергетический спектр и сегодня служит эталоном — с ним сравнивают результаты всех других экспериментов, осуществленных впоследствии.

Космические лучи генерируются не только при взрывах далеких звезд, но и на ближайшей к нам — Солнце. Образованные на нем частицы имеют гораздо меньшие энергии, чем так называемые галактические космические лучи. Однако во время солнечных вспышек и корональных инжекций в межпланетное пространство выбрасываются огромные массы вещества и образуются частицы достаточно высокой энергии — порядка  $10^8$ - $10^9$  эВ. И ускорение в полной мере пока не определено. Они могут ускоряться и в атмосфере Солнца — в районе активных областей, и во время переноса в межпланетной среде — в процессе взаимодействия с ударными волнами, сопровождающими плазменные высокоскоростные (до 1000 км/с и более) потоки солнечного ветра.

Мониторы солнечных космических лучей, разработанные НИИЯФе МГУ и установленные практически на всех аппаратах; стартовавших к Луне и другим планетам, стали основой многолетней программы изучения генерации энергичных солнечных частиц, организованной С.Н. Верновым в начале 60-х годов. Данные исследования внесли большой вклад не только в развитие фундаментальных знаний о природе ускорений этих частиц, но и послужили основой для создания нормативных моделей радиационной безопасности полетов к дальним планетам.

В 2010 году Сергею Николаевичу Вернову исполнилось бы 100 лет. Отмечая эту дату, мы можем констатировать: с его именем связан прорыв и крупные достижения отечественной науки в космических исследованиях.

По материалам публикации  
в журнале «Наука в России», 2000, № 4, с. 61-66.