

1986) циклах потоки С. к. л. были более слабыми — $\approx 2 \cdot 10^{10}$ см $^{-2}$. В настоящее время, 22-м цикле вновь происходила сильная генерация С. к. л. Суммарный поток от событий, произошедших за 3 года (1989—91), достиг $\leq 5 \cdot 10^{10}$ см $^{-2}$. Второе по мощности событие наблюдалось 29 сент. 1991 (энергия протонов $> 10^{10}$ эВ). С начала непрерывных наблюдений (1956—91) на Земле зарегистрировано 48 событий с релятивистскими протонами $\mathcal{E} \geq 10^9$ эВ). Случаи, когда из Солнца выбрасываются протоны меньших энергий ($\geq 10^7$ эВ), происходят гораздо чаще — от одного до неск. десятков в год, близких к максимуму солнечной активности. Ещё чаще после слабых вспышек регистрируются только потоки нерелятивистских электронов с энергией до 100—200 кэВ.

Механизм ускорения частиц на Солнце остаётся неясным; однако нек-рые характеристики «солнечного ускорителя» известны. Ускорение частиц происходит в импульсной фазе *вспышки на Солнце* в верх. хромосфере или в ниж. короне при плотности плазмы 10^{16} — 10^{18} см $^{-3}$, темп-ре 10^8 — 10^7 К и магн. поле порядка неск. сотен гаусс. Темп набора энергии быстрый, причём ускорение электронов до $\sim 10^7$ эВ и протонов до $\sim 10^8$ эВ может происходить практически одновременно в течение неск. секунд. Полное число ускоренных протонов с $\mathcal{E} > 10^7$ эВ может достигать 10^{34} , а их суммарная энергия — 10^{31} эрг. На долю всех ускоренных частиц, в осн. протонов, приходится неск. процентов от полного энерговыделения во вспышке. Пока неясно, во всех ли достаточно энергичных вспышках происходит ускорение частиц. Из данных по γ -линиям следует, что бывают случаи ускорения частиц на Солнце, не сопровождающиеся адекватными потоками С. к. л. в межпланетном пространстве, и наоборот, иногда наблюдаются большие потоки С. к. л. после вспышек без γ -линий. Отсутствие однозначной связи между числом ускоренных частиц и их частью, выходящей в межпланетное пространство, требует, очевидно, более детального исследования условий генерации и выхода частиц из области ускорения, а также процессов их распространения в межпланетном пространстве. Ускоренные на Солнце частицы заполняют гелиосферу (см. *Межпланетная среда*), двигаясь в регулярном межпланетном магн. поле (ММП) (см. в ст. *Солнечный ветер*) и рассеиваясь на его неоднородностях. Характерный временной профиль С. к. л. имеет быстрый подъём и более плавный спад интенсивности, полная длительность возрастания порядка неск. часов для частиц больших энергий и десятков часов для менее энергичных частиц. Во мн. случаях такой профиль удовлетворительно описывается моделью анизотропной диффузии с импульсной или длительной инжекцией. Из-за спиральной формы силовых линий ММП наиб. благоприятными для наблюдений С. к. л. являются события от вспышек, происходящих вблизи основания силовой линии, соединяющей точку наблюдения с Солнцем. Для Земли это гелиодолготы W 50°—70°. С. к. л. являются одним из компонентов системы *солнечно-земных связей*. В частности, потоки С. к. л., попадая в атмосферу Земли на высоких широтах, вызывают дополнит. ионизацию ионосферы и нарушение радиосвязи. Интенсивные потоки С. к. л. в межпланетном пространстве — один из источников радиационной опасности при космич. полётах.

Лит.: Сомов В. В., Сыроватский С. И., Физические процессы в атмосфере Солнца, вызываемые вспышками, «УФН», 1976, т. 120, с. 217; Исследования солнечной активности и космической системы «Прогноз». Сб. ст., под ред. Р. З. Сагдеева, М., 1984; Проблемы физики космических лучей. Сб. ст., под ред. А. Е. Чудакова, М., 1987. А. И. Сладкова.

СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР — непрерывный поток плазмы солнечного происхождения, распространяющийся приблизительно радиально от Солнца и заполняющий Солнечную систему до гелиоцентрич. расстояний $R \sim 100$ а. е. С. в. образуется при гадоинамич. расширении солнечной короны (см. *Солнце*) в межпланетное пространство. При высоких темп-рах, к-рые существуют в солнечной короне ($\approx 1,5 \cdot 10^6$ К), давление вышележащих

слоёв не может уравновесить газовое давление вещества короны, и корона расширяется.

Первые свидетельства существования пост. потока плазмы от Солнца получены Л. Бирманом (L. Biermann) в 1950-х гг. по анализу сил, действующих на плазменные хвосты комет. В 1957 Ю. Паркер (E. Parker), анализируя условия равновесия вещества короны, показал, что корона не может находиться в условиях гидростатич. равновесия, как это раньше предполагалось, а должна расширяться, и это расширение при имеющихся граничных условиях должно приводить к разгону коронального вещества до сверхзвуковых скоростей (см. ниже). Впервые поток плазмы солнечного происхождения был зарегистрирован на советском космич. аппарате «Луна-2» в 1959. Существование пост. истечения плазмы из Солнца было доказано в результате многомесячных измерений на амер. космич. аппарате «Маринер-2» в 1962.

Ср. характеристики С. в. приведены в табл. 1. Потоки С. в. можно разделить на два класса: медленные — со скоростью ≈ 300 км/с и быстрые — со скоростью 600—700 км/с. Быстрые потоки исходят из областей солнечной короны, где структура магн. поля близка к радиальной. Часть этих областей являются *корональными дырами*. Медленные потоки С. в. связаны, по-видимому, с областями короны, в к-рых имеется значит. тангенциальный компонент магн. поля.

Табл. 1. — Средние характеристики солнечного ветра на орбите Земли

Скорость	400 км/с
Концентрация протонов	6 см $^{-3}$
Температура протонов	$5 \cdot 10^4$ К
Температура электронов	$1,5 \cdot 10^4$ К
Напряжённость магнитного поля	$5 \cdot 10^{-4}$ Э
Плотность потока протонов	$2,4 \cdot 10^8$ см $^{-2}$ ·с $^{-1}$
Плотность потока кинетической энергии	$0,3$ эрг·см $^{-2}$ ·с $^{-1}$

Табл. 2. — Относительный химический состав солнечного ветра

Элемент	Относительное содержание	Элемент	Относительное содержание
H	0,96	Ne	$7,5 \cdot 10^{-8}$
³ He	$1,7 \cdot 10^{-5}$	Si	$7,5 \cdot 10^{-8}$
⁴ He	0,04	Ar	$3,0 \cdot 10^{-8}$
O	$5 \cdot 10^{-4}$	Fe	$4,7 \cdot 10^{-8}$

Помимо осн. составляющих С. в. — протонов и электронов, в его составе также обнаружены α -частицы, высокоионизов. ионы кислорода, кремния, серы, железа (рис. 1). При анализе газов, захваченных в экспонированных на Луне фольгах, найдены атомы Ne и Ar. Ср. относительный хим. состав С. в. приведён в табл. 2. Ионизация, состоящая из вещества С. в. соответствует тому уровню в короне, где время рекомбинации мало по сравнению со временем расширения ($R = 1,5$ — $2 R_{\odot}$). Измерения ионизации, темп-ры ионов С. в. позволяют определять электронную темп-ру солнечной короны.

В С. в. наблюдаются разл. типы волн: ленгмюровские, вистлеры, ионно-звуковые, магнито-звуковые, альвеновские и др. (см. *Волны в плазме*). Часть волн альвеновского типа генерируется на Солнце, часть — возбуждается в межпланетной среде. Генерация волн сглаживает отклонения ф-ции распределения частиц от максвелловской и в совокупности с воздействием магн. поля на плазму приводит к тому, что С. в. ведёт себя как сплошная среда. Волны альвеновского типа играют большую роль в ускорении малых составляющих С. в. и в формировании ф-ции распределения протонов. В С. в. наблюдаются также контактные и вращательные разрывы, характерные для замагниченной плазмы.