

приводят к облегчению диффузии атомов кислорода, уменьшению энергии связи между атомами кислорода, железа и частичному восстановлению наиболее мелких частиц (< 1 мкм) магнетита до вюститита ($2\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow 6\text{FeO} + \text{O}_2$) и затем до железа ($2\text{FeO} \rightarrow \alpha\text{-Fe} + \text{O}_2$).

Таким образом, обработка подводных базальтов сдвиговым воздействием под повышенным квазивсесторонним давлением приводит к изменению характера температурной зависимости намагниченности насыщения. Установлено, что уменьшение размеров ферромагнитных включений базальтов в результате раздробления их в процессе обработки в условиях ВД + СД, с одной стороны, способствует при нагреве на воздухе увеличению интенсивности окисления титаномагнетита с образованием магнетита и ильменита. С другой стороны, образование в результате обработки в условиях ВД + СД сильно деформированных участков с высокой плотностью дислокаций в частицах приводит к фазовой неустойчивости оксидов железа на этих участках с частичным восстановлением их до железа.

Литература

1. Трухин В.И., Багин В.И., Жилыева В.А. и др. // Физика Земли. 2000. № 6. С. 26.
2. Глухих И.И., Шерендо Т.А., Шерстобитова Л.А., Смирнов Ю.П. // Матер. IV Всесоюзного съезда по геомагнетизму. 7–8 октября 1991. Владимир–Суздаль. Ч. III. С. 83.
3. Валеев К.А., Абсалямов С.С. // Физика Земли. 2000. № 3. С. 59.
4. Абсалямов С.С. // Там же. № 2. С. 51.
5. Абсалямов С.С., Гареева М.Я. // Матер. XVIII международной школы-семинара «Новые магнитные материалы микроэлектроники». 24–28 июня 2002. Москва. С. 611.
6. Максимова В.И. // Там же. С. 547.
7. Бриджмен П.В. Исследование больших пластических деформаций и разрыва. М., 1955.
8. Мулюков Х.Я., Шарипов И.З., Абсалямов С.С. // Приб. и техн. эксперимента. 1998. № 3. С. 149.
9. Абсалямов С.С., Мулюков Х.Я. // Докл. РАН. 2000. 375, № 4. С. 469.
10. Gleiter H. // Nanostruct. Mater. 1992. No. 1. P. 1.

Поступила в редакцию
29.01.03

АСТРОНОМИЯ

УДК 537.591.5

ПРОТОНЫ СОЛНЕЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ НА ОРБИТЕ ЗЕМЛИ И ИХ СВЯЗЬ С ИСТОЧНИКАМИ

И. В. Гецелев, В. П. Охлопков, Е. А. Чучков

(НИИЯФ)

E-mail: okhlopkov@tasped.sinp.msu.ru

По данным наземных и спутниковых измерений в 1956–2001 гг. рассчитаны суммарные за цикл солнечной активности (СА) флюенсы протонов солнечных космических лучей (СКЛ) с энергией более 30 МэВ для каждого десятиградусного интервала гелиодолгот в диапазоне $E90^\circ - W150^\circ$ от центрального меридиана. Отмечена существенная неравномерность распределения СКЛ по гелиодолготе. Рассмотрены особенности этого распределения.

Вводные замечания и используемые данные

Для изучения процессов генерации и распространения СКЛ в межпланетном пространстве, а также для различных прикладных целей весьма полезным является сопоставление результатов анализа их различных характеристик с расположением областей инжекции солнечных протонных событий (СПС) на Солнце. В предлагаемой работе для 19–23 циклов СА рассматривается зависимость суммарного за цикл СА флюенса протонов СКЛ от гелиодолготы их источника. Привязка к источникам частиц СКЛ сложна и трудоемка, и к настоящему времени отработаны достаточно корректные методические подходы, которые использовались в различных каталогах [1–4], Solar-Geophysical Data (USA, Boulder, Colo-

rado), интернете [5]. Для наших целей мы брали эти данные из каталогов [1–5].

С целью получения необходимых для этого исследования исходных данных был выполнен анализ имеющихся к настоящему времени сведений по СКЛ, охватывающих период с 1956 по 2001 г. Наиболее полным и почти непрерывным оказался ряд данных по солнечным протонам с энергией более 30 МэВ [6–8]. Следует отметить некоторую неоднородность этих сведений. Данные по 19-му циклу получены на основе результатов косвенных измерений потоков протонов с помощью риометров или аппаратуры, установленной на шарах-зондах. В 20-м цикле СА появились более надежные спутниковые измерения. К недостаткам следует отнести использование различной регистрирующей аппаратуры и то, что в не-

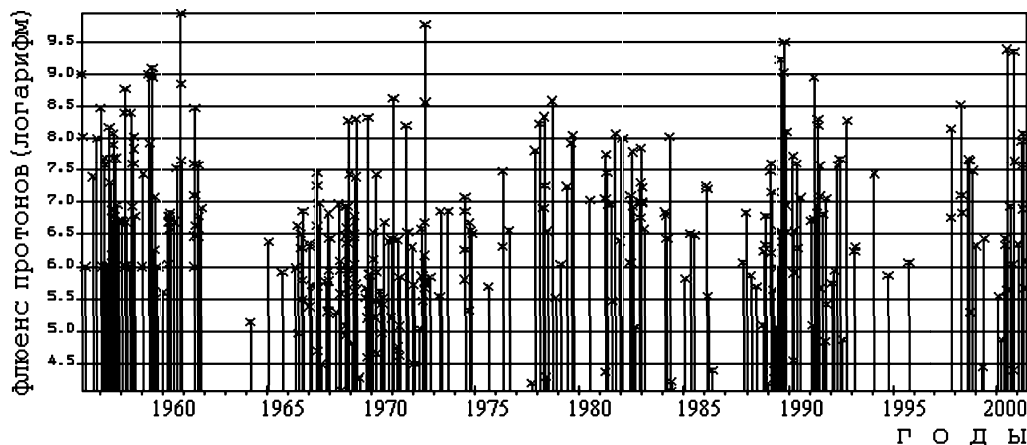


Рис. 1. Временное распределение флюенсов протонов СКЛ с энергией более 30 МэВ

которых случаях ввиду отсутствия непрерывного мониторинга при расчетах применялись приближенные эмпирические соотношения, связывающие флюенс с максимальным значением потока протонов в СПС. Изучение этих данных выполнялось различными группами ученых из разных стран, проводились специальные конференции (особенно по 19-му циклу СА), где были определены достоверные данные по флюенсам протонов в СПС.

Не подлежат сомнению значения флюенсов протонов в СПС в 21–23 циклах СА, полученные нами на основе анализа однородного ряда данных. Эти измерения потоков протонов с энергией более 30 МэВ выполнены на ИСЗ IMP-8 и охватывают период с 1973 по 2001 г. [9]. Поскольку для некоторых СПС не удалось определить более или менее достоверно расположение источника на Солнце, эти СПС были исключены из рассмотрения.

В результате в качестве исходных данных для исследования использовались 296 СПС. Временное их распределение и величины флюенсов протонов с энергией более 30 МэВ показаны на рис. 1. Метод исследования предусматривает распределение СКЛ по гелиодолготе оценивать главным образом по суммарному флюенсу частиц, инжектированному в каждом из выбранных диапазонов долгот.

Результаты расчетов и их обсуждение

На рис. 2 представлены нормированные значения флюенсов протонов СКЛ с энергией более 30 МэВ в десятиградусных интервалах долгот соответственно для 19-го, 20-го, 21-го, 22-го, 23-го и 19–23-го циклов СА. Нормировка осуществлялась относительно просуммированных по всем долготам значений флюенсов за рассматриваемый период времени.

Из данных рис. 2 видно, что во всех рассматриваемых циклах солнечной активности в околоземном пространстве были зарегистрированы протоны СКЛ, источники которых находились в тех или иных десятиградусных интервалах в диапазоне гелиодолгот от $E90^\circ$ до $W150^\circ$. Распределение флюенсов протонов

в этом диапазоне долгот существенно неравномерно. Обращает на себя внимание тот факт, что для значительной доли флюенсов (около 60% за период с февраля 1956 по июнь 2001 г.) источники располагались вблизи центрального меридиана. Причем, если в нечетных циклах большая доля флюенсов протонов СКЛ (свыше 50% в 19-м цикле и более 40% в 23-м цикле СА) относилась к западному десятиградусному интервалу $W0^\circ - 10^\circ$, то в четных циклах (свыше 70% в 20-м цикле и более 40% в 22-м цикле) — к восточному десятиградусному интервалу $E0^\circ - 10^\circ$.

Несколько другое более равномерное долготное распределение реализовалось в 21-м цикле СА. Следует отметить, что 21-й цикл СА с точки зрения СКЛ является самым слабым. Флюенс протонов СКЛ с энергией более 30 МэВ, зарегистрированный в 21-м цикле СА, в несколько раз меньше, чем в остальных циклах и составляет меньше 5% от суммарного флюенса за весь рассматриваемый период времени.

Принято считать, что для распространения СКЛ в межпланетном пространстве оптимальным долготным интервалом инжекции частиц является $W50^\circ - 60^\circ$. Из данных рис. 2 видно, что в этом интервале долгот в каждом цикле СА было инжектировано всего несколько процентов от суммарного флюенса протонов с энергией более 30 МэВ. Исключение составляет 21-й цикл СА, в котором самая большая доля флюенсов (около 25%) была инжектирована в этом оптимальном интервале долгот. Однако указанный факт по изложенным ранее причинам не меняет общей картины, что видно из данных рис. 2 (сумма всех циклов). Доля флюенсов протонов в интервале долгот $W50^\circ - 60^\circ$ за весь рассматриваемый период составляет менее 3%.

Представляет определенный интерес сопоставление по результатам измерений вблизи Земли суммарных флюенсов частиц, инжектированных в восточном и западном полушариях Солнца. Оказалось, что суммарный за период с февраля 1956 по июнь 2001 г. флюенс протонов СКЛ от западного полу-

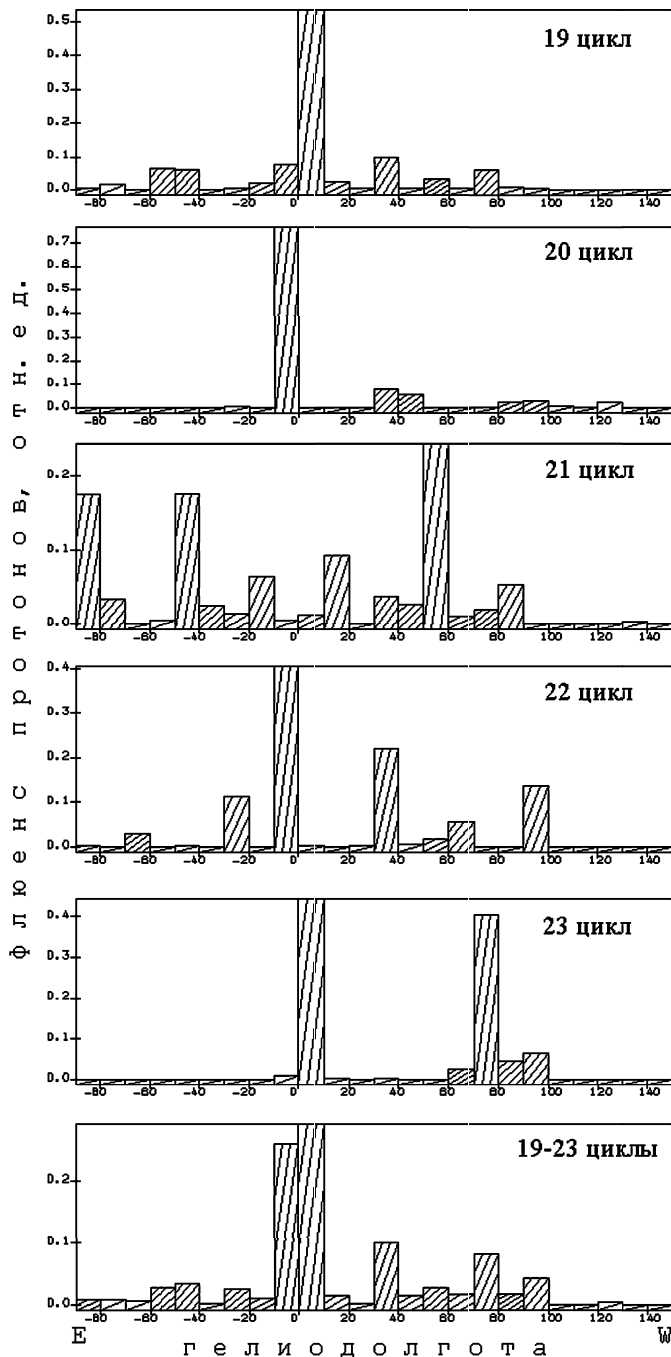


Рис. 2. Распределение флюенсов протонов СКЛ с энергией более 30 МэВ по долготе источников. Флюенсы нормированы к суммарному по всем долготам за рассматриваемый период значению флюенса протонов. Гелиодолгота отсчитывается от центрального меридиана

шария более чем в 1.5 раза превышает суммарный флюенс от восточного полушария. Такой результат определяется данными 19-го цикла СА, в котором превышение составляет 3.5 раза, и 23-го цикла с превышением более чем в 10 раз. В то же время в 21-м цикле значения флюенсов примерно одинаковые, а в 22-м и 20-м циклах флюенсы протонов восточного полушария превышают флюенсы западного полушария соответственно в 1.6 и 4.5 раза.

Несколько замечаний о вкладе залимбовых СПС. Анализ имеющихся данных показал, что сколь-

ко-нибудь заметных значений флюенсов протонов от восточных залимбовых вспышек в окрестностях Земли зарегистрировано не было. Вблизи восточного края лимба в интервале $E80^{\circ}-90^{\circ}$ только в слабом 21-м цикле СА зафиксированы несколько СПС, доля флюенса которых от просуммированного за цикл по всем долготам значения флюенса протонов составляет 18%.

Почти 10%-й вклад от суммарного за 19–23 циклы СА флюенса протонов западных СПС внесли залимбовые события, источники которых находились в диапазоне от $W90^{\circ}$ до $W150^{\circ}$. Для 19-го и 21-го циклов СА этот вклад не превышает 1%, в 20-м цикле — около 30%, а в 22-м цикле — свыше 40%. При анализе полученных результатов необходимо учитывать, что в 20-м и 22-м циклах СА вклад восточных СПС в суммарный флюенс значительно больше, чем западных. Поэтому, если использовать отношение к суммарному флюенсу от обоих полушарий, то вклад от залимбовых СПС не превышает 6% в 20-м цикле СА, 12% в 22-м цикле и 5% за период 19–23 циклов СА.

В ряде наших работ [10, 11] рассмотрено распределение источников СКЛ по долготам Кэррингтона. Целью этих исследований было определить активность различных областей инжекции СКЛ по регистрируемому в околоземном космическом пространстве флюенсам протонов в СПС и оценить вероятность прихода этих частиц в заданную точку межпланетного пространства при совмещении различных кэррингтоновских долгот с центральным меридианом. При оценках учитывались долготы от $E30^{\circ}$ до $W90^{\circ}$, так как предполагалось, что точки наблюдения могут достигнуть, главным образом, частицы, инжектированные в этом диапазоне долгот. Такое предположение было сделано в 60–70-е годы и проверено сначала по данным 19-го, а затем и 20-го цикла СА. Представлял интерес проверить справедливость этого предположения для 21–23 циклов СА, а также 19-го и 20-го циклов СА с учетом уточнения флюенсов СПС и привязки к источникам, выполненного в последние десятилетия.

Из данных рис. 2 можно определить, что СПС, источники которых расположены на восточных долготах свыше $E30^{\circ}$, дали вклад в суммарный за 19–23 циклы СА флюенс протонов примерно 6%, в 20-м и 23-м — менее 1%, в 22-м цикле 2%, в 19-м цикле 14%, а в 21-м цикле 40%.

Для полноты картины проведены расчеты по гелиодолготному распределению количества СПС. Результаты показаны на рис. 3. Из данных этого рисунка видно, что в отличие от флюенсов во всех циклах СА источники большинства СПС расположены на западных долготах.

Гелиодолготное распределение источников СПС рассматривалось также в работах [12–15]. В этих работах использовались измерения на поверхности Земли с помощью нейтронных мониторов. В рабо-

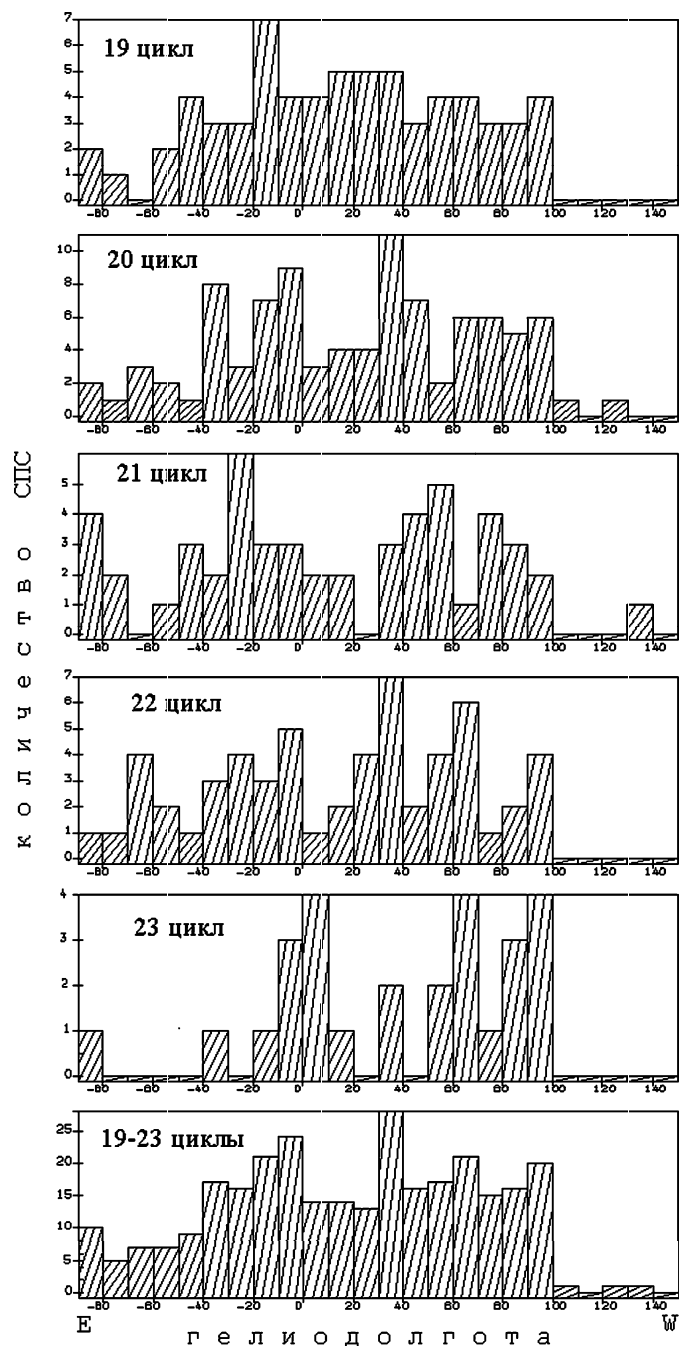


Рис. 3. Распределение количеств СПС по долготе источников

те [12] — результаты регистрации на различных мониторах за период с 28.02.1942 по 08.12.1982 г. (33 СПС), в работе [13] — данные монитора, расположенного в г. Апатиты за период с 07.07.1966 по 02.05.1998 г. (38 СПС). Авторы работы [12] отмечают, что источники СПС занимают область около 180° по долготе, почти симметричную относительно гелиодолготы $W60^\circ$. По данным работы [13] количество СПС имеет максимум в диапазоне долгот $\pm 30^\circ$ от оптимального долготного интервала $W50^\circ-60^\circ$, но отмечается, что большое число событий произошло на удалении до 100° от этого оптимального интервала.

За рассматриваемый нами период времени (с февраля 1956 по июнь 2001 г.) было зарегистрировано

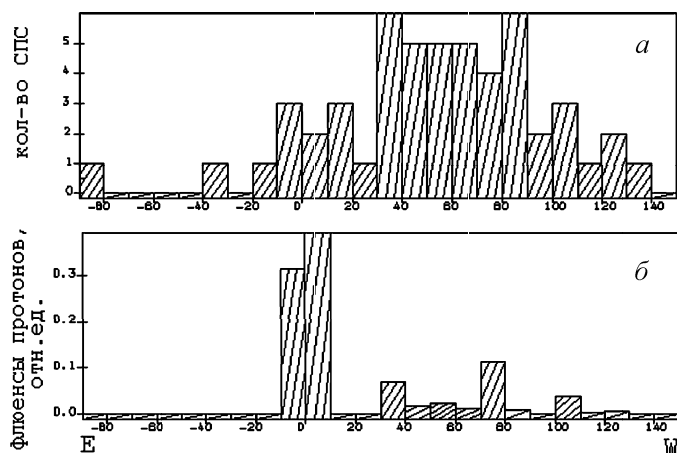


Рис. 4. (а) распределение количеств СПС по долготе источников, зарегистрированных нейтронными мониторами за период с февраля 1956 по июнь 2001 г., (б) распределение флюенсов протонов СКЛ с энергией более 30 МэВ для СПС, зарегистрированных нейтронными мониторами за тот же период времени. Флюенсы нормированы к суммарному по всем долготам за это время значению флюенса

57 возрастаний на нейтронных мониторах. Распределение этих событий по гелиодолготам показано на рис. 4. Можно отметить, что данные рис. 4 не противоречат выводам работ [12, 13].

Однако нам представляется, что активные долготные интервалы Солнца более целесообразно оценивать не по количеству СПС, а по суммарному флюенсу от всех СПС в каждом интервале. В связи с этим было бы интересным рассмотреть вопрос: не противоречат ли данные, представленные на рис. 4, данным, показанным на рис. 2 и 3. Не вызывает сомнения, что СПС, в которых зарегистрированы возрастания нейтронных мониторов, являются самыми мощными и в протонах СКЛ с энергией более 30 МэВ. Анализ показал, что в этих событиях флюенсы протонов с энергией более 30 МэВ имеют почти всегда большую величину, чем в СПС, в которых не зарегистрированы возрастания нейтронными мониторами.

Данные рис. 4, б, где представлено долготное распределение суммарных флюенсов протонов с энергией более 30 МэВ от всех событий, в которых зарегистрированы возрастания нейтронными мониторами, могут свидетельствовать о соотношении суммарных флюенсов протонов и количества СПС. Видно, что самые большие величины флюенсов протонов СКЛ связаны с источниками, расположенными в долготных интервалах $W0^\circ-10^\circ$ и $E0^\circ-10^\circ$. Их общая доля составляет 70% от суммарного по всем долготам флюенса протонов. В долготном интервале $W0^\circ-10^\circ$ зарегистрированы 2 гигантских события — 12.11.1960 г. с флюенсом протонов $9 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$ и 14.07.2000 г. с флюенсом $2.5 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$, которые дали 40%-й вклад в суммарный флюенс. События 4.08.1972 г. с флюенсом $6 \cdot 10^9 \text{ протон} \cdot \text{см}^{-2}$ и 19.10.1989 г. с флюенсом $3.2 \cdot 10^9 \text{ протон} \cdot \text{см}^{-2}$ определили 30%-й вклад от источников, расположенных в долготном интервале $E0^\circ-10^\circ$.

Заключение

В заключение сформулируем основные выводы данной работы.

1. Доля суммарного флюенса протонов СКЛ с энергией более 30 МэВ для всего рассмотренного периода времени (1956–2001 гг.) в интервале долгот источников СПС $E10^\circ - W10^\circ$ составляет 70%, т. е. подавляющую часть.

2. Доля флюенсов протонов с энергией более 30 МэВ в СПС для всего рассмотренного периода времени (1956–2001 гг.) в интервале долгот $W50^\circ - 60^\circ$ составляет менее 3%.

3. Вклад в суммарный флюенс протонов от источников залимбовых СПС составляет 5% за период 19–23 циклов СА.

4. Вклад суммарных флюенсов от восточных долгот более $E30^\circ$ составляет 6% за период 19–23 циклов СА.

5. В отличие от долготного распределения флюенсов протонов с энергией более 30 МэВ (с максимумом в центральной зоне) источники большинства СПС расположены на западных долготах.

Литература

1. Акиньян С.Т., Базилевская Г.А., Ишков В.Н. и др. Каталог солнечных протонных событий. М., 1982.
2. Базилевская Г.А., Вашенюк Э.В., Ишков В.Н. и др. Каталог энергетических спектров солнечных протонных событий 1970–1979 гг. М., 1986.
3. Базилевская Г.А., Вашенюк Э.В., Ишков В.Н. и др. Солнечные протонные события. Каталог 1980–1986 гг. Данные

- наблюдений частиц и электромагнитных излучений. М., 1990.
4. Sladkova A.I., Bazilevskaya G.A., Ishkov V.N. et al. Catalogue of solar proton events 1987–1996. М., 1998.
 5. http://nssdc.gsfc.nasa.gov/space/space_physics_home_fr.html.
 6. Гецелев И.В., Ткаченко В.И. // Проблемы безопасности полетов. 1973. № 10. С. 58.
 7. Гецелев И.В., Тимофеев Г.А., Губарь Ю.И. и др. // Косм. иссл. 1987. 25, № 3. С. 473.
 8. Feynman J., Armstrong T.P., Dao-Gibner L., Silverman S. // J. of Spacecraft and Rockets. 1990. 27, No. 4. P. 403.
 9. <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/space/netdex.html>.
 10. Гецелев И.В., Подзолко М.В. Материалы Международной конф. «Современные проблемы солнечной цикличности». ГАО РАН. Пулково; СПб, 26–30 мая 1997. С. 310.
 11. Гецелев И.В., Красоткин С.А., Охлопков В.П., Чучков Е.А. // Солнце в эпоху смены знака магнитного поля. ГАО РАН. Пулково; СПб., 2001. С. 131.
 12. Мирошниченко Л.И., Петров В.М. Динамика радиационных условий в космосе. М., 1985.
 13. Вашенюк Э.В. Релятивистские протоны в солнечных космических лучах. Дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Апатиты, 2000. С. 241.
 14. Van Hollebeke M.A.I., Ma Sung L.S. // Solar Phys. 1975. 41. P. 189.
 15. Базилевская Г.А., Сладкова А.И. // Геомагнетизм и аэрономия. 1986. 26, № 2. С. 187.

Поступила в редакцию
26.09.02

УДК 521.13

ЗАВЕРШЕНИЕ КЛАССИФИКАЦИИ ОБЛАСТЕЙ ВОЗМОЖНЫХ ДВИЖЕНИЙ В ЗАДАЧЕ ДВУХ НЕПОДВИЖНЫХ ЦЕНТРОВ Л. ЭЙЛЕРА

И. А. Герасимов, С. В. Жуйко

(ГАИШ)

E-mail: zhucom@sai.msu.ru

В работе проведен полный анализ классификации областей возможных движений в задаче двух неподвижных центров Л. Эйлера. Показано, что окончательная классификация содержит 47 типов областей двумерных движений и 26 типов — пространственных.

Постановка задачи

Задача двух неподвижных центров была введена Л. Эйлером [1] в 1760 г. и до сих пор является одной из главных задач небесной механики. Рассмотрим ее постановку. Предположим, что в пространстве находятся две неподвижные материальные точки (центры) P_1 и P_2 с массами m_1 и m_2 , под действием ньютоновского притяжения которых движется материальная точка P с массой m_p . Длину отрезка $[P_1, P_2]$ будем считать равной $2c$.

Допустим, что прямоугольная система координат $OXYZ$ выбрана таким образом, что P_1 и P_2 располагаются на оси OX и равноудалены от начала координат, т. е. их координаты будут равны $(-c, 0, 0)$ и $(c, 0, 0)$ соответственно. Тогда величины r_1 и r_2 , определяемые формулами

$$r_1 = \sqrt{(x+c)^2 + y^2 + z^2}, \quad r_2 = \sqrt{(x-c)^2 + y^2 + z^2},$$

будут представлять собой расстояния точки P от центров P_1 и P_2 .