



Мирошниченко Леонтий Иванович — выпускник кафедры космических лучей физического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова (1961), доктор физико-математических наук. Стал студентом физфака в год 200-летия МГУ (1955), закончил учёбу на факультете в год 250-летия со дня рождения М. В. Ломоносова (1961). В настоящее время — заведующий Сектором гелио-экологических связей ИЗМИРАН —

Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн имени Н. В. Пушкова Российской академии наук. В течение многих лет его исследовательская и научно-организационная работа тесно связана с учёными СССР, России, Украины и других стран (НИИЯФ и ГАИШ МГУ, ФИАН, ИКИ, МИФИ, ИПГ, ФТИ, ПГИ-Апатиты, ИКФИА-Якутск, ИСЗФ-Иркутск, Институт геофизики Университета в Мехико, астрофизические обсерватории Киева и Одессы, обсерватория АН Китая в Нанкине). Основные научные интересы: физика Солнца, солнечных вспышек и солнечных космических лучей, ускорение частиц, динамика и прогноз радиационной опасности в космосе, геофизические эффекты солнечных космических лучей, физика солнечно-земных связей, космическая погода. Автор 235 статей и нескольких монографий по физике солнечных космических лучей, радиационной опасности в космосе и физике солнечно-земных связей. Среди них: «Солнечные космические лучи» (совместно с Дорманом Л. И.), «Космические лучи в межпланетном пространстве», «Солнечная активность и Земля», «Динамика радиационной опасности в космосе» (совместно с Петровым В. М.), «Solar Cosmic Rays», «Radiation Hazard in Space».



Л. И. Мирошниченко

ФИЗИКА СОЛНЦА И СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫХ СВЯЗЕЙ



ББ 22.3877
УДК 551.5:539.104 (078)

Автор
Л.И. Мирошниченко

Научный редактор профессор М.И. Панасюк

Физика Солнца и солнечно-земных связей: Учебное пособие. Под ред. М.И. Панасюка. – М.: Издательство МГУ, 2011. – 175 сс., 90 рис., 8 таблиц.

ISBN 978-5-902008-06-3

Книга написана на основе одноименного курса лекций, прочитанных в 2008-2011 гг. для студентов кафедры физики космоса физического факультета МГУ. В ней представлены основные сведения по физике Солнца, солнечной активности, структуре и свойствах межпланетного пространства, об электромагнитных и радиационных условиях в околоземном космическом пространстве. Уделено должное внимание генерации корпускулярного излучения Солнца, включая ускорение солнечных частиц до энергий космических лучей. На современном уровне автор кратко изложил накопленные знания по проблеме воздействия солнечной активности на магнитосферу, ионосферу и нейтральную атмосферу Земли. Вместе с феноменологическим описанием гелиогеофизических явлений изложены методы их наблюдений, анализа, физической интерпретации, моделирования и возможностей прогнозирования. Отмечены важные астрофизические следствия, вытекающие из данных по физике Солнца и солнечно-земной физике. Подчеркиваются фундаментальные и прикладные аспекты проблемы солнечно-земных связей, включая воздействие на биосферу Земли, перспективы космонавтики, их мировоззренческую роль.

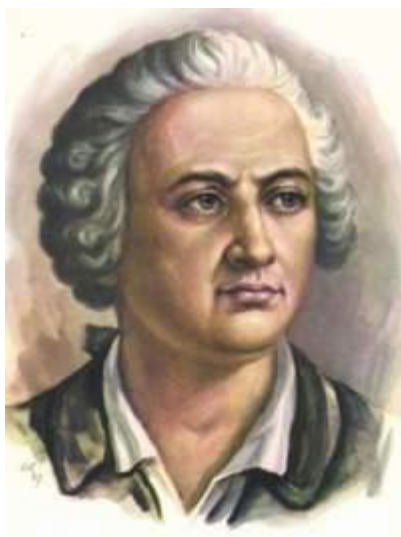
Книга представляет собой учебное пособие, предназначенное для студентов старших курсов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений, специализирующихся в области космических исследований, солнечной физики и геофизики. Она может оказаться полезной и для специалистов смежных областей, а также для инженеров-конструкторов космической промышленности, занятых созданием космических аппаратов и систем, планированием и осуществлением космических полетов.

Учебное пособие создано в рамках реализации национального проекта «Формирование системы инновационного образования МГУ имени М.В. Ломоносова» и в связи с 300-летием со дня рождения великого русского ученого-энциклопедиста, поэта, мыслителя и просветителя.

978-5-902008-06-3
5-902008-06-X

©Научно-исследовательский институт
ядерной физики МГУ, 2011

Рисунки на первой странице обложки: Логотипы двух российских спутников для исследования Солнца – КОРОНАС-Ф (слева) и КОРОНАС-ФОТОН.



*«Стихотворство — моя утеха,
физика — мое упражнение»*

М.В. Ломоносов

Не бездарна та природа,
Не погиб ещё тот край,
Что выводит из народа
Столько славных то-и-знай, -
Столько добрых, благородных,
Сильных любящей душой,
Посреди тупых, холодных
И напыщенных собой!

Н.А. Некрасов («Школьник», 1856)

СОДЕРЖАНИЕ - ПО ЗАПРОСУ (В СВЯЗИ С УСЛОВИЯМИ КОПИРАЙТА) .
ОБРАЩАЙТЕСЬ К АВТОРУ.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Авакян С.В. Физика солнечно-земных связей: Результаты, проблемы и новые подходы. *Геомагнетизм и аэрономия*, 2008, т.48, №4, с.435-442.
- Авдони́на Е.Н., Лукьянов В.Б. Гелиогеофизические эффекты в результатах измерения радиоактивности методами жидкостного сцинтилляционного счёта и статистика радиоактивного распада. – *Биофизика*, 1995, т.40, №4, с.871-881.
- Акасофу С., Чепмен С. Солнечно-земная физика, тт. 1, 2. М.: Мир, 1974, 1975.
- Бакал Дж. Нейтринная астрофизика. М., Мир, 1993, 623 сс.
- Бреус Т.К. Влияние солнечной активности на биологические объекты. Автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора физико-математических наук. – Москва, ИКИ РАН, 2003, 32 с.
- Будько Н., Зайцев А., Карпачев А., Козлов А., Филиппов Б. Космическая среда вокруг нас. Троицк, Издательство Тривант, 2006, 232 с.
- Вишневский В.В., Рагульская М.В., Самсонов С.Н., Подлатчикова Т.В., Григорьев П.Е. Синхронный гелиобиофизический телекоммуникационный эксперимент «Гелиомед» 2006-2007. - Материалы 7-й Международной конференции «Космос и биосфера».- Крым, Судак, Октябрь 2007, с.83-85.
- Владимирский Б.М., Темурьянц Н.А. Влияние солнечной активности на биосферу-ноосферу. Москва, МНЭПУ, сс.374, 2000.
- Владимирский Б.М., Темурьянц Н.А., В.С. Мартынюк. Космическая погода и наша жизнь. Изд-во «Век-2», Фрязино, сс.224, 2004.
- Гершберг Р.Е. Активность солнечного типа звезд главной последовательности. Одесса, «Астропринт», 2002, 688 с.
- Дергачев В.А. Воздействие солнечной активности на климат. *Известия РАН, серия физич.*, 2006, т.70, 3106 с.1544-1548.
- Дорман, Л.И., Мирошниченко Л.И. Солнечные космические лучи. М., Физматгиз, 1968.
- Ермолаев Ю.И. Комментарий к статье «N. Gopalswamy, S. Yashiro, and S. Akiyama "Geoeffectiveness of halo coronal mass ejections". *Geophys. Res.*, 2007, v.112, A06112, doi: 10.1029/2006JA012149». - *Космические исследования*, 2008, т.46, №6, с.571-572.
- Мигулин В.В., Мирошниченко Л.И., Обридко В.Н. Солнечно-земная физика: Проблемы и перспективы. - *Вестник Академии Наук СССР*, 1987, №10, с.83-89.
- Мирошниченко Л.И. Космические лучи в межпланетном пространстве. М., Наука, 1973.
- Мирошниченко Л.И. Солнечная активность и Земля. М., Наука, 1981.
- Мирошниченко Л.И., Петров В.М. Динамика радиационных условий в космосе. М., Энергоатомиздат, 1985, 152 с.
- Мирошниченко Л.И., С.Н. Карпов. Космофизические факторы и регистрация редких событий на Баксанском Подземном Сцинтилляционном Телескопе. – *Геомагнетизм и аэрономия*, 2004, т.44, №5, с.601-606.
- Модель Космоса. В 2 томах, под редакцией М.И.Панасюка и Л.С. Новикова. М., НИИЯФ МГУ, 2007.
- Ожередов В.А., Бреус Т.К. Новые подходы к статистическому анализу рядов длительных наблюдений гелио-геомагнитной активности и медико-биологических показателей, реагирующих на нее. - *Геофизические процессы и биосфера*. 2008, т.7, №1, с.27-32.
- Ожередов В.А. Исследование солнечно-земных связей с помощью оптимизационных алгоритмов. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук. – Москва, ИКИ РАН, 2010, 30 с.
- Панасюк М.И., Калмыков Н.Н., Ковтюх А.С., Кузнецов Н.В., Куликов Г.В., Курт В.Г., Ныммик Р.А., Т.М. Роганова. Радиационные условия в космическом пространстве. М., НИИЯФ МГУ, 2006, 130 сс.

- Паркер Е.Н. Динамические процессы в межпланетном пространстве. М., Мир, 1965.
- Постнов К.А., Засов А.В. Курс общей астрофизики. М., Физический факультет МГУ, 2005, 192 с.
- Потапов А.А. и Черногор Л.Ф. Физические процессы в нелинейной системе Космос-Земля: Каналы воздействия на биосферу. - *Нелинейный мир*, 2010, т.8, №6, с.347-360.
- Пудовкин М.И., Козелов В.П., Лазутин Л.Л., Трошичев О.А., Чертков А.Д. Физические основы прогнозирования магнитосферных возмущений. Л., «Наука», 1977. 312 с.
- Пытьев Ю.П. Методы математического моделирования измерительно-вычислительных систем. М., Физматлит, 2004, 400 с.
- Рагульская М.В., Хабарова О.В. Влияние солнечных возмущений на человеческий организм. - *Биомедицинская радиоэлектроника*, 2001, №2, с.5-15.
- Рагульская М. В. Синергетические аспекты поведения биологических систем при воздействии внешних полей. - *Биомедицинские технологии и радиоэлектроника*, 2005, №1-2, с.57-68.
- Радиационные условия в космическом пространстве. Учебное пособие. Под редакцией М.И. Панасюка. М., НИИЯФ МГУ, 2006, 130 сс.
- Солнечная и солнечно-земная физика. Иллюстрированный словарь терминов. М., Мир, 1980.
- Топтыгин И.Н. Космические лучи в межпланетных магнитных полях. М., Наука, 1983.
- Хундхаузен А. Расширение короны и солнечный ветер. М.: Мир, 1976.
- Черногор Л.Ф. Физика Земли, атмосферы и геокосмоса в свете системной парадигмы. – *Радиофизика и радиоастрономия*, 2003, т.8, №1, с.59-106.
- Удальцова Н.В., Коломбет В.А., Шноль С.Э. Возможная космофизическая обусловленность макроскопических флуктуаций в процессах разной природы. Институт биофизики АН СССР, Пушкино-на-Оке. 1987, 96 с.
- Шабанский В.П., Веселовский И.С., Кропоткин А.П. Физика межпланетного и околоземного пространства. М.: Изд-во МГУ, 1981.
- Шноль С.Э. Макроскопические флуктуации с дискретным распределением амплитуд в процессах различной физической природы. - *Итоги науки и техники. Общие проблемы физико-химической биологии*. ВИНТИ, 1985, №5. с.130-201.
- Эртель С. Космофизические корреляции творческой активности в истории культуры. – *Биофизика*, 1998, т. 43 (4), с.736-741.

- J. Beer, St. Baumgartner, B. Dittrich-Hannen, J. Hauenstein, P. Kubik, Ch. Lukasczyk, W. Mende, R. Stellmacher and M. Suter. Solar Variability Traced by Cosmogenic Isotopes. In: *The Sun as a Variable Star: Solar and Stellar Irradiance Variations* (eds. J.M. Pap, C. Fröhlich, H.S. Hudson and S.K. Solanki), Cambridge University Press, 1994, 291-300.
- Bonanno, A., Schlattl, H., Patern, L. The age of the Sun and the relativistic corrections in the EOS. *Astronomy and Astrophysics*, 2002, v.390, p.1115-1118.
- Ermakov V.I. and Stozhkov Yu.I. Cosmic ray fluxes in the atmospheric processes. - *Proc. ISCS 2003 Symposium, "Solar Variability as an Input to the Earth's Environment"*, Tatranska Lomnica, Slovakia, 23-28 June 2003, ESA SP-535, September 2003, p.359-362.
- Ertel S. Space weather and revolutions. Chizhevsky's heliobiological claim scrutinized. - *Studia Psychologica*. 1996, v.38, No. 1-2, p. 3-22.
- Hoyt, D. V., and K. H. Schatten (1998a). "Group sunspot numbers: A new solar activity reconstruction. Part 1." *Solar Physics* **179**: 189-219.
- Hoyt, D. V., and K. H. Schatten (1998b). "Group sunspot numbers: A new solar activity reconstruction. Part 2." - *Solar Physics* **181**: 491-512.
- Kane R.P. Sun-Earth relation: Historical development and present status – A brief review. *Adv. Space Res.*, 2005, v.35, p.866-881.
- Kirkby J. Cosmic rays and climate. - CERN Colloquium, 4 June 2009.

- Kuzhevskij B.M., Gan W.Q., and L.I. Miroshnichenko. The role of nuclei-nuclei interactions in the production of gamma-ray lines in solar flares. - *Chinese J. of Astronomy and Astrophysics*, 2005, v.5, No.3, p.295-301.
- Miroshnichenko, L.I. Solar Cosmic Rays. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands, 480 pp., 2001.
- Miroshnichenko, L.I. Radiation Hazard in Space. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands, 238 pp., 2003.
- Miroshnichenko L.I. and Perez-Peraza J.A. Astrophysical Aspects in the Studies of Solar Cosmic Rays (Invited Review). - *International Journal of Modern Physics A (IJMPA)*, 2008, v.23, No.1, p.1-141.
- Miroshnichenko L.I. Solar Cosmic Rays in the System of Solar-Terrestrial Relations (Review). *J. of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* (Special Issue of ISROSES Proceedings), 2008, v.70, p.450-466
- Priest, E. and Forbes, T. Magnetic Field Reconnection (MHD Theory and Applications). Cambridge University Press, pp.520, 2000 (In Russian: MAIK, Moscow, 2004).
- Roble R.G. On solar-terrestrial relationships in the atmospheric electricity. *J. Geophys. Res.*, 1985, v.90, No.D4, p.6000-6012.
- Somov, B.V. Physical Processes in Solar Flares. Dordrecht, Boston, London; Kluwer Academic Publishers, pp.248, 1992.
- Somov, B.V. Fundamentals of Cosmic Electrodynamics. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp.364, 1994.
- Somov, B.V. Plasma Astrophysics: 1. Fundamentals and Practice. 2. Reconnection and Flares. Springer, 2006.
- Wright, J.M. National Space Weather Program: The Implementation Plan, Washington, D.C., Off. Fed. Coord. Meteorol. Serv. Supp. Res., FCM-P31, 1997.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ: ПРОБЛЕМА СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫХ СВЯЗЕЙ.....	4
1.1. Природа гелио-геофизических возмущений.....	4
1.2. Данные наблюдений и основные направления исследований.....	6
2. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛНЦА.....	10
2.1. Солнце как звезда.....	10
2.2. Строение Солнца.....	10
2.3. Химический состав, температура и плотность.....	12
2.4. Источник энергии.....	14
2.5. Понятие о гелиосфере.....	15
2.6. Методы изучения Солнца и гелиосферы.....	17
3. СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ.....	21
3.1. Строение солнечной атмосферы.....	21
3.2. Расширение короны и солнечный ветер.....	24
3.3. Солнечные вспышки.....	26
3.4. Корональные выбросы вещества.....	30
3.5. Солнечная активность и ее цикличность.....	32
3.6. Прогноз будущих солнечных циклов.....	35
4. СТРУКТУРА И ДИНАМИКА МЕЖПЛАНЕТНОЙ СРЕДЫ.....	38
4.1. Расширение короны и солнечный ветер.....	38
4.2. Глобальное магнитное поле Солнца.....	39
4.3. Межпланетное магнитное поле.....	40
4.4. Флуктуации межпланетного магнитного поля.....	42
5. УСКОРЕНИЕ ЧАСТИЦ НА СОЛНЦЕ.....	48
5.1. Сценарии ускорения частиц на Солнце.....	48
5.2. Основные механизмы ускорения.....	50
5.3. Ускорение частиц при магнитном пересоединении.....	52
5.4. Стохастическое ускорение.....	54
5.5. Ускорение ударными волнами.....	56
5.6. Комбинированное ускорение СКЛ.....	59
5.7. Вспышки, СМЕ и два класса солнечных протонных событий.....	60
6. УСКОРЕННЫЕ ЧАСТИЦЫ В АТМОСФЕРЕ СОЛНЦА.....	65
6.1. Ядерные реакции в атмосфере Солнца.....	65
6.2. Нейтроны и гамма-излучение.....	67
6.3. Астрофизические следствия и приложения.....	69
6.4. Локализация источников ускорения.....	73

7. ПЕРЕНОС ЧАСТИЦ В ГЕЛИОСФЕРЕ.....	76
7.1. Энергичные частицы в гелиосфере.....	76
7.2. Основные понятия теории переноса.....	78
7.3. Плотность энергии и перенос энергичных частиц.....	80
7.4. Теория переноса солнечных космических лучей.....	81
7.5. Ударные волны и перенос солнечных частиц.....	83
7.6. Энергичные частицы и генерация волн в межпланетной плазме.....	85
7.7. Перенос частиц в крупномасштабных магнитных структурах.....	86
7.8. Солнечные частицы на больших расстояниях от Солнца.....	88
8. ЭНЕРГИЧНЫЕ ЧАСТИЦЫ В ГЕОСФЕРЕ.....	92
8.1. Атмосфера Земли и космические лучи.....	92
8.2. Ионизация и проводимость атмосферы.....	95
8.3. Генерация космогенных изотопов.....	96
8.4. Образование нитратов.....	98
8.5. Образование и динамика озонового слоя.....	101
8.6. Глобальная электрическая цепь.....	104
8.7. Космические лучи – триггер тропосферных процессов?.....	106
8.8. Другие атмосферные эффекты космических лучей.....	108
9. ИЕРАРХИЯ СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫХ СВЯЗЕЙ.....	114
9.1. Экстремальные солнечные события и магнитные бури.....	115
9.2. Основные характеристики магнитных бурь.....	116
9.3. Энергетика магнитосферы.....	120
9.4. Динамика захваченной радиации в магнитосфере Земли.....	123
9.5. Солнечные «сигналы» в атмосфере и литосфере.....	127
9.6. Солнечно-земные связи на службе космической погоды.....	131
10. ВЛИЯНИЕ СОЛНЦА НА БИОСФЕРУ.....	133
10.1. Современные концепции и фундаментальные проблемы.....	133
10.2. Роль геомагнитных пульсаций.....	137
10.3. Космические ритмы в биосфере.....	140
10.4. Особенности гелиобиологических ритмов.....	142
10.5. Активность Солнца и творческая активность.....	145
10.6. Экономические «волны Кондратьева».....	147
11. БУДУЩЕЕ СОЛНЕЧНО-ЗЕМНОЙ ФИЗИКИ.....	149
11.1. Солнечная активность и точные физические измерения.....	149
11.2. Гелиобиология и медицина.....	153
11.3. Магнито-биологический эффект.....	155
11.4. Перспективы космонавтики.....	157
11.5. Прогнозирование космической погоды.....	160
11.6. Космический корабль «Земля».....	163
ЛИТЕРАТУРА.....	167
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	170
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	171