

Ереванский Государственный Университет

Кафедра ядерной физики

Магистрский тезис

**Исследование солнечно-суточной вариации
космических лучей по данным Нор-Амбердского
нейтронного монитора.**

**Научный руководитель: доктор физ-мат. наук, профессор
Чилингарян А. А.**

Студент: Абрамян Д. В.

Ереван, 2002

Введение

Мы живем в атмосфере Солнца(гелиосфера), в которой непрерывно дует ветер. Скорость его очень большая, она достигает 10^3 км/с, однако плотность частиц мала, в среднем концентрация равна $\langle n_p \rangle = (5-10) \text{ см}^{-3}$. Поток этих ионизованных частиц от Солнца, который по сути является движущейся солнечной плазмой, принято называть солнечным ветром. Сейчас с помощью экспериментов на межпланетных станциях надежно установлено, что Солнце непрерывно испускает поток протонов, различных ядер и электронов.

Солнечный ветер непостоянен по плотности и скорости частиц, его средняя скорость равна $\langle u \rangle = 320$ км/с, а плотность 8 см^{-3} , но разброс значений этих параметров велик. Иногда ветер стихает, его плотность может упасть в 10 раз, в других случаях плазма сгущается до $n_p = 50 \text{ см}^{-3}$. У земли поток протонов солнечного ветра $\langle I \rangle = 2,5 \cdot 10^8 \text{ см}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$. Плотность потока частиц падает с удалением от Солнца как $1/r^2$, а скорость почти не зависит от r . Общий поток кинетической энергии солнечного ветра составляет 10^{28} эрг/с. В составе солнечного ветра есть все элементы присутствующие на поверхности Солнца: $n_{\alpha} = 0,05 n_p$, $n_{Z>2} \leq 5 \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-3}$.

Солнечный ветер “уносит” с собой силовые линии солнечного магнитного поля (“вмороженное” в плазму поле), которые растягиваются ветром в радиальном направлении. Однако, из-за вращения Солнца, силовые линии закручиваются в спираль Архимеда ($r = \langle u \rangle \varphi / \omega$, где ω - угловая скорость вращения Солнца, а r и φ - гелиоцентрические координаты). На Земле, на расстоянии 1 АЕ, силовые линии направлены под углом 90° с Запада, а напряженность магнитного поля равна $10^{-4} - 10^{-5}$ Гс. Плотность энергии магнитного поля на много меньше плотности энергии плазмы, и поэтому поле не оказывает существенного влияния на ее движение.

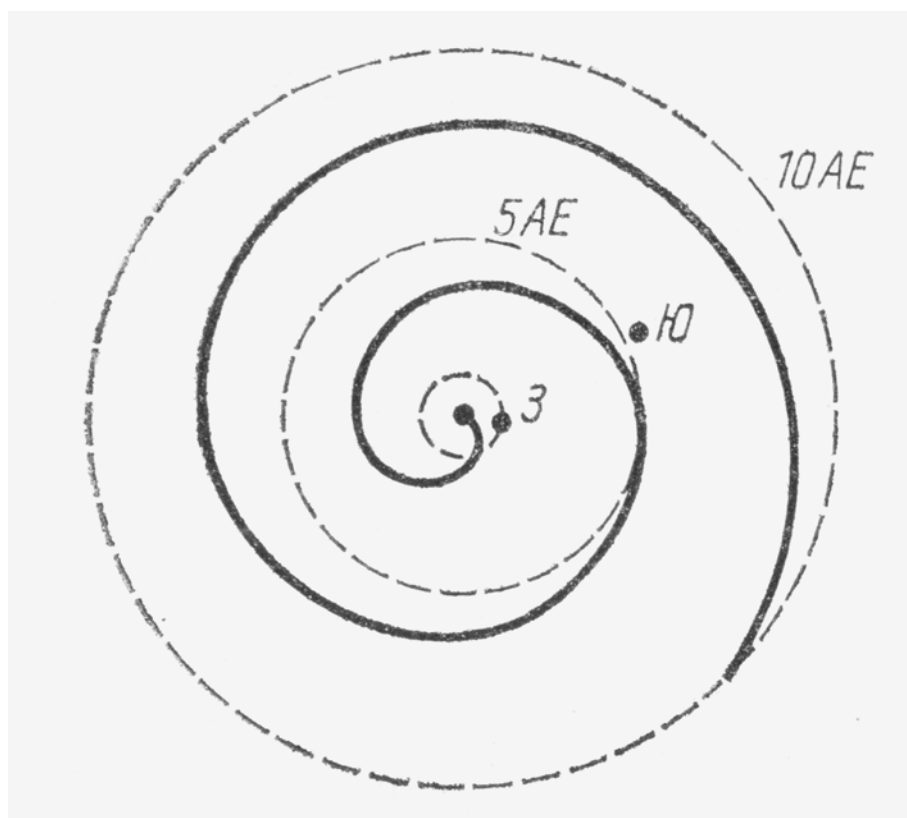


Рис. 1.

Архимедова спираль.

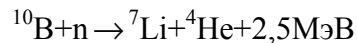
Глава 1.

Вариации интенсивности космических лучей.

Каждый момент времени характеризуется своей интенсивностью космических лучей в гелиосфере. За пределами гелиосферы космическое излучение относительно постоянно. За время после открытия вариаций (1926) были обнаружены 22-летние, 11-летние, годовые, 27-дневные (вызванные вращением Солнца), солнечно-суточные вариации (вызванные вращением Земли), эффекты магнитных бурь (форбуш-эффекты), вариации атмосферного происхождения. На поверхности Земли амплитуда вариаций, как правило, мала.

При измерениях в глубине атмосферы всегда имеют дело со вторичными компонентами космического излучения.

Для регистрации нейтронов применяют детекторы локальной генерации нейтронов-нейтронные мониторы. Они состоят из блока свинца, в котором генерируются вторичные нейтроны, замедлителя из полиэтилена и нейтронных счетчиков, наполненных газом BF₃, обогащенным изотопом ¹⁰B. Эти нейтроны поглощаются ядрами ¹⁰B, в результате чего вылетает α-частица. Она ионизирует атомы газа BF₃, в результате чего возникает электрический импульс, который и регистрируется.



Нейтроны образуются космическими нуклонами и ядрами с энергией выше 1ГэВ при расщеплении ядер атомов атмосферы. Поэтому изучение вариаций нейтронов позволяет исследовать часть первичного спектра от области высокоширотного обрезания (на больших широтах, как известно, геомагнитное поле мало, что позволяет регистрировать частицы с относительно малой энергией) до нескольких десятков гигаэлектронвольт.

Целью же данной работы являлось исследование солнечно-суточной вариации, которое было произведено в результате обработки данных с Нор-Амбердского нейтронного монитора.

Глава 2.

Солнечно-суточная вариация.

На ряду с другими периодическими вариациями, солнечно-суточная вариация обладает наименьшим периодом. Ее период равен земным суткам. Эти вариации имеют амплитуду 0,3-0,5% в нейтронной компоненте.

Как уже указывалось выше, радиальное магнитное поле в Солнечной системе закручено в архимедову спираль из-за вращения Солнца. В результате взаимодействия плазмы солнечного ветра с геомагнитным полем, возникает анизотропия магнитных условий в окрестностях Земли. Поток галактических космических лучей тоже становится анизотропным, тяготеющим к трубкам магнитного поля, и как уже говорилось выше, этот поток падает на Землю с Запада под углом 90° к линии Солнце - Земля, то есть фактически имеет радиальную направленность. Из-за вращения Земли он вызывает вариацию с суточным периодом и с максимумом интенсивности около 18 час. местного времени. Из-за непериодических вариаций КЛ обусловленных активностью Солнца фаза суточной вариации перемещается к более поздним или более ранним часам, поэтому для обработки данных был выбран относительно спокойный период солнечной активности-январь 2001 года.

В результате фитирования исходных поминутных данных с Нор-Амбердского нейтронного монитора были вычислены амплитуда и фаза соответствующие солнечно-суточной вариации. Фитирующая функция искалась в виде

$$F(t)=C+asin(\omega t+\varphi)=C+Acos\omega t+Bsin\omega t,$$

где $A=asin\varphi$, $B=acos\varphi$, а $\omega=2\pi/T=2\pi/1440=\pi/720$.

Параметры А, В и С были вычислены в результате минимизации методом наименьших квадратов

$$\chi^2 = \frac{1}{n-3} \sum_{i=1}^n \frac{[y_i - F(t_i)]^2}{y_i},$$

машинной обработкой пакетом Mathematica, программа которой приведена в конце дипломной работы.

В итоге фаза солнечно-суточной вариации определялась как $\varphi=\arctg(A/B)$, а амплитуда $a=(A^2+B^2)^{1/2}$.

Вычисления проводились отдельно для каждого дня за весь январь 2001г. Полученные данные приведены в Таблице 1.

Там также представлены значения для приведенного критерия

$$\chi^2 = \frac{1}{n-3} \sum_{i=1}^n \frac{[y_i - F(t_i)]^2}{y_i}, n=1440.$$

Здесь тройка в знаменателе обусловлена количеством параметров фита А,В иС,а 1440 есть количество минут в сутках. Среднее значение приведенного критерия $\langle \chi^2 \rangle = 4.6$, что говорит о хорошей точности произведенных вычислений.

Полученное среднее значение фазы солнечно-суточной вариации за январь месяц 2001г. равняется $\langle \varphi \rangle = -0.17$, что если учесть, что началом дня считался полдень, соответствует 18час.40мин. местного времени.

Средняя амплитуда солнечно-суточной вариации $\langle a \rangle = 102$. В среднем она составляет 0.4% от средней интенсивности космических лучей для каждого дня января.

Наконец ,приведена сравнительная характеристика дисперсий

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{1440} (y_{ij} - \bar{y}_j)^2}{1439}}, j=1,2,\dots,30$$

для каждого дня ,до и после извлечения суточных вариаций.Как видно из таблицы, после извлечения солнечно -суточной вариации дисперсия уменьшается,что указывает на возможность использования этих данных для последующего анализа непериодических вариаций, коррелированных с солнечной активностью, который представляет собой большой интерес.

Средние значения для дисперсий равны соответственно $\langle \sigma_1 \rangle = 363$ и $\langle \sigma_2 \rangle = 353$, до и после извлечения солнечно-суточных вариаций. Таким образом, относительное уменьшение среднего разброса значений составляет 0.04%.

N	φ	a	χ^2	σ с сут. вар.	σ без сут. вар.
1	0.867316	172.189	4.40	366.131	345.293
2	-0.848566	147.765	5.45	397.657	383.685
3	-0.128386	77.5969	4.91	368.856	364.753
4	-0.268139	39.4145	5.05	371.310	370.263
5	-0.171471	75.1687	4.89	368.359	364.505
6	-0.621881	142.823	4.90	378.810	365.109
7	-0.423571	136.596	4.89	377.870	365.316
8	0.427437	63.2061	4.85	365.600	362.867
9	-0.424755	45.5727	2.94	283.912	282.312
10	-0.53422	51.2484	2.96	285.495	283.185
11	-0.298861	72.9866	4.20	341.340	337.416
12	-1.26875	50.0103	4.98	370.012	368.319
13	0.41684	74.2503	3.86	326.652	322.405
14	0.972102	86.9281	4.94	369.860	364.725
15	-0.27365	95.2512	4.97	372.192	366.048
16	-0.344449	118.207	4.75	367.765	358.141
17	0.992922	124.37	4.48	357.682	346.702
18	-0.739796	93.0167	4.72	361.080	355.048
19	-0.602395	178.511	3.97	350.960	327.475
20	-0.30578	57.8419	4.19	339.960	337.491
21	0.232705	116.883	4.33	353.166	343.360
22	-1.32105	131.101	5.40	392.967	381.876
23	0.566897	246.58	4.86	400.450	360.499
24	0.0580632	153.825	4.37	359.289	342.430
25	-1.13408	132.874	5.36	390.591	379.123
26	-0.656787	55.4433	5.05	371.843	369.771
27	1.35453	30.4447	5.15	375.000	374.374
28	-1.26003	80.4084	4.88	368.780	364.373
29	-0.106646	102.479	4.77	366.837	359.609
30	0.064336	57.3252	4.95	369.280	367.055

Таблица 1. Значения фазы, амплитуды, приведенного χ^2 и дисперсии с суточной вариацией и без нее.

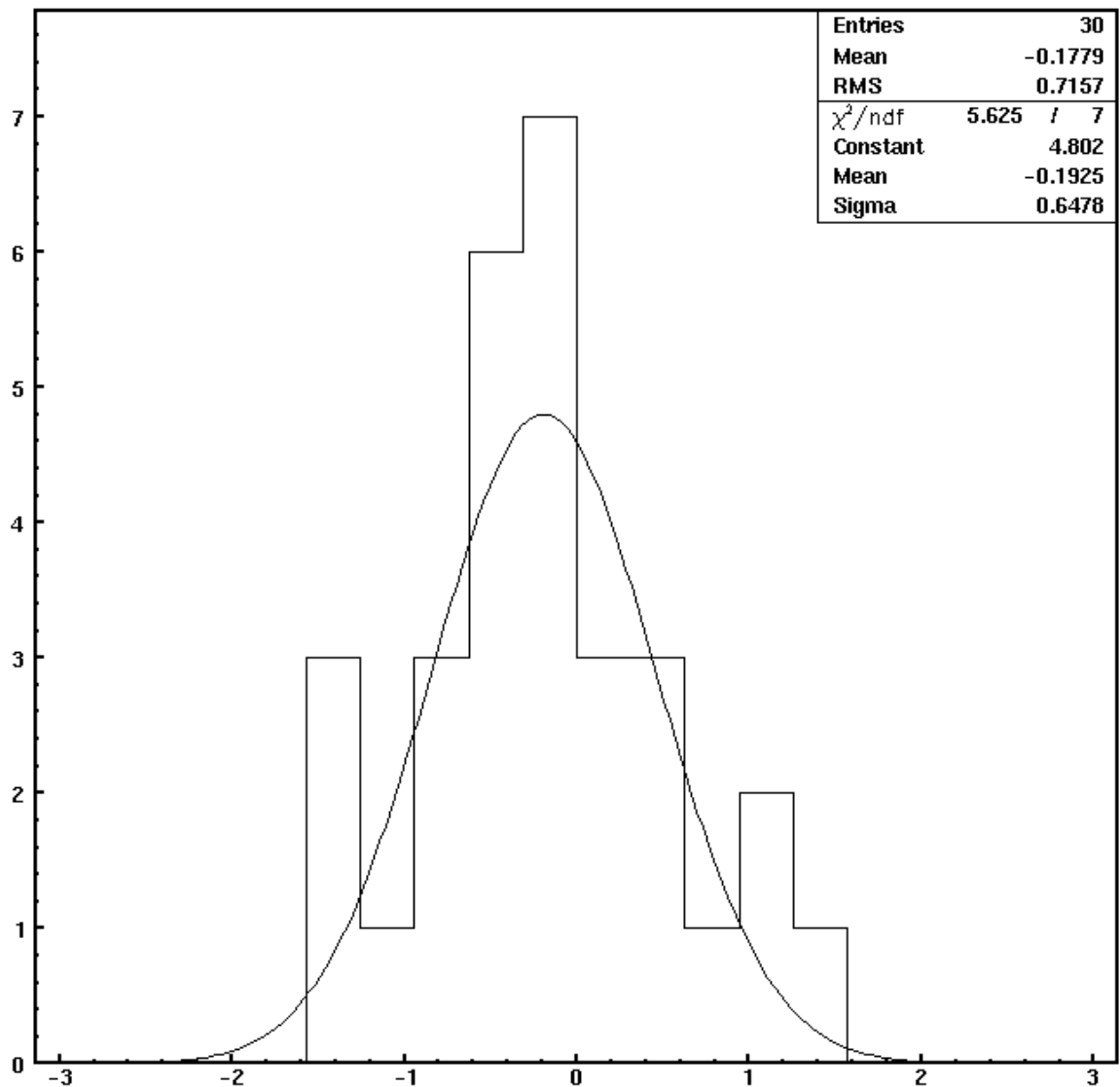


Рис. 2.
Распределение фаз солнечно-суточных вариаций.

Литература

- 1. В. С. Мурзин: Введение в физику космических лучей, М.1988.**
- 2. Л. И. Дорман: Вариации галактических космических лучей, М.1975.**
- 3. Э. Гибсон: Спокойное Солнце, М.1977.**
- 4. Дж. Тейлор: Введение в теорию ошибок, М.1985.**
- 5. M. L. Duldig: Australian Cosmic Ray Modulation Research, 2000**

