

Анализ облучения ядрами ^{12}C

Первичные данные об облучении

На нуклотроне ВБЛВЭ ОИЯИ (г. Дубна) ускорены ядра ^{12}C и после их перезарядки сформирован пучок ядер ^{12}N с энергией 1.2 ГэВ на нуклон. В пучке ядер ^{12}N с примесью ядер ^3He , ^7Be , ^{10}C облучены камеры ядерной фотоэмульсии. Интенсивность облучения составляла ядер/см². В работе [///] приведен ионизационный спектр ядер вторичного пучка, который был получен в сцинтилляционном мониторе (рис.1).

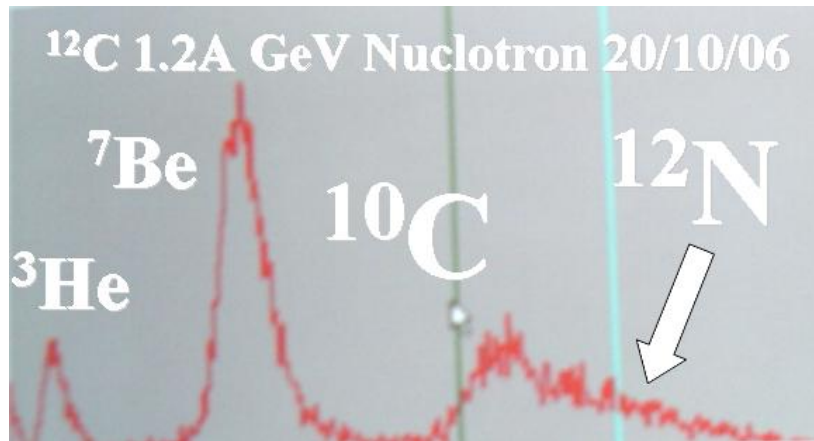


Рис.1. Зарядовые спектры со сцинтилляционного монитора при формировании вторичного пучка с кратностью $Z_{pr}/A_{pr} = 5/12$ в реакции перезарядки $^{12}\text{C} \rightarrow ^{12}\text{N}$ на канале 3v.

Просмотр и отбор событий

В фотоэмульсионной группе имеется //////////////// пластинок.

К марту 2009 г. просмотрено 3 пластинок (№6,10,11). Просмотр делался в группе **ОФВЭ, ФИАН**. Поиск ядерных взаимодействий осуществлялся путем прослеживания пучковых следов в эмульсионных слоях. Этот метод обеспечивает получение полный набор взаимодействий без дискриминации. Найдено 523 взаимодействия на длине следов $L = 7404.2$ см и просмотр продолжается. Средний пробег до взаимодействия составляет $I = (14.16 \pm 0.6)$ см (рис.2).

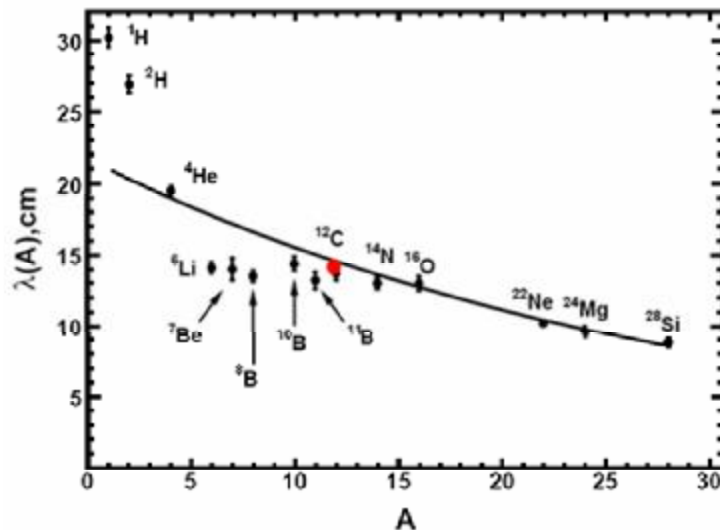


Рис.2. Средний свободный пробег λ для неупругих взаимодействий в ядерной фотоэмульсии в зависимости от массы налетающего ядра.

Всего было отобрано **73** звезды (визуально, см. табл.1), в которых суммарный заряд релятивистских фрагментов в конусе фрагментации до 15° удовлетворяет условию $\sum Z_{fr} > 3$. Из них:

- **7** события $Be \rightarrow 2He$, найденные в стопке;
- **13** события, в которых имеется фрагментами с $Z_{fr} > 2$ – в них не измерены импульсы и заряды, это будет доделываться;
- полностью измеренные **53** события, из которых **28** события, содержали фрагменты ядра мишени – N_{tf} , а остальные **25** события не содержали ни фрагментов ядра мишени, ни рожденных мезонов (т. н., «белые» звезды) – N_{ws} .

Табл. 1. Распределение по зарядовой топологии взаимодействий (визуальный отбор)

Суммарный заряд, $\sum Z_{fr}$	Z_{fr}			N_{ws}	N_{tf}	$N_{ws} + N_{tf}$
	> 2	2	1			
7	-	2	3	2	2	4
6	-	2	2	21	23	44
6	-	3	-	2	1	3
6	-	1	4	-	1	1
??? 4	-	2	-	-	1	1
4	-	2	-	6	1	7
?????? Z_{fr} не измерен	-	1	2	-	1	1
	1	-	1	-	5	5
	1	1	-	3	1	4
	1	-	2	1	2	3
				35	38	73

Эти события составляют основную статистику

53 события

25 – 0+0+0

19 – N+0+0

9 – N+N+N

4 с Z=7

3 ev. – (C-N)

Измерение углов треков вторичных частиц

Были выполнены угловые измерения фрагментов в 73 событиях (53 из файлов C-10.doc; 7 – C-10-Be-2.doc; 13 – C-10-черные.doc). Распределения всех измеренных полярных углов вылета θ для релятивистских фрагментов с зарядами $Z_{fr} = 1, 2$ и $Z_{fr} > 2$ приведены на рис. 3.

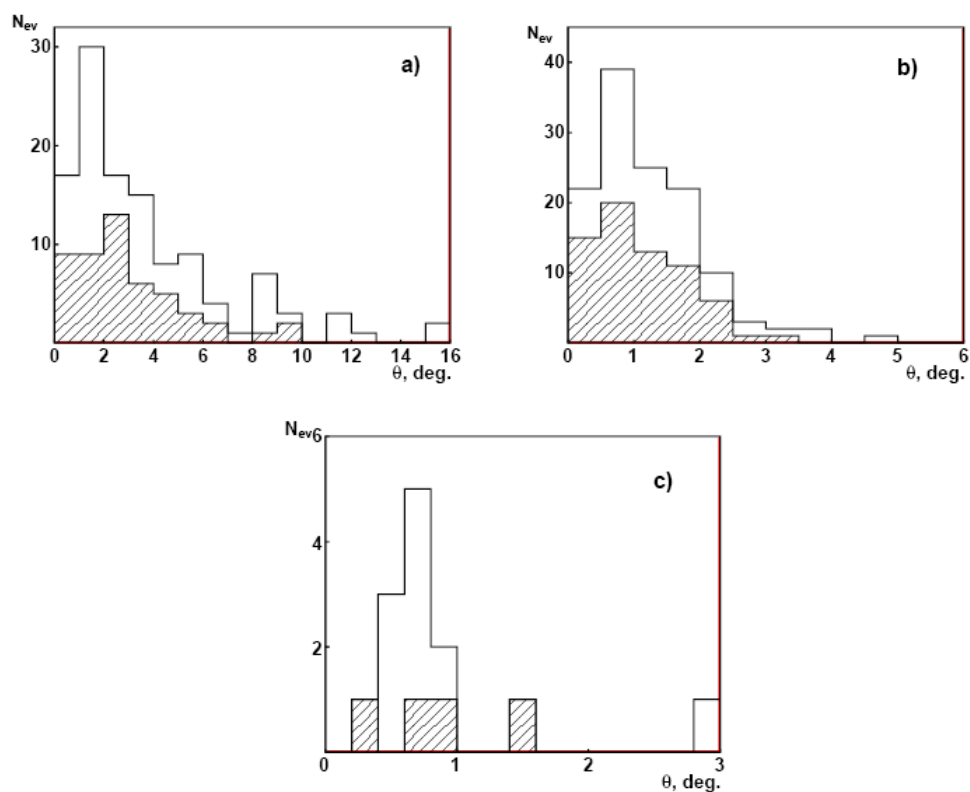


Рис.3. Распределения по полярному углу q (градус) для фрагментов с $Z_{fr} = 1$ (а, 117 следов), $Z_{fr} = 2$ (б, 126 следа) и $Z_{fr} > 2$ (с, 13 следа). Заштрихованная часть гистограммы соответствует вкладу «белых» звезд.

Изотопический состав фрагментов He и H

На рис. 4 приведено распределение измеренных $p\beta_{cHe}$ для 126 двухзарядных фрагментов (из файлов C-10.doc; C-10-Be-2.doc; C-10-черные.doc), удовлетворительно описываемых суммой двух нормальных распределений. Параметры аппроксимирующих функций соответствуют ожидаемым значениям для релятивистских изотопов ${}^3\text{He}$ и ${}^4\text{He}$ и равны $\langle p\beta_{c{}^3\text{He}} \rangle = 5.5 \pm 0.1 \text{ ГэВ}$ при $\sigma = 0.7 \text{ ГэВ}$ и $\langle p\beta_{c{}^4\text{He}} \rangle = 7.8 \pm 0.1 \text{ ГэВ}$ при $\sigma = 0.7 \text{ ГэВ}$, соответственно.

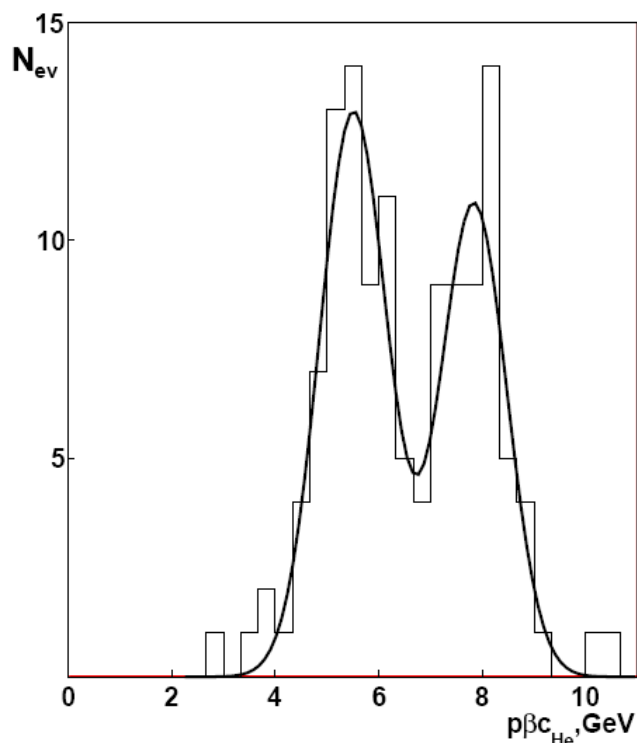


Рис. 4. Распределение двухзарядных фрагментов по измеренным значениям $p\beta c$. Сплошная линия соответствует аппроксимации суммой двух функций Гаусса.

Для 109 однозарядных фрагментов (из файлов C-10.doc; C-10-черные.doc) результаты измерений $p\beta c_H$ представлены на рис. 5. Распределение удовлетворительно описывается суммой двух нормальных распределений. Параметры аппроксимирующих функций соответствуют ожидаемым значениям для релятивистских изотопов 1H и 2H и равны $\langle p\beta c_{1H} \rangle = 1.8 \pm 0.1$ ГэВ при $\sigma = 0.5$ ГэВ и $\langle p\beta c_{2H} \rangle = 3.2 \pm 0.1$ ГэВ при $\sigma = 0.4$ ГэВ, соответственно.

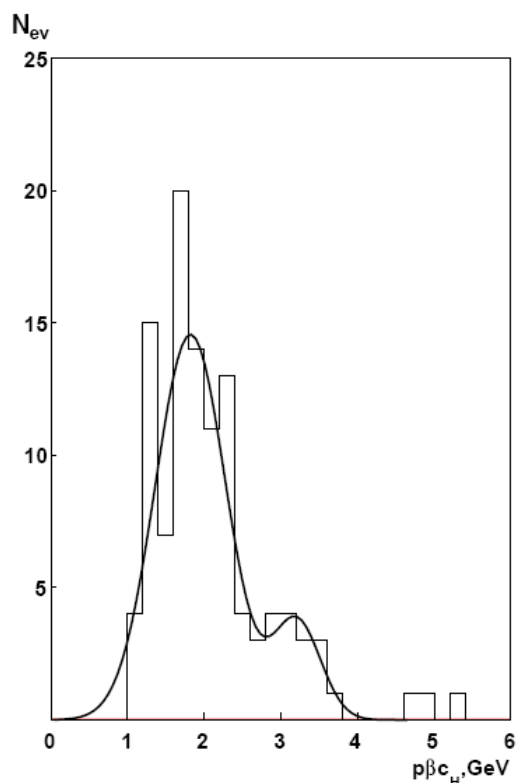


Рис. 5. Распределение однозарядных фрагментов по измеренным значениям $p\beta c$. Сплошная линия соответствует аппроксимации суммой двух функций Гаусса.

Табл. 2. Распределение по зарядовой топологии взаимодействий для первичных треков с зарядами $Z_{pr} = 6-7$, наблюдавшихся в эмульсии, облученной в пучке ядер ^{12}N (53 взаимодействия).

Z_{pr}	$\sum Z_{fr}$	Сума нуклонов во фрагментах	He		H			N_{ws}	N_{tf}
			^3He	^4He	p	d	t		
N	7	11	-	2	3	-	-	1	-
N	7	10	2	-	2	1	-	-	2
N	7	9	2	-	3	-	-	1	-
C-N	6	10	-	2	2	-	-	-	1
C-N	6	9	1	1	2	-	-	-	1
C-N	6	8	2	-	2	-	-	-	1
C	6	11	1	1	-	2	-	-	1
C	6	11	1	2	-	-	-	1	-
C	6	11	-	2	1	1	-	1	-
C	6	10	-	2	2	-	-	4	-
C	6	10	1	1	1	1	-	3	4
C	6	10	2	-	-	2	-	-	1
C	6	10	2	1	-	-	-	1	1
C	6	10	-	1	3	-	1	-	1
C	6	9	1	1	2	-	-	5	5

С	6	9	2	-	1	1	-	1	3
С	6	8	2	-	2	-	-	7	5
С	6	8	1	1	1	-	-	-	1
???	4	???	1	1	-	-	-	-	1

$^{10}\text{C} \rightarrow ^4\text{He} + ^4\text{He} + \text{p} + \text{p}$ – 4 события типа «белая» звезда

602(стопка)06(№пластинка)035(№звезда) – объяснение за номер звезда

$P_0 = 2.0$ ГэВ/с

№зв.	$\langle \theta_{4\text{He}} \rangle$, 10^{-3} рад в событии	$\langle P_{T4\text{He}} \rangle$, МэВ/с в событии	$\Theta_{2\alpha}$, 10^{-3} рад	$\varepsilon_{2\alpha}$, град	$Q_{2\alpha}$, МэВ	$Q_{2\alpha p}$, МэВ	$Q_{2\alpha 2p}$, МэВ	$P_{T\text{sum}}(^8\text{Be}^*)$, МэВ/с	$P_{T\text{sum}}(^9\text{B}^*)$, МэВ/с	$P_{T\text{sum}}(^{10}\text{C}^*)$, МэВ/с
60206035	18.92	151.3	5.3	13.8	0.12	8.1	21.3	300.5	247.4	123.8
60206042	15.75	126.0	31.4	165.7	4.22	8.2	23.4	151.6	112.7	287.8
60211012	26.07	208.5	52.0	171.7	11.6	11.9	12.6	31.0	13.8	51.2
60211083	27.57	220.5	53.6	148.6	12.3	17.5	30.9	238.0	245.0	296.1

$^{10}\text{C} \rightarrow ^4\text{He} + ^3\text{He} + \text{d} + \text{p}$ – 3 события типа «белая» звезда и 4 события с фрагментами мишени

№зв.	$\theta_{4\text{He}}$, 10^{-3} рад	$P_{T4\text{He}}$, МэВ/с	$\theta_{3\text{He}}$, 10^{-3} рад	$P_{T3\text{He}}$, МэВ/с	$\Theta_{2\alpha}$, 10^{-3} рад	$\varepsilon_{2\alpha}$, град	$Q_{2\alpha}$, МэВ	$Q_{2\alpha d}$, МэВ	$Q_{2\alpha dp}$, МэВ	$P_{T\text{sum}}(^7\text{Be}^*)$, МэВ/с	$P_{T\text{sum}}(^9\text{B}^*)$, МэВ/с	$P_{T\text{sum}}(^{10}\text{C}^*)$, МэВ/с
N_{ws}												
60206004	30.6	244.6	16.7	99.9	40.9	116.9	6.2	7.6	19.3	218.4	198.6	284.5
60206148	4.5	35.9	2.7	16.2	4.0	62.7	0.07	6.4	6.5	45.7	231.03	249.4
60211069	15.5	123.8	11.4	68.3	11.5	47.5	0.5	6.9	9.2	177.3	148.3	111.2
N_{tf}												
60210086	11.5	92.3	11.4	68.6	1.8	8.7	0.03	9.1	9.2	160.4	394.9	425.6
60211072	24.6	197.0	15.0	90.1	27.2	82.8	2.7	18.0	18.1	226.7	73.9	84.9

60211158	32.3	258.5	84.5	506.6	78.5	68.3	22.6	33.7	39.0	648.4	815.6	800.8
60211182	20.6	164.9	24.9	149.5	23.8	62.2	2.1	4.5	7.9	269.4	453.1	424.9

${}^9\text{C} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^3\text{He} + p + p$ – 5 события типа «белая» звезда и 5 события с фрагментами мишени

№зв.	$\theta_{4\text{He}},$ 10^{-3} рад	$P_{T4\text{He}},$ МэВ/с	$\theta_{3\text{He}},$ 10^{-3} рад	$P_{T3\text{He}},$ МэВ/с	$\Theta_{2\alpha},$ 10^{-3} рад	$\varepsilon_{2\alpha},$ град	$Q_{2\alpha},$ МэВ	$Q_{2\alpha p},$ МэВ	$Q_{2\alpha 2p},$ МэВ	$P_{T\text{sum}}({}^7\text{Be}^*),$ МэВ/с	$P_{T\text{sum}}({}^8\text{B}^*),$ МэВ/с	$P_{T\text{sum}}({}^9\text{C}^*),$ МэВ/с
N_{ws}												
60206018	4.3	34.8	4.0	23.9	4.4	63.5	0.09	0.2	11.1	50.2	62.8	173.5
60210082	11.15	89.2	18.8	112.7	14.1	48.4	0.7	4.2	11.0	184.4	217.0	156.3
60210089	5.4	43.0	8.6	51.3	3.65	15.2	0.07	0.13	10.1	93.5	117.7	20.8
60210114	8.6	68.7	18.4	110.6	15.2	54.9	0.9	2.2	2.9	160.3	180.9	230.1
60210119	39.2	313.5	31.97	191.8	64.1	128.1	15.1	15.7	43.4	246.9	250.9	61.2
N_{tf}												
60206029	10.4	83.0	11.7	70.0	1.5	4.1	0.03	0.26	71.3	152.8	163.2	551.8
60206163	12.7	101.7	9.1	54.8	17.7	106.8	1.2	1.7	7.95	100.5	142.4	46.6
60211060	30.5	243.8	9.5	56.8	21.6	16.6	1.7	10.8	87.2	298.6	405.3	603.0
60211064	12.15	97.2	7.96	47.8	4.5	9.8	0.09	18.8	62.7	144.5	355.8	341.0
60211124	50.96	407.5	41.7	250.1	92.6	176.0	31.4	34.9	76.5	159.0	268.1	303.8

${}^8\text{C} \rightarrow {}^3\text{He} + {}^3\text{He} + p + p$ – 7 события типа «белая» звезда и 5 события с фрагментами мишени

№зв.	$\langle\theta_{3\text{He}}\rangle,$ 10^{-3} рад в событии	$\langle P_{T3\text{He}}\rangle,$ МэВ/с в событии	$\Theta_{2\alpha},$ 10^{-3} рад	$\varepsilon_{2\alpha},$ град	$Q_{2\alpha},$ МэВ	$Q_{2\alpha p},$ МэВ	$Q_{2\alpha 2p},$ МэВ	$P_{T\text{sum}}({}^6\text{Be}^*),$ МэВ/с	$P_{T\text{sum}}({}^7\text{B}^*),$ МэВ/с	$P_{T\text{sum}}({}^8\text{C}^*),$ МэВ/с
N_{ws}										

60206036	38.8	232.9	16.5	17.85	0.9	4.6	46.3	460.4	471.7	665.8
60206040	6.9	41.2	3.4	25.8	0.04	0.17	7.6	80.4	87.7	132.6
60206043	27.9	167.1	54.2	153.4	9.4	9.6	14.95	84.9	100.6	94.0
60210064	34.3	205.5	68.5	178.3	15.0	17.6	20.5	15.0	59.65	106.3
60210069	22.2	133.4	17.8	20.7	1.01	10.6	28.9	263.03	291.1	249.8
60210073	19.0	114.0	33.1	116.7	3.5	27.2	66.0	137.2	67.8	211.1
60210078	14.9	89.3	27.2	116.3	2.4	4.1	5.4	134.5	107.0	131.5
N_{tf}										
60206062	12.8	76.7	14.6	38.9	0.7	2.4	16.9	146.8	163.0	345.2
60206068	13.0	78.0	25.3	146.3	2.05	2.97	9.15	101.2	129.5	222.0
60206151	26.3	158.0	31.5	31.5	3.2	6.1	15.6	307.8	316.5	285.2
60206187	6.8	40.6	3.8	30.3	0.05	0.11	126.5	78.5	90.3	605.7
60211100	23.3	139.7	46.4	169.5	6.9	12.7	34.4	130.3	192.1	36.7