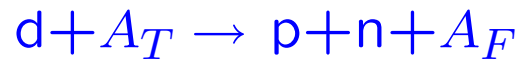


О ядерном и кулоновском взаимодействии
при когерентной фрагментации
релятивистских ядер в фотоэмульсии

В.Н. Фетисов

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

1. Кулоновская и ядерная фрагментация: пример реакций $A_T(^{18}\text{O}, A_F)$ при $E=1.7$ ГэВ/нукл., счетчиковая методика, полные сечения (Lawrence Berkley Laboratory).
2. Канал фрагментации ${}^7\text{Li}$ ($P=3\text{A}$ ГэВ/с) $\rightarrow {}^3\text{H}+{}^4\text{He}$ на ядрах и протонах фотоэмульсии (эксперимент группы Харламова, Пересадько, Александрова и др., ФИАН). Дифференциальные сечения по поперечному переданному фрагментам импульсу.
3. Анализ данных:
 - 3.1. Электромагнитная диссоциация ${}^7\text{Li}$.
 - 3.2 Ядерная дифракционное расщепление ${}^7\text{Li}$.
4. Выводы.



S.M. Dancoff, Phys.Rev.**72**,1017(1947);

Л.Н. Розенцвейг, А.Г. Ситенко, ЖЭТФ, **30**,427(1950);

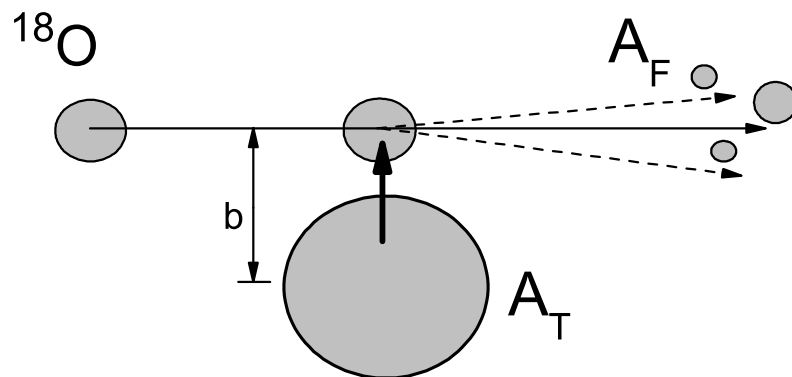
Е.Л. Фейнберг, ЖЭТФ,**29**,115(1955);

R.J. Glauber, Phys.Rev.**99**,1515(1955);

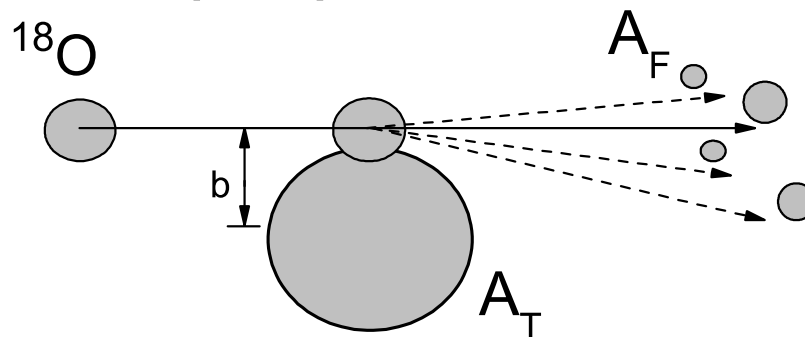
A.I. Akhiezer, A.G. Sitenko, Phys.Rev. **106**,1236(1955);

D.L.Olson, B.L.Berman, D.E.Greiner, H.H.Heckman,
 P.J.Lindstrom, G.D.Westall, H.J.Crawford
 Phys. Rev. C24,1529 (1981)

Электромагнитная диссоциация



Ядерное расщепление



A_T Be, C, Al, Ti, Cu, Sn, W, Pb, U
 A_F ${}^6,7\text{Li}$, ${}^{10}\text{Be}$, ${}^{10,12}\text{B}$, ${}^{12,13,14,15}\text{C}$, ${}^{14,15,16,17}\text{N}$
 ${}^{16,17}\text{O}$, ${}^{18}\text{F}$

Счетчики, спектрометр

$$\sigma_{tot}^{exp}(T, F) = \sigma_n^{exp}(T, F) + \sigma_c^{exp}(T, F)$$

$$\sigma_n^{exp}(T, F) = \gamma_T \gamma_F$$

$$\sigma_c^{theor} = \sigma_{ww} = \int n(\omega) \sigma_\gamma(\omega) \frac{d\omega}{\omega}$$

$$n(\omega) = \frac{2}{\pi} Z_T^2 \alpha \left(\frac{c}{v}\right)^2 \left[\xi K_0(\xi) K_1(\xi) - \frac{v^2 \xi^2}{2c^2} (K_1^2(\xi) - K_0^2(\xi)) \right],$$
$$\xi = \omega R / \gamma v$$

$$E_\gamma^{max} = \hbar \omega^{max} = \gamma \hbar c / b_{min}$$

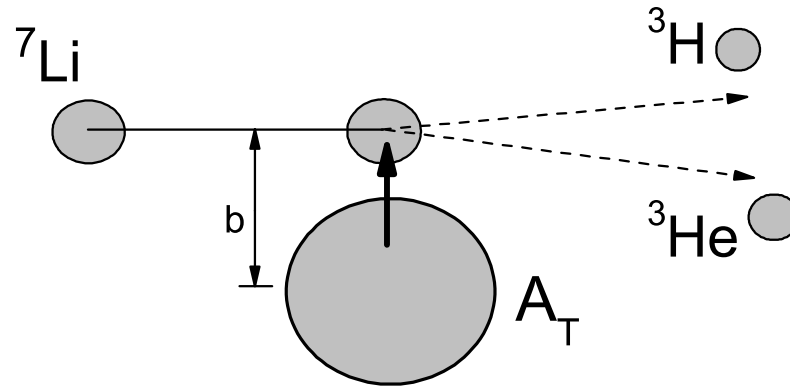
При $T=1.7$ ГэВ (на нуклон): $\beta = v/c=0.93$, $\gamma=2.81$;

Ядерные σ_n и электромагнитные σ_c , σ_{ww} сечения (mb) фрагментации ^{18}O ($T=1.7$ ГэВ/нукл.)

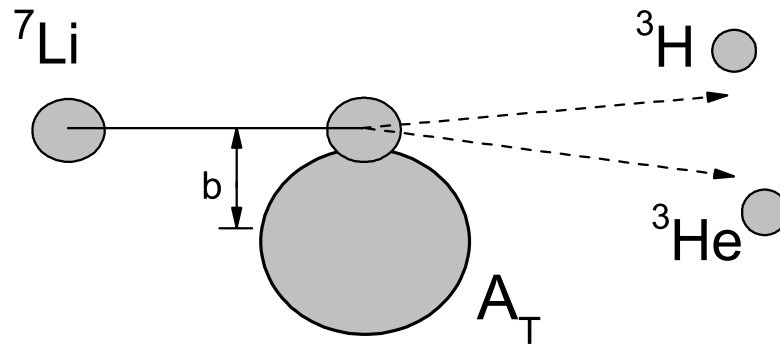
$^{18}\text{O} \rightarrow A_F$	zA_T	σ_{tot}	σ_n	σ_c	σ_c/σ_n	σ_{ww}
n+ ^{17}O	$_{22}\text{Ti}$	75.3	66.5	8.7	0.13	12.5
	$_{82}\text{Pb}$	226.6	90.5	136.0	1.5	135.0
	$_{92}\text{U}$	234.0	93.2	140.8	1.51	167.0
2n+ ^{16}O	$_{22}\text{Ti}$	53.2	46.8	6.4	0.14	5.4
	$_{29}\text{Cu}$	59.3	51.1	8.2	0.16	9.0
	$_{50}\text{Sn}$	88.7	61.4	27.3	0.44	23.7
	$_{74}\text{W}$	111.1	60.5	50.6	0.84	46.8
	$_{82}\text{Pb}$	128.7	63.6	65.1	1.02	55.2
	$_{92}\text{U}$	139.7	65.5	74.2	1.13	68.1
p+ ^{17}N	$_{22}\text{Ti}$	40.2	40.7?			2.4
	$_{82}\text{Pb}$	75.5	55.3	20.2	0.36	23.8
	$_{92}\text{U}$	82.0	56.9	25.1	0.44	29.2

Н. Г. Пересадько, Ю.А. Александров и др.
Письма в ЖЭТФ, **88**, 83, (2007),
Ядерная физика, **73**, 1994, (2010).

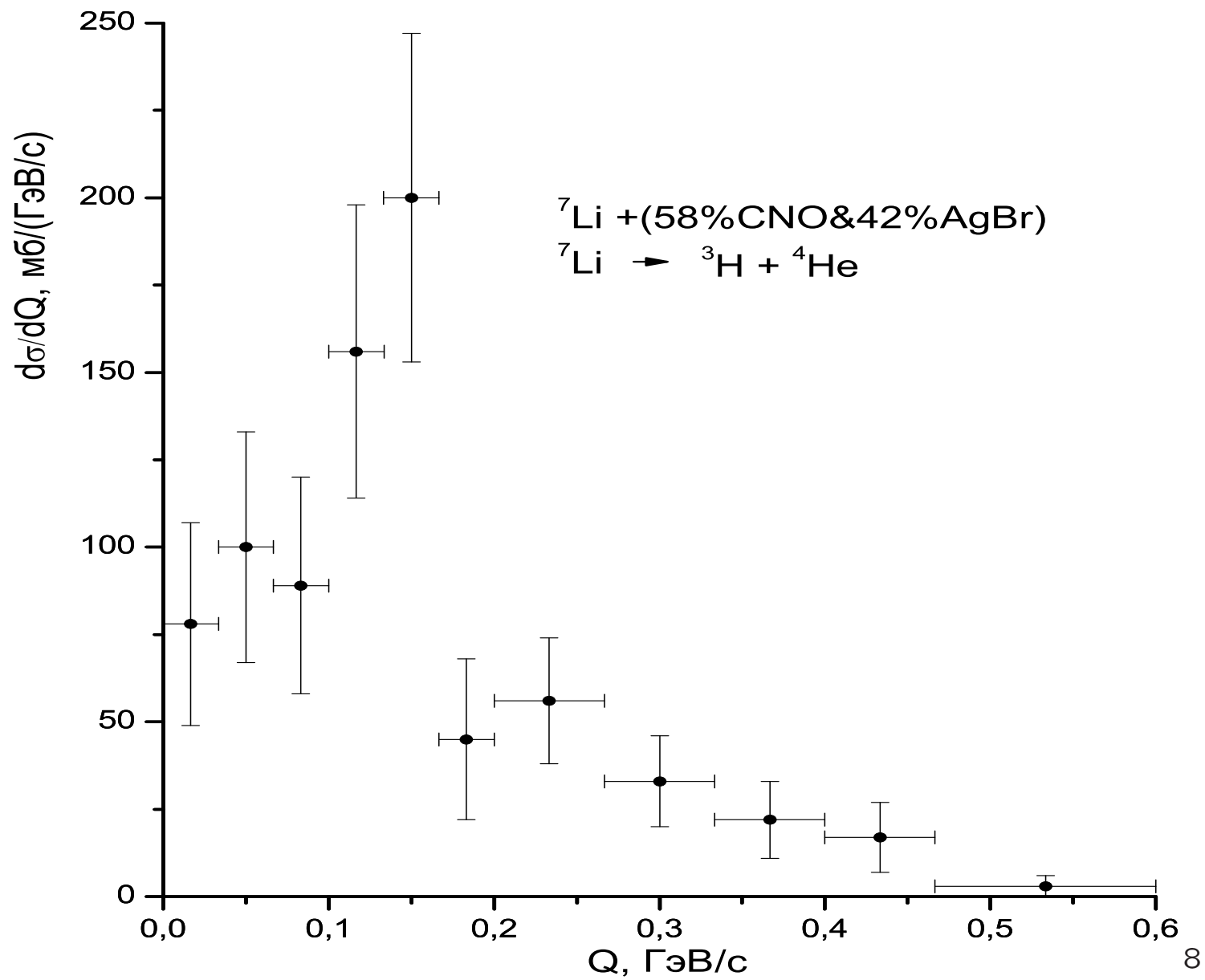
Электромагнитная диссоциация



Ядерное расщепление



A_T H, C, N, O, Br, Ag фотоэмульсия



Последующий анализ данных включает следующие аспекты теории:

1. Двухкластерная модель ${}^7\text{Li}$ (В.Г. Неудачин, Ю.Ф. Смирнов, В.И. Кукулин), потенциалы, ядерные волновые функции.

2. Мультипольное разложение электромагнитного взаимодействия релятивистского ядра ${}^7\text{Li}$ с ядрами (С. Bertulani, G. Baur), сечение электромагнитной диссоциации.

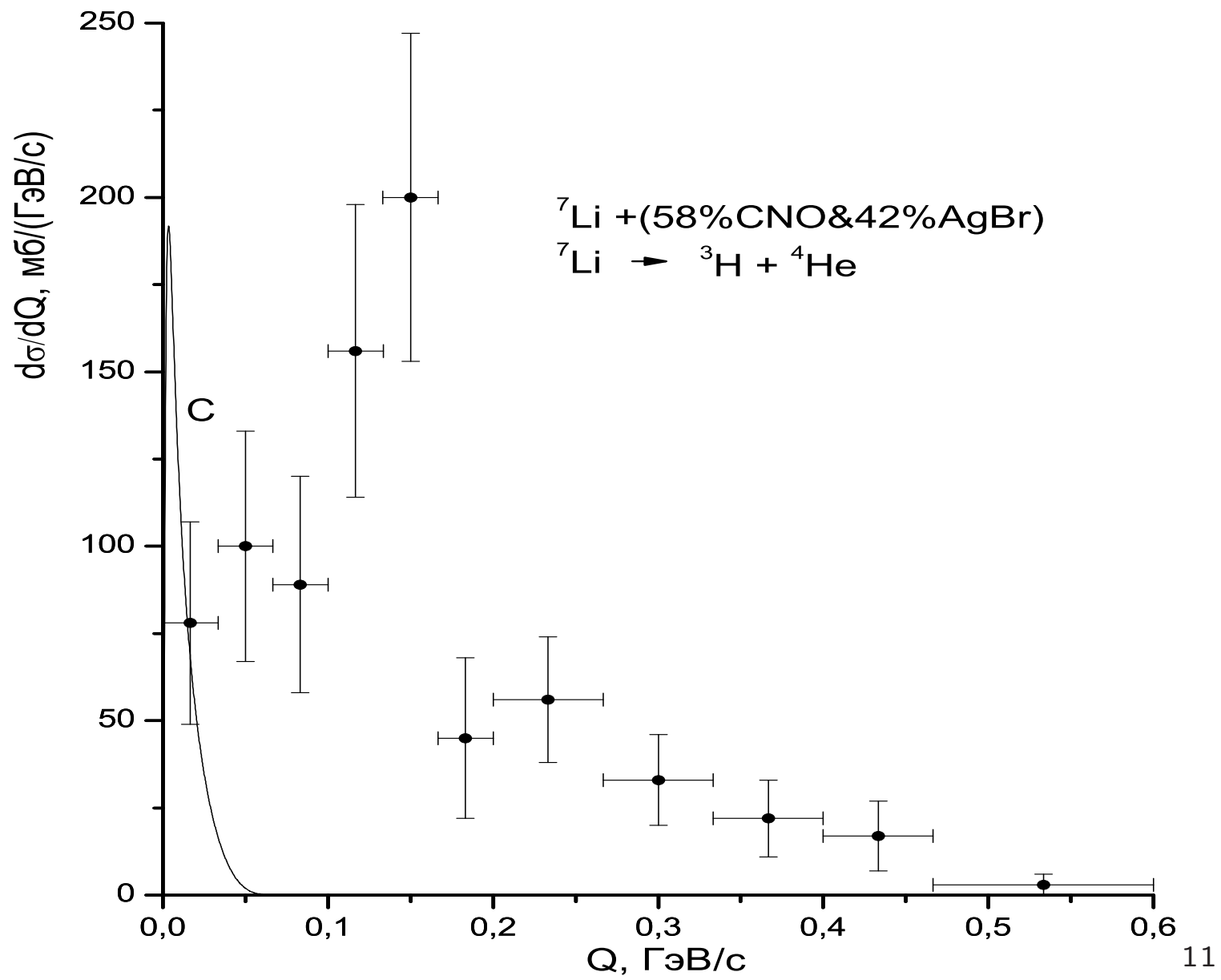
3. Дифракционная теория Глаубера-Ситенко (кластерное приближение, предложенное ранее А.Г. Ситенко с сотрудниками), кластерные профильные функции, сечения ядерной фрагментации.

СЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ДИССОЦИАЦИИ
ДВУХКЛАСТЕРНОГО ЯДРА. Электрические Eλ -переходы.

$$d\sigma = \frac{1}{(2J_i+1)} \sum_{m_f, M_i} \left| \langle \mathbf{q}, sm_f | T | (s, l_i) J_i, M_i \rangle \right|^2 \frac{Q dQ d\psi}{k_i^2} \frac{d^3q}{(2\pi)^3},$$

$$\langle \mathbf{q}, sm_f | T | (s, l_i) J_i, M_i \rangle = 4\pi Z_T \left(\frac{e^2}{\hbar c} \right) \frac{c}{\gamma v} k_i \sum_{LM} i^M \left(\frac{\omega}{c} \right)^L \sqrt{2L+1} (Z_1 \beta_1^L + (-1)^L Z_2 \beta_2^L) \exp(-iM\psi) \chi_M(Q, R) G_{ELM} \left(\frac{c}{v} \right) \langle \mathbf{q}, sm_f | r^L Y_{L-M} \left(\frac{\mathbf{r}}{r} \right) | J_i M_i \rangle.$$

где $\beta_1 = \frac{m_2}{m_1+m_2}$, $\beta_2 = \frac{m_1}{m_1+m_2}$, m_i — массы кластеров,
 \mathbf{q} — импульс относительного движения, $\mathbf{r} = \mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2$.



$$\omega_1(\mathbf{b}_1) + \omega_2(\mathbf{b}_2) + \omega_1(\mathbf{b}_1)\omega_2(\mathbf{b}_2)$$

$$\omega_i(b) = 1 - \exp(i\chi_i(b))$$

V. Franco, A. Tekou:

$$i\chi(b) = -\frac{A_1 A_2 \sigma_N}{8\pi^2} (1 - i\rho) \int \exp(-i\mathbf{q}\mathbf{b} - a_N q^2 / 2) K(q) S_{A_1}(q) S_{A_2}(q) d^2q,$$

$$\bar{r}_t = 1.70, \bar{r}_\alpha = 1.67, \bar{r}_{CNO} = 2.54, \bar{r}_{Br} = 5.1, \bar{r}_{Ag} = 5.62 \quad (\text{фм}).$$

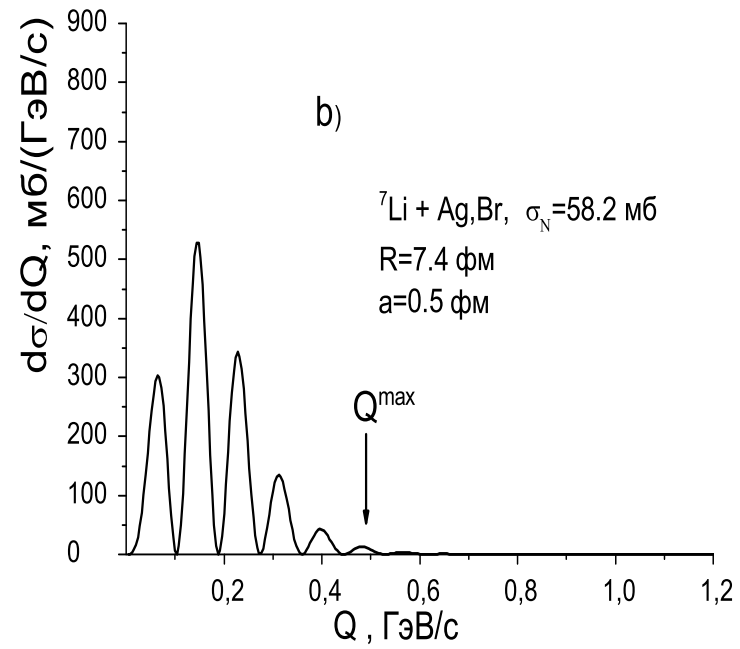
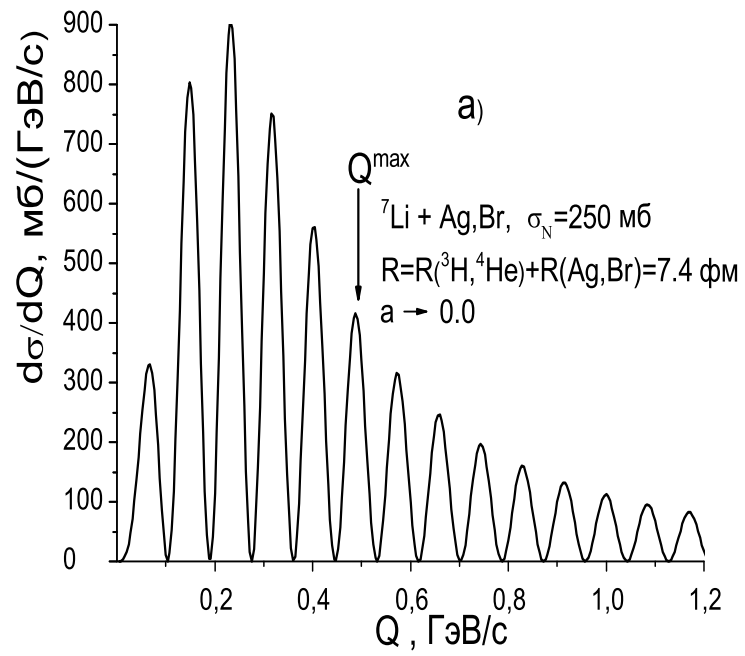
$$\sigma_N = 43.0 \text{ мб}, \rho = -0.35, a_N = 0.242 \text{ фм}^2.$$

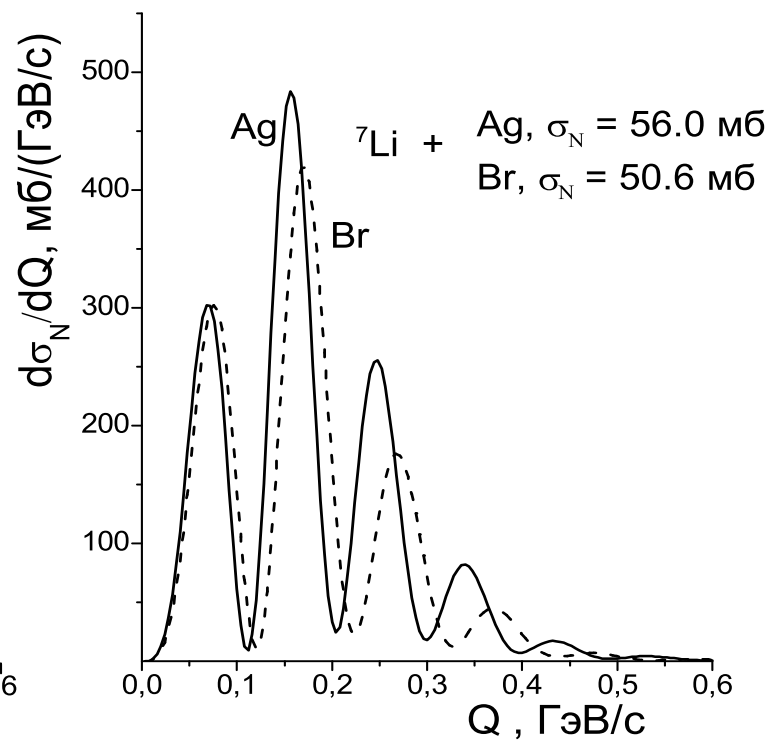
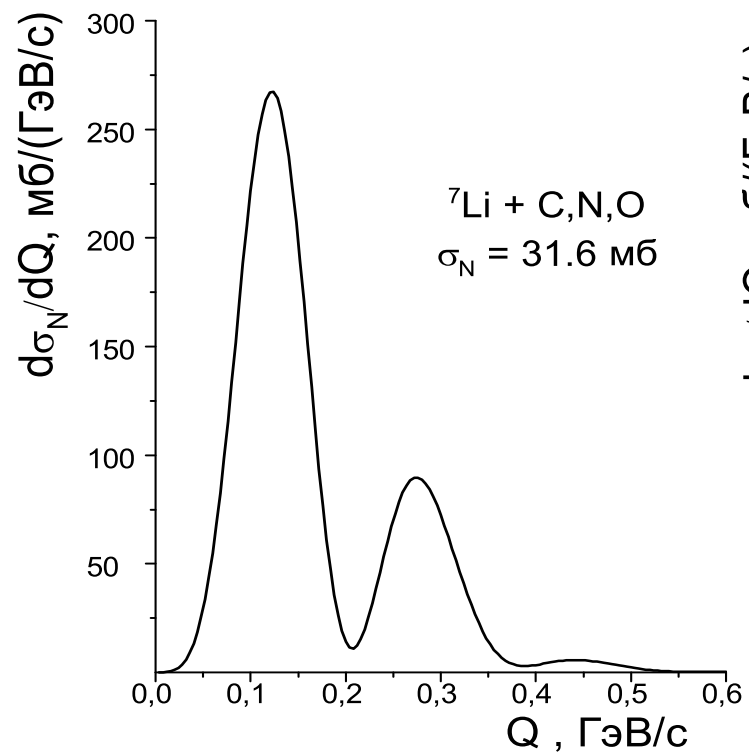
ЯДЕРНОЕ ДИФРАКЦИОННОЕ СЕЧЕНИЕ ФРАГМЕНТАЦИИ

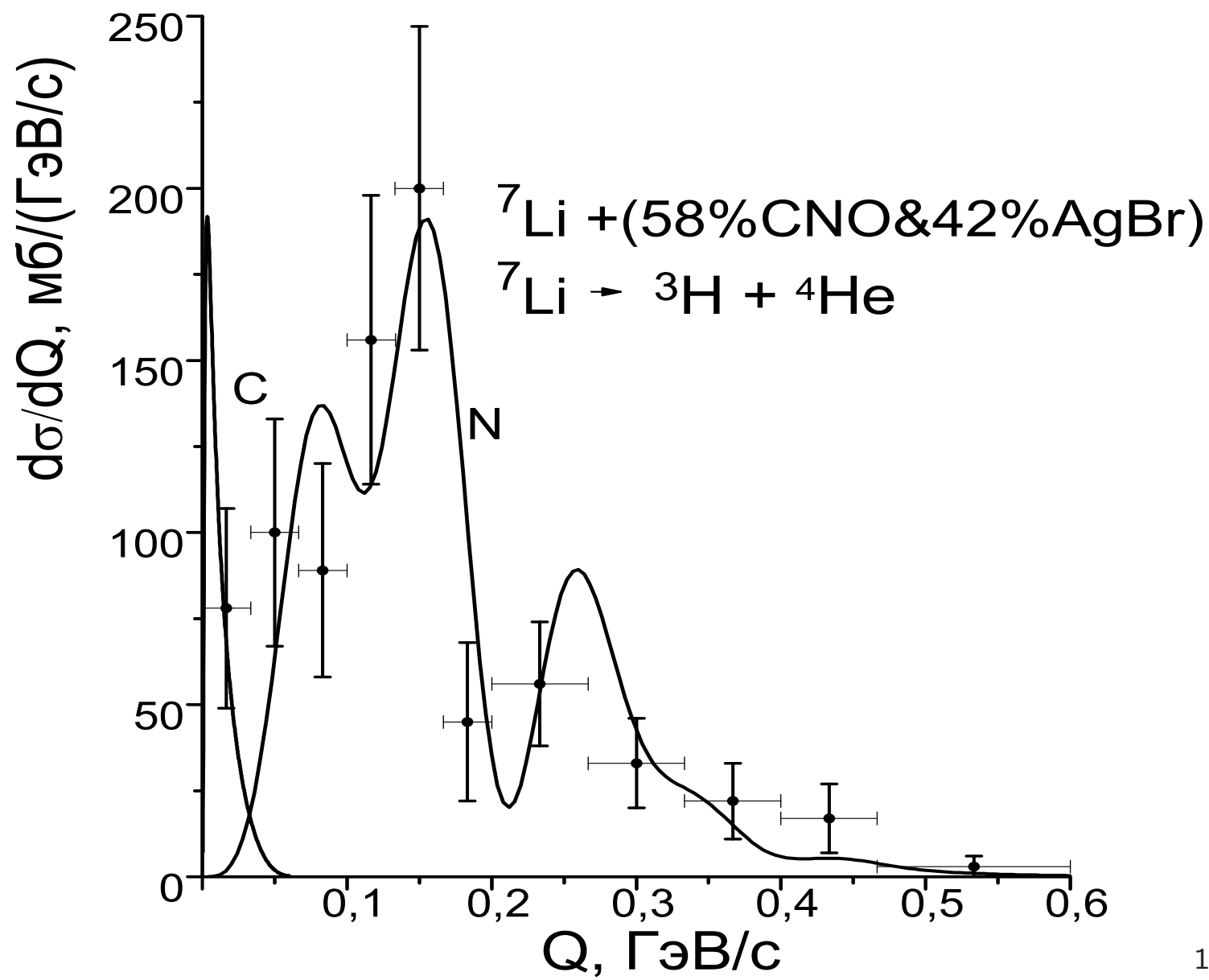
$$\frac{d\sigma_N}{dQ} = A \left(1 + I_0(Q) - \frac{3}{2} \sum_{lj,L} (I_L^{lj}(\beta_1 Q) + (-1)^L I_L^{lj}(\beta_2 Q))^2 (10l0|L0)^2 \times \left\{ \begin{matrix} j & l & 1/2 \\ 1 & 3/2 & L \end{matrix} \right\}^2 \right)$$

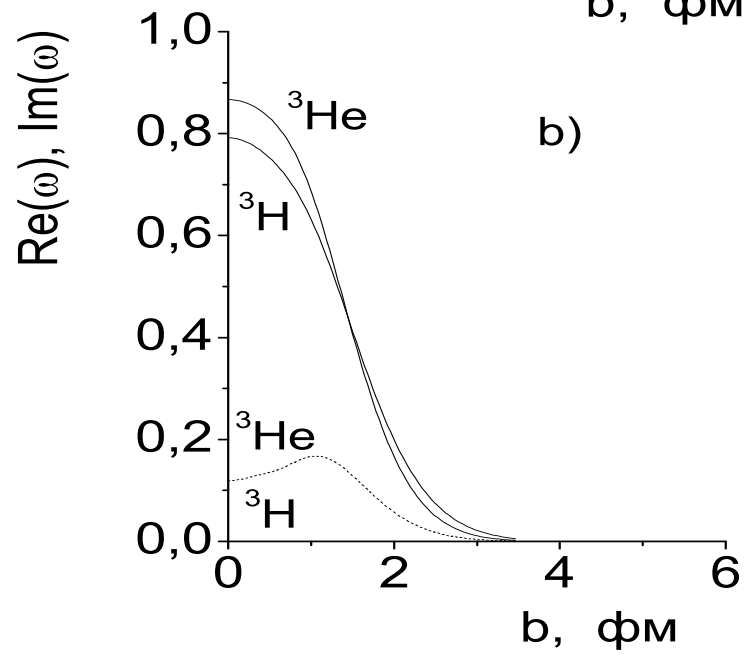
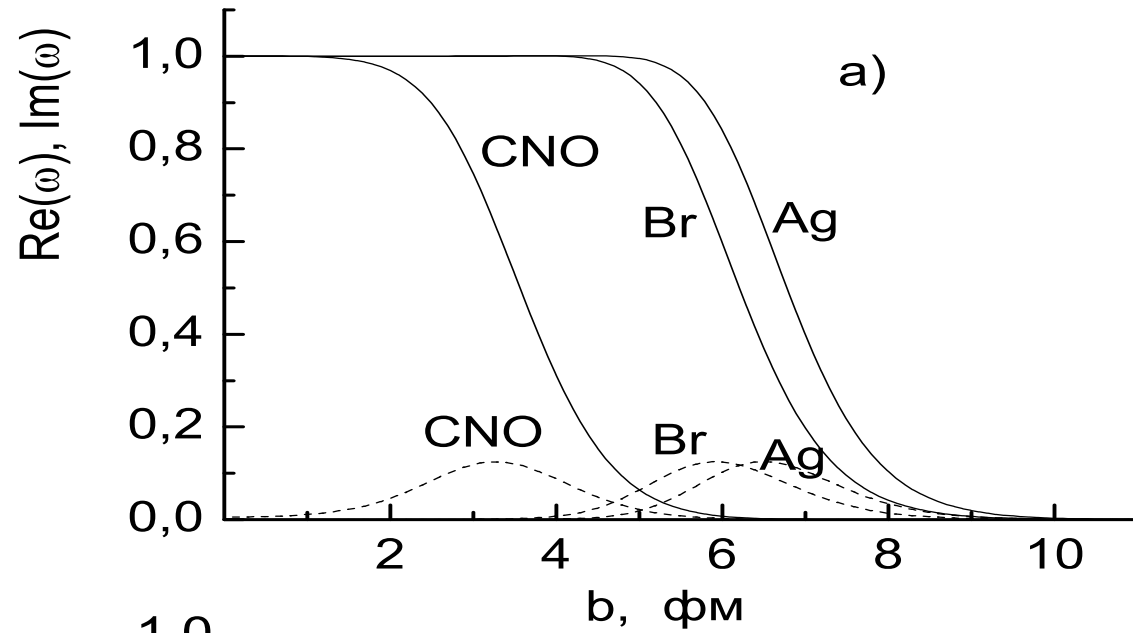
$$\frac{A}{4\pi Q} = \left| \int_0^\infty \omega(b) J_0(Qb) b db \right|^2, \quad I_0(q) = \int_0^\infty j_0(qr) R_i^2 r^2 dr,$$

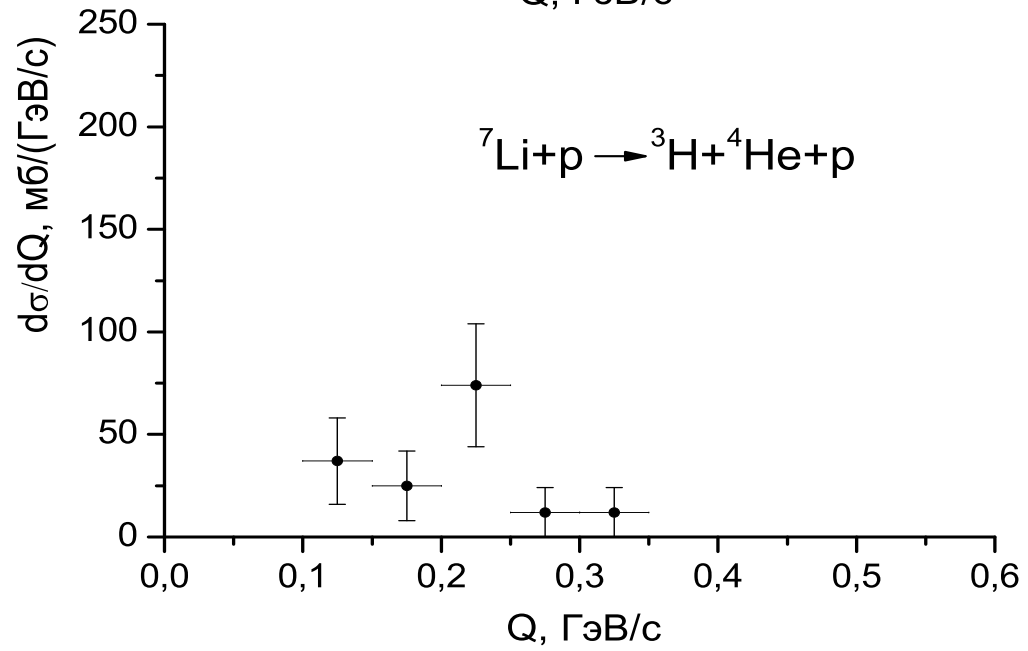
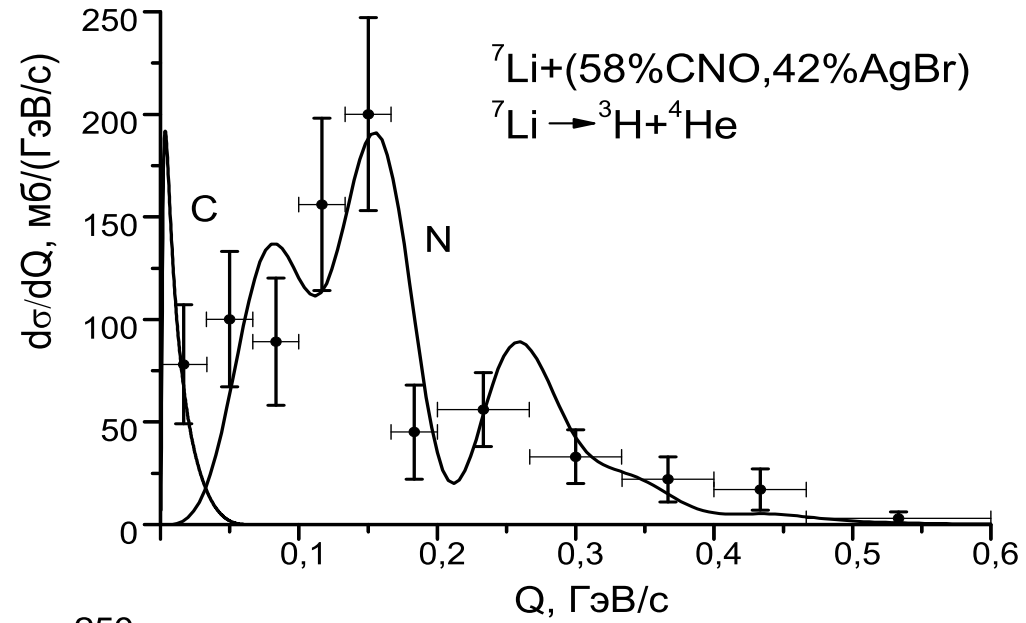
$$I_L^{lj}(q) = \int_0^\infty j_L(qr) R_{lj} R_i^2 r^2 dr$$

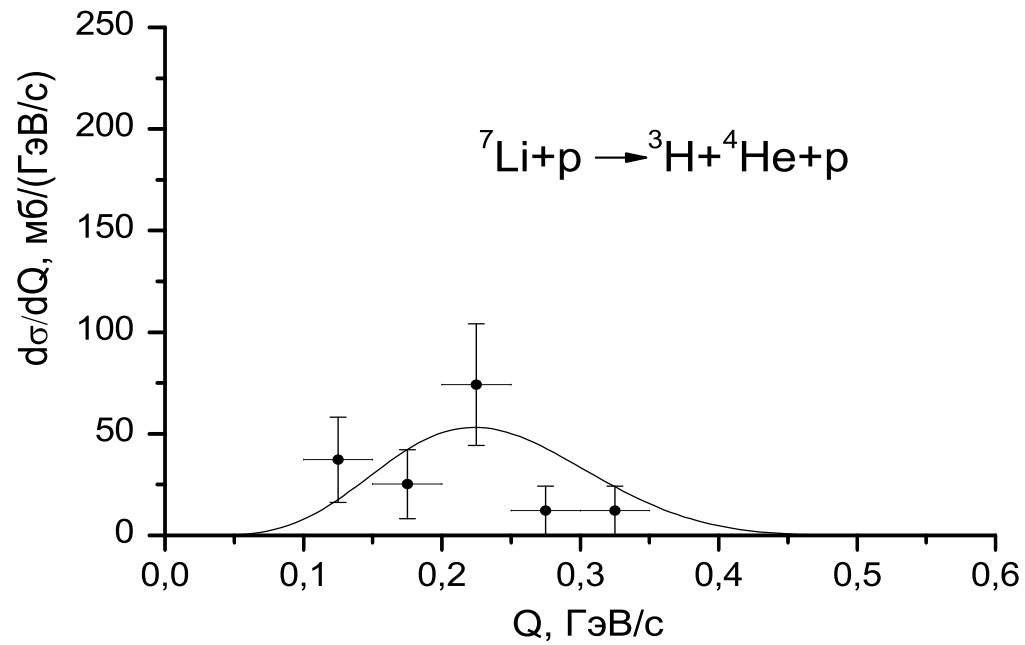
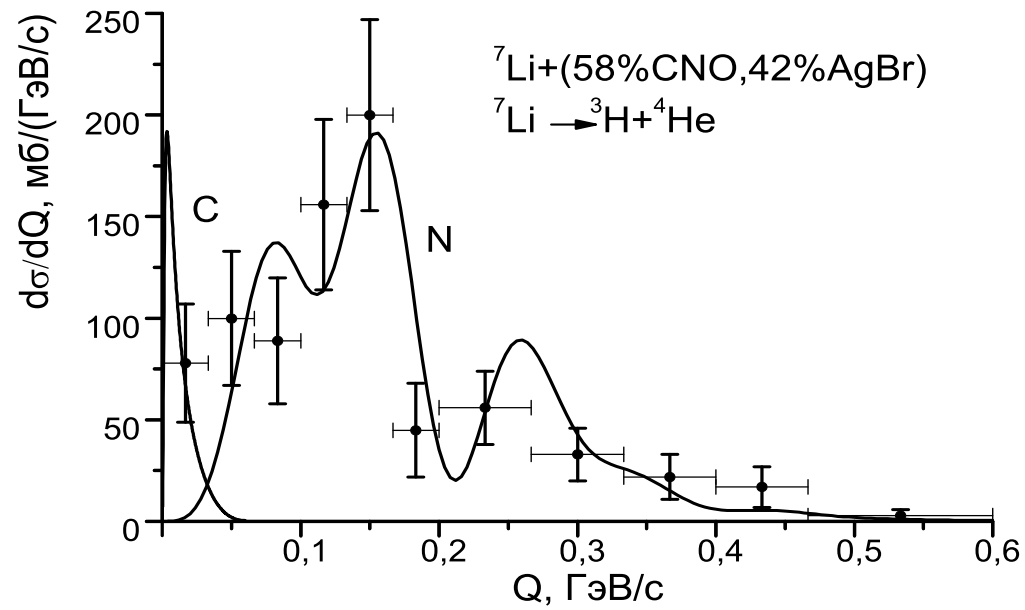












ВЫВОДЫ

1. Анализ экспериментальных данных группы Харламова, Пересадько, Александрова и др. по фрагментации релятивистского ядра ${}^7\text{Li}$ на два ядра ${}^3\text{H}$ и ${}^4\text{He}$ показывает, что этот эксперимент является хорошим тестом двухкластерной компоненты ${}^3\text{H}+{}^4\text{He}$ в структуре ${}^7\text{Li}$. Измеренные **в одном опыте** полные и дифференциальные сечения **на ядрах и протонах ЭМУЛЬСИИ** дают примерное значение вероятности такой кластеризации на уровне 0.7.

2. Наблюдаемые нерегулярности в дифференциальном сечении на ядрах эмульсии объясняются наложением двух дифракционных картин неупругого рассеяния на легких (CNO) и тяжелых ядрах (AgBr).

3. Предсказываемые дифракционные дифференциальные сечения реакции на чистых мишенях имеют форму осцилляций, резко отличающуюся от известной формы сечения упругого рассеяния с главным максимумом при нулевом импульсе.

4. Величины сечений и число максимумов сильно зависят от размытости плотности на поверхности ядра (эффект Ситенко-Тартаковского, наблюдавшийся в дифракционном расщеплении дейтрона).

Фермиевское распределение наиболее приемлемо.

5. Сечение кулоновской диссоциации сосредоточено вблизи малых Q и составляет около 10% от полного сечения.

6. Данная работа может быть полезным ориентиром при измерениях сечений счетчиковой методикой с более высокой статистикой.