

Пороговые эффекты в
реакции $e^+e^- \rightarrow N\bar{N}$

В.Ф. Дмитриев, А.И.
Мильштейн, В.М. Страховенко

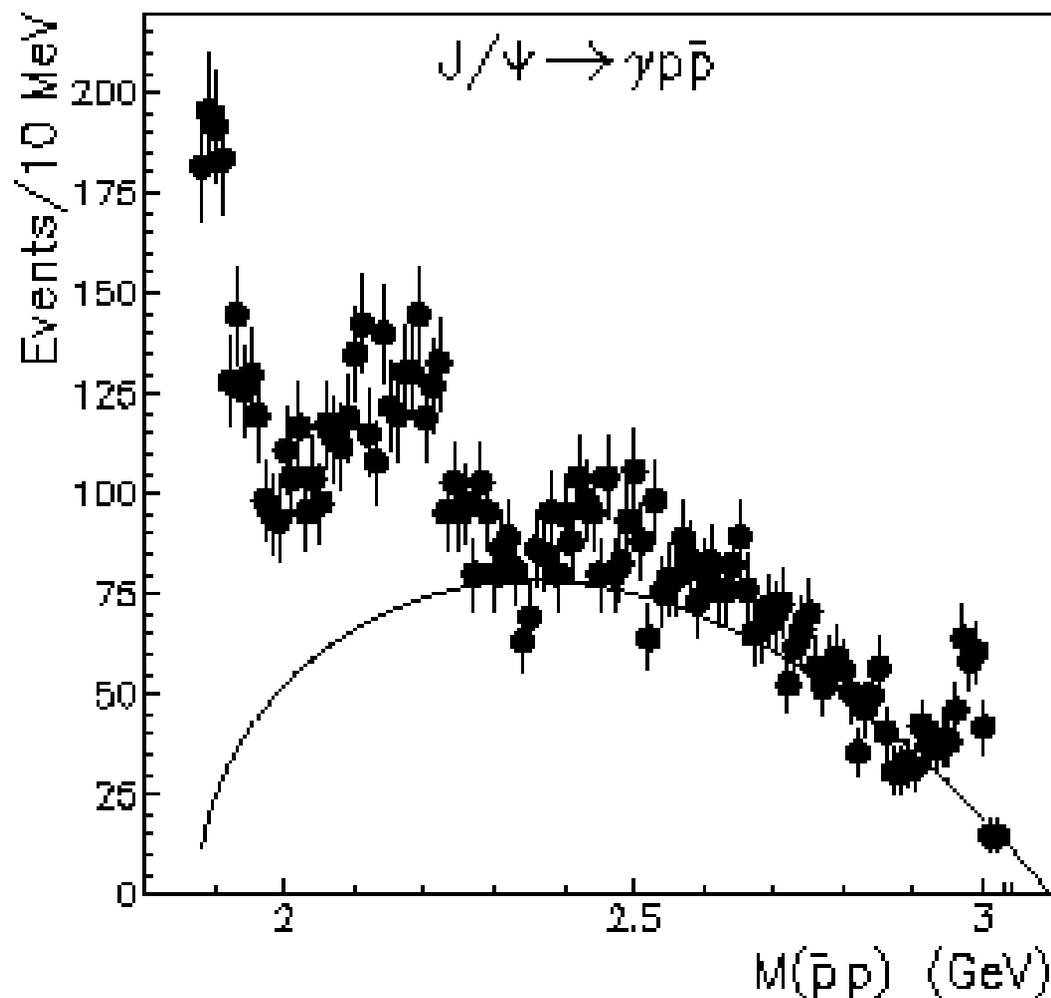


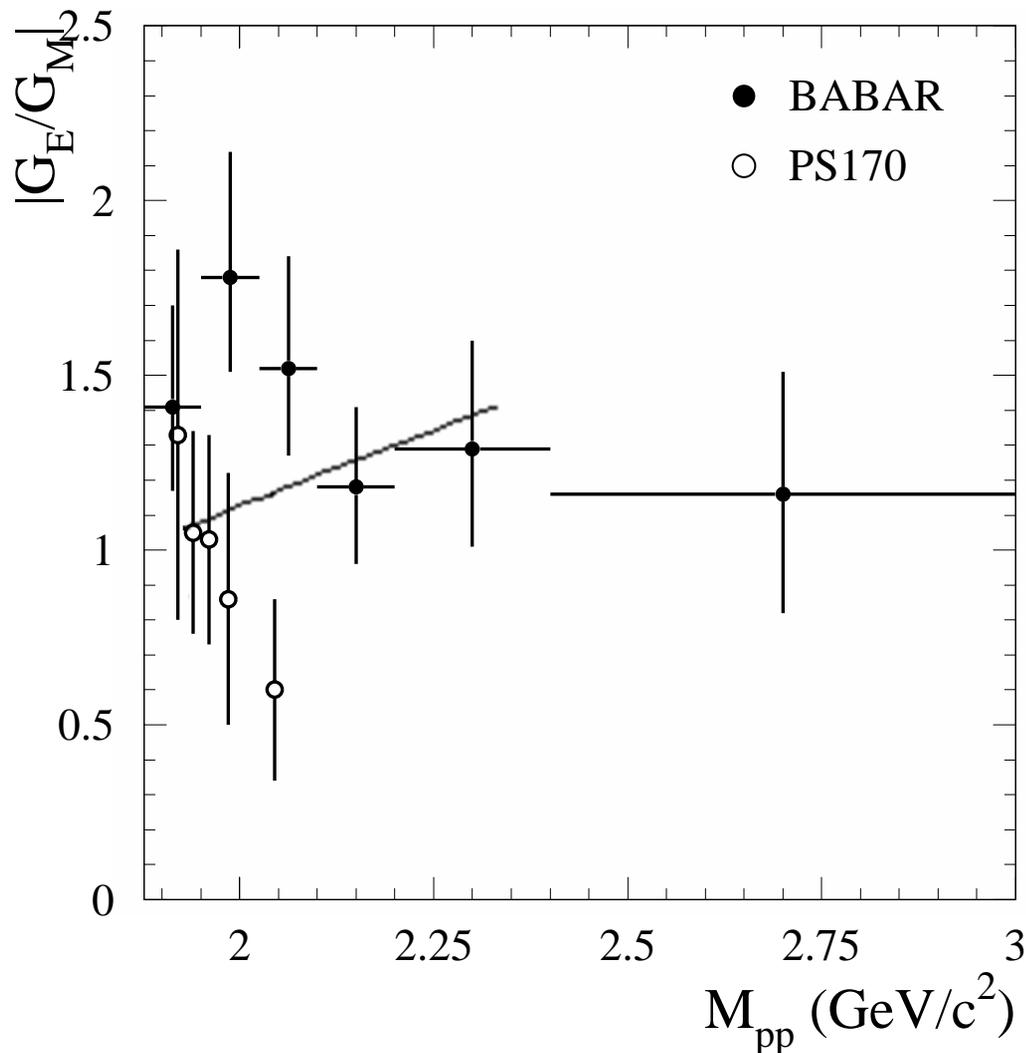
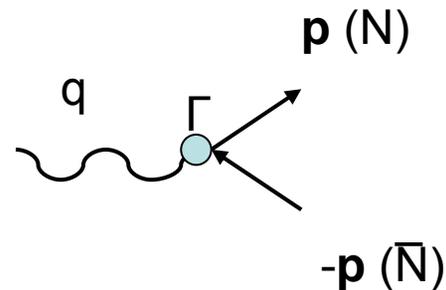
FIG. 4. The $p\bar{p}$ mass spectrum from the decay $J/\Psi \rightarrow \gamma p \bar{p}$. The circles show experimental results of the BES Collaboration [1], while the solid line is the spectrum obtained from Eq. (4) by assuming a constant reaction amplitude A .

Отношение
электрического и
магнитного форм-
факторов вблизи
порога.

$$G_E = F_1 + F_2 \frac{q^2}{4m_p^2},$$

$$G_M = F_1 + F_2.$$

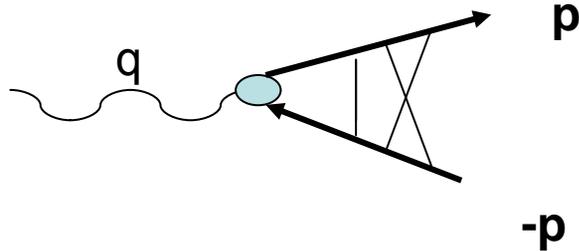
$$\Gamma^\mu = F_1 \gamma^\mu - \frac{F_2}{2m_p} \sigma^{\mu\nu} q_\nu$$



R.Bijker, F.Jachello, Phys.Rev. C69 (2004)

↑
 $T_p \approx 210$ MeV

Общие свойства процесса



$R \bar{R}$ масштаб формирования

$$\lambda \approx 1/q \approx 1/2m_p \approx 0.1 \text{ fm}$$

На расстояниях $0.1 < r < 1.4$ ф. имеется сильное взаимодействие между медленно разлетающимися N и \bar{N} . Этот масштаб соответствует энергиям несколько десятков МэВ. *Сильное взаимодействие в конечном состоянии ответственно за вариацию формфакторов в этой области энергий.*

Квантовые числа $N \bar{N}$ состояния

ФОТОН

$$J=1, \quad P=-1, \quad C=-1$$

$N \bar{N}$

$$P = (-1)^{L+1}, \quad C = (-1)^{L+S}, \quad \mathbf{J} = \mathbf{L} + \mathbf{S}$$

L -чётное

$$S = 1$$

$${}^3S_1 + {}^3D_1$$

Если есть только кулоновское взаимодействие в конечном состоянии

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\alpha^2 \beta C}{4Q^2} \left[|G_M^p(Q^2)|^2 (1 + \cos^2 \theta) + \frac{4M^2}{Q^2} |G_E^p(q^2)|^2 \sin^2 \theta \right]$$

$$\text{где } \beta = \frac{v}{c}, \text{ а } C = \frac{\pi\alpha / \beta}{1 - \exp(-\pi\alpha / \beta)}$$

При $\beta \rightarrow 0$ сечение не обращается в ноль!

При учёте сильного взаимодействия удобно включить кулоновские эффекты в определение формфакторов,

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\alpha^2 \beta}{4Q^2} \left[|\tilde{G}_M^p(Q^2)|^2 (1 + \cos^2 \theta) + \frac{4M^2}{Q^2} |\tilde{G}_E^p(q^2)|^2 \sin^2 \theta \right]$$

Учёт N \bar{N} взаимодействия

$$\varepsilon_{\sigma}^{\dagger} \cdot T_{\lambda}(\mathbf{p}) \rightarrow T_{\sigma\lambda} = \int d^3 p' \Psi_{p\sigma}^{(-)\dagger}(\mathbf{p}') \cdot T_{\lambda}(\mathbf{p}') \rightarrow$$
$$\Psi_{p\sigma}^{(-)\dagger}(r=0) \cdot T_{\lambda}(\mathbf{p})$$

Затравочные формфакторы

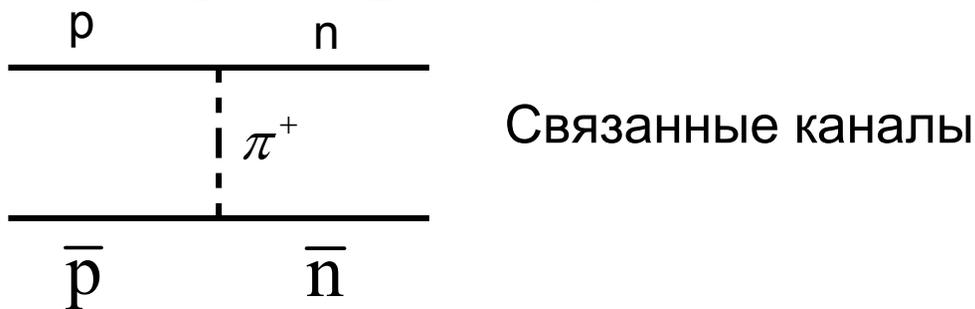
$$F_1^p, F_2^p, F_1^n, F_2^n \quad \text{-- 7 параметров}$$

$$\Psi_{p\sigma}^{I(-)\dagger}(\mathbf{r})\hat{H} = (E - M)\Psi_{p\sigma}^{I(-)\dagger}(\mathbf{r}), \quad \hat{H} = \frac{\mathbf{p}^2}{M} + U(\mathbf{r}) - iW(\mathbf{r})$$

Парижский N \bar{N} потенциал

Реальная часть – мезонный обмен для $r > 0.84 - 1$ ф.
и степенная подгонка для $r < 0.84 - 1$ ф.

$$a_0 + a_1 r + a_2 r^2 + a_3 r^3 \quad \text{или} \quad b_0 + b_1 r + b_2 r^2$$



Мнимая часть $W(r) \sim \frac{K_0(2Mr)}{r} g_C (1 + f_C T_{lab})$

$$f_C = 0.0153, 0.0121 \text{ 1/MeV}$$

Амплитуда рождения принимает вид

$$T_{\sigma\lambda}^{pn} = G_0^{pn} \delta_{\sigma\lambda} + \sqrt{4\pi} G_2^{pn} \langle 2m, 1\sigma | 211\lambda \rangle Y_{2m}^*(\hat{\mathbf{p}})$$

S-волна

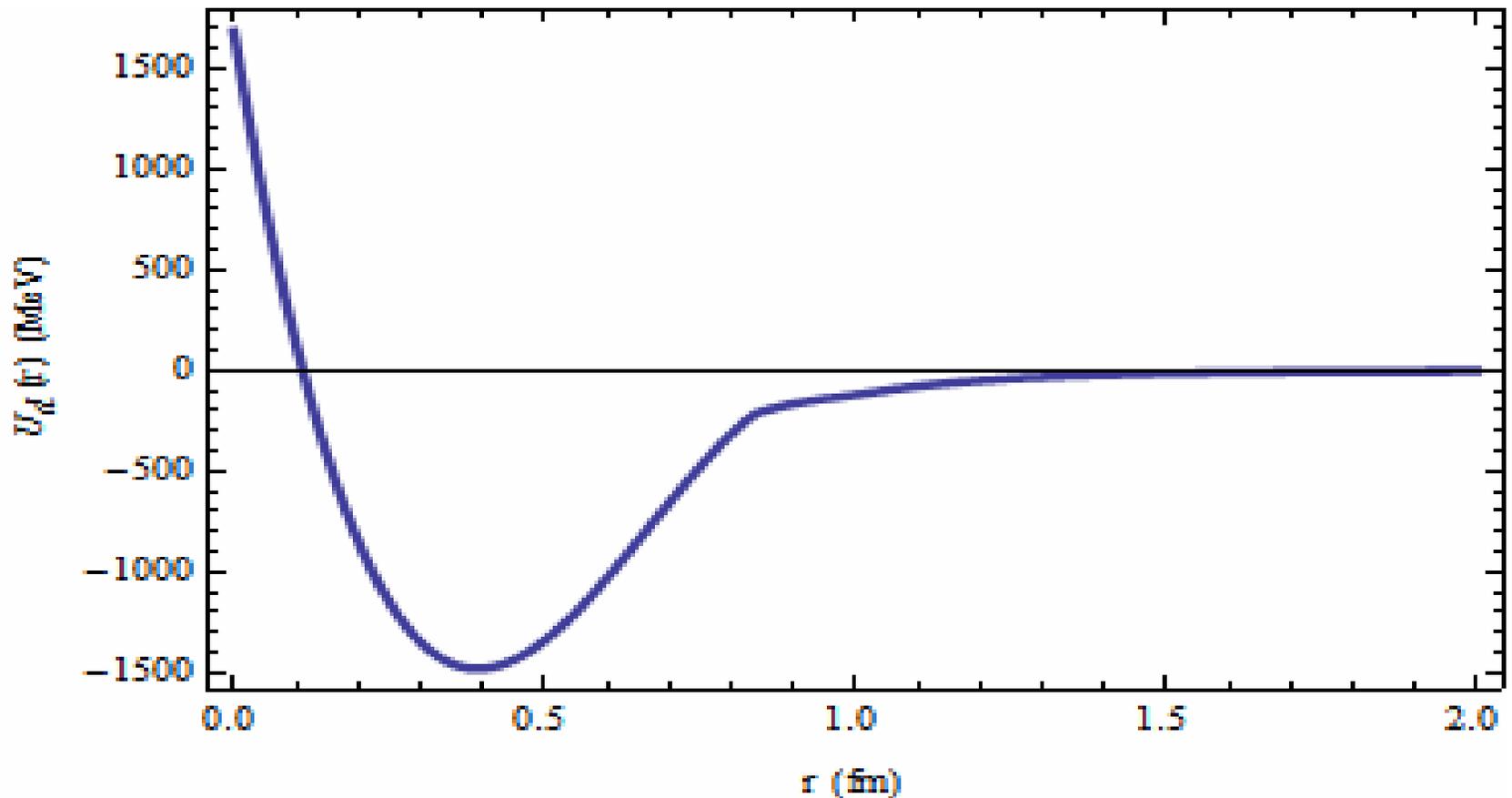
D-волна

Электромагнитные формфакторы:

$$G_E^{pn} = G_0^{pn} - \sqrt{2} G_2^{pn} \frac{Q}{2M}, \quad G_M^{pn} = G_0^{pn} + \frac{G_2^{pn}}{\sqrt{2}}$$

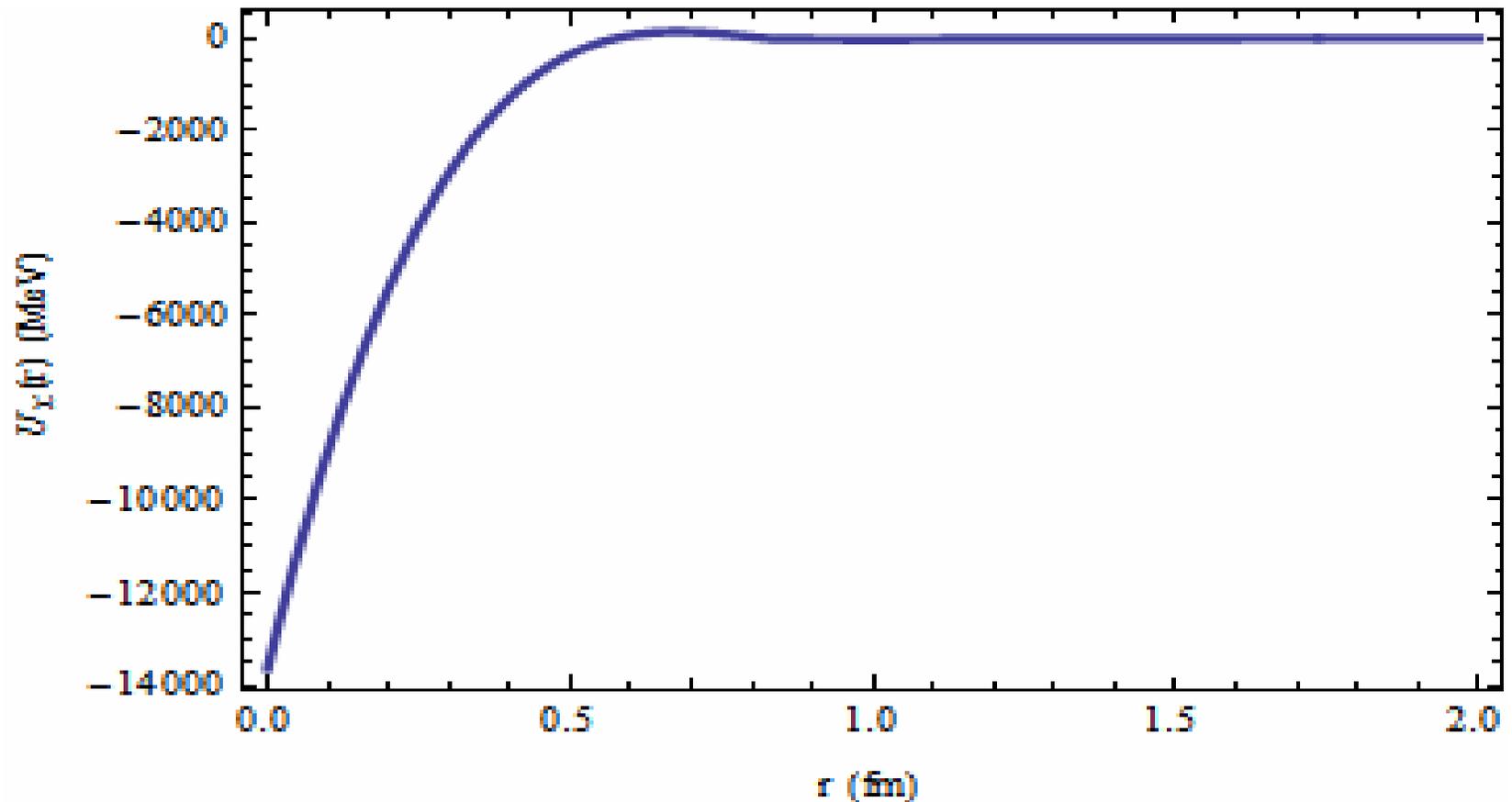
Нуклон-антинуклонный потенциал (Парижский 2008)

Прямой потенциал

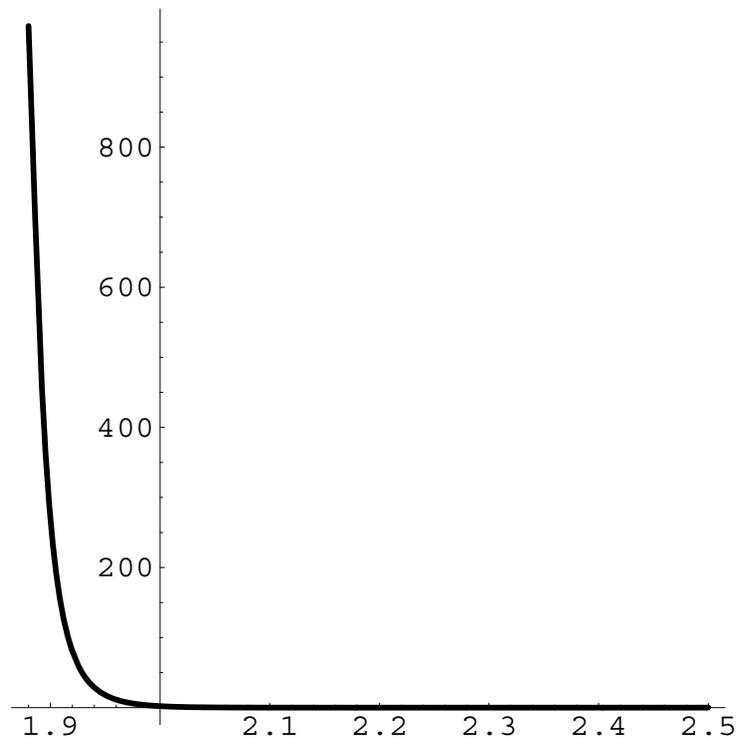
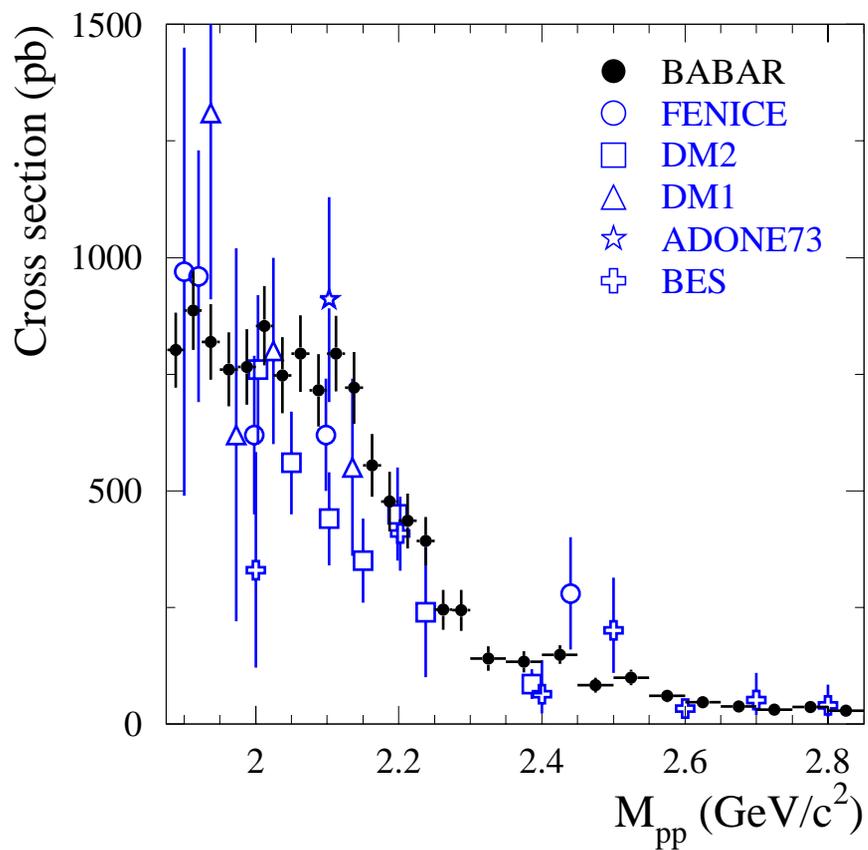


Нуклон-антинуклонный потенциал (Парижский 2008)

Обменный потенциал



Вычисления сечения с оригинальным Парижским потенциалом

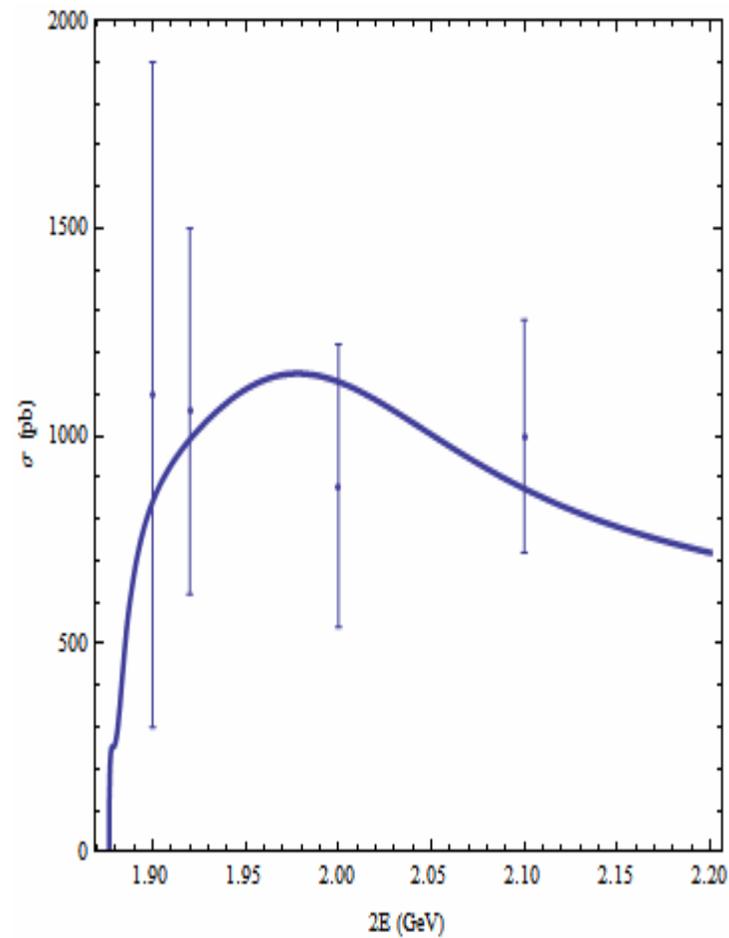
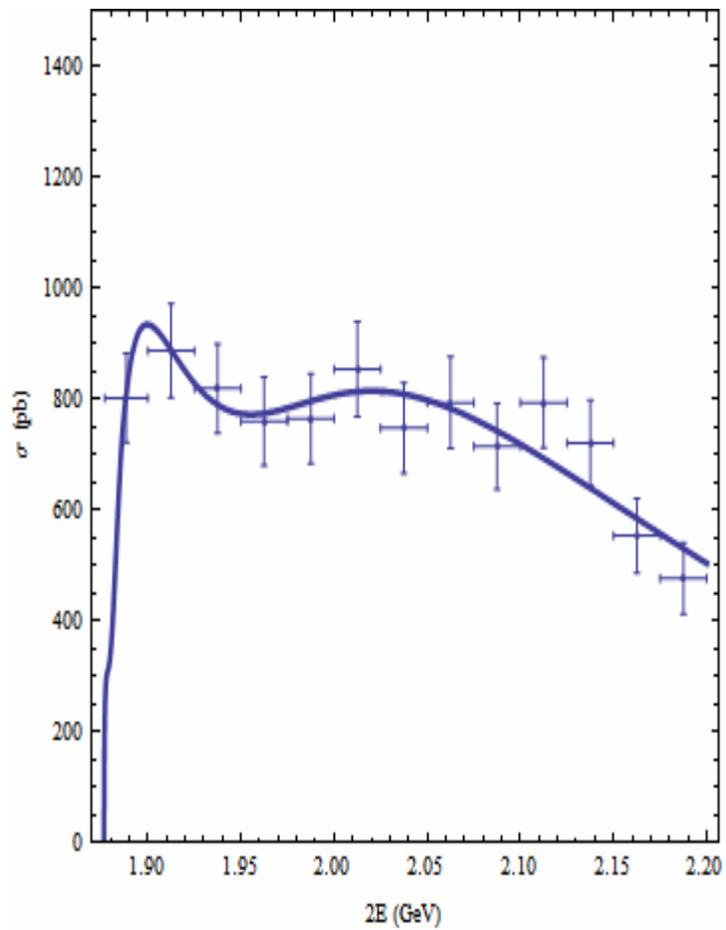


Модификация Парижского потенциала

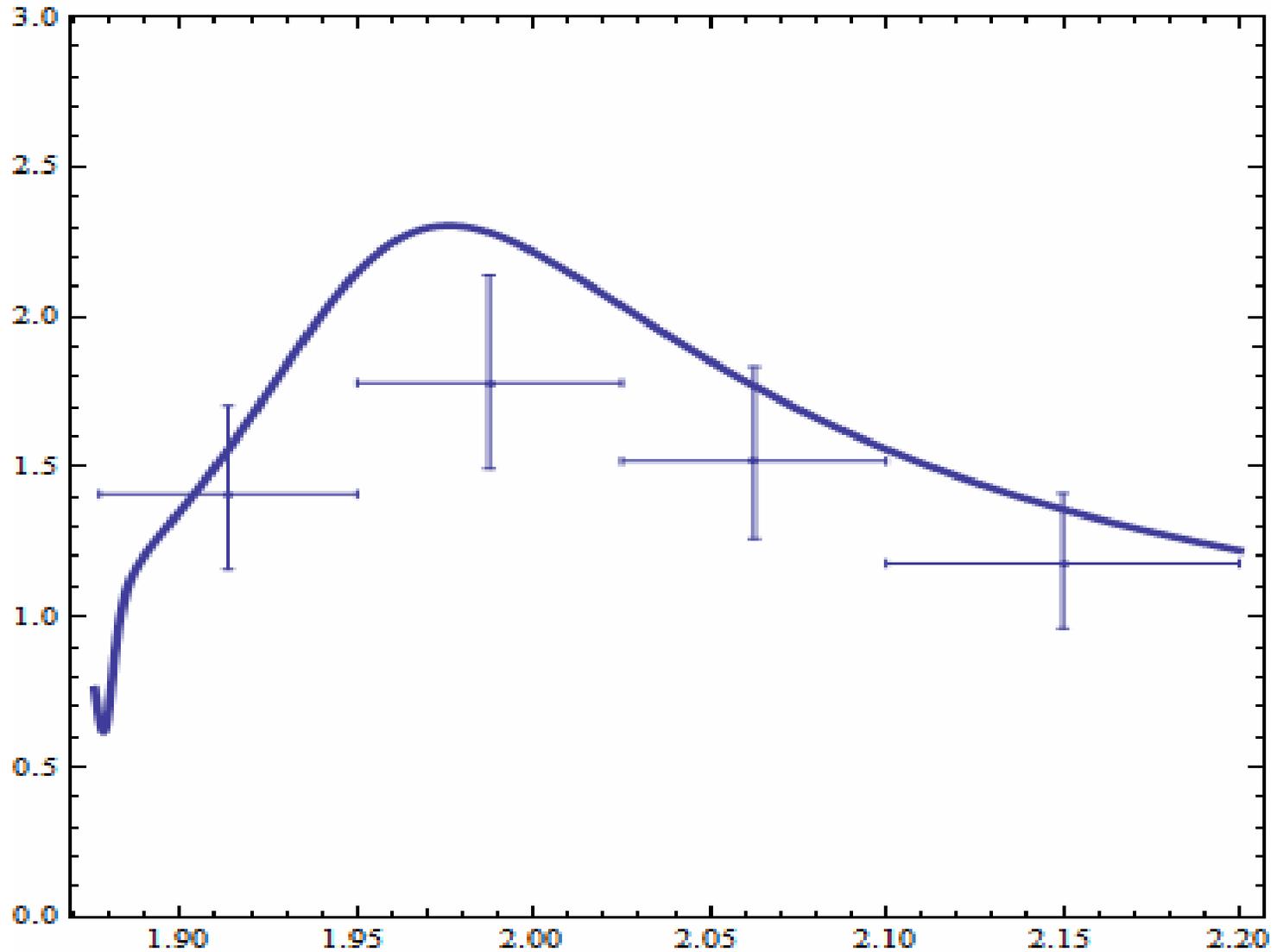
$$W(r) \sim \frac{K_0(2Mr)}{r} g_c (1 + f_c T_{lab})$$

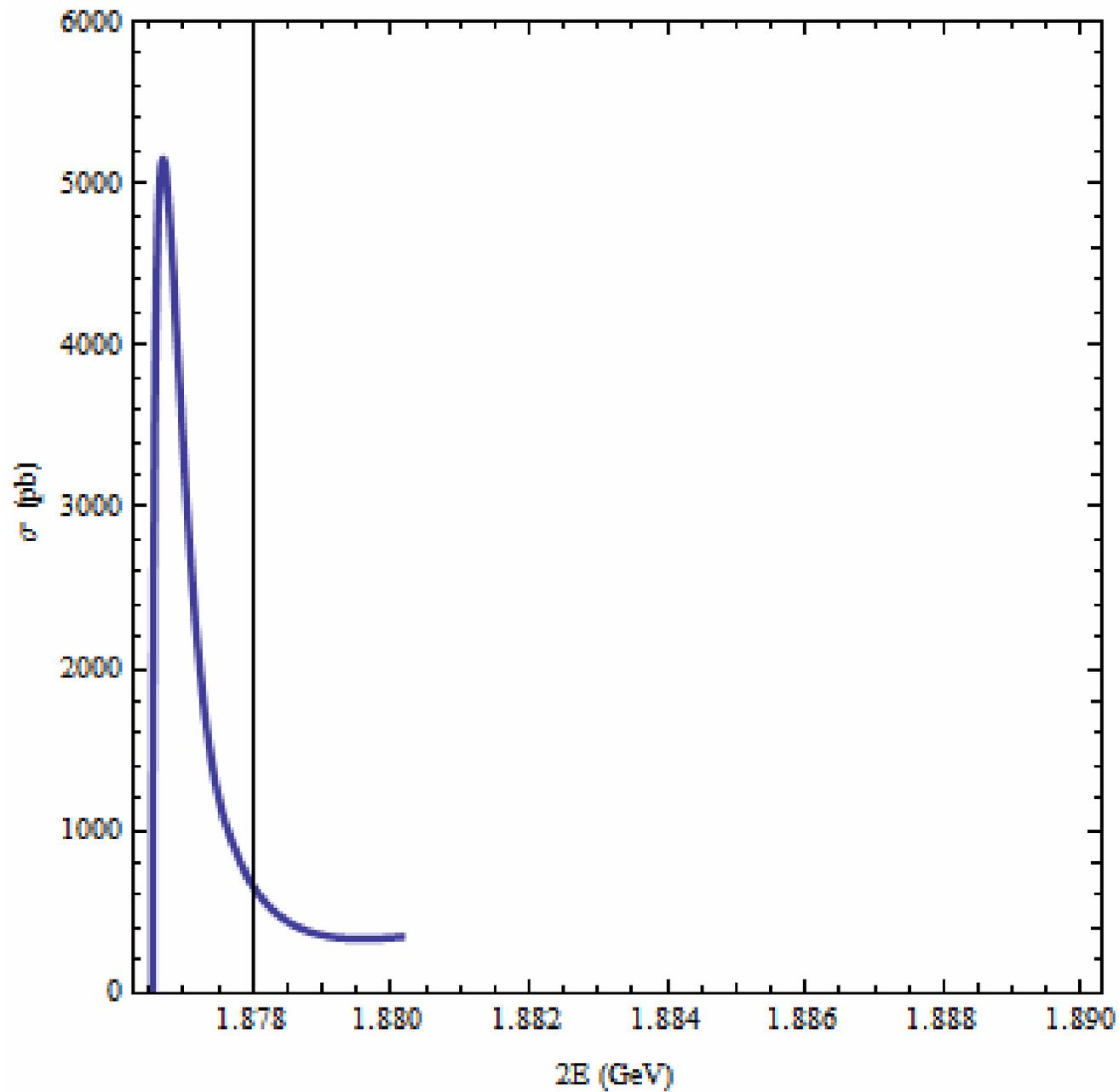
$$f_c = 0.0153, 0.0121 \text{ 1/MeV}$$

$$f_c \rightarrow f_c / 10$$

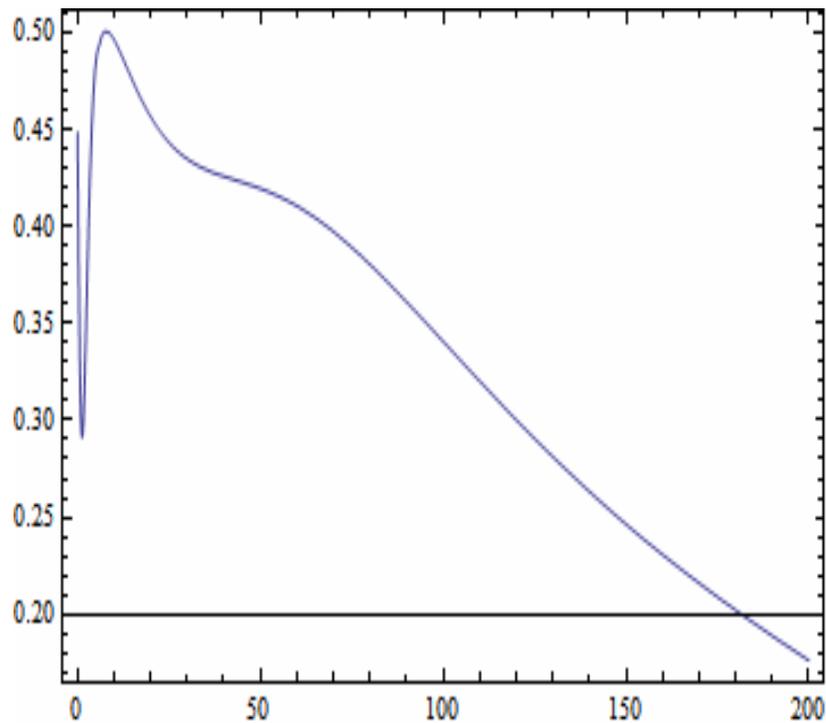


|Ge/Gm|

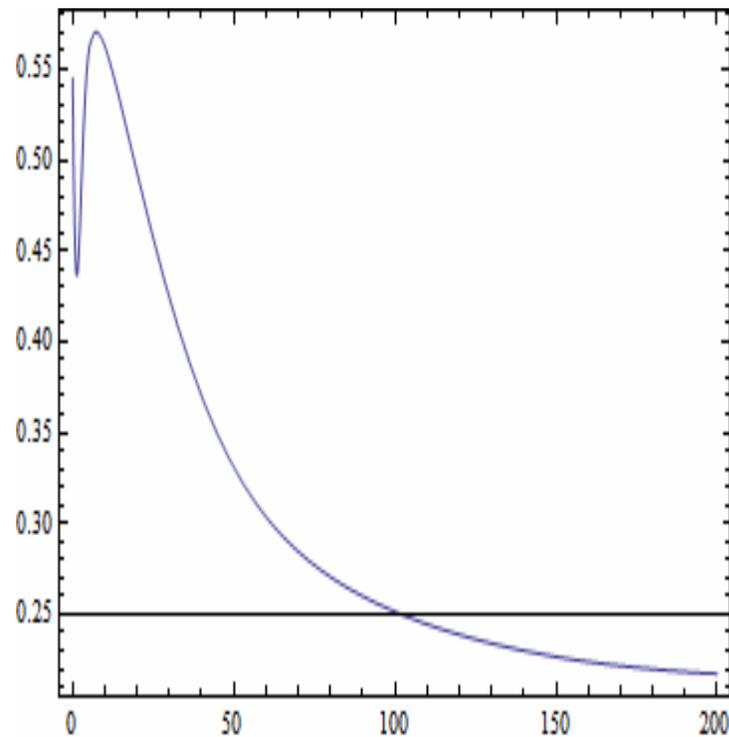




Поведение формфакторов при малых энергиях

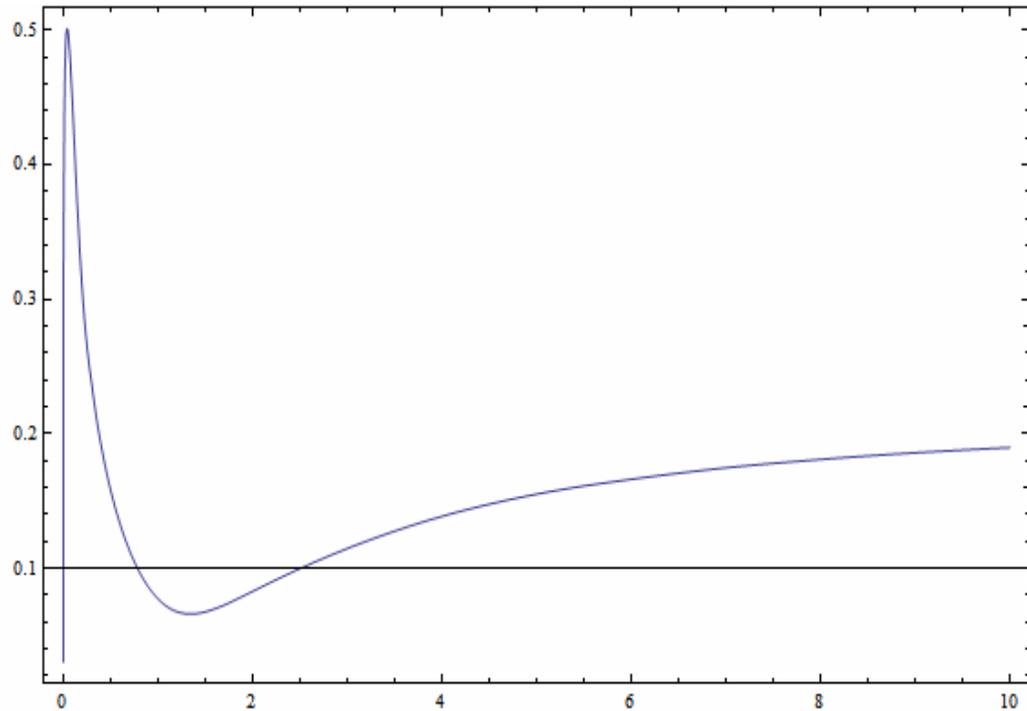


$$G_E^p(2E)$$



$$G_E^n(2E)$$

Пороговая область



$$|G_E^p(2E)| \sqrt{\beta}$$

Заключение

Есть указания на аномальное поведение формфакторов вблизи порога реакции ($2E < 10 \text{ MeV}$). Изучение пороговой области представляет значительный интерес с точки зрения возможного существования резонансов как выше, так и ниже порога реакции. По крайней мере существует один резонанс – протон-антипротонный атом вблизи порога. Сечение рождения на пороге может быть конечным как за счёт атомных состояний, так и за счёт канала аннигиляции. Теоретические расчёты в этой области ненадёжны и поэтому измерения сечений в этой области крайне важны для понимания механизма реакции.