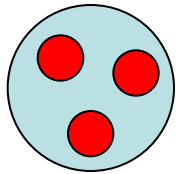
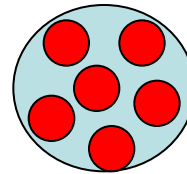


Сверхузкие дибарионы

Л.В. Фильков



нуклон



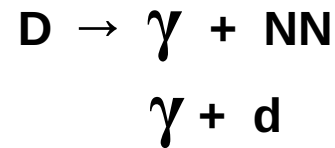
6-кварковое состояние
(дибарион)



$$\Gamma \sim 10 \text{ — } 100 \text{ МэВ}$$

6-кварковые состояния, распад которых на два нуклона запрещен принципом Паули.

$$M < 2m_N + m_\pi$$



$$\Gamma \sim \text{эВ}$$

* Широкие дибарионы :

$$\Gamma \sim 10 \text{ — } 100 \text{ МэВ}$$

* Узкие дибарионы :

$$\Gamma \sim 1 \text{ — } 10 \text{ МэВ}$$

* Сверхузкие дибарионы :

$$\Gamma \ll 1 \text{ keV}$$

$$(-1)^{T+S} P = +1$$

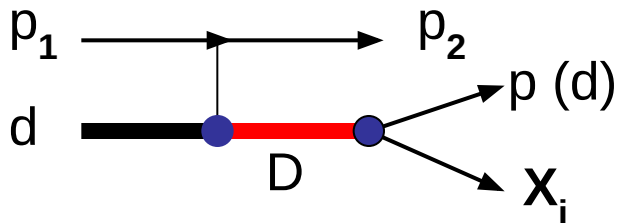
1. Построение адекватной КХД модели.
2. **Астрофизика**: эволюция компактных звезд.
3. **Кварк-глюонная плазма**: специфические сигналы образования КГП с большой барионной плотностью.
4. **Ядерная физика**: образование дибарионных ядер; область стабильности нейтронно-избыточных ядер.

$p + d \rightarrow p + X$

L.V. Fil'kov, V.L. Kashevarov, E.S. Konobeevski *et al.*, Phys.Rev. C**61**, 044004 (2000); Eur.Phys.J. A**12**, 369 (2001)

Московская мезонная фабрика ИЯИ.

$$T_p = 305 \text{ МэВ}$$



1. $D \rightarrow \gamma NN$

2. Корреляции

$$p_1 + d \rightarrow p_2 + pX_1$$

$$p_1 + d \rightarrow p_2 + dX_2$$

• $D \rightarrow \gamma NN$ $\theta_p \approx p_{\perp} / p_{\parallel} \sim$ несколько градусов

• $D \rightarrow \gamma d$ $\sin \theta_d \leq M p_d^{\text{cms}} / (m_d p_D^{\text{ls}}) \rightarrow$ несколько градусов

• $D \rightarrow NN$ $\Delta \theta_p \approx 50^\circ$

$$p_1 + d \rightarrow p_2 + pX_1 \quad \theta_p = 34^\circ \text{ and } 36^\circ$$

$$M_{pX_1}: 1904 \pm 2, 1926 \pm 2, 1942 \pm 2$$

$$SD: \quad 6.0 \quad 7.0 \quad 6.3$$

$\Gamma < 5$ МэВ (экспериментальное разрешение)

$$\text{if } X_1 = n \rightarrow M_{X_1} = m_n$$

$$\text{if } X_1 = \gamma + n \rightarrow M_{X_1} >$$

m_n

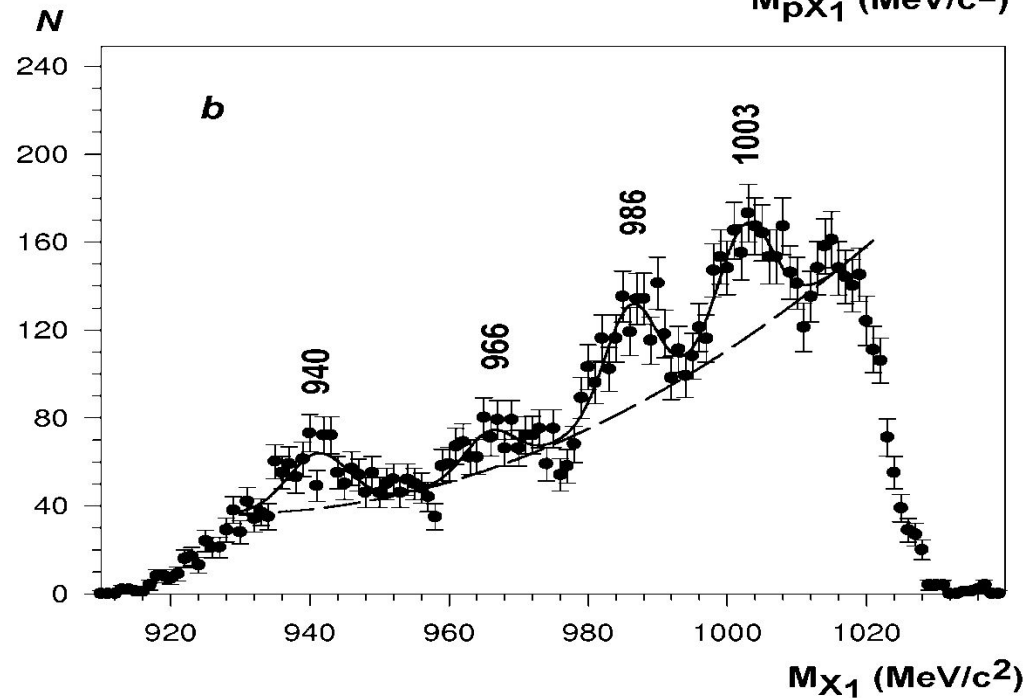
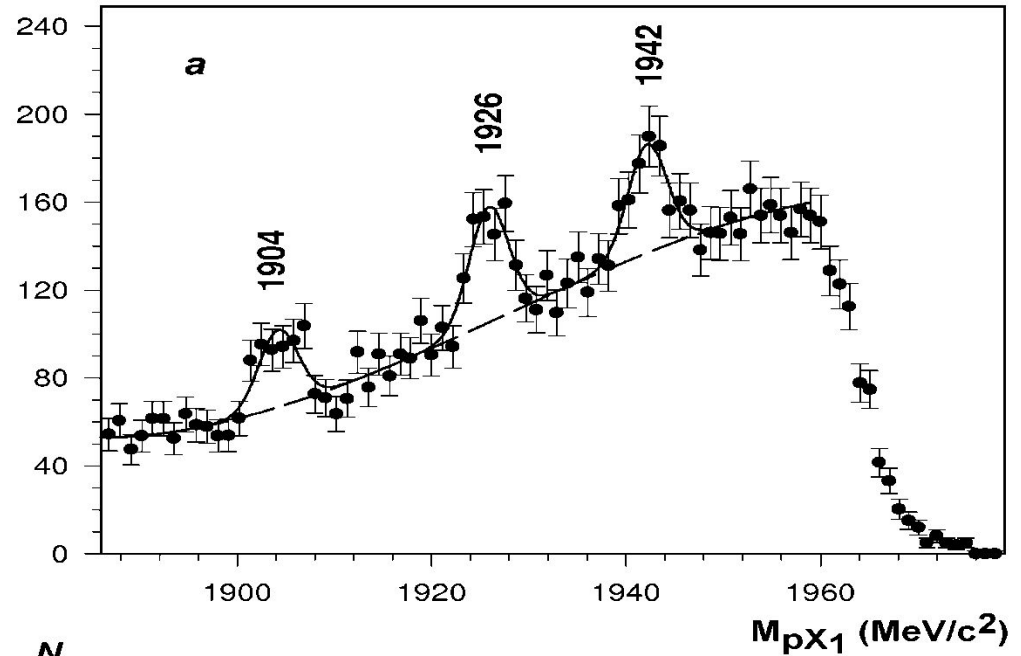
Симуляция массового спектра M_{X_1} :

$$M_{X_1} = 965, 987, 1003 \text{ MeV}$$

Эксперимент:

$$M_{X_1} = 965 \pm 2, 986 \pm 2, 1003 \pm 2$$

$$X_1 = \gamma + n$$



$p d \rightarrow p pX$

$p d \rightarrow p dX_1$

Research Center for Nuclear Physics (Japan)

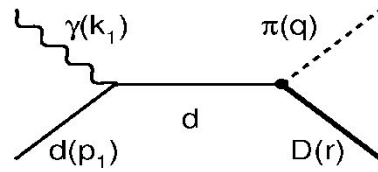
H. Kuboki et al. Phys. Rev. C 74, 025203 (2006)

1. Никакие резонансные структуры в спектрах недостающих масс pX и dX_1 не были наблюдаемы.
2. Никакие резонансные структуры в массовых спектрах X не были наблюдаемы. (Это находится в противоречии с результатами работы
B. Tatischeff et al. (Phys. Rev. Lett. 79, 601 (1997))

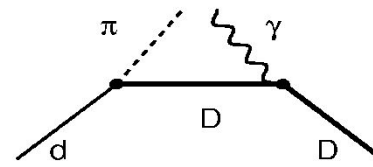
ИЯИ: интенсивность пучка 0.1 nA

RCNP: интенсивность пучка (15 – 20) nA

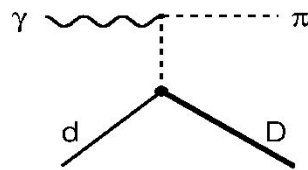
ПОИСК СВЕРХУЗКИХ ШЕСТИ-КВАРКОВЫХ СОСТОЯНИЙ В РЕАКЦИИ $\gamma d \rightarrow \pi\gamma NN$



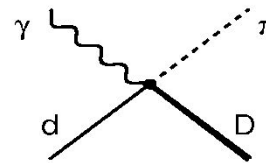
(a)



(b)



(c)



(d)

$$\Gamma_{d \rightarrow \pi D(1,1^-,0)} = \frac{g_1}{M} \sqrt{\eta} \Phi_{\mu\nu} G^{\mu\nu},$$

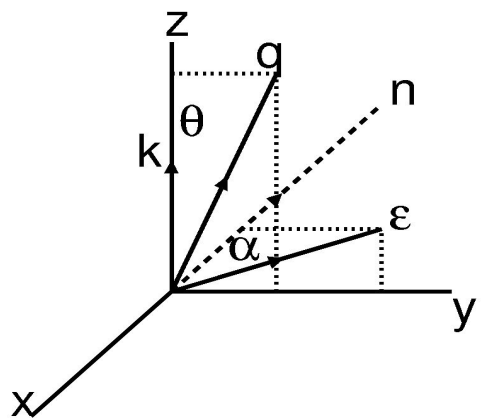
$$\Gamma_{d \rightarrow \pi D(1,1^+,1)} = \frac{g_2}{M} \sqrt{\eta} \varepsilon_{\mu\nu\lambda\sigma} \Phi^{\mu\nu} G^{\lambda\sigma}$$

где $\Phi_{\mu\nu} = r_\mu w_\nu - w_\mu r_\nu$, $G_{\mu\nu} = p_{1\mu} v_\nu - v_\mu p_{1\nu}$, w и v - 4-векторы поляризации дибариона и дейтрона, соответственно

$$\eta \frac{g_1^2}{4\pi} = 0.7 \times 10^{-3},$$

$$\eta \frac{g_2^2}{4\pi} = 1.5 \times 10^{-3}.$$

$$\vec{\gamma}(k) + d \rightarrow \pi(q) + D(p)$$

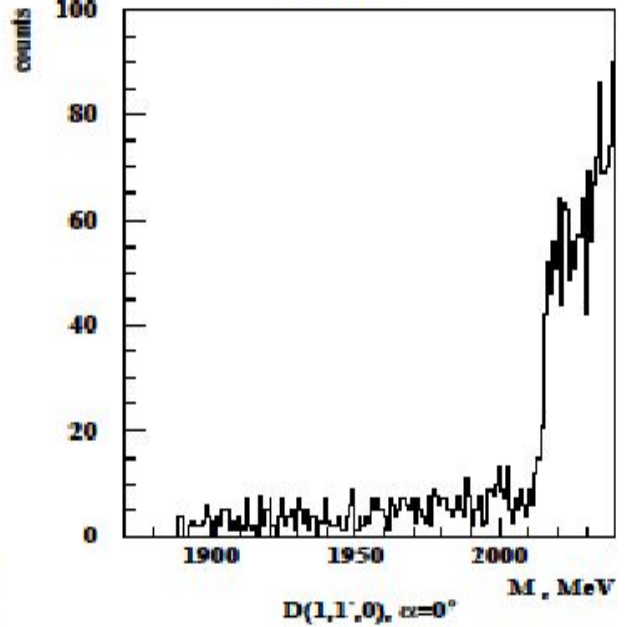
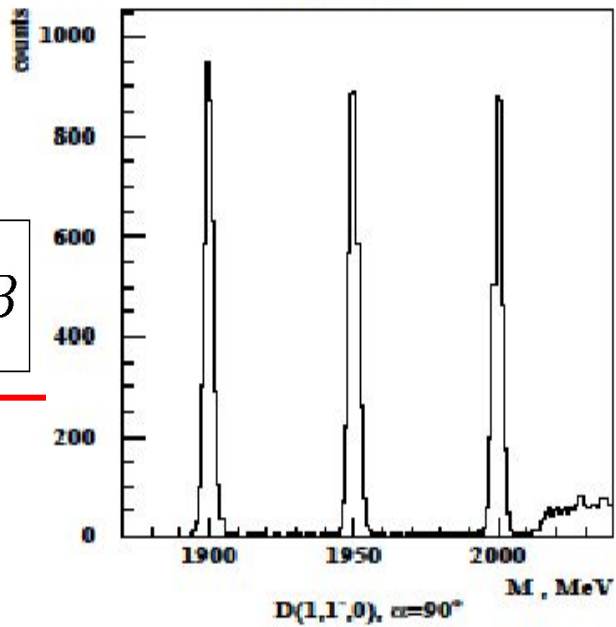
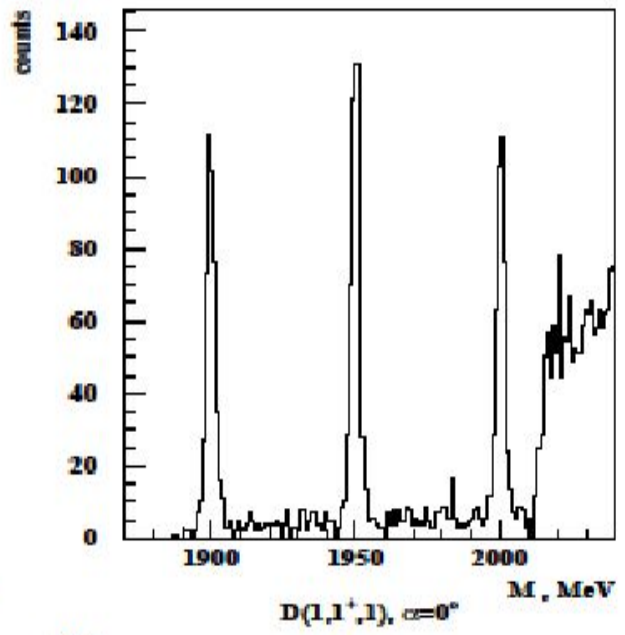
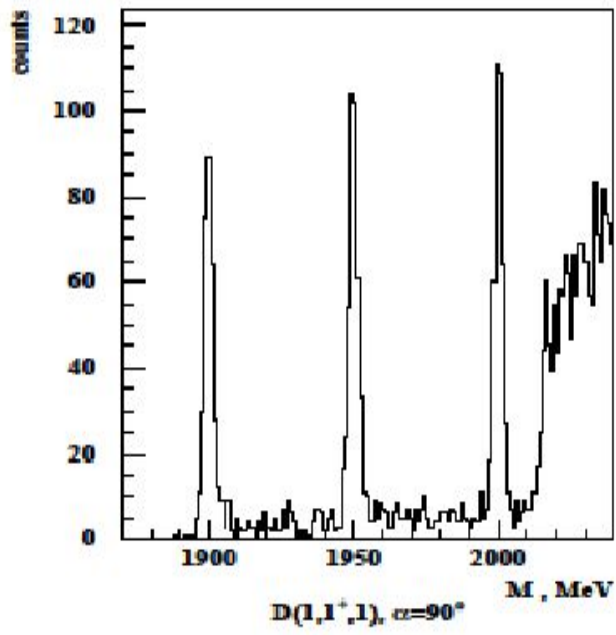


$$\vec{n} = \frac{[\vec{k} \times \vec{q}]}{\nu q}$$

$$\cos \alpha = (\vec{\epsilon} \vec{n}),$$

$$(\vec{\epsilon} \vec{q}) = q \sin \theta_{\pi} \sin \alpha,$$

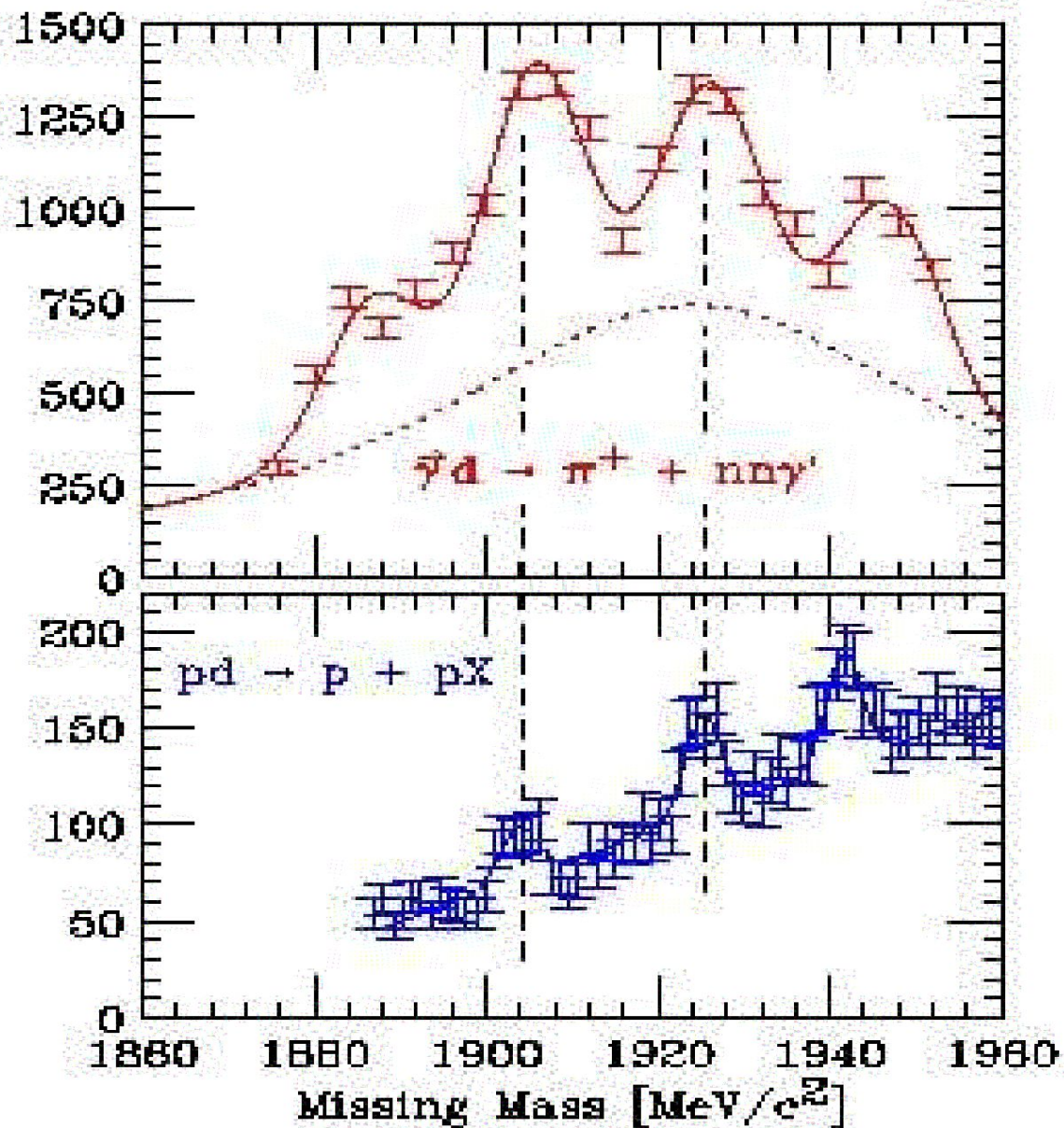
$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = A + q^2 \sin^2 \theta_{\pi} \sin^2 \alpha B$$



$$\underline{\vec{\gamma} + d \rightarrow \pi^+ + D \rightarrow \pi^+ + \gamma nn}$$

A. Cichocki, PhD (2003)

B. Norum *et al.* (LEGS, BNL)



$E_\gamma = 210-340$ MeV

$\alpha = 90^\circ$

$\sigma = 25-14$ nb

ФОН

$$\gamma + \mathbf{d} \rightarrow \pi^0 + \pi^+ + \mathbf{n} + \mathbf{n},$$

$$\gamma + \mathbf{d} \rightarrow \pi^0 + \pi^- + \mathbf{p} + \mathbf{p},$$

$$\gamma + \mathbf{d} \rightarrow \pi^0 + \pi^0 + \mathbf{p} + \mathbf{n}.$$

$\nu > 500 \text{ МэВ},$

$$M < 2m_{\mathbf{N}} + m_{\pi}$$

$$\underline{\gamma + \mathbf{d} \rightarrow \pi + \gamma + \mathbf{N} + \mathbf{N}}$$

1. $T_{\mathbf{N}} \leq 100 \text{ МэВ}.$

2. $T_{\mathbf{N}} = f(\nu, \mathbf{E}_{\pi}, \theta_{\pi}), \quad \Delta T_{\mathbf{N}} \leq 30 \text{ МэВ}.$

3. $\Delta \theta_{\mathbf{N}} \lesssim 3^\circ$

4. Законы сохранения.

5. Хорошая реконструкция π^0 -мезона ($\sim 90\%$).

6. Узкий пик в энергетическом спектре конечных фотонов.

7. Фон распределен по всему спектру масс. Эффект дает вклад в узкой области около массы СУД.

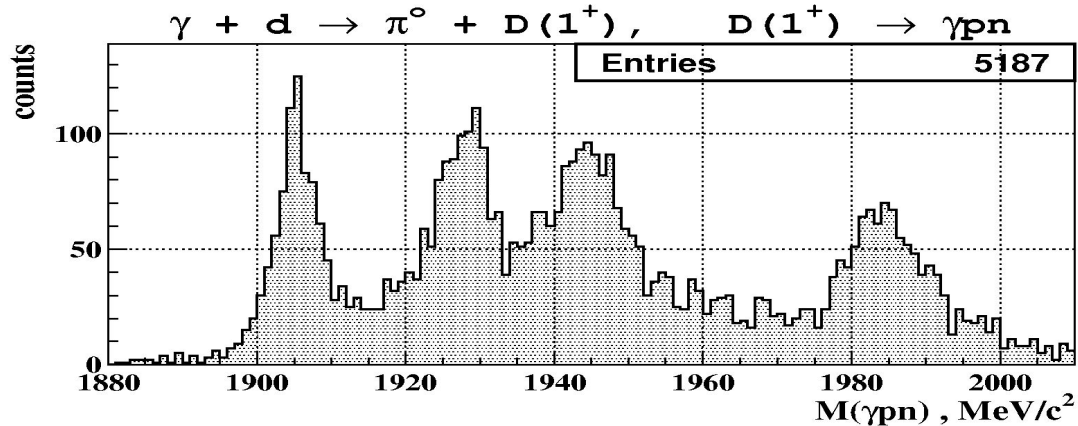
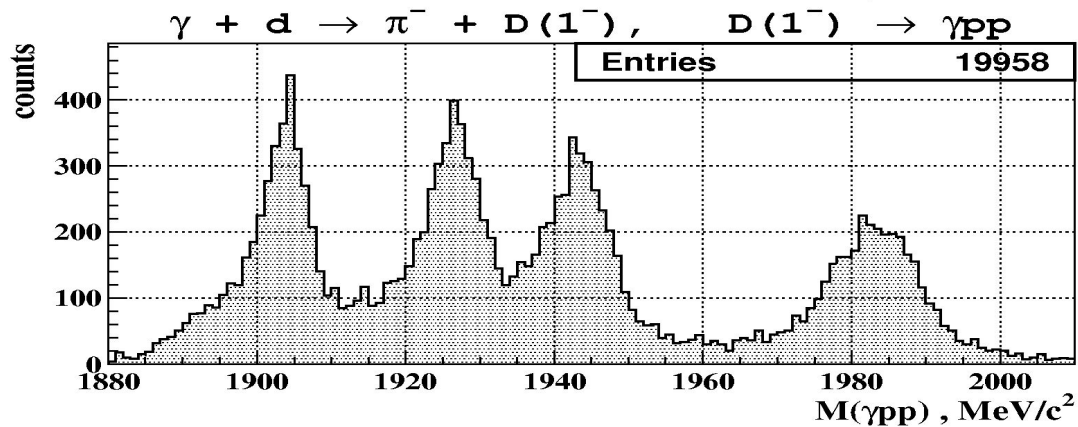
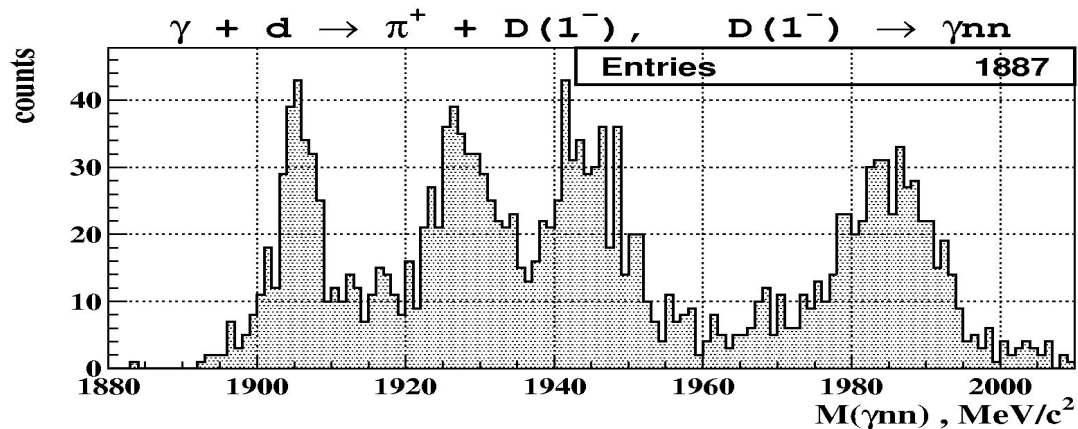
М (МэВ)	$\gamma d \rightarrow \pi^+ D(1, 1^-)$		$\gamma d \rightarrow \pi^- D(1, 1^-)$		$\gamma d \rightarrow \pi^0 D(1, 1^+)$	
	ВЫХОДЫ	σ_M	ВЫХОДЫ	σ_M	ВЫХОДЫ	σ_M
1904	150	4.0	1910	4.0	560	3.8
1926	190	4.6	2160	4.6	590	4.4
1942	200	5.7	2162	5.5	590	5.6
1980	240	6.9	2100	7.0	530	6.9

Таблица 1: Ожидаемые выходы СУД и разрешение по массе (σ_M (МэВ))

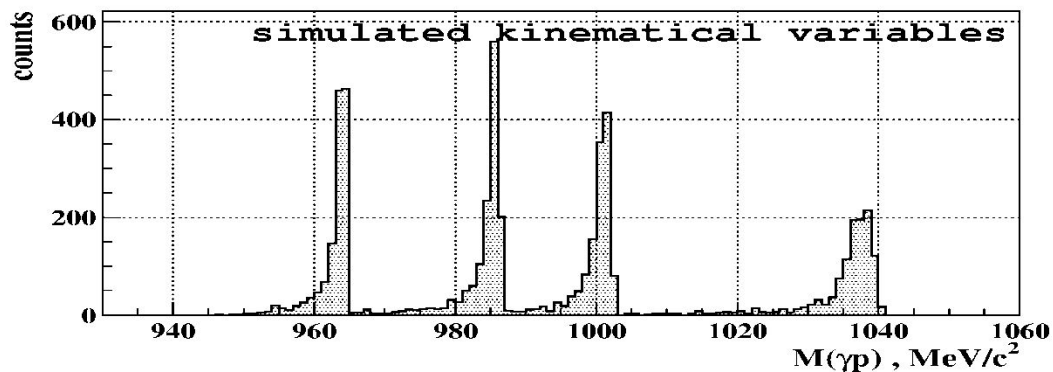
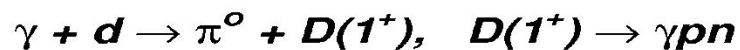
- Энергия налетающего пучка электронов: 850 МэВ.
- Энергия меченых фотонов: 300 – 800 МэВ.
- Интенсивность меченых фотонов: 6×10^5 1/сек.
- Эффективность мечения: 50%.
- Мишень: 5 см LD₂.

Время облучения: 500 часов

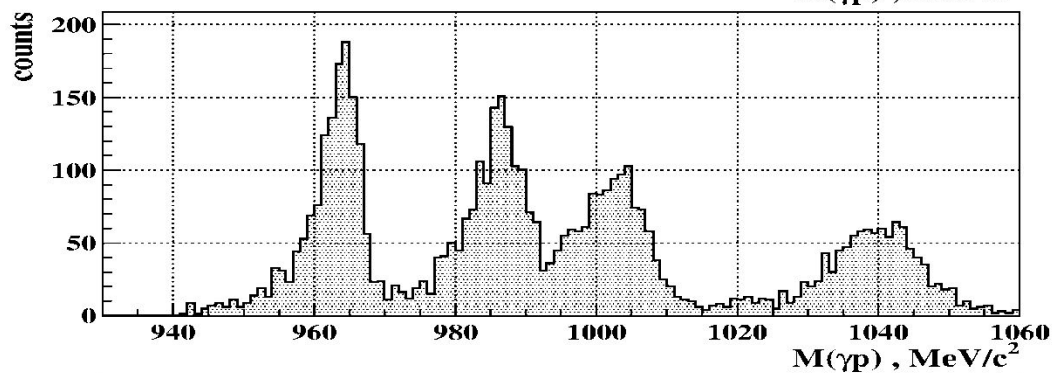
GEANT симуляция СУД



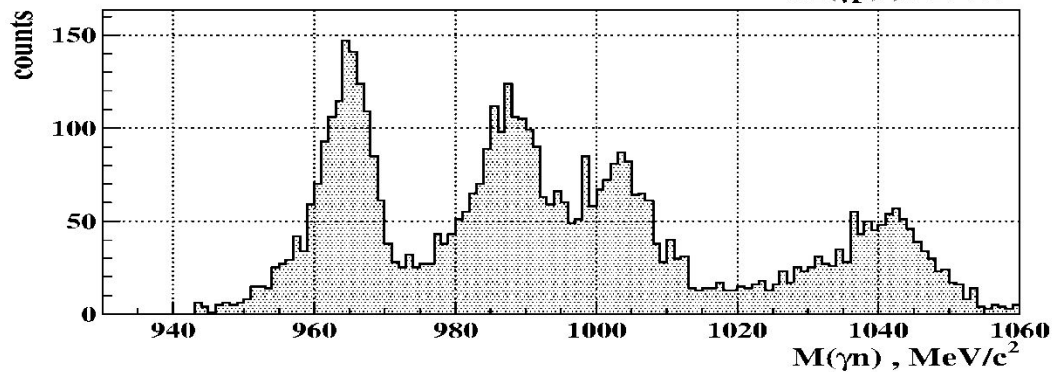
GEANT симуляция γ р и γ n спектров масс; (а) – без влияния детекторов.



(a)



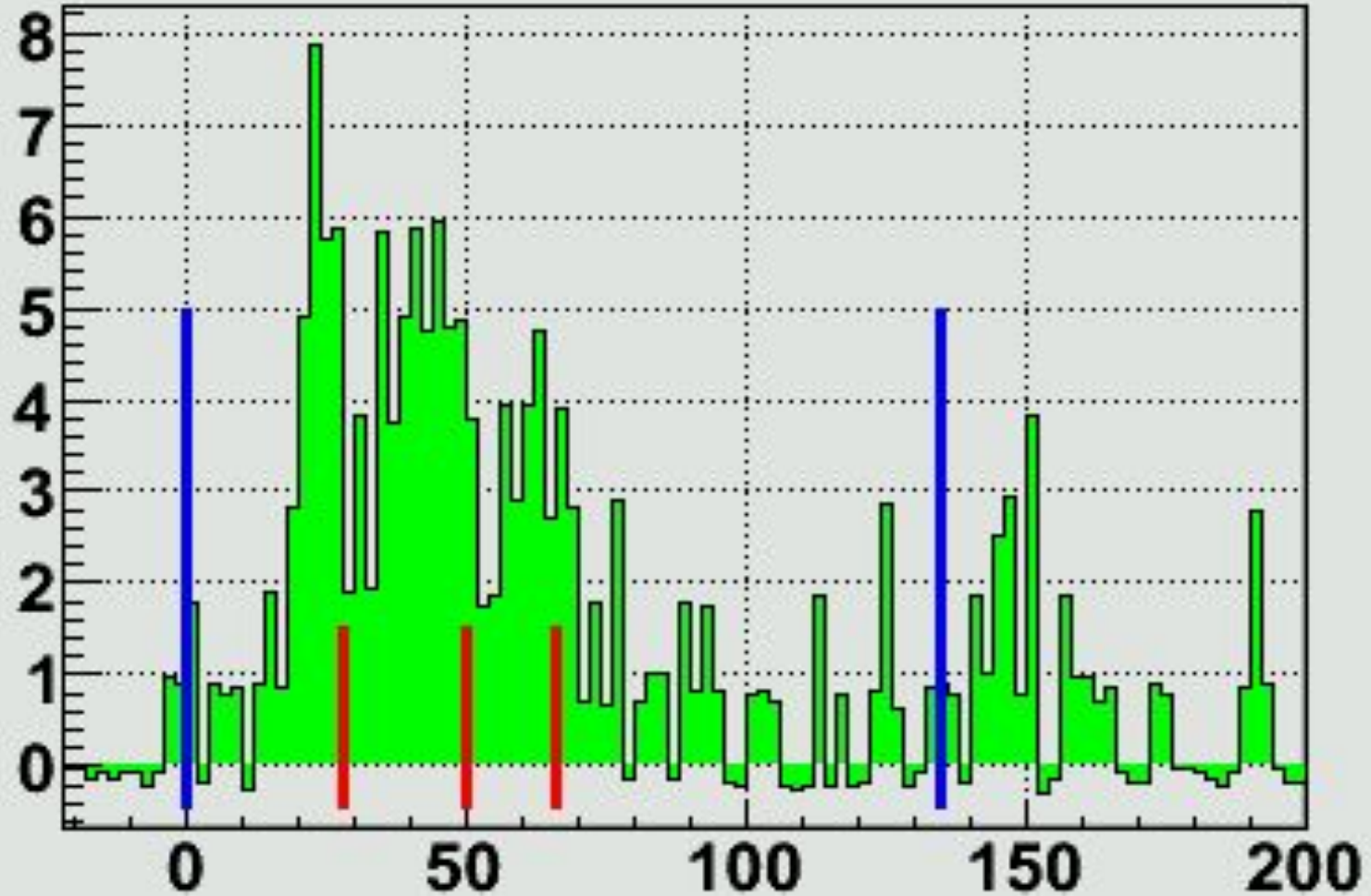
(b)



(c)

$\gamma d \rightarrow \pi^0 + \gamma pn$

MAMI (Preliminary)



$MM(\gamma, \pi^0) - m_d$ (MeV)

Заключение

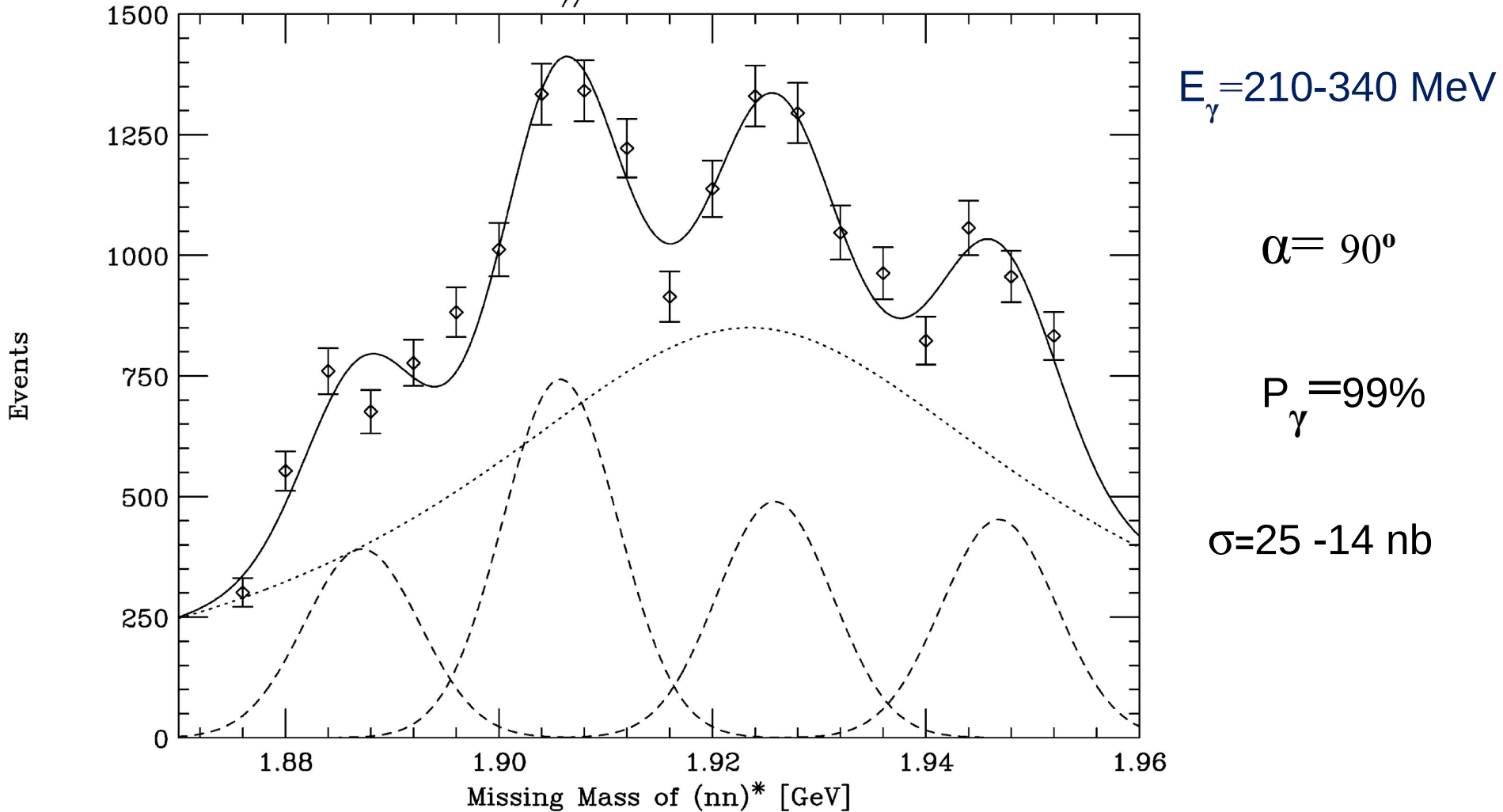
1. Эксперименты, проведенные в ИЯИ, на LEGS (BNL), и предварительные данные, полученные на MAMI (Майнс, Германия), свидетельствуют о возможности существования сверхузких шестикварковых состояний.
2. Для более убедительного доказательства сосуществования СУД и исследования их свойств планируется проведение экспериментов по изучению реакции $\gamma + d \rightarrow \pi + X \rightarrow \pi + \gamma NN$ на микротроне MAMI (Майнц).

$$\vec{\gamma} + d \rightarrow \pi^+ + D \rightarrow \pi^+ + \gamma nn$$

A. Cichocki, PhD (2003)

B. Norum et al. (LEGS)

$$\vec{\gamma} + d \rightarrow \pi_{//}^+ + (nn)^* \rightarrow n + n + \gamma'$$



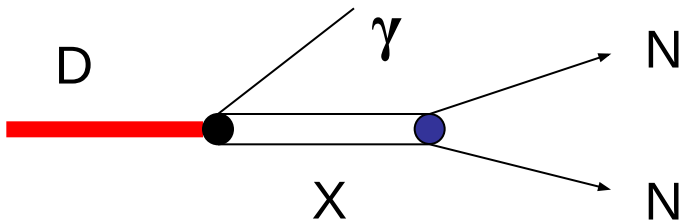
Conclusion

1. A search for narrow six-quark states in the reactions $\gamma d \rightarrow \pi^+ \gamma nn$, $\gamma d \rightarrow \pi^- \gamma pp$, and $\gamma d \rightarrow \pi^0 \gamma pn$ at MAMI-C is proposed.
2. The masses of the SNDs will be reconstructed by a measurement of the pion, the photon, and two nucleon.
3. Using of the deuteron target allows avoiding uncertainties taken place in the experiment at INR.
4. Using of Crystal Ball spectrometer, TAPS, and MWPC allows one to detect γ , π , p and n with good accuracy and suppress essentially the background.

5. This experiment gives possibility to observe the SNDs in the mass region from 1880 up to 2000 MeV with good enough precision.
6. A comparison of the results obtained for the reactions under study will allow the quantum numbers of the SNDs (T, J^P) to be determined.
7. Study of the γp and γn mass spectra will give an additional information about the nature of the observed dibaryon states and a possibility of existence of exotic baryons with small masses.
8. A beam of linearly polarized photons can teach more about the nature of SNDs.

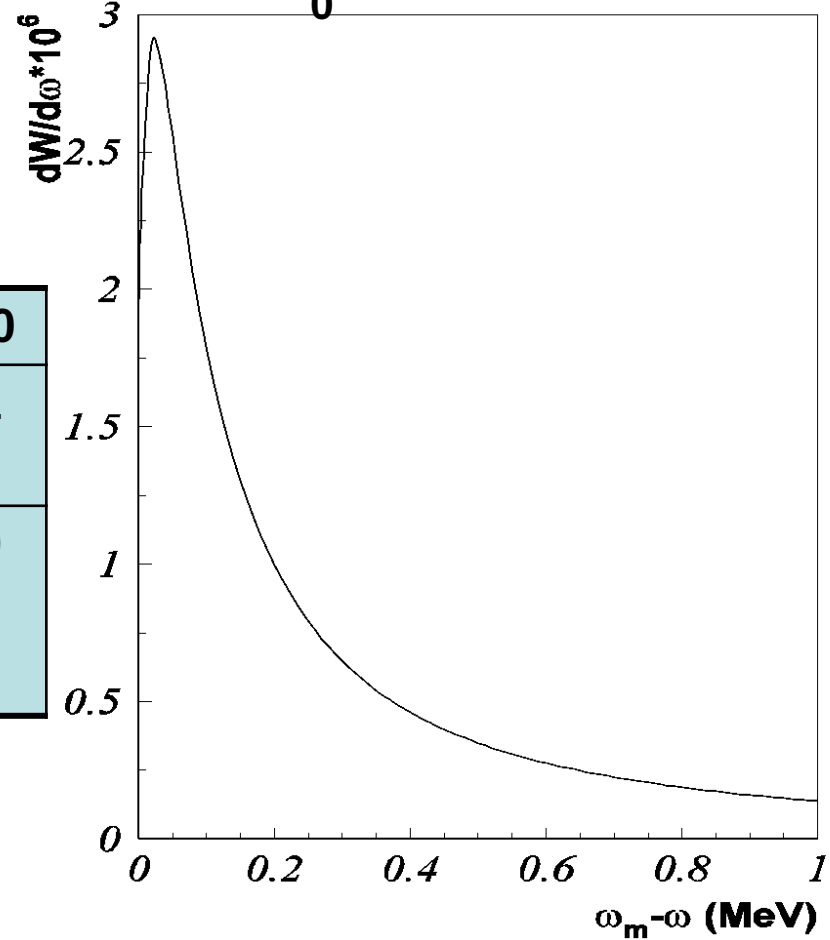
$D(T=0, J^P=0^+)$,
 $D(T=1, J=1^+)$,

$D(0, 0^-)$,
 $D(1,1^-)$

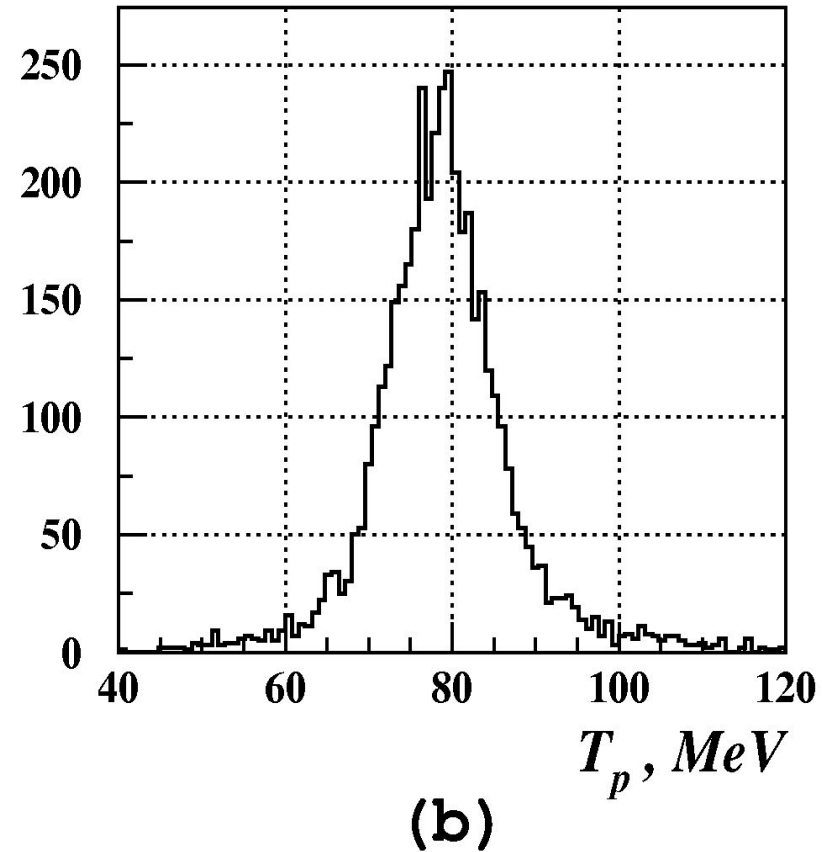
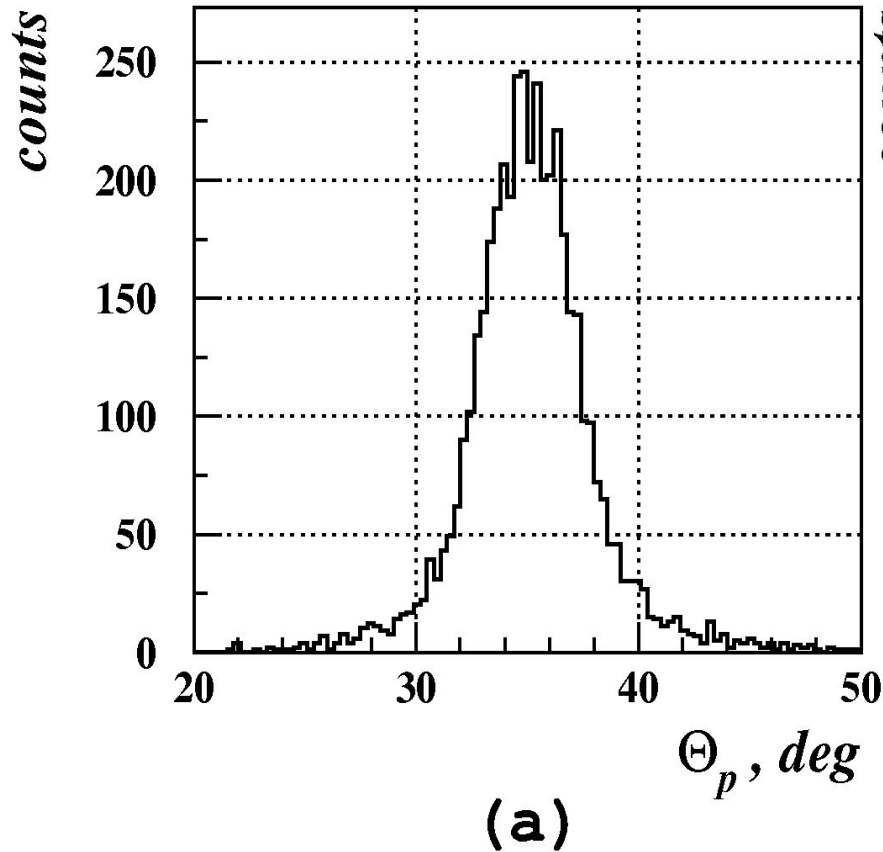


$$X = \begin{cases} d & \text{if } T=0 \\ {}^{31}\text{S}_0 & \text{if } T=1 \end{cases}$$

M(GeV)	1.90	1.91	1.93	1.96	1.98	2.00
$\Gamma(1,1^+)$ (eV)	0.51	1.57	6.7	25.6	48	81
$\Gamma(1,1^-)$ (eV)	0.13	0.39	1.67	6.4	12	20



The angular and energy distributions for the nucleon from the decay of the SND with $M=1904$ MeV



1. P.J.G. Mulders *et al.* (1980)

MIT bag model: $D(T=0; J^P = 0^-, 1^-, 2^-; M=2110 \text{ MeV}),$

$D(1; 1^-; M=2200 \text{ MeV})$

$$M > 2m_N + m_\pi$$



$D \rightarrow \pi NN$

2. V.B. Kopeliovich (1993)

Chiral soliton model: $D(T=1; J^P = 1^+; M \approx 1940 \text{ MeV}),$

$D(0; 2^+; M \approx 1990 \text{ MeV})$

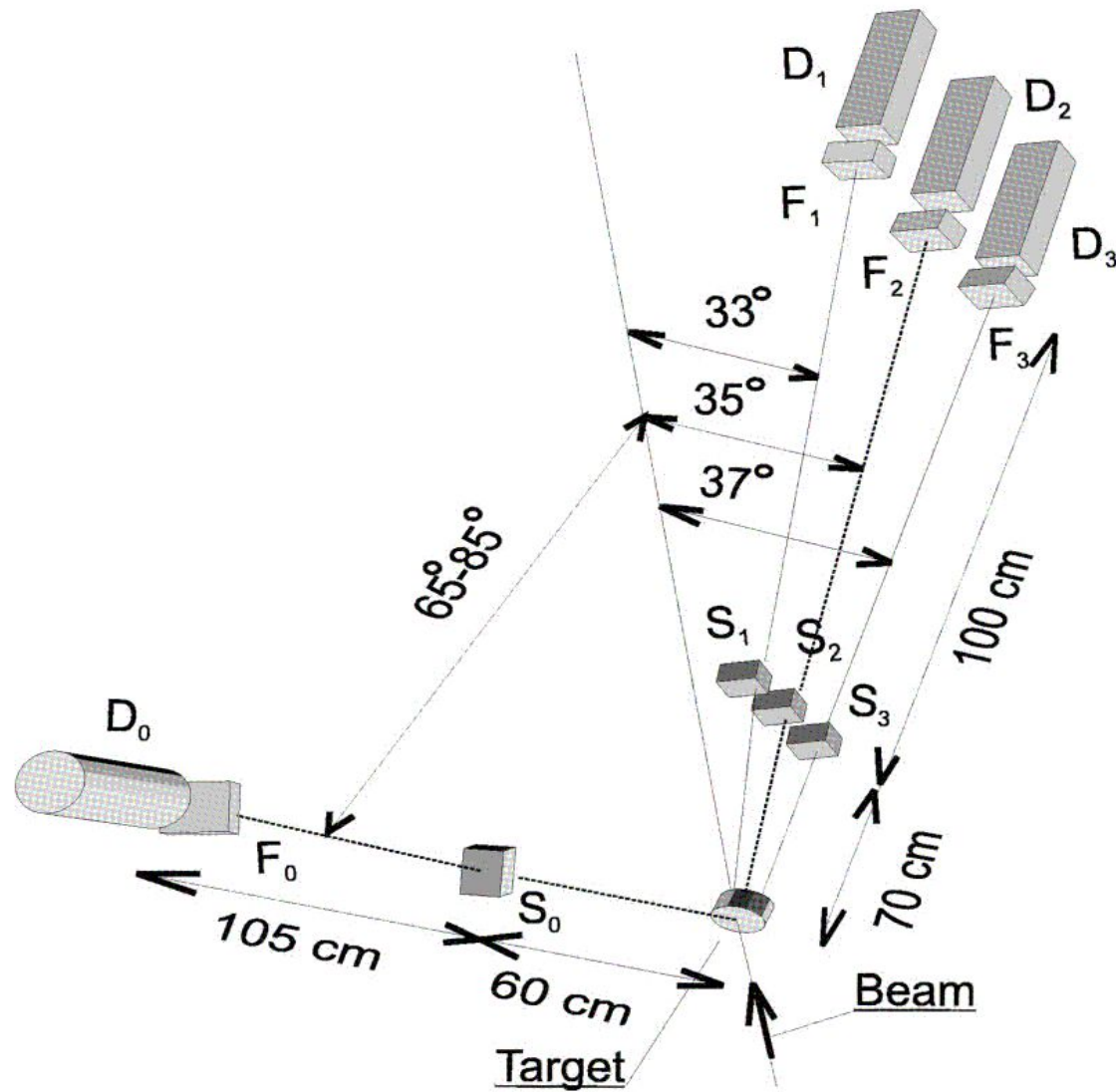
3. T. Krupnovniskas *et al.* (2001)

Canonically quantized biskyrmion model:

$$M < 2m_N + m_\pi$$

one dibaryon with $J=T=0,$

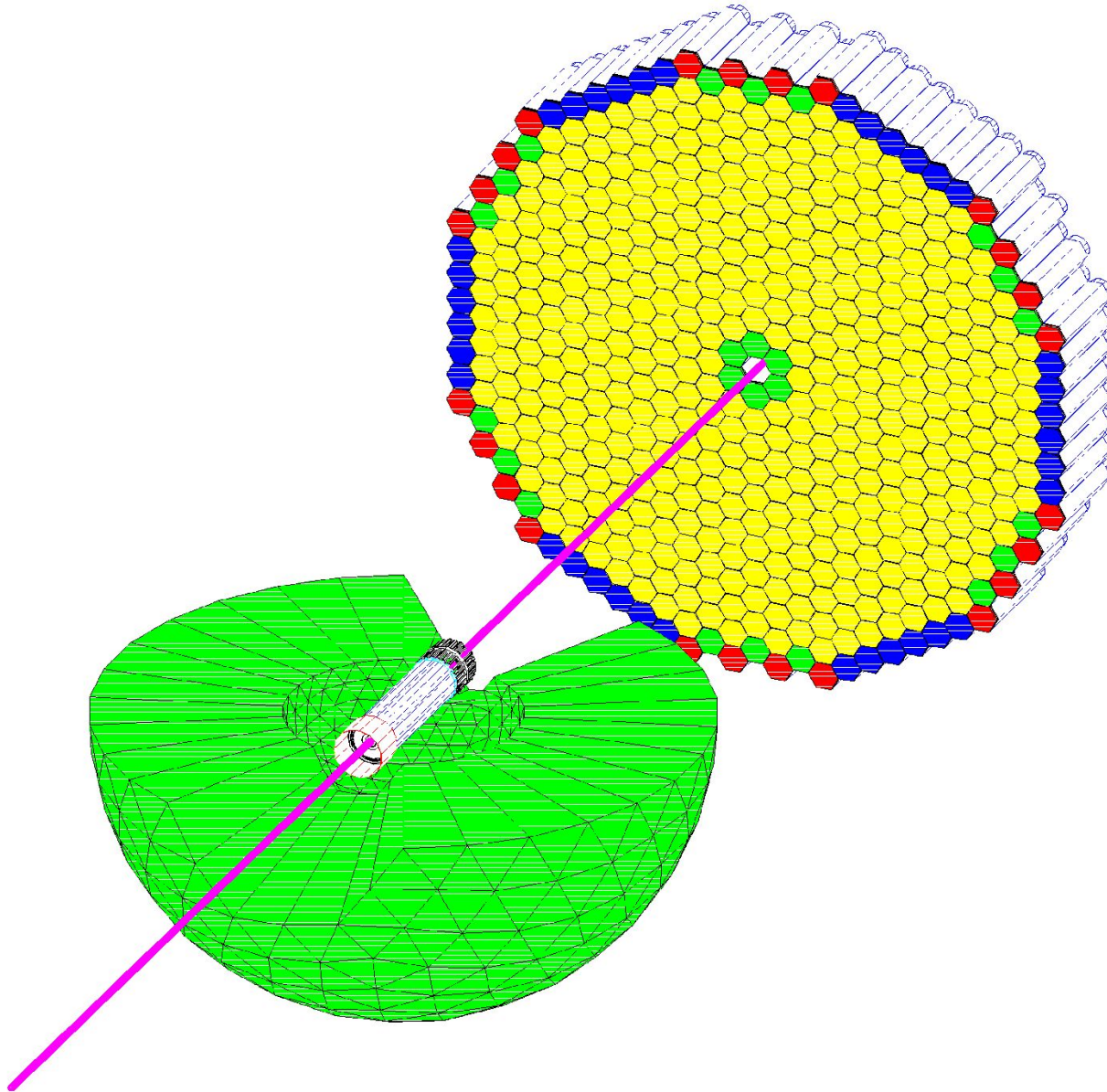
two dibaryons with $J=T=1$



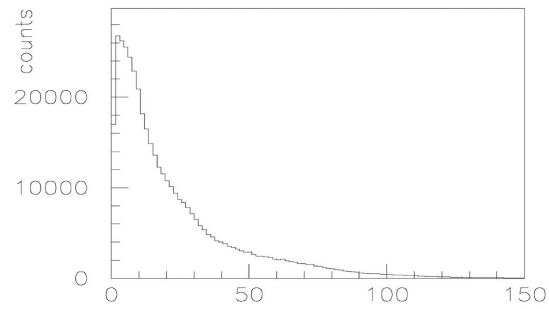
The Two Arm Mass Spectrometer (TAMS). S_0 , S_1 , S_2 , and S_3 are start detectors; F_0 , F_1 , F_2 , and F_3 are stop ΔE detectors; D_0 is a BGO detector;

D_1 , D_2 , and D_3 are full energy ΔE detectors.

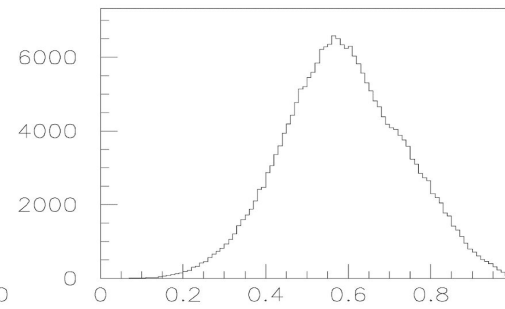
Crystal Ball spectrometer and TAPS



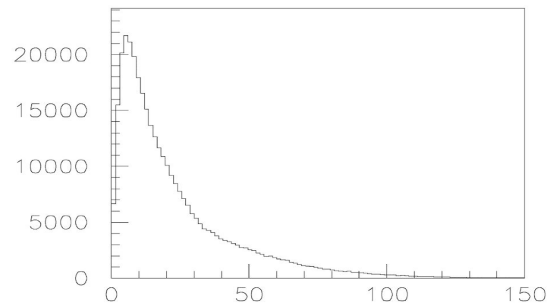
The energy (a,c,e) and angular (b,d,f) distributions of the nucleons from the decays of the SNDs with different masses: (a,b) – $M=1900$ MeV, (c,d) – $M=1950$ MeV, (e,f) – $M=2000$ MeV.



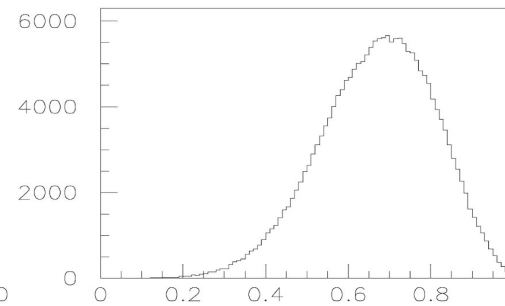
(a)



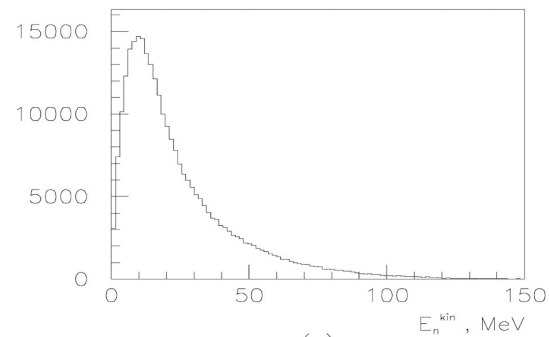
(b)



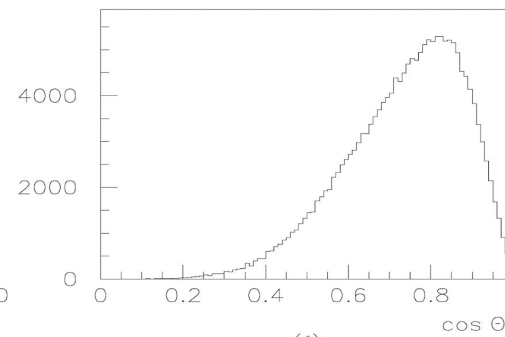
(c)



(d)

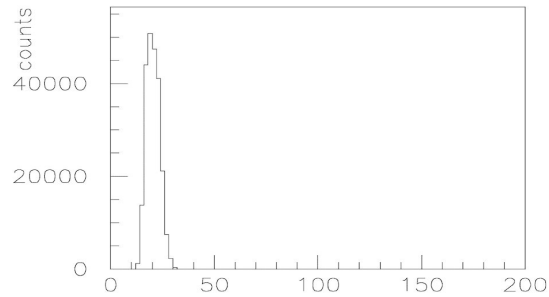


(e)

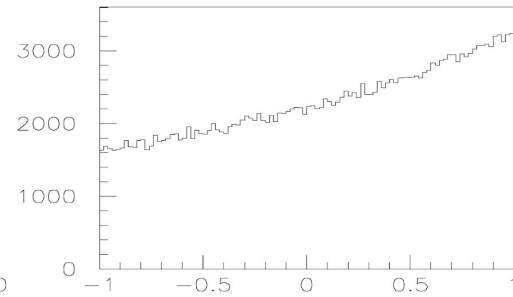


(f)

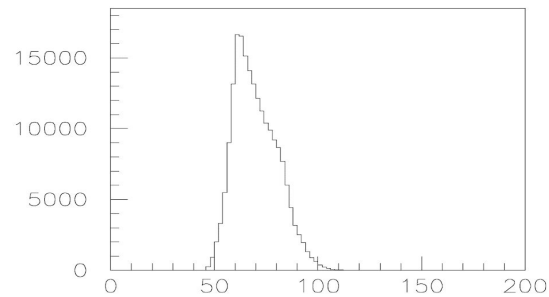
The energy (a,c,e) and angular (b,d,f) distributions of the photons from the decays of the SND with the different masses: (a,b) – $M=1900$ MeV, (c,d) – $M=1950$ MeV, (e,f) – $M=2000$ MeV.



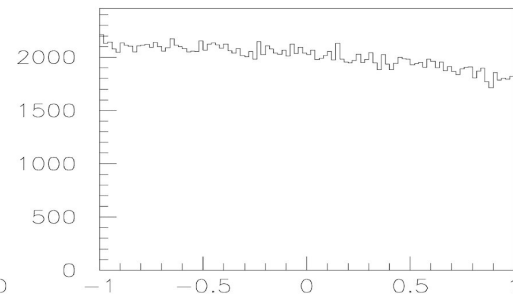
(a)



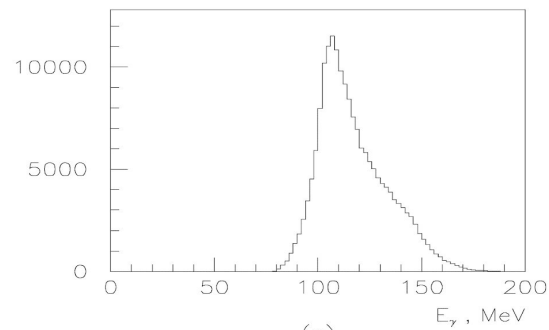
(b)



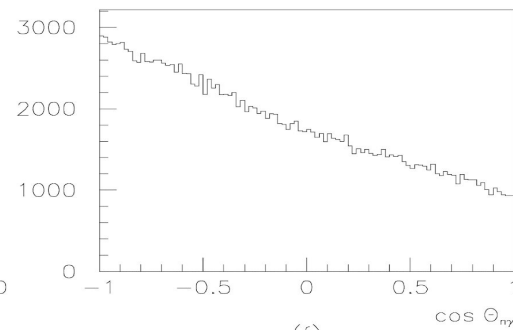
(c)



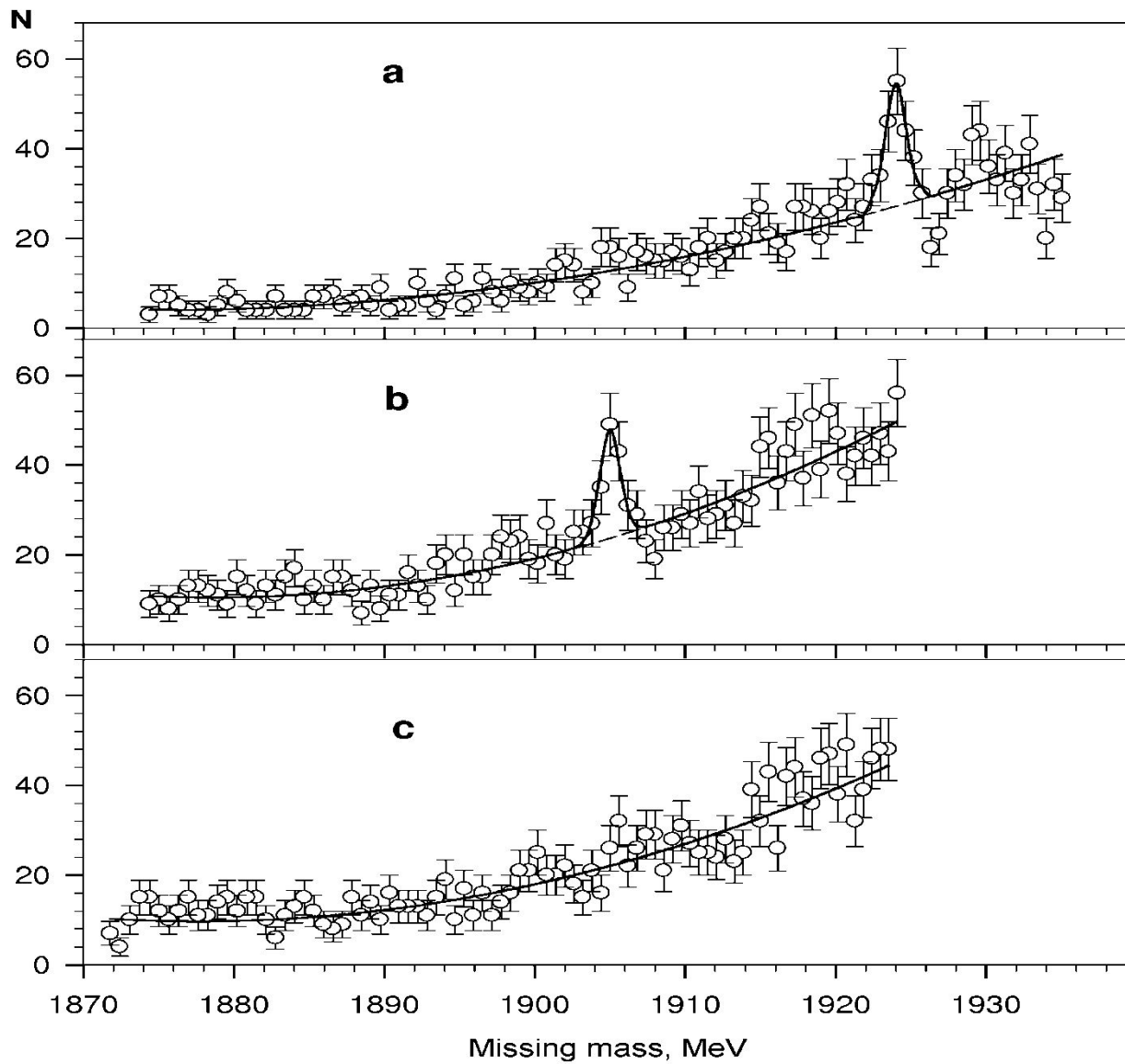
(d)



(e)



(f)



(a) – 33° , (b) – 35° , (c) – 37°

$$pp \rightarrow \gamma d_1^* \rightarrow pp\gamma\gamma$$

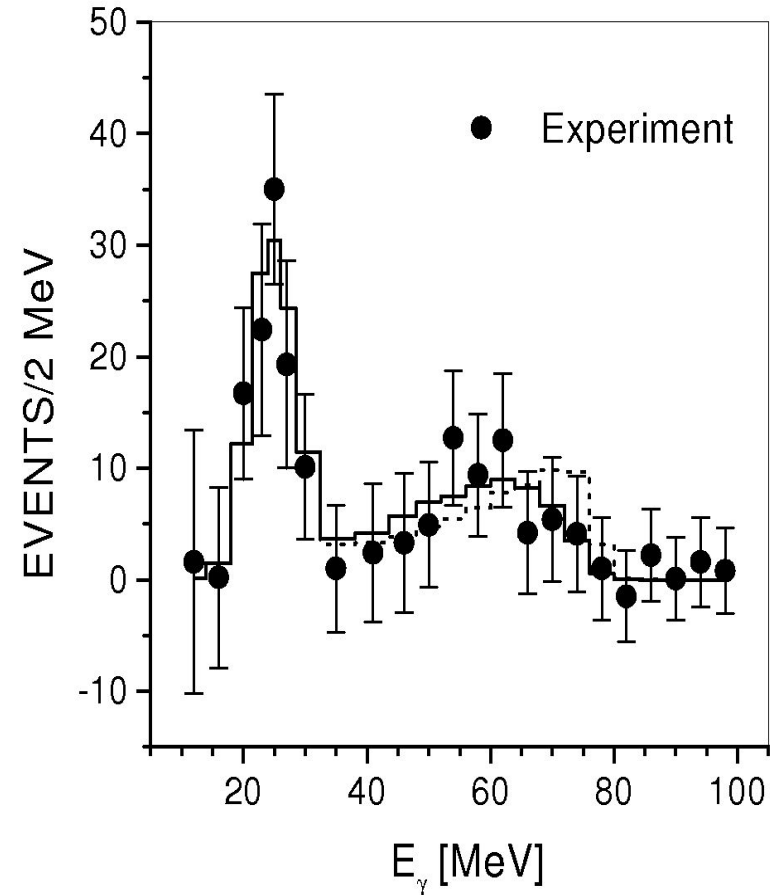
A.S. Khrykin et al. Phys. Rev. C 64, 034002 (2001)

$T_p = 216$ MeV, $E_\gamma \geq 10$ MeV, $\theta_\gamma = 90^\circ$

● $M=1956$ MeV $T=2$

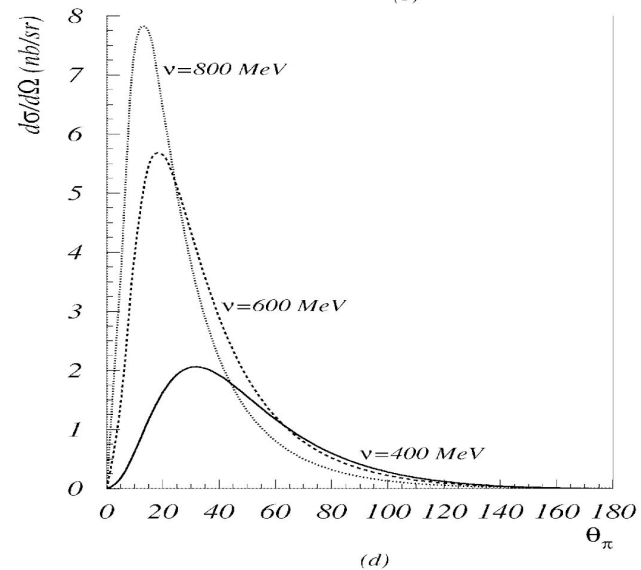
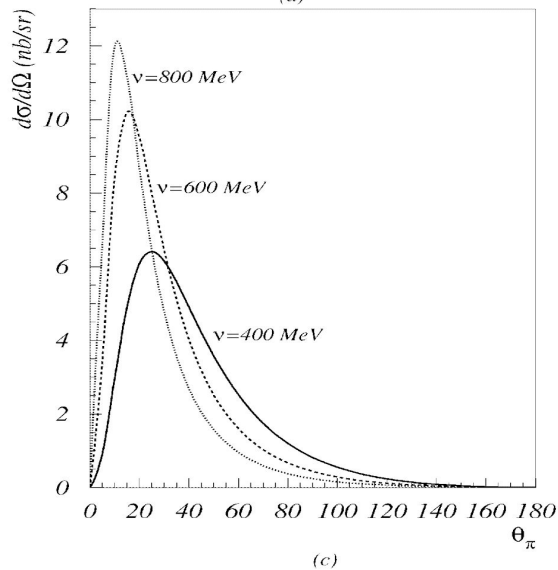
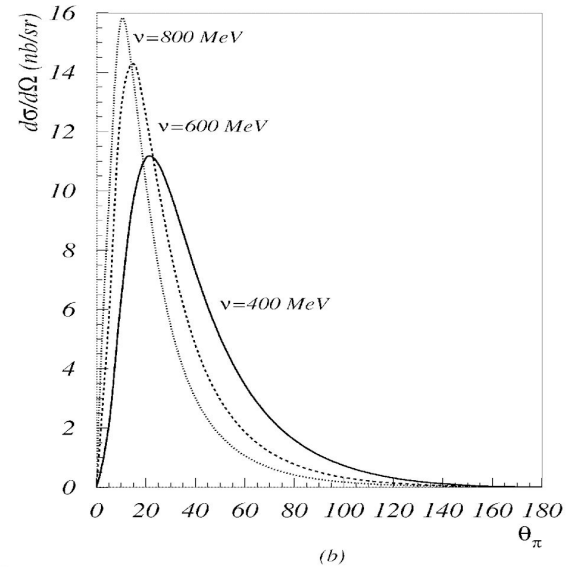
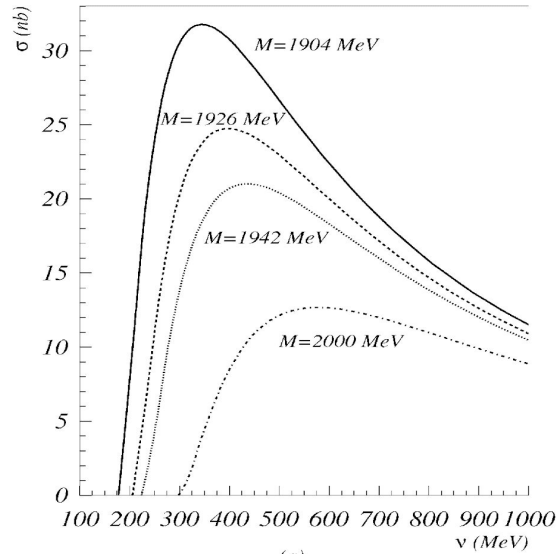
● Uppsala pp-bramsstrahlung data
(H. Calen, et al., Phys. Lett. B427, 248 (1998)):
upper limit ~ 10 nb.

However, they considered isotropic in cms
distributions of protons from the dibaryon
decay.



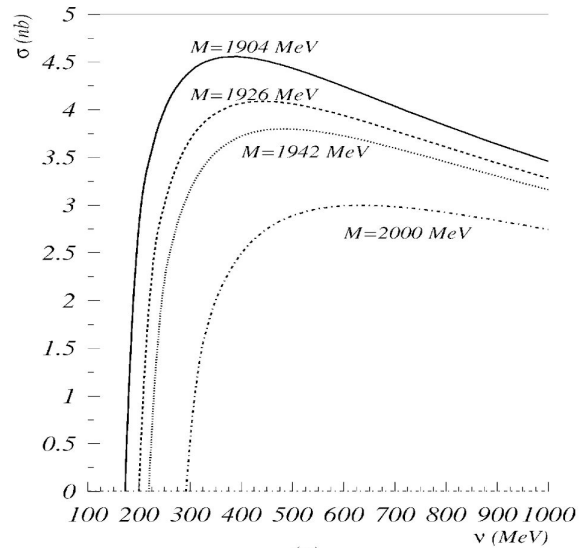
D($T=1, J^P=1^-$) production in the reaction $\gamma d \rightarrow \pi^+ D$

(a) - $M=1900$ MeV, (b) - $M=1942$ MeV, (c) - $M=1900$ MeV, (d) - $M=2000$ MeV

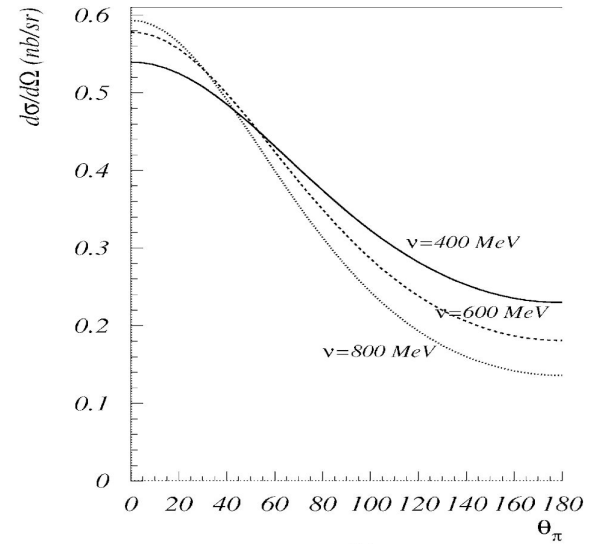


$D(T=1, J^P=1^+)$ production in the reaction $\gamma d \rightarrow \pi^0 D$

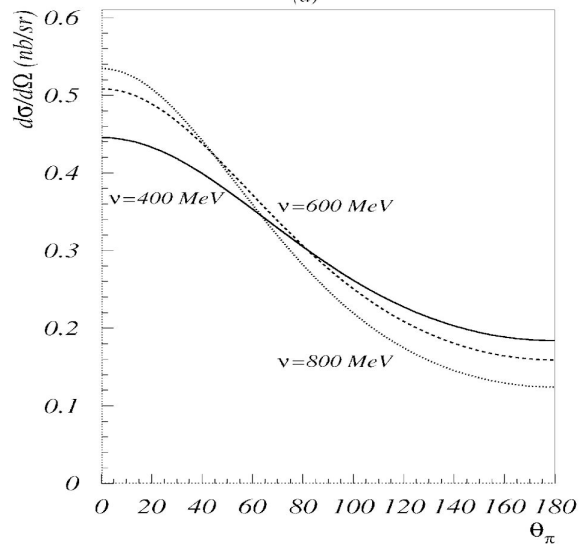
(b) – $M=1904$ MeV, (c) – $M=1942$ MeV, (d) – $M=2000$ MeV



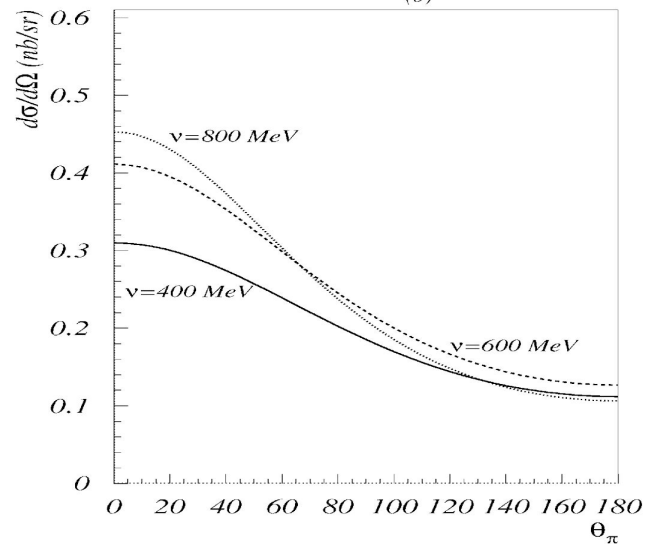
(a)



(b)



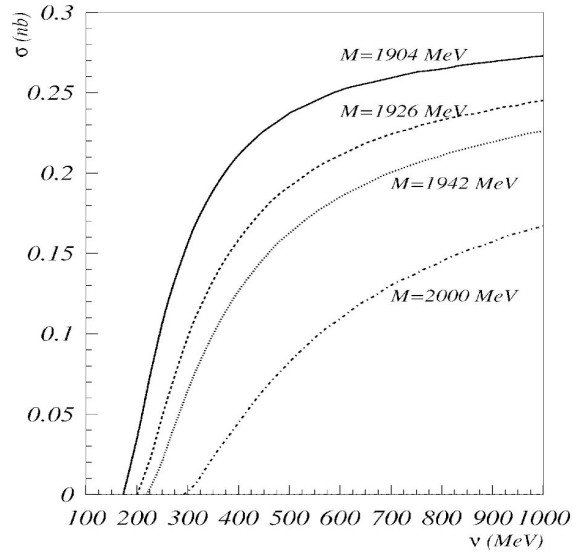
(c)



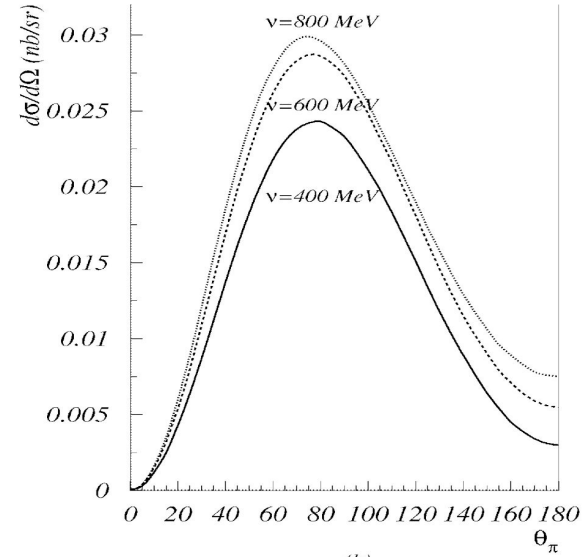
(d)

$D(T=1, J^P=1^-)$ production in the process $\gamma d \rightarrow \pi^0 D$

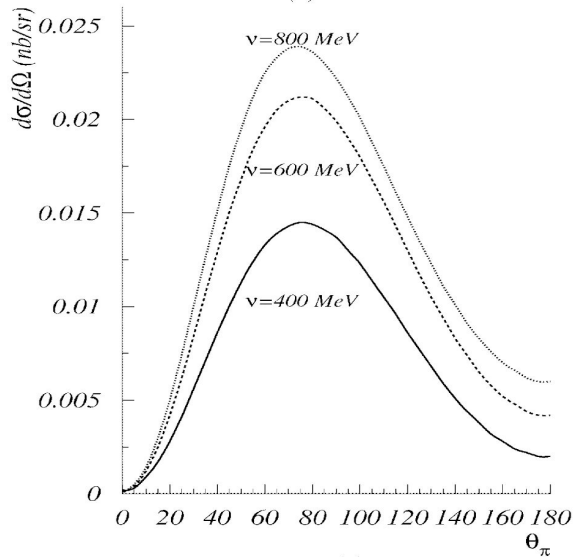
(b) – $M=1904$ MeV, (c) – $M=1942$ MeV, (d) – $M=2000$ MeV



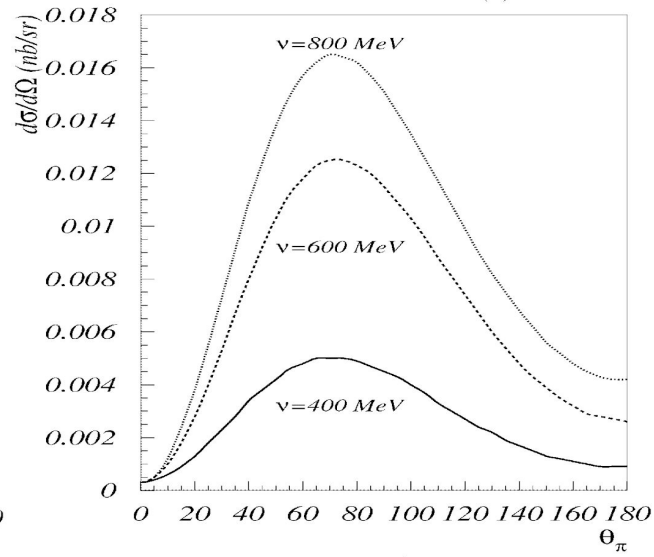
(a)



(b)



(c)



(d)

GEANT simulation of γp mass spectra.

$$\gamma + d \rightarrow \pi^- + D(1^-), \quad D(1^-) \rightarrow \gamma pp$$

