

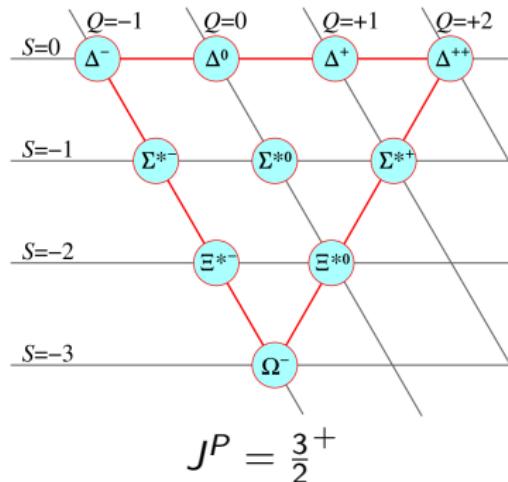
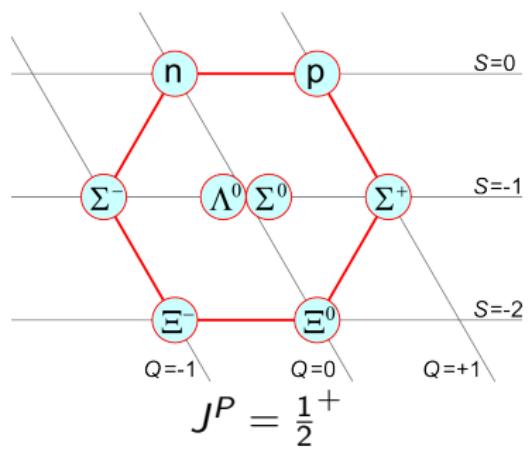
Физика барионов в эксперименте на коллайдере ВЭПП-6

Александр Бобров

ИЯФ

- ① Введение
- ② Изучение свойств барионов в сканировании по энергии
 - ① Электромагнитные свойства нуклонов
 - ② Конечные состояния с парами $B\bar{B}'$
- ③ Гипероны в распадах узких резонансов J/ψ , $\psi(2S)$
 - ① Поиск редких распадов
 - ② Измерение масс и времен жизни
 - ③ Измерение параметров асимметрии α распадов, CP-нарушение
- ④ Заключение

Основные состояния барионов, состоящих из легких夸克ов



$u, d, s \, SU_3$

$$3 \otimes 3 \otimes 3 = 10 \oplus 8 \oplus 8 \oplus 1$$

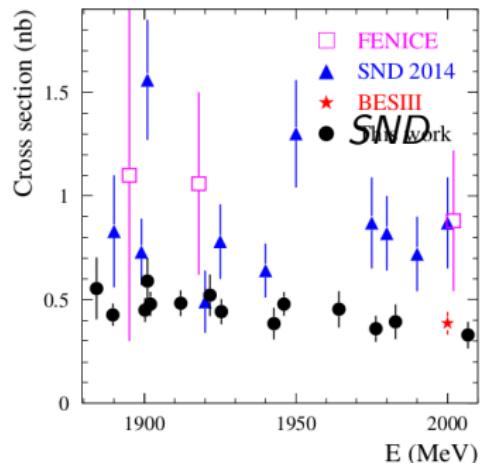
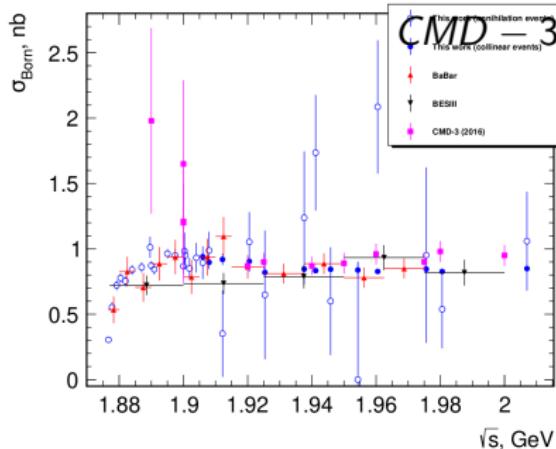
Основные моды распадов гиперонов

	Λ	Σ^+	Σ^0	Σ^-	Ξ^0	Ξ^-	Ω^-
$c\tau$ см	7.8	2.4	0	4.4	8.7	4.9	2.4
	$p\pi^- \frac{2}{3}$ $n\pi^0 \frac{1}{3}$	$p\pi^0 \frac{1}{2}$ $n\pi^+ \frac{1}{2}$	$\Lambda\gamma$ 1	$n\pi^-$ 1	$\Lambda\pi^0$ 1	$\Lambda\pi^-$ 1	$\Lambda K \frac{2}{3}$ $\Xi^-\pi^0 \frac{1}{4}$ $\Xi^0\pi^- \frac{1}{11}$

- ➊ События с отлетами, распад вне места встречи
- ➋ Реконструкция n из распадов гиперонов невозможна
- ➌ Реконструкция p при больших скоростях $\beta \sim 0.3$ гиперонов
- ➍ Реконструкция \bar{p} по аннигиляции

Введение

Изучение процессов e^+e^- аннигиляции в нуклоны на ВЭПП-2000



$$e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$$

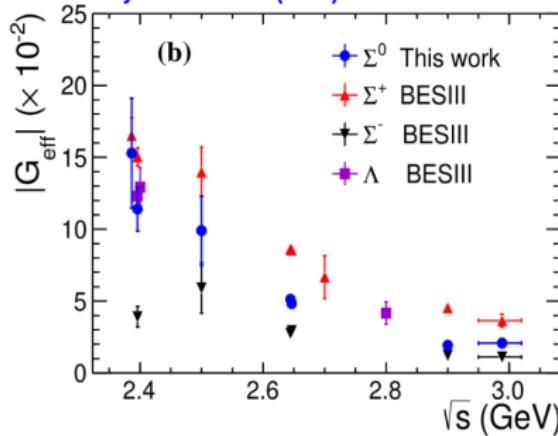
Д.Р. Иванов. Дипломная
работа (маг). ИЯФ. 2025.

$$e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$$

Phys. Part. Nucl. 54 4
624-629 (2023)

Электромагнитные свойства барионов

Phys. Lett. B 831 (2022) 137187



Взаимодействие барионов $\frac{1}{2}^+$ с электромагнитным полем описывается двумя формфакторами. Это комплексные функции s

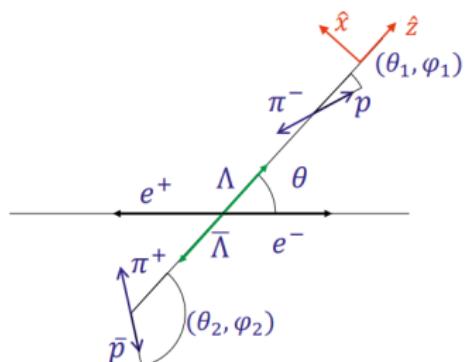
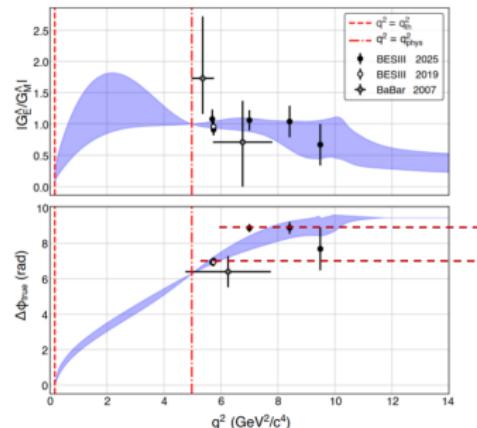
$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{C\alpha^2\beta}{4s} \left[|G_m|^2(1 + \cos^2\Theta) + \frac{4M^2}{s} |G_e|^2 \sin^2\Theta \right]$$

$$C = \frac{y}{1-e^{-y}}, \quad y = \alpha\pi\sqrt{1-\beta^2}/\beta \text{ заряженные}$$
$$C = 1 \text{ нейтральные}$$

Электромагнитные свойства гиперонов

распады гиперонов позволяют измерить фазу между формфакторами

s ГэВ	2.3864	2.3960	2.6544	2.900	2.950	2.981	3.000	3.020	3.080
L пб $^{-1}$	22.6	66.9	67.8	105.5	16.0	16.0	15.8	17.3	126.6
Т часы	1	3	3	2	0.3	0.3	0.3	0.3	2.5

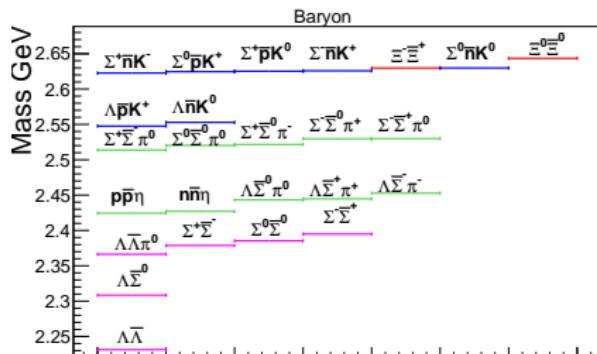


arXiv:2506.08072
 $e^+e^- \rightarrow \Lambda^0(s_1) + \bar{\Lambda}^0(s_2)$
 $\Lambda^0(s_1) \rightarrow p\pi^-, \bar{\Lambda}^0(s_2) \rightarrow \bar{p}\pi^+$

Phys. Rev. D 4 (1971) 2821,
V. Tho  en, Ph.D. thesis, Uppsala University (2022).

Изучение конечных состояний с парами $B\bar{B}^{(\prime)}$ вблизи порогов

- Множественные указания на усиление сечений вблизи порога ($e^+e^- \rightarrow \Lambda\bar{\Lambda}, p\bar{p}\gamma$ и д.р.)
- Большое количество порогов
- Хорошо работают нерелятивистские модели
- Есть возможность измерить тонкую структуру сечений рождения



Редкие распады гиперонов

- 1 Нарушение барионного и лептонного числа (6×10^{-7} - 2×10^{-5})
 $\Lambda \rightarrow \pi^+ e^-$
- 2 Нарушение лептонного числа (тип С)
- 3 $\Delta S = \Delta Q$ (5×10^{-6} - 9×10^{-4})
 $\Xi^0 \rightarrow \Sigma^- e^+ \nu_e$
- 4 $\Delta S = 1$ нейтральные токи ($1.08 \pm 0.17 \times 10^{-8}$) $\Sigma^+ \rightarrow p \mu^+ \mu^-$ (тип А)
- 5 $\Delta S = 2$ и (2.9×10^{-6} - 1.3×10^{-3})
 $\Omega^- \rightarrow \Lambda \pi^-$
- 6 $B \rightarrow B' \nu \bar{\nu}$ распады с парами нейтрино, темными фотонами и д.р. Тагирование гиперонов (тип В). В Стандартной модели $(6 \div 1) \times 10^{-13}$

Front. Phys. 12(5), 121301 (2017)

Decay mode	Current data $\mathcal{B} (\times 10^{-6})$	Sensitivity \mathcal{B} (90% C.L.) ($\times 10^{-6}$)	Type
$\Lambda \rightarrow n e^+ e^-$	-	< 0.8	
$\Sigma^+ \rightarrow p e^+ e^-$	< 7	< 0.4	
$\Xi^0 \rightarrow \Lambda e^+ e^-$	7.6 ± 0.6	< 1.2	
$\Xi^0 \rightarrow \Sigma^0 e^+ e^-$	-	< 1.3	
$\Xi^- \rightarrow \Sigma^- e^+ e^-$	-	< 1.0	Type A
$\Omega^- \rightarrow \Xi^- e^+ e^-$	-	< 26.0	
$\Sigma^+ \rightarrow p \mu^+ \mu^-$	$(0.09^{+0.09}_{-0.08})$	< 0.4	
$\Omega^- \rightarrow \Xi^- \mu^+ \mu^-$	-	< 30.0	
$\Lambda \rightarrow n \nu \bar{\nu}$	-	< 0.3	
$\Sigma^+ \rightarrow p \nu \bar{\nu}$	-	< 0.4	
$\Xi^0 \rightarrow \Lambda \nu \bar{\nu}$	-	< 0.8	
$\Xi^0 \rightarrow \Sigma^0 \nu \bar{\nu}$	-	< 0.9	Type B
$\Xi^- \rightarrow \Sigma^- \nu \bar{\nu}$	-	-*	
$\Omega^- \rightarrow \Xi^- \nu \bar{\nu}$	-	< 26.0	
$\Sigma^- \rightarrow \Sigma^+ e^- e^-$	-	< 1.0	
$\Sigma^- \rightarrow p e^- e^-$	-	< 0.6	
$\Xi^- \rightarrow p e^- e^-$	-	< 0.4	
$\Xi^- \rightarrow \Sigma^+ e^- e^-$	-	< 0.7	
$\Omega^- \rightarrow \Sigma^+ e^- e^-$	-	< 15.0	
$\Sigma^- \rightarrow p \mu^- \mu^-$	-	< 1.1	
$\Xi^- \rightarrow p \mu^- \mu^-$	< 0.04	< 0.5	Type C
$\Omega^- \rightarrow \Sigma^+ \mu^- \mu^-$	-	< 17.0	
$\Sigma^- \rightarrow p e^- \mu^-$	-	< 0.8	
$\Xi^- \rightarrow p e^- \mu^-$	-	< 0.5	
$\Xi^- \rightarrow \Sigma^+ e^- \mu^-$	-	< 0.8	
$\Omega^- \rightarrow \Sigma^+ e^- \mu^-$	-	< 17.0	

Распад $\Sigma^+ \rightarrow p\mu^+\mu^-$

LHCb $1.08 \pm 0.17 \times 10^{-8}$ 237 evts

Phys. Rev. Lett. 135, 051801

Измеренные вероятности остальных редких распадов гиперонов лежат в диапазоне $10^{-4} - 10^{-6}$. Редкие распады D, B мезонов, τ лептонов изучены гораздо лучше, чем распады гиперонов.

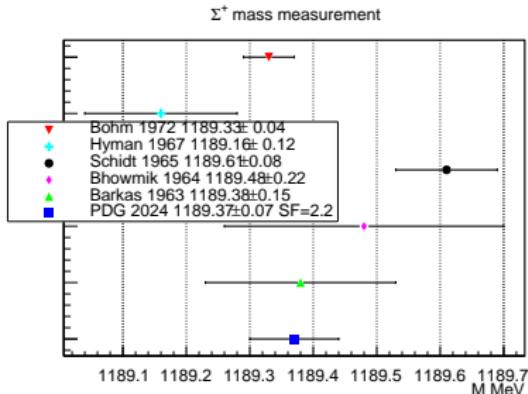
Год работы на резонансах $N/10^7$ рожденных гиперонов

	Λ	Σ^+	Σ^0	Σ^-	Ξ^0	Ξ^-	Ω^-
J/ψ	82	51	23	24	23	20	
$\psi(2S)$	2.2	1.6	0.9	1.5	0.9	1.2	0.22

Чувствительность на ВЭПП-6 $10^{-8} - 10^{-7}$ $S=1.2; 10^{-5} \Omega^-$

Измерение масс гиперонов

- 1 Большинство измерений проведено в XX веке
- 2 Абсолютная точность измерений 6 - 600 кэВ
- 3 Измерения проводились на очень ограниченной статистике
- 4 Набор в пиках J/ψ , $\psi(2S)$



барион	средняя точность кэВ	лучшее измерение кэВ	год	событий
Λ	6	6	94	20k
Σ^+	70	40	72	607
Σ^0	24	24	97	3327
Σ^-	29	40	93	
Ξ^-	70	94	06	2478
Ξ^0	200	200	00	3120
Ω^-	290	600	78	27

СР-нарушение в распадах гиперонов

PRL 132, 101801 (2024) (BES-III)
 $10^{10} J/\psi$

$$A_{CP}^{\Xi} = -0.009 \pm 0.008^{+0.007}_{-0.002}$$

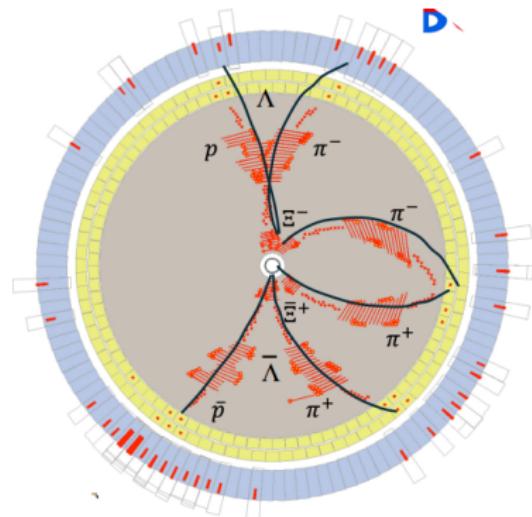
$$\Delta\phi_{CP}^{\Xi} = -0.003 \pm 0.008^{+0.003}_{-0.007}$$

$$A_{CP}^{\Lambda^-} = -0.007 \pm 0.008^{+0.005}_{-0.007}$$

$$A_{CP}^{\Lambda^0} = 0.001 \pm 0.009^{+0.003}_{-0.004}$$

$$\xi_P^{\Xi} - \xi_S^{\Xi} = 0.007 \pm 0.020^{+0.018}_{-0.005}$$

В СМ $\xi_P^{\Xi} - \xi_S^{\Xi} = -10^{-4} \pm 10^{-4}$
Чувствительность на ВЭПП-6 5×10^{-3}



Заключение

- 1 Изучение электромагнитной структуры барионов
 - 2 Изучение редких распадов гиперонов
 - 3 Измерение масс гиперонов
 - 4 Исследование конечных состояний вблизи порогов с параметрами $B\bar{B}^{(')}$
 - 5 CP-нарушение в распадах гиперонов
-
- 1 Для более детальной проработки физической программы необходимо полное моделирование