

Образцов И. В.,
ИЯФ СО РАН, Новосибирск

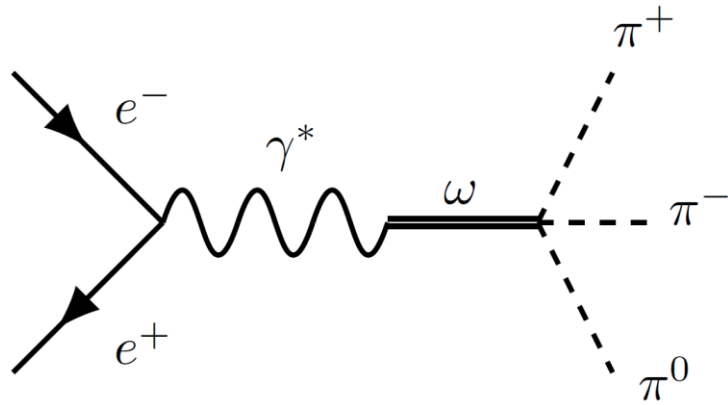
Проявление $a_1(1260)$ мезона
в процессе $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$

по мотивам работы Phys. Rev. D **110**, 094003 (2024)

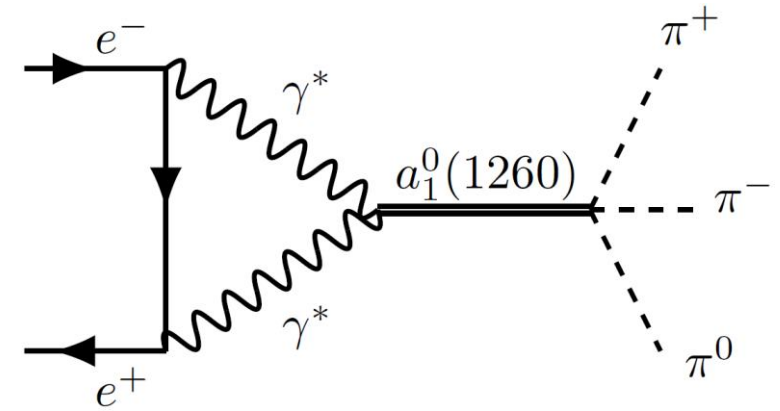
Прямое рождение псевдовекторных мезонов
в e^+e^- аннигиляции

	Предсказание	Эксперимент
$f_1(1285)$ $I^G(J^{PC}) = 0^+(1^{++})$	Phys. Lett. B 800 , 135117 (2020)	Phys. Lett. B 800 , 135074 (2020)
$a_1(1260)$ $I^G(J^{PC}) = 1^-(1^{++})$	Phys. Rev. D 110 , 094003 (2024)	—

Процесс $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ может идти как через **один виртуальный фотон**, так и через **два виртуальных фотона**



отрицательная С-четность



положительная С-четность

Интерференция двух механизмов приводит к появлению **зарядовой асимметрии**

$a_1(1260)$ проявляется через наличие ненулевой зарядовой асимметрии

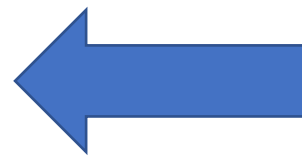
Амплитуда $e^+e^- \rightarrow \gamma^* \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$

В однофотонный механизм дают вклад $\omega(782)$, $\phi(1020)$,...

$$M_1 = \frac{4\pi\alpha f_\omega}{Q^2 D_\omega(Q)} (\mathbf{e}_\lambda \cdot \mathbf{J}_\omega), \quad D_\omega(Q) = Q^2 - \mu_\omega^2$$

Здесь α – постоянная тонкой структуры, $\mathbf{e}_\lambda = \mathbf{e}_x + i\lambda\mathbf{e}_y$,
 $\lambda = \pm 1$ – спиральность e^- , электрон летит вдоль оси z , $\mu_\omega^2 = m_\omega^2 - i\Gamma_\omega m_\omega$,
 $Q = (E, \mathbf{0})$, E – энергия e^+e^- пары в системе центра масс

f_ω



$Br(\omega \rightarrow e^+e^-)$

Вектор \mathbf{J}_ω определяется из амплитуды процесса $\omega \rightarrow \rho\pi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$

$$\mathbf{J}_\omega = [\mathbf{p}_+ \times \mathbf{p}_-] F_\omega ,$$

$$F_\omega = \frac{2E g_{\rho\pi\pi} g_{\omega\rho\pi}}{m_\omega} \left\langle \frac{1}{D_\rho(p_+ + p_-)} + \frac{1}{D_\rho(p_+ + p_0)} + \frac{1}{D_\rho(p_- + p_0)} \right\rangle ,$$

$$D_\rho(k) = k^2 - \mu_\rho^2, \quad \mu_\rho^2 = m_\rho^2 - i\Gamma_\rho m_\rho$$

$p_+ = (\varepsilon_+, \mathbf{p}_+)$ – 4-импульс π^+ , $p_- = (\varepsilon_-, \mathbf{p}_-)$ – 4-импульс π^- , p_0 – 4-импульс π^0

$g_{\rho\pi\pi}$ 

$Br(\rho^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-)$

$g_{\omega\rho\pi}$ 

$Br(\omega \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0)$

Амплитуда $e^+e^- \rightarrow \gamma^*\gamma^* \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$

$$M_{a_1\rho\pi} \sim (\mathbf{e}_a \cdot \mathbf{e}_\rho) \phi_\pi \quad \leftarrow \quad S\text{-волна}$$

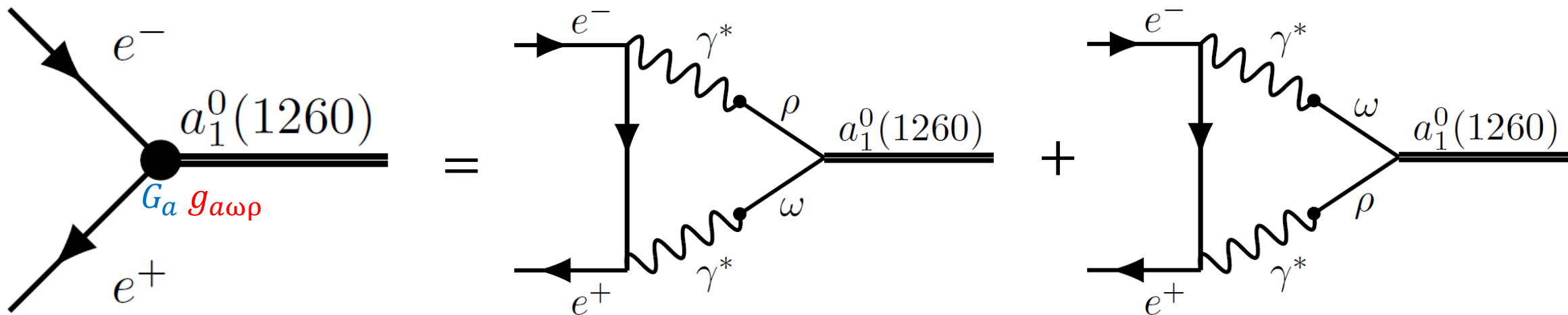
$$M_2 = \lambda \mathbf{e}_\lambda \cdot [\mathbf{p}_+ Z(\varepsilon_+, \varepsilon_-) + \mathbf{p}_- Z(\varepsilon_-, \varepsilon_+)] F_a$$

$$Z(\varepsilon_+, \varepsilon_-) = \frac{E - \varepsilon_-}{D_\rho(p_+ + p_0)} + \frac{\varepsilon_-}{D_\rho(p_- + p_0)}$$

$$F_a = -i \frac{2E\alpha^2 g_{\rho\pi\pi} g_{a\rho\pi} g_{a\omega\rho}}{m_a D_a(Q)} G_a(E)$$

$$M_{a_2\rho\pi} \sim e_a^{ij} p^j [\mathbf{e}_\rho \times \mathbf{p}]^i \phi_\pi \quad \leftarrow \quad D\text{-волна}$$

Основной вклад в двухфотонный механизм дает $a_1(1260)$ мезон



$$G_a(E) = \frac{4f_\omega f_\rho}{E^2 \mu_\omega^2 \mu_\rho^2} \ln\left(\frac{E}{m_e}\right) \left[\mu_\omega^2 \ln\left(1 - \frac{E^2}{\mu_\omega^2}\right) - \mu_\rho^2 \ln\left(1 - \frac{E^2}{\mu_\rho^2}\right) \right]$$

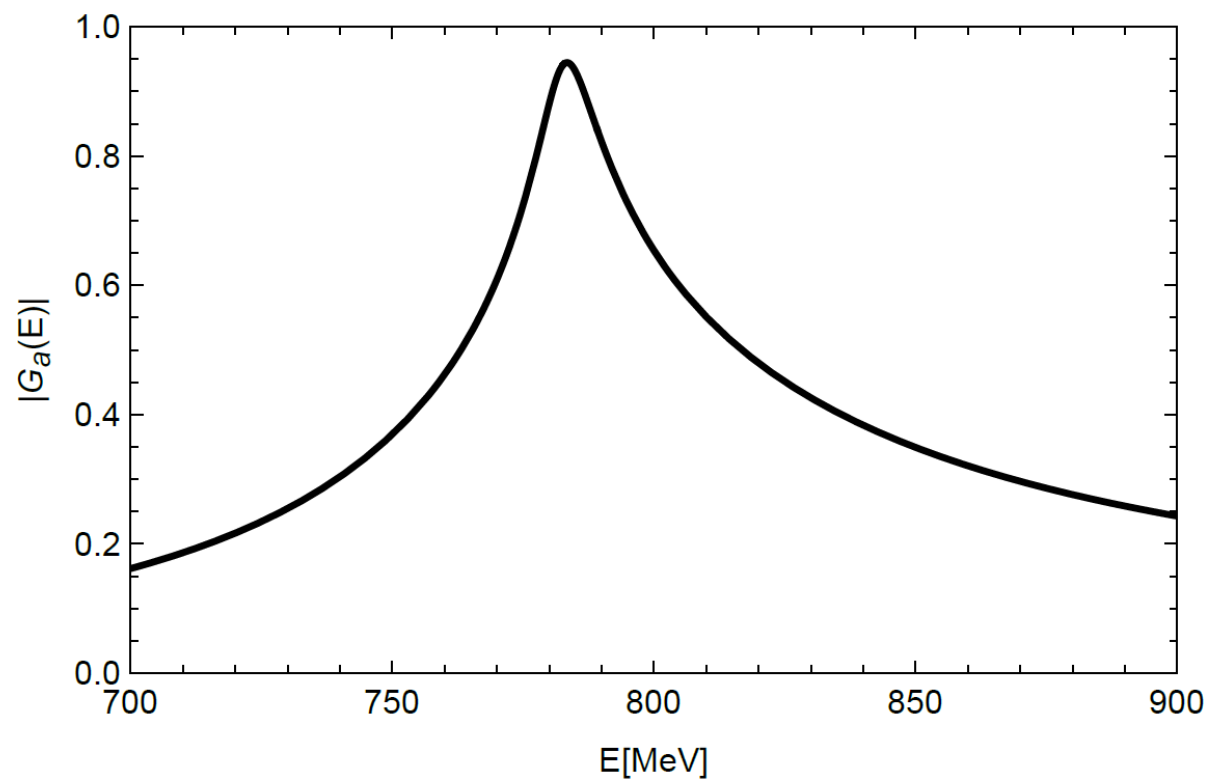


Рис. 1. Зависимость безразмерной функции $|G_a(E)|$ от E для $\omega(782)$ и $\rho(770)$

$\mathcal{G}_{a_1\pi}$



$$\Gamma_{a_1} \approx \Gamma(a_1 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0)$$

$\mathcal{G}_{a_1\omega\rho}$



$$\sigma_{5\pi}^{(a)} = \sigma_{5\pi}^{(tot)} - \sigma_{5\pi}^{(\omega)} - \sigma_{5\pi}^{(\eta)}$$

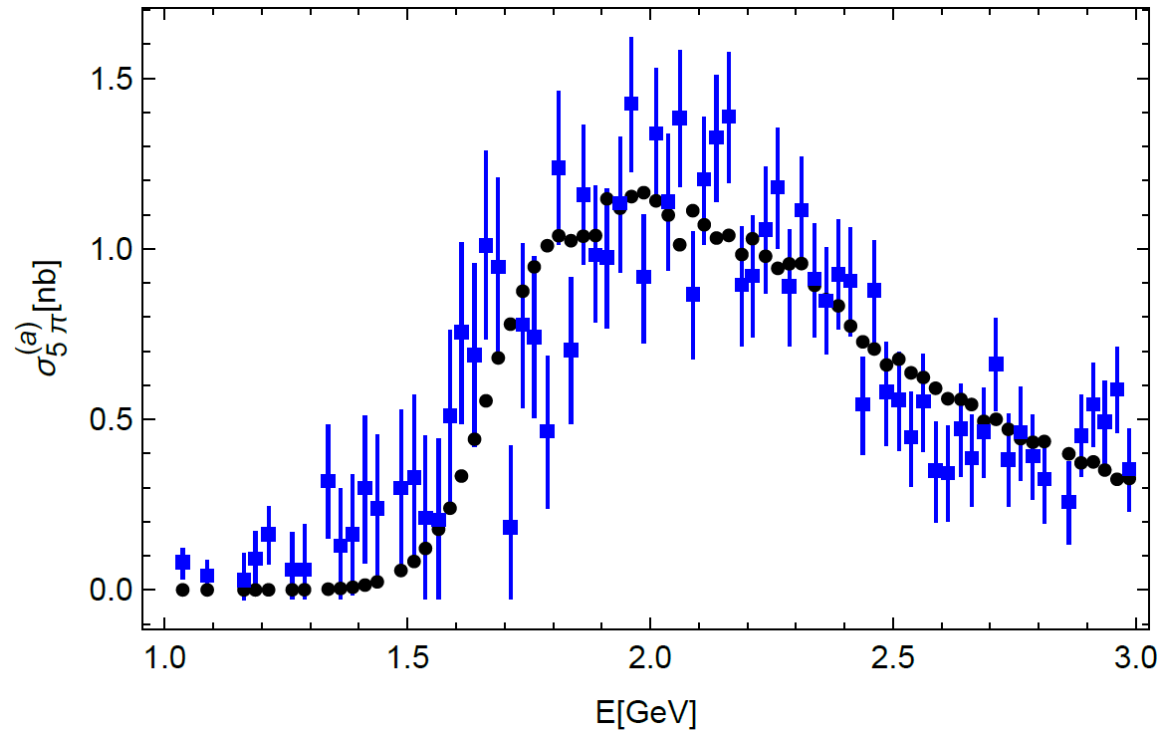


Рис. 2. Сравнение экспериментальных результатов (квадраты) для $\sigma_{5\pi}^{(a)} = \sigma_{5\pi}^{(tot)} - \sigma_{5\pi}^{(\omega)} - \sigma_{5\pi}^{(\eta)}$ с предсказанием нашей модели (точки) для процесса $e^+e^- \rightarrow 2(\pi^+\pi^-)\pi^0$.

Экспериментальные данные: BABAR Collaboration, Phys. Rev. D **76**, 092005 (2007)

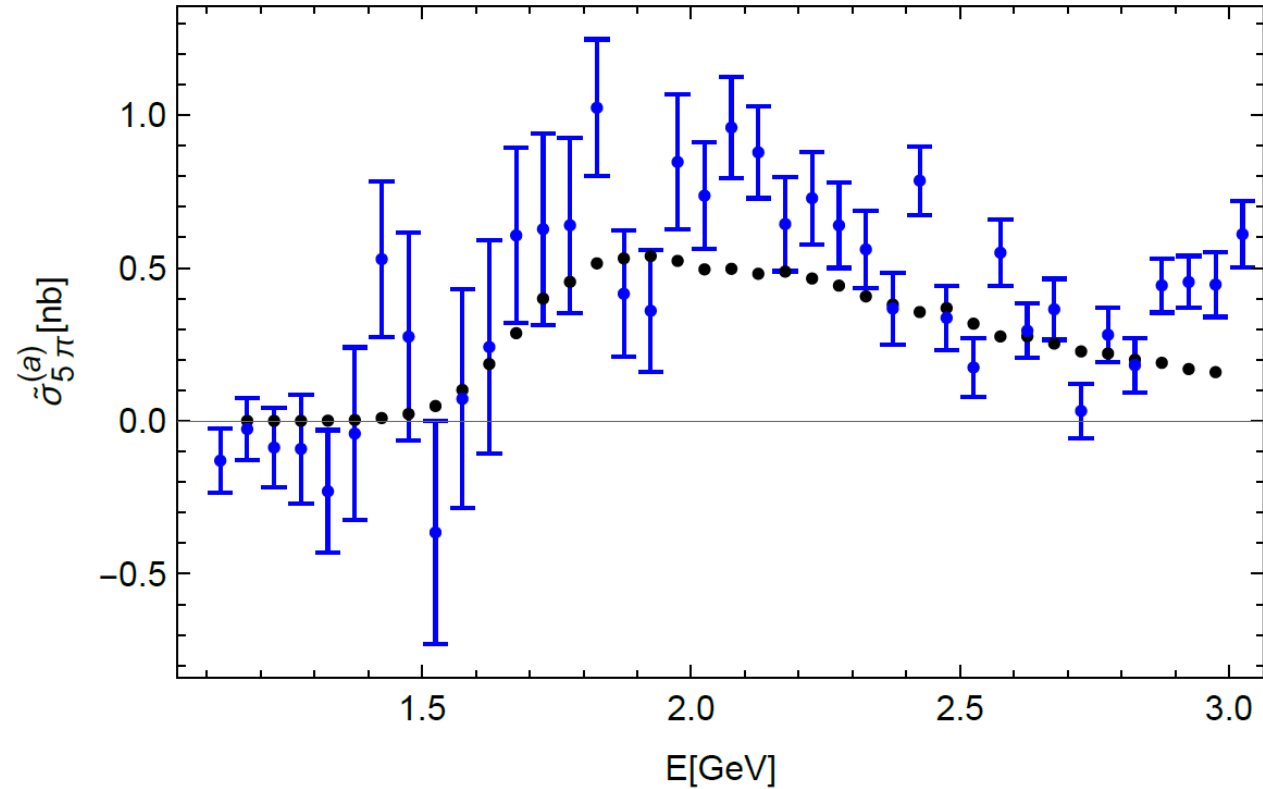


Рис. 3. Сравнение экспериментальных результатов (квадраты) для $\tilde{\sigma}_{5\pi}^{(a)} = \tilde{\sigma}_{5\pi}^{(tot)} - \tilde{\sigma}_{5\pi}^{(\omega)} - \tilde{\sigma}_{5\pi}^{(\eta)}$ с предсказанием нашей модели (точки) для процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-3\pi^0$.

Экспериментальные данные: BABAR Collaboration, Phys. Rev. D **98**, 112015 (2018)

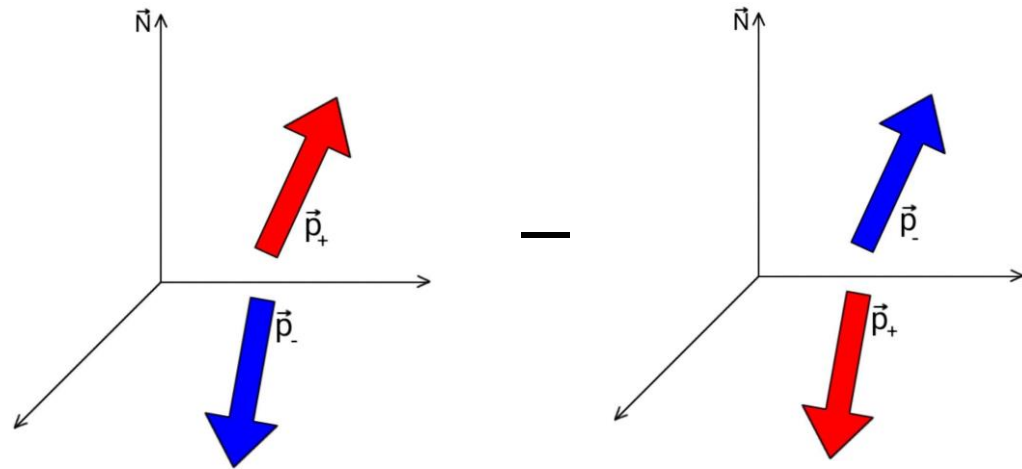
Зарядовая асимметрия

$$dA(\mathbf{p}_+, \mathbf{p}_-) = \frac{d\sigma(\mathbf{p}_+, \mathbf{p}_-) - d\sigma(\mathbf{p}_-, \mathbf{p}_+)}{2\sigma}$$

$$A_0 = \int \Xi_0(\mathbf{p}_+, \mathbf{p}_-) dA(\mathbf{p}_+, \mathbf{p}_-)$$

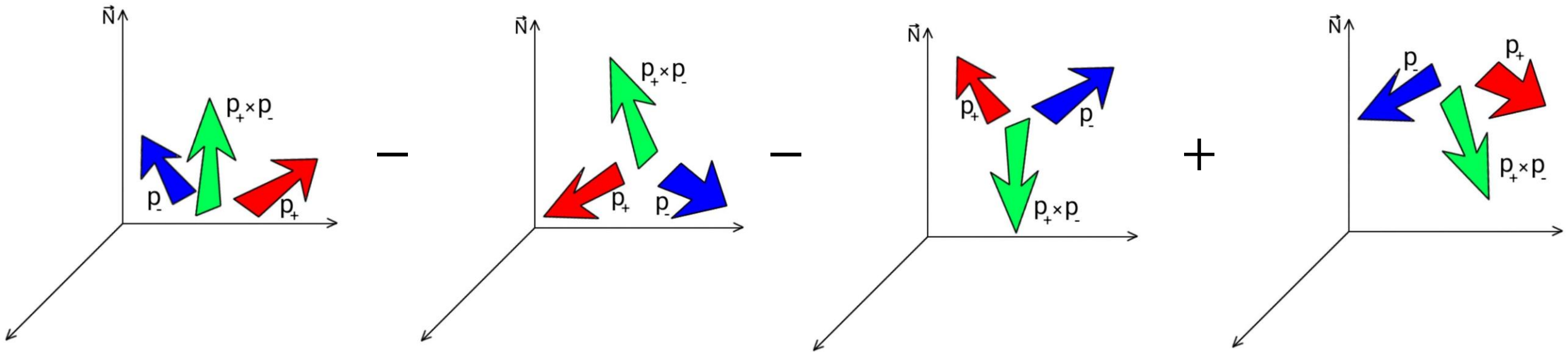
$$\Xi_0(\mathbf{p}_+, \mathbf{p}_-) = \theta(\mathbf{N} \cdot \mathbf{p}_+) \theta(-\mathbf{N} \cdot \mathbf{p}_-) - \theta(-\mathbf{N} \cdot \mathbf{p}_+) \theta(\mathbf{N} \cdot \mathbf{p}_-)$$

\mathbf{N} – единичный вектор,
направленный по
импульсу электрона



$$A_\lambda = \int \Xi_\lambda(\mathbf{p}_+, \mathbf{p}_-) dA(\mathbf{p}_+, \mathbf{p}_-) \propto \lambda$$

$$\begin{aligned} \Xi_\lambda(\mathbf{p}_+, \mathbf{p}_-) = & \{\theta(\mathbf{N} \cdot [\mathbf{p}_+ \times \mathbf{p}_-]) - \theta(-\mathbf{N} \cdot [\mathbf{p}_+ \times \mathbf{p}_-])\} \\ & \times \{\theta(\mathbf{N} \cdot \mathbf{p}_+) \theta(\mathbf{N} \cdot \mathbf{p}_-) - \theta(-\mathbf{N} \cdot \mathbf{p}_+) \theta(-\mathbf{N} \cdot \mathbf{p}_-)\} \end{aligned}$$



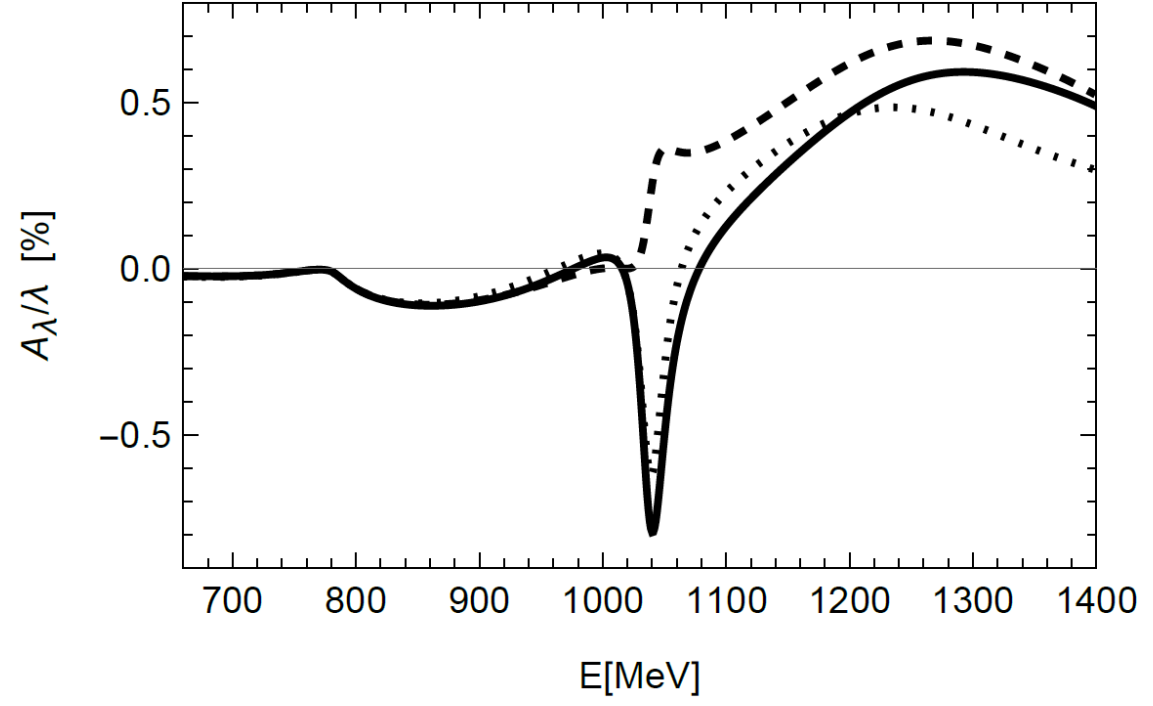
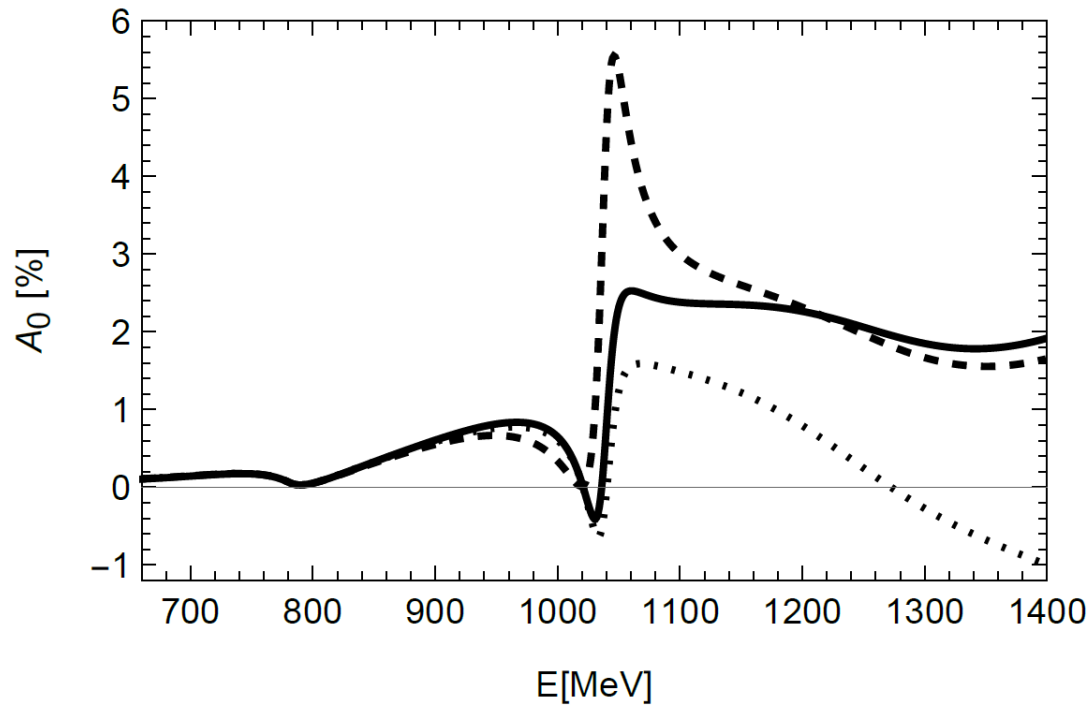


Рис. 4. Зависимость A_0 (слева) и A_λ/λ (справа) от E .

- учтены вклады $\omega(782)$, $\omega(1420)$, $\omega(1650)$ и $\phi(1020)$
- учтены вклады $\omega(782)$ и $\phi(1020)$
- - - учтены вклады $\omega(782)$, $\omega(1420)$ и $\omega(1650)$

В полном сечении учитываются $\omega(782)$, $\omega(1420)$, $\omega(1650)$ и $\phi(1020)$

Заключение

- Получено количественное предсказание для зарядовой асимметрии в процессе $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$
- Рассмотрен случай с продольно поляризованным электронным пучком. Вычислена как независящая от поляризации часть A_0 , так и часть A_λ пропорциональная спиральности электрона.
- Наличие поляризации позволяет получить из эксперимента дополнительную информацию о физике процесса
- Обе асимметрии сильно зависят от параметров промежуточных мезонов
- A_0 может достигать нескольких процентов
- Необходимо экспериментальное изучение!

Phys. Rev. D **110**, 094003 (2024)

arXiv:2409.01886

Email: ivanqwicliv2@gmail.com

Telegram: @Ivan_Obraztsow

