

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УЗКИХ ВЕКТОРНЫХ РЕЗОНАНСОВ КВАРКОНИЕВОГО ТИПА В ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННОЙ АННИГИЛЯЦИИ

**А. А. Макаренко**

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель А. А. Панков

Разработан метод определения динамических характеристик векторных резонансов кваркониевого типа, основанный на выявлении особенностей энергетического поведения физических наблюдаемых величин (полного сечения рассеяния  $\sigma$  и асимметрии вперед-назад  $A_{FB}$ ) в процессе аннигиляционного рождения лептонных пар в энергетической области, расположенной значительно ниже массы резонанса  $M_v(\sqrt{S} \ll M_v)$ .

Экспериментальное исследование интерференционных эффектов в аннигиляционных процессах позволит получить ценную информацию о многих новых явлениях и объектах, лежащих как в рамках, так и за рамками Стандартной модели элементарных частиц, а также определить их динамические характеристики (массу  $M_V$  и полную ширину распада резонанса  $\Gamma_V$ ). Речь идет, в первую очередь, об исследовании новых тяжелых резонансов. Если энергия электрон-позитронного коллайдера достаточна для прямого (резонансного) рождения новых тяжелых резонансов, т. е.  $\sqrt{S} \geq M_V$  ( $M_V$  есть масса резонанса), то информацию о динамических параметрах резонанса можно получить из резонансных наблюдаемых физических величин, определенных непосредственно в окрестности резонансного пика. Однако не исключена ситуация, когда масса резонанса будет превосходить энергию коллайдерной установки  $\sqrt{S} < M_V$ . В этом случае для определения динамических характеристик резонанса  $V$  необходимо исследовать дорезонансную область энергии,  $\sqrt{S} < M_V$ , где по измерению энергетических зависимости наблюдаемых физических величин можно будет определить динамические характеристики резонансов. В настоящей работе предложен метод определения динамических характеристик узких векторных резонансов кваркониевого типа ( $J/\psi$ ,  $\gamma$ ), основанный на выявлении особенностей энергетического поведения физических наблюдаемых величин (полного сечения рассеяния  $\sigma$  и асимметрии вперед-назад  $A_{FB}$ ) в процессах аннигиляционного рождения лептонных пар в дорезонансной области энергии. В частности, как будет продемонстрировано ниже, в энергетическом поведении полного сечения процесса

$$e^+ + e^- \rightarrow V \rightarrow l^+ + l^-. \quad (1)$$

( $l = e, \tau$ ) будет наблюдаться интерференционный минимум, измерение положения и глубины которого позволят установить природу узкого векторного резонанса и определить его характеристики. При энергиях ниже резонанса происходит возникновение типичной интерференционной картины (провал – пик) в энергетической зависимости наблюдаемых величин (полного сечения). Например, точки провала и пика асимметрии вперед-назад по оси энергии располагаются на расстоянии полуширины симметрично (ниже и выше) относительно положения, определяемого минимумом полной электромагнитной амплитуды. При этом величина околорезонансной асимметрии значительно превосходит соответствующие резонансные и нерезонансные значения. Все это позволит уточнить характеристики векторных кваркониевых резонансов при энергиях, заметно меньших их порога рождения.

Резонансный процесс (1) описывается диаграммами Фейнмана, представленными на рис. 1. Отметим, что при энергиях электрон-позитронных пучков, не превышающих массы стандартного  $Z$ -бозона, вкладом диаграммы с обменом нейтральным калибровочным бозоном можно пренебречь, по сравнению с чисто электромагнитной амплитудой при вычислении полного сечения процесса (1).

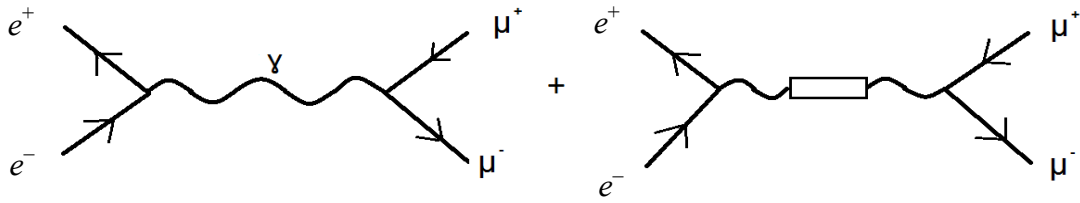


Рис. 1. Фейнмановские диаграммы для описания процесса  
 $e^+ + e^- \rightarrow V \rightarrow \mu^+ + \mu^-$

Полное сечение процесса (1) можно представить в виде:

$$\sigma = \sigma_{pt} \left| 1 + \frac{1}{x + i0.5y} \right|^2, \quad (2)$$

где  $\sigma_{pt} = \frac{4\pi\alpha^2}{3S}$  – точечное сечение;  $\alpha = 1/137$  – постоянная тонкой структуры;  $\sqrt{S}$  – полная энергия в системе центра масс лептонов;  $x = (\sqrt{S} - M_v)/(R\Gamma_v)$ ,  $R = \frac{3}{2} \frac{B_e}{\alpha}$ ,  $B_e = \Gamma_e/\Gamma_v$  – относительная парциальная ширина распада векторного резонанса. Резонансную амплитуду, соответствующую процессу (1) и описывающую полное сечение (2), обозначим через

$$A = 1 + \frac{1}{x + i0.5y}. \quad (3)$$

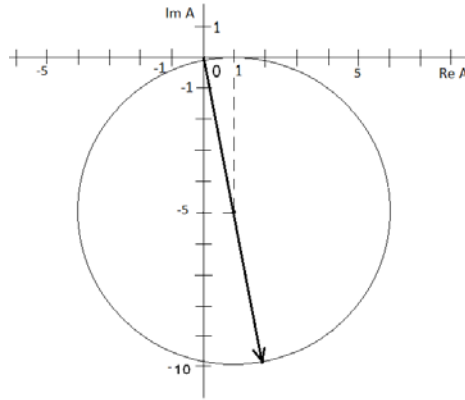
Экстремумы энергетического поведения полного сечения (2) определяются соответствующими экстремальными значениями амплитуды (3). Для решения поставленной задачи был предложен метод векторных диаграмм, применяемый в теории функций комплексного переменного. Энергетическое поведение амплитуды  $A$  можно изобразить на плоскости комплексного переменного ( $\text{Re}A, \text{Im}A$ ), которое описывается уравнением окружности вида:

$$(\text{Re}A - 1)^2 + (\text{Im}A + R)^2 = R^2 \quad (4)$$

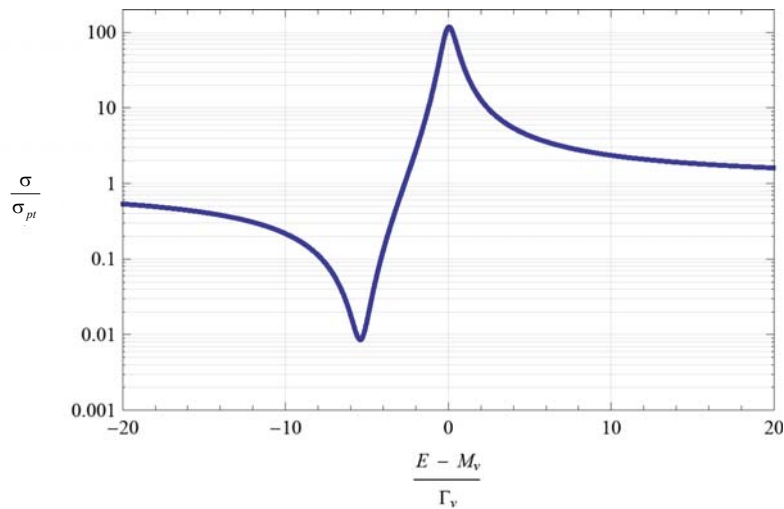
(рис. 2). Из рис. 2 легко определить положения интерференционного минимума в сечении (1) в дорезонансной области энергии:

$$\sqrt{S_{\min}} = M_v - R\Gamma_v. \quad (5)$$

Из величины относительной парциальной ширины распада векторного кваркония  $\gamma$   $B_e = 2,6\%$  следует, что  $R \approx 5$ , что согласуется с точными расчетами, приведенными на рис. 2.


 Рис. 2. Векторная диаграмма для амплитуды  $A$ 

Из формулы (4) следует, что интерференционный минимум в сечении проявляется вдали от резонансной области энергии, а именно на расстоянии 5-ти полных ширин ниже массы резонанса:  $\sqrt{S_{\min}} - M_\nu = -5\Gamma_\nu$ . Это «необычное» свойство энергетического поведения полного сечения, представленное на рис. 3, может быть эффективно использоваться для определения динамических характеристик резонансов.


 Рис. 3. Энергетическое поведение полного сечения  
вблизи кваркониювого резонанса  $\gamma$ 

Аналогичный анализ интерференционных эффектов в околорезонансной области энергии может быть выполнен для другой наблюдаемой – асимметрии вперед-назад вылета лептонных пар, определяемой как

$$A_{FB} = \frac{N_F - N_B}{N_F + N_B}, \quad (6)$$

где  $N_F(N_B)$  – число лептонных пар, вылетающих в переднюю (заднюю) полусферы. Следует отметить, что отношение резонансной к нерезонансной асимметрии выражается простой формулой, содержащей реальную часть обратного значения ампли-

туды  $A$ :  $A_{FB}^V / A_{FB}^{NR} = \text{Re}(A^{-1})$ . Энергетическая зависимость асимметрии  $A_{FB}$  в около-резонансной области энергии представлена на рис. 4.

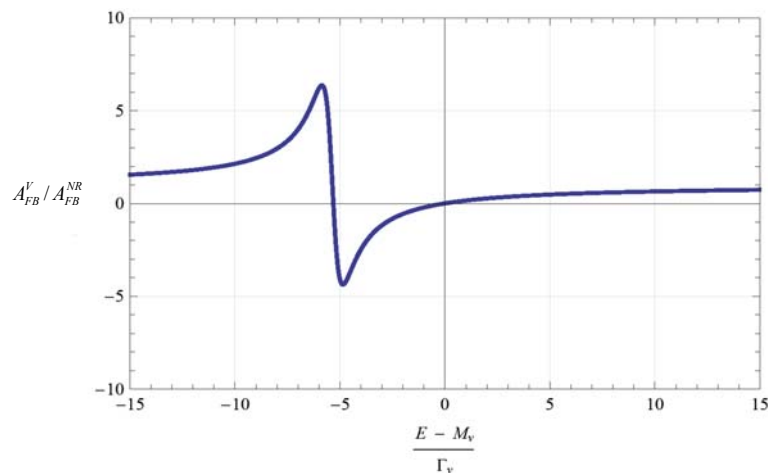


Рис. 4. Энергетическое поведение асимметрии  $A_{FB}$  вблизи кваркониевого резонанса  $\gamma$

#### Литература

1. Osland, P., Pankov, A. A., Tsytrinov, A. V. European Physical Journal. – 2010. – № 10. – С. 1140.