Резонансная мода упругого рассеяния протонов при ультра-высоких энергиях

arXiv:2111.09328

М. Л. Некрасов

Дана интерпретация упругого рассеяния протонов при ультра-высоких энергиях с амплитудой в пространстве прицельного параметра, превышающей предел черного диска.

Показано, что эта мода рассеяния может возникнуть за счет вклада промежуточного состояния, когерентно объединяющего коррелированные партоны сталкивающихся протонов при ультра-высоких энергиях и не имеющего определенного спина и определенной массы. Обсуждается поведение действительной части амплитуды в этом режиме.

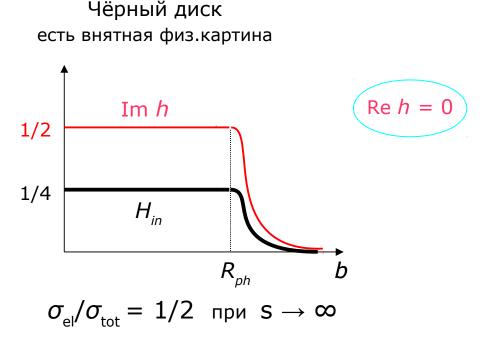
Семинар ОТФ, ИФВЭ 30 ноября 2021

- ★ Введение
- ★ Соотношение унитарности и обобщения его решений типа черного, серого и резонансного диска, удовлетворяющие условию гладкости
- 🖈 Генезис резонансной моды рассеяния
- ★ Заключение

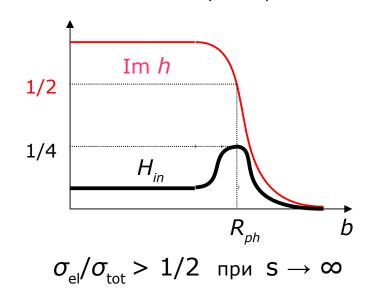
Два сценария (пред)асимптотического поведения:

h – амплитуда упругого p-p рассеяния в пространстве прицельного параметра b

 H_{in} – функция перекрытия (профиль неупругих процессов)



Резонансный или отражающий (?) диск нет внятной физ.картины

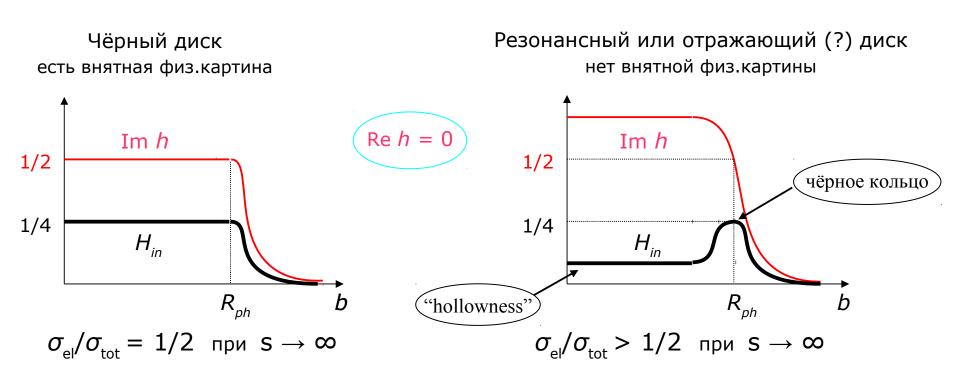


Существующие данные и физ.представления не позволяют сделать выбор между двумя сценариями

Два сценария (пред)асимптотического поведения:

h – амплитуда упругого p-p рассеяния в пространстве прицельного параметра b

 H_{in} – функция перекрытия (профиль неупругих процессов)



Существующие данные и физ.представления не позволяют сделать выбор между двумя сценариями

Соотношение унитарности. Решения типа черного, серого и резонансного диска.

Соотношение унитарности:
$$\lim h(s,b) = |h(s,b)|^2 + H_{in}(s,b), \qquad 0 \leq H_{in} \leq 1/4$$
 Его общее решение: $h(s,b) = \frac{1}{2\mathrm{i}} \left[\eta(s,b) e^{2\mathrm{i}\delta(s,b)} - 1 \right], \qquad \eta^2 = 1 - 4H_{in}$ $0 \leq \eta(s,b) \leq 1$ $0 \leq \eta(s,b) \leq 1$

Решения типа диска (чисто мнимые):

Чёрный диск [n=0]:

$$h(s,b) = \frac{i}{2}\Theta(R-b), \qquad H_{in}(s,b) = \frac{1}{4}\Theta(R-b),$$

$$\sigma_{tot} = 2\pi R^2, \qquad \sigma_{e\ell} = \sigma_{in} = \pi R^2, \qquad \sigma_{e\ell}/\sigma_{tot} = 1/2$$

Соотношение унитарности. Решения типа черного, серого и резонансного диска.

Соотношение унитарности:
$$\operatorname{Im} h(s,b) = |h(s,b)|^2 + H_{in}(s,b)$$
,

$$0 \le H_{in} \le 1/4$$

Его общее решение:

$$h(s,b) = \frac{1}{2\mathrm{i}} \left[\eta(s,b) e^{2\mathrm{i}\delta(s,b)} - 1 \right],$$

$$\eta^2 = 1 - 4H_{in}$$
$$0 \le \eta(s, b) \le 1$$

Im
$$h = \frac{1 - \eta \cos(2\delta)}{2}$$
, Re $h = \frac{\eta}{2} \sin(2\delta)$

$$\operatorname{Re} h = \frac{\eta}{2}\sin(2\delta)$$

Решения типа диска (чисто мнимые):

Чёрный диск $[\eta=0]$:

$$h(s,b) = \frac{\mathrm{i}}{2}\Theta(R-b), \qquad H_{in}(s,b) = \frac{1}{4}\Theta(R-b),$$

$$\sigma_{tot} = 2\pi R^2$$
, $\sigma_{e\ell} = \sigma_{in} = \pi R^2$, $\sigma_{e\ell}/\sigma_{tot} = 1/2$

Серый ("—") и резонасный ("+") диски $[2\delta = 0 \pmod{\pi}]$:

$$h(s,b) = \frac{i}{2}(1 \mp \hat{\eta})\Theta(R-b), \qquad H_{in}(s,b) = \frac{1-\hat{\eta}^2}{4}\Theta(R-b),$$

$$\sigma_{tot} = 2\pi (1 \mp \hat{\eta}) R^2$$
, $\sigma_{e\ell} = \pi (1 \mp \hat{\eta})^2 R^2$, $\sigma_{in} = \pi (1 - \hat{\eta}^2) R^2$,

$$\sigma_{in} = \pi (1 - \hat{\eta}^2) R^2$$

Почему в резонансной моде h(s,b), σ_{el} u σ_{tot} превосходят таковые

- ✓ в моде чёрного диска при том же его размере?
- в моде серого диска при той же H_{in} ?



$$\sigma_{e\ell}/\sigma_{tot} = (1 \mp \hat{\eta})/2$$

Соотношение унитарности. Сглаженные решения

$$h(s,b) = \frac{1}{2i} \left[\eta(s,b) e^{2i\delta(s,b)} - 1 \right]$$

Общий подход:

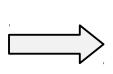
$$\hat{\eta} \longrightarrow \hat{\eta}(s,b)$$

 $0 < \hat{\eta} < 1$

Серый диск ("—", δ =0):

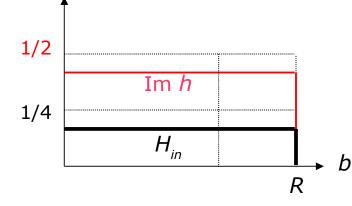
$$h(s,b) = \frac{i}{2}(1-\hat{\eta})\Theta(R-b)$$

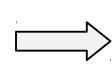
$$H_{in}(s,b) = \frac{1 - \hat{\eta}^2}{4} \Theta(R - b)$$

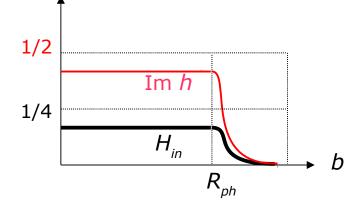


$$h(s,b) = \frac{i}{2}[1 - \hat{\eta}(s,b)]$$

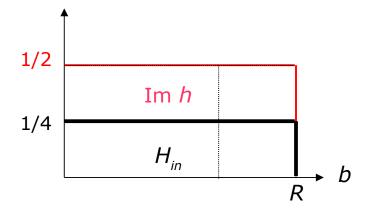
$$H_{in}(s,b) = \frac{1 - [\hat{\eta}(s,b)]^2}{4}$$

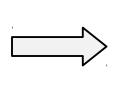


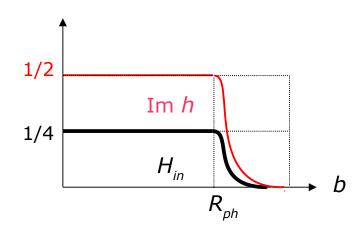




Чёрный диск (предельный случай серого диска):







Соотношение унитарности. Сглаженные решения

$$h(s,b) = \frac{1}{2i} \left[\eta(s,b) e^{2i\delta(s,b)} - 1 \right]$$

Общий подход:

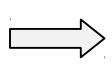
$$\hat{\eta} \longrightarrow \hat{\eta}(s,b)$$

$$0 < \hat{\eta} < 1$$

Резонасный диск ("+", 2δ = π):

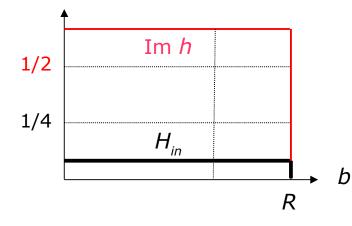
$$h(s,b) = \frac{\mathrm{i}}{2}(1+\hat{\eta})\Theta(R-b)$$

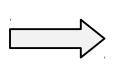
$$H_{in}(s,b) = \frac{1 - \hat{\eta}^2}{4} \Theta(R - b)$$

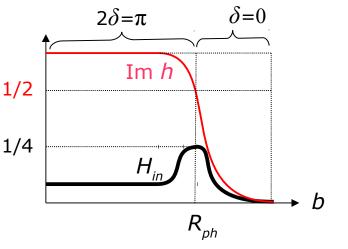


$$h(s,b) = \frac{i}{2}[1 + \hat{\eta}(s,b)]$$

$$H_{in}(s,b) = \frac{1 - [\hat{\eta}(s,b)]^2}{4}$$







Соотношение унитарности. Сглаженные решения

$$h(s,b) = \frac{1}{2i} \left[\eta(s,b) e^{2i\delta(s,b)} - 1 \right]$$

Общий подход:

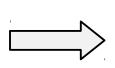
$$\hat{\eta} \longrightarrow \hat{\eta}(s,b)$$

$$0 < \hat{\eta} < 1$$

Резонасный диск ("+", $2\delta = \pi$):

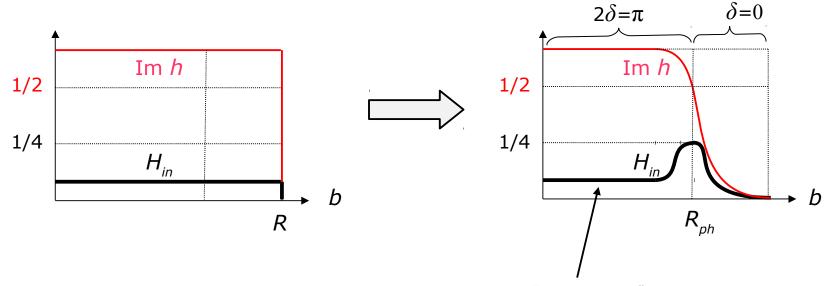
$$h(s,b) = \frac{\mathrm{i}}{2}(1+\hat{\eta})\Theta(R-b)$$

$$H_{in}(s,b) = \frac{1 - \hat{\eta}^2}{4} \Theta(R - b)$$



$$h(s,b) = \frac{1}{2}[1 + \hat{\eta}(s,b)]$$

$$H_{in}(s,b) = \frac{1 - [\hat{\eta}(s,b)]^2}{4}$$



В присутствии $\text{Re } h \neq 0$ (и, следовательно, Im h < 1) "hollowness" может не появиться

Samokhin & Petrov 2018

Тождественное преобразование амплитуды:

$$h(s,b) = \frac{\eta(s,b)e^{2i\delta(s,b)} - 1}{2i} = \eta(s,b)\frac{e^{2i\delta(s,b)} - 1}{2i} - \frac{1 - \eta(s,b)}{2i}$$

Параметризация сдвига фазы:

$$\tan \delta(s,b) = \frac{M\Gamma}{M^2 - s}$$

$$\tan \delta(s,b) = \frac{M\Gamma}{M^2 - s} \qquad \qquad \boxed{\qquad} \qquad \boxed{\qquad \qquad} \qquad \qquad \boxed{\qquad \qquad} \qquad$$

Если М и Γ не зависят от s и дают Ненулевой вклад только при $b=(2\ell+1)/\sqrt{s}$, то эта формула описывает резонанс в ℓ -волне с массой M, шириной Г, парц.шириной $\eta \Gamma$ + теневой фоновый вклад.

Допустим (гипотетически) возникновение при сверхвысоких энергиях особого промежуточного состояния, и посмотрим какими свойствами оно должно обладать, чтобы его вклады приводили к резонансной моде в центральной области столкновений

$M^2 = s$:

$$h(s,b)=\mathrm{i}\,\eta+\mathrm{i}\,rac{1-\eta}{2}=\mathrm{i}\,rac{1+\eta}{2}$$
 Резонансный клад серый диск

Свойства гипотетического промежуточного состояния:

- Возникает при сверхвысоких энергиях.
- Не имеет внутренне присущих массы и спина (M и L), и эти параметры принимают определённые значения в зависимости от условий наблюдения, т.е. зависят от b и s.
- Соответственно, вклад в амплитуду формируется в режиме точного попадания в резонанс.
- Ширина (Γ) и парциальная ширина ($\eta\Gamma$) также непрерывно зависят от b и s.

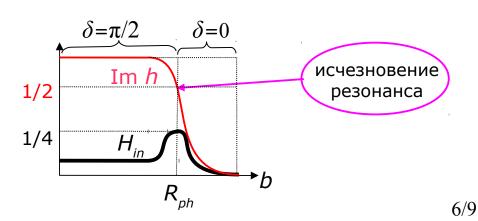


Andersen et al. Nonlinear Dyn. 2012

Вклады в амплитуду исчезают вместе с занулением η
 (вместе с занулением парициальной ширины ηΓ)

$$h(s,b) = \frac{M\eta\Gamma}{M^2-s-\mathrm{i}M\Gamma} + \mathrm{i}\,\frac{1-\eta}{2}$$

$$h(s,b) = \mathrm{i}\,\eta + \mathrm{i}\,\frac{1-\eta}{2} = \mathrm{i}\,\frac{1+\eta}{2}$$
 Резонансный вклад серый диск

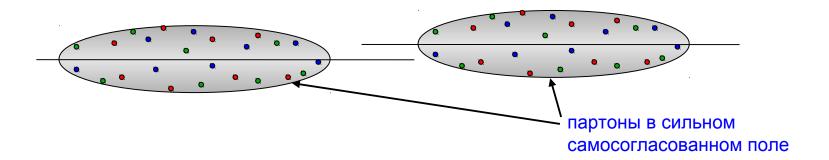


Как такое может быть?

- → Почему промежуточное состояние возникает только при сверхвысоких энергиях?
- → Почему зависимость M, L u Γ от s u b непрерывная? (непрерывный резонанс)

Такое сосояние (система) может образоваться при ультра-высоких энергиях $\sqrt{s} \ge 2-7$ Tev в силу возникновения в ультра-быстрых протонах моды коррелированного движения партонов. [Nekrasov, MPLA 2020, Nekrasov, Particles 2021]

Данная мода возникает вследствие уменьшения плотности пространственной упаковки партонов с ростом энергии, что ведёт к росту эффективной константы их взаимодействия ==> мода коррелированного движения.

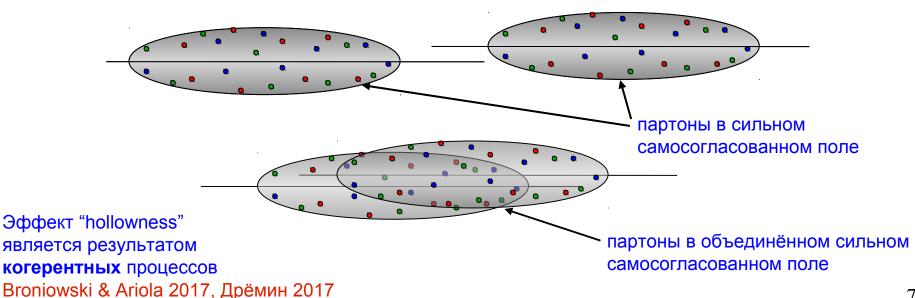


Как такое может быть?

- → Почему промежуточное состояние возникает только при сверхвысоких энергиях?
- → Почему зависимость M, L u Γ от s u b непрерывная? (непрерывный резонанс)

Такое сосояние (система) может образоваться при ультра-высоких энергиях $\sqrt{s} \ge 2-7$ Tev в силу возникновения в ультра-быстрых протонах моды коррелированного движения партонов. [Nekrasov, MPLA 2020, Nekrasov, Particles 2021]

Данная мода возникает вследствие уменьшения плотности пространственной упаковки партонов с ростом энергии, что ведёт к росту эффективной константы их взаимодействия ==> мода коррелированного движения.



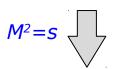
Генезис резонансной моды. Включение вещественных вкладов

Резонансный сдвиг фазы возникает с фоновым вкладом: $\delta = \delta_R + \delta_{bg}$ рассеяние за пределами локализации промежуточного состояния $0 \le \delta_{bg} \ll \pi/2$

$b < R_{ph}$ (внутри резонансной области):

$$\frac{\eta e^{2i\delta} - 1}{2i} = e^{2i\delta_{bg}} \eta \frac{e^{2i\delta_R} - 1}{2i} + \frac{\eta e^{2i\delta_{bg}} - 1}{2i}$$
$$\operatorname{tg} \delta_{bg}(s, b) = \frac{M\Gamma}{M^2 - s}$$

$$h(s,b) = e^{2i\delta_{bg}} \frac{M\eta\Gamma}{M^2 - s - iM\Gamma} + \frac{\eta e^{2i\delta_{bg}} - 1}{2i}$$



$$h(s,b) = \frac{\eta e^{2i(\delta_{bg} + \pi/2)} - 1}{2i}$$

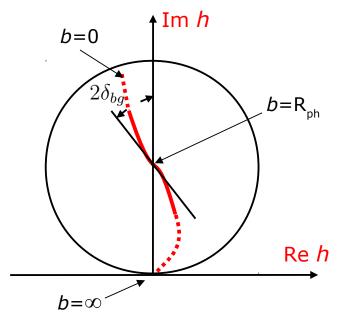
Im
$$h = \frac{1 + \eta \cos(2\delta_{bg})}{2}$$
, Re $h = -\frac{\eta}{2} \sin(2\delta_{bg})$

внутри резонансной области вещественная часть ампдитуды отрицательная

$b > R_{ph}$ (вне резонансной области):

$$\frac{\eta e^{2i\delta} - 1}{2i} = \frac{\eta e^{2i\delta_{bg}} - 1}{2i}$$

$$h(s,b) = \frac{\eta e^{2i\delta_{bg}} - 1}{2i}$$



Проведенный анализ не позволяет ответить на вопрос, какой реализуется сценарий – чёрного или резонансного диска.

Для решения этой проблема нужна количественная модель, описывающая перекрытия коррелированных партонных облаков при сверхвысоких энергиях.

(представленная модель имеет качественный характер и допускает оба варианта решения)

Однако, если возникновение резонансной моды получит экспериментальное подтверждение, это будет сильным указанием на существование нового состояния сильно-взаимодействующей материи, проявляющегося в амплитуде упругого рассеяния как непрерывный резонанс.

Проведенный анализ не позволяет ответить на вопрос, какой реализуется сценарий – чёрного или резонансного диска.

Для решения этой проблема нужна количественная модель, описывающая перекрытия коррелированных партонных облаков при сверхвысоких энергиях.

(представленная модель имеет качественный характер и допускает оба варианта решения)

Однако, если возникновение резонансной моды получит экспериментальное подтверждение, это будет сильным указанием на существование нового состояния сильно-взаимодействующей материи, проявляющегося в амплитуде упругого рассеяния как непрерывный резонанс.

Спасибо за внимание!

