

В простейшем случае бинарного процесса $a + b \rightarrow c + d$ (рис. 1) упругого рассеяния частиц с равными массами m (напр., двух пионов) М. п. имеет вид

$$A(s, t) = \frac{1}{\pi^2} \iint ds' dt' \frac{\rho_{st}(s', t')}{(s' - s)(t' - t)} + \frac{1}{\pi^2} \iint du' dt' \frac{\rho_{ut}(u', t')}{(u' - u)(t' - t)} + \frac{1}{\pi^2} \iint du' ds' \frac{\rho_{su}(s', u')}{(u' - u)(s' - s)},$$

где релятивистски-инвариантные переменные $s = (p_a + p_b)^2$, $t = (p_a - p_c)^2$, $u = (p_a - p_d)^2$ связаны друг с другом соотношением $s + u + t = 4m^2$ (p_a, b, c, d —

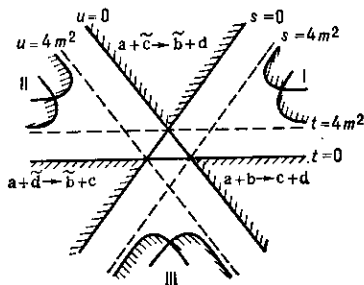


Рис. 2. Области аналитичности амплитуды процесса $a + b \rightarrow c + d$ (в случае одинаковых масс частиц). I, II, III — области, где отличны от нуля спектральные плотности ρ . Заштрихованы области перекрестных процессов.

4-импульсы частиц a, b, c, d ; используется система единиц, в которой $c = 1$), а спектральные плотности ρ отличны от нуля только в областях I, II, III (рис. 2), так что амплитуда A аналитична при всех комплексных s и t за исключением этих вещественных областей. М. п. задаёт и аналитич. свойства амплитуды как ф-ции одной комплексной переменной (s или t) — это разрезы, определяемые асимптотами границы спектральных ф-ций; $s > 4m^2$, $t > 4m^2$, $u > 4m^2$.

Важным свойством М. п. является его явная *перекрёстная симметрия*: оно определяет единую аналитич. ф-цию, к-рая в разных областях переменных s, u описывает разл. перекрёстные процессы (рис. 2).

Представление предложено С. Мандельштамом (S. Mandelstam) в 1959 и строго доказано в квантовой механике с потенциалом взаимодействия определ. класса. Характерной особенностью М. п. в этом случае является нулевое значение спектральной плотности ρ_{su} . Однако в квантовой теории поля его удалось доказать лишь в рамках *перенормированной теории возмущений*.

М. п., наряду с *унитарности условием*, составляет основу дисперсионного подхода в теории элементарных частиц. Связывая амплитуды разл. процессов, оно приводит к системе нелинейных интегральных ур-ний. Однако возникающая система оказывается настолько широкой, что включает в себя амплитуды практически всех процессов, происходящих с элементарными частицами, и не поддаётся матем. разрешению. В ряде случаев с помощью разл. приближений удаётся сузить систему и получить интересные физ. результаты. М. п. прочно вошло в арсенал аналитич. методов теории элементарных частиц и лежит в основе многих моделей, напр. *струнных моделей адронов* (см. также *Дуальность*).

Лит.: Ширков Д. В., Серебряков В. В., Мещеряков В. А., Дисперсионные теории сильных взаимодействий при низких энергиях, М., 1967; Боголюбов Н. Н., Логунов А. А., Тодоров И. Т., Основы аксиоматического подхода в квантовой теории поля, М., 1969; Иксон К., Зюбер Ж.-Б., Квантовая теория поля, пер. с англ., т. 1, М., 1984. А. В. Ефремов.

МАНДЕЛЬШТАМА — БРИЛЛЮЭНА РАССЕЯНИЕ (МБР) — рассеяние света на адиабатич. флуктуациях плотности конденсиров. сред, сопровождающееся изменением частоты. В спектре МБР монохроматич. света наблюдаются дискретные, расположенные симметрично относительно частоты возбуждающего света спектральные компоненты, называемые компонентами Мандельштама — Бриллюэна или компонентами тонкой структуры линии Рэлея. Рассеяние предсказано Л. И. Ман-

дельштамом (1918—26) и Л. Н. Бриллюэном (L. N. Brillouin, 1922); обнаружено при рассеянии в кристалле кварца и в жидкости Е. Ф. Гроссом (1930) и впоследствии им же подробно исследовано.

Адиабатич. флуктуации плотности можно представить как результат интерференции распространяющихся в среде по всевозможным направлениям упругих волн разл. частоты со случайными фазами и амплитудами (т. н. дебаевских волн, к-рые рассматриваются в *Дебая законе теплоёмкости*). Плоская световая волна, распространяющаяся в такой среде, дифрагирует (рассеивается) во всех направлениях на этих упругих волнах, модулирующих диэлектрич. проницаемость среды. Каждая из упругих волн создаёт периодич. решётку, на к-рой и происходит дифракция света аналогично *дифракции света на ультразвуке*. Максимум интенсивности света, рассеянного на упругой волне с длиной волны Λ , наблюдается в направлении Θ (рис.), отвечающем *Брэгга — Вульфа условию*

$$2n\Lambda \sin \Theta / 2 = \lambda, \quad (1)$$

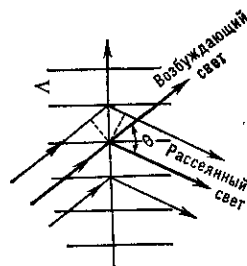
где n — показатель преломления, λ — длина волны света в вакууме. Поскольку каждой упругой волне, распространяющейся в нек-ром направлении со скоростью v , соответствует волна той же частоты, бегущая навстречу, можно считать, что в среде имеются стоячие упругие волны, временное изменение плотности в к-рых с частотой $f = v/\Lambda$ вызывает модуляцию рассеянного света. Следовательно, в рассеянном свете появятся дискретные компоненты с частотой $\nu \pm \Delta\nu$ (стоксова и антистоксова), где $\Delta\nu = f$. Условие (1) приводит к выражению для отнosit. изменения частоты света, рассеянного в направлении Θ :

$$\Delta\nu/\nu = \pm 2n(v/c) \sin \Theta / 2, \quad (2)$$

где c — скорость света в вакууме. Рассмотрение отражения света от бегущих упругих волн в направлении, соответствующем условию (1), приводит к такому же результату. Изменение частоты в этом случае обусловлено *Доплера эффектом*. Ширина компонент Мандельштама — Бриллюэна $\delta\nu$ определяется коэф. затухания α [см $^{-1}$] упругих волн $\delta\nu = \alpha\nu/2\pi$.

Поскольку обычно $f = \Delta\nu \ll \nu$, смещение частоты при МБР относительно невелико: $\Delta\nu/\nu \sim 2\nu/c \sim 10^{-5} - 10^{-6}$. Такие величины измеряются интерферометрич. методами, напр. *интерферометром Фабри — Перо*. Существенным и хорошо наблюдаемым оказывается МБР видимого света ($\nu \sim 10^{15}$ Гц) на *гиперзвуке* ($f \sim 10^9 - 10^{10}$ Гц). В жидкостях наблюдаются 2 компонента Мандельштама — Бриллюэна, в твёрдом аморфном теле — 4 компонента, 2 из к-рых вызваны продольными и 2 — поперечными гиперзвуковыми волнами при Θ , отличным от нуля. В кристалле в общем случае вследствие анизотропии скоростей распространения гиперзвука (3 различные скорости для каждого направления) и анизотропии распространения возбуждающего и рассеянного света (4 возможные комбинации для состояний поляризации падающего и рассеянного света) должно наблюдаться 24 компонента Мандельштама — Бриллюэна. Кроме того, во всех случаях наблюдается также несмещённая по частоте центр. компонента тонкой структуры, вызванная рассеянием на изобарич. флуктуациях энтропии (см. *Рассеяние света*).

При обычных (нелазерных) источниках света световая волна не влияет на состояние среды и вызывающие рассеяние упругие волны обусловлены только тепловым движением молекул. Такое рассеяние света наз. тепловым. Когда интенсивность световой волны дос-



Рассеяние света на упругой волне.