

Лит.: Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Статистическая физика, ч. 1, 3 изд., М., 1976; Най Дж., Физические свойства кристаллов..., пер. с англ., 2 изд., М., 1967; Сириотин Ю. И., Шаскольская Я. М. П., Основы кристаллофизики, 2 изд., М., 1979; Современная кристаллография, под ред. Б. К. Вайнштейна, т. 1—4, М., 1979—81; Пикин С. А., Структурные превращения в жидких кристаллах, М., 1981. В. В. Кочаровский, В. В. Кочаровский.

АНИОН (от греч. *ανίον*, букв. — идущий вверх) — отрицательно заряженный ион, движущийся в электрич. поле к аноду. А. содержится в растворах и расплавах большинства солей, кислот и оснований (см. *Электролиз*). А. наз. также отрицат. заряженные ионы в *ионных кристаллах*.

АННИГИЛЯЦИЯ пары частица-античастица (от позднелат. *annihilatio* — уничтожение, исчезновение) — один из видов взаимопревращения элементарных частиц. Термином «А.» первоначально наз. эл.-магн. процесс превращения электрона и его античастицы — позитрона при их столкновении в эл.-магн. излучение (в фотоны, или γ -кванты). Однако этот термин неудачен, т. к. в процессах А. материя не уничтожается, а лишь превращается из одной формы в другую.

Возможность А. была предсказана П. Дираком (Р. А. М. Dirac) на основе развитой им квантовомеханич. релятивистской теории электрона (см. *Дырок теория Дирака*). В 1932 в космич. лучах были обнаружены первые античастицы — позитроны, в 1933 зарегистрированы случаи А. пар электрон-позитрон.

В процессе А. e^+ и e^- при суммарном спине сталкивающихся частиц $J=0$ испускается (вследствие закона сохранения *зарядовой чётности* в эл.-магн. взаимодействии) чётное число γ -квантов (практически два), а при $J=1$ — нечётное (практически три; А. в один фотон запрещена законом сохранения энергии-импульса). Образование большого числа γ -квантов подавлено из-за малости константы α ($\alpha \approx 1/137$), характеризующей интенсивность протекания эл.-магн. процессов. Если относит. скорость e^+ и e^- невелика, А. с большой вероятностью происходит через образование промежуточного связанного состояния (e^+e^-) — *позитрония*.

Столкновение любой частицы с её античастицей может приводить к их А., причём не только за счёт эл.-магн. взаимодействия. Так, А. протонов и антипротонов в π -мезоны (преим. в 5—6 π -мезонов) вызывается сильным взаимодействием. При малой относит. скорости p и \bar{p} их А. может происходить через связанное промежуточное состояние антипротонного атома (см. *Адронные атомы*) или, возможно, через *барионий*.

В отличие от А. при низких энергиях сталкивающихся частиц, когда в процессе А. пара частица-античастица превращается в более лёгкие частицы, при высоких энергиях лёгкие частицы могут аннигилировать с образованием более тяжёлых частиц (при условии, что полная энергия аннигилирующих частиц превышает порог рождения тяжёлых частиц, равный в системе центра инерции сумме их энергий покоя).

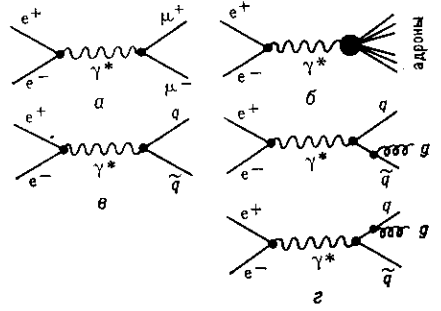
В экспериментах на установках со встречными пучками e^+e^- высокой энергии (≥ 1 ГэВ) наблюдаются процессы А.:

$$e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-, \quad (1)$$

$$e^+e^- \rightarrow \text{адроны}. \quad (2)$$

В низшем порядке теории возмущений квантовой электродинамики процесс (1) описывается аннигиляционной *Фейнмана диаграммой* с виртуальным фотоном γ^* (см. *Виртуальные частицы*) в промежуточном состоянии (рис., а). Процесс (2) происходит также через виртуальный фотон (рис., б); по совр. представлениям, в этом случае γ^* переходит в пару быстрых кварка (q) и антикварка (\bar{q}) (рис., в), к-рые, испуская при взаимодействии с вакуумом пары кварк-антикварк, превращаются в адроны. При высоких энергиях столкновения образующиеся адроны сохраняют направление движения первичных кварка и антикварка, и в конечном состоянии наблюдаются две адронные струи. Сечение таких процессов уменьшается обратно пропорционально квад-

рату 4-импульса виртуального фотона (Q^2) (см. *Партонь, Квантовая хромодинамика*). Эксклюзивный процесс прямого перехода γ^* в адрон и его античастицу (напр., в пару $\pi^+\pi^-$, K^+K^- , барион-антибарион) доминирующе подавлен *формфактором* адрона (уменьшающимся с ростом Q^2). Согласно квантовой хромодинамике, возможен также процесс А. e^+e^- в пару qq с испусканием *глюона* (g) высокой энергии (рис., г);



в этом случае в конечном состоянии должны наблюдаться трёхструйные события. Отношения (R) сечений процессов электрон-позитронной А. (2) и (1) равно сумме квадратов электрич. зарядов всех образующихся при А. кварков. Когда энергия пары e^+e^- становится выше порога рождения частиц нового сорта — *тяжёлых лептонов* (τ^\pm) или частиц, в состав к-рых входят тяжёлые кварки c, b , значение R возрастает на величину, соответствующую вкладу новых фундам. частиц. В экспериментах по e^+e^- -А. наблюдается резонансное образование *кваркониев* — тяжёлых истинно нейтральных мезонов $J/\psi, \Upsilon$ и др., интерпретируемых как связанные состояния соответственно $c\bar{c}, b\bar{b}$. Такие мезоны должны распадаться за счёт А. кварка и антикварка в два или три глюона (в зависимости от их полного углового момента). В процессах А. e^+e^- в адроны образуются преим. мезоны. Однако с ростом энергии сталкивающихся частиц наблюдается значит. повышение выхода пар барион-антибарион в *инклюзивных процессах* $e^+e^- \rightarrow$ барион-антибарион + адроны.

В столкновениях антинуклонов с нуклонами с относит. вероятностью 10^{-4} могут происходить процессы эл.-магн. А. антикварков антинуклона с кварками нуклона. В результате такой А. $q\bar{q}$ образуется виртуальный фотон γ^* , распадающийся на пару лептонов e^+e^- или $\mu^+\mu^-$. Процесс рождения лептонных пар в столкновениях адронов описывается в рамках кварк-партонной модели, причём расчёт эл.-магн. А. кварков и антикварков позволяет в рамках этой модели получить согласующееся с наблюдениями описание характеристик лептонных пар с большой энергией (в системе центра инерции), рождающихся в столкновениях адронов.

С ростом энергии сталкивающихся частиц сечение А. за счёт сильного и эл.-магн. взаимодействий падает, а за счёт слабого взаимодействия — растёт. Поэтому при высоких энергиях в столкновениях адронов могут наблюдаться и процессы слабой А. кварков и антикварков в виртуальный или реальный W^\pm - или Z^0 -бозон слабого взаимодействия. Интерференция сильного и слабого взаимодействий адронов определяет эффекты слабого взаимодействия в столкновениях адронов при высоких энергиях (несохранение *чётности*, одиночное рождение странных и очарованных частиц в столкновениях «обычных» адронов и др.).

А. электронов и позитронов может происходить и через виртуальный Z^0 -бозон. Интерференция слабого и эл.-магн. взаимодействий вызывает нарушение *пространств. чётности* в этих процессах (проявляющееся, напр., в асимметрии углового распределения пар $\mu^+\mu^-$ или адронных струй). При энергии в системе центра инерции пары e^+e^- , равной массе (в энергетич. еди-