

пирована в 1965 в экспериментах по рассеянию электронов на электронах.

Установки со В. п. представляют собой комплекс ускорит. установок, соединённых каналами, транспортирующими частицы (рис. 1, 2). Обязат. элемент комплекса — базовый ускоритель-инжектор, в котором

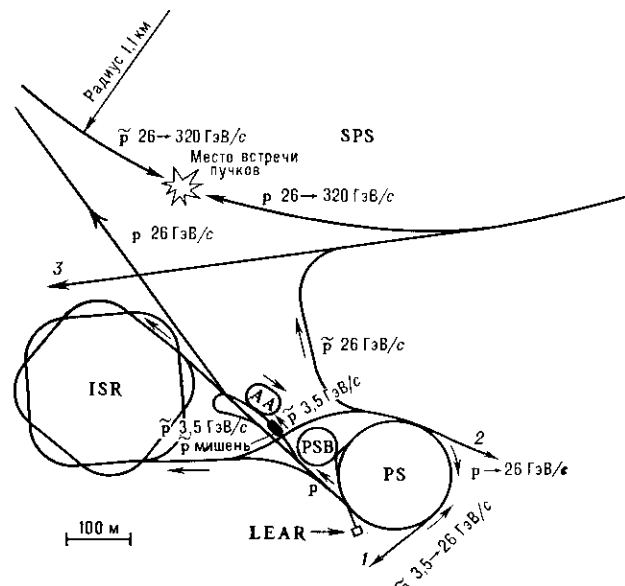


Рис. 2. Схема ускорительно-накопительного комплекса ЦЕРН: SPS — синхрофазотрон (протонный синхротрон) на энергию 400 ГэВ, используемый как рр-накопитель на энергию 320 ГэВ в пучке; ISR — накопитель со встречными протонными и протон-антипротонными пучками (31 ГэВ в пучке); PS — протонный синхротрон (26 ГэВ); PSB — бустер (инжектор) PS; AA — антипротонный накопитель (импульсы антипротонов 3,5 ГэВ/с); LEAR — накопитель со встречными рр-пучками низкой энергии (3 ГэВ); стрелками показаны направления транспортировки частиц по каналам; 1, 2, 3 — выведенные протонные пучки для экспериментов с неподвижной мишенью.

частицы приобретают энергию, необходимую для инжекции в накопитель или генерации на мишени пучка античастиц. Часто между осн. накопителем, где происходит встреча пучков, и инжектором помещают промежуточный накопитель (бустер), предназначенный для предварит. накопления частиц и формирования пучка. Особенно большой эффект даёт использование бустера для В. п. частиц и античастиц, т. к. последние, как правило, приходится накапливать многократно (см. ниже раздел 4). Накопитель В. п. одинаковых частиц имеет две дорожки, как, напр., протон-протонный накопитель ISR (рис. 2). Для В. п. частиц и античастиц достаточно одной дорожки (рис. 1).

Наиб. интерес с точки зрения получения информации об элементарных частицах представляют В. п. частиц и античастиц. Первые эксперименты на В. п. по аннигиляции частиц и античастиц — электронов и позитронов — проведены в 1967 в ИЯФ СО АН СССР на установке ВЭПП-2 с \mathcal{E}_r до 1,34 ГэВ. В области $\mathcal{E}_r = 0,76$ ГэВ впервые был детально исследован р-мезон.

Для электронов и позитронов практич. предел энергии во В. п. в их традиц. циклич. варианте не далёк от достигнутого уровня. На грани такого предела находится проект LEAR (ЦЕРН). Связан этот предел с синхротронным излучением, интенсивность к-рого растёт как четвертая степень энергии частицы и падает только как первая степень радиуса орбиты, так что увеличение размеров установки не позволяет кардинально решить проблему.

В. п. тяжёлых частиц (протонов, антипротонов, ионов) лишены этого недостатка (интенсивность синхротронного излучения обратно пропорциональна четвер-

той степени массы покоя частицы). Первая установка со В. п. протонов ISR успешно функционировала в ЦЕРНе в 1971—83. При переходе к пучкам античастиц появляется необходимость в их многократном накоплении, что вызвано малой величиной коэф. конверсии. При этом из-за большого фазового объёма рождающихся античастиц принципиально важно наличие механизма, уменьшающего фазовый объём пучка. Для позитронов таким механизмом служит синхротронное излучение. С развитием методов охлаждения пучков тяжёлых заряд. частиц стала разрешимой и проблема накопления антипротонов. В ЦЕРНе уже действует комплекс со встречными протон-антипротонными пучками. С точки зрения кварковой модели адронов В. п. рр эквивалентны В. п. кварков и антикварков. Это означает, что они дают фундам. информацию, близкую к получаемой на В. п. e^+e^- . По совр. представлениям, протон (антипротон) содержит три кварка (антикварка) и глюоны (~50%), поэтому В. п. рр на заданную энергию эквивалентны В. п. e^+e^- на энергию примерно в 6 раз меньшую.

Ограничение на энергию В. п. e^+e^- , связанное с синхротронным излучением, не существует для встречных линейных электрон-позитронных пучков [2, 3].

Осн. характеристиками установок со В. п. являются светимость, время жизни пучков, время накопления (выхода на заданную светимость).

1. Светимость. Эффективность циклич. установок со В. п. характеризуют светимостью L — величиной, равной числу событий, происходящих в единицу времени при столкновении двух пучков, при единичном сечении взаимодействия. Скорость счёта в i -м канале реакций с сечением σ_i равна:

$$\frac{dN_i}{dt} = \sigma_i L. \quad (3)$$

Для двух сгустков с числом сталкивающихся частиц N_+ и N_-

$$L = \frac{N_+ N_-}{S} \cdot f, \quad (4)$$

где f — частота обращения частиц в кольце, S — площадь поперечного сечения большего из сгустков.

2. Время жизни и размеры пучков. Время жизни пучков (τ) в накопителе ограничивает продолжительность цикла его работы «на эксперимент» и определяется взаимодействием частиц с остаточным газом в камере накопителя, с частицами собств. пучка и с частицами В. п. Для электронов и позитронов добавляются ещё потери частиц, вызванные квантовыми флуктуациями синхротронного излучения. Эти процессы можно разделить на однократные и многократные (диффузные). Однократные процессы приводят к прямой гибели частиц в результате одиночных актов взаимодействия. Однократное упругое рассеяние на угол, больший апертурного, приводит к попаданию частиц на стенки вакуумной камеры и к их гибели. Оно происходит на атомах остаточного газа, на частицах собств. сгустка (внутрипучковое рассеяние) и на частицах встречного сгустка. Тот же результат дают однократные потери частицами больших порций энергии. У тяжёлых частиц это происходит в результате флуктуаций ионизац. потерь на остаточном газе. Кроме того, для них существует ещё один канал однократных потерь — ядерное взаимодействие с остаточным газом.

У лёгких частиц — электронов (позитронов) при низких энергиях время жизни одного пучка или В. п. e^+e^- невысокой интенсивности определяется, как правило, тормозным излучением на остаточном газе, а при высоких энергиях — потерями на квантовых флуктуациях синхротронного излучения, возбуждающих радиальные бетатронные колебания, при достаточной большой амплитуде к-рых частицы уходят за апертуру. Для e^+e^- -установок с высокой светимостью определяющим может быть также процесс тормозного излучения на встречном сгустке. Для интенсивных (плотных) ре-