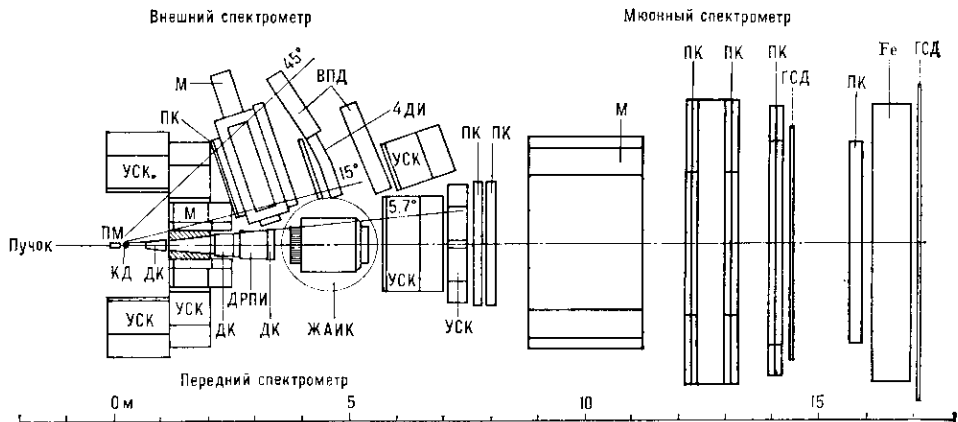


бегам частиц, а точность измерения суммарной энергии ок. 1,3% при энергии 450 ГэВ.

Внеш. магн. спектрометр служит для анализа частиц, вылетающих под углами $15^\circ-45^\circ$ к пучку (в лаб. системе координат). Эти частицы идентифицируются по измерению времени пролёта или радиуса изображения кольца излучения Вавилова — Черенкова в черенковском детекторе.

Быстрые мюоны идентифицируются по их способности пройти через толстый железный экран (Fe, порог 3,5 ГэВ), а их импульс с точностью до 0,02% измеряется пропорц. камерами ПК₀₋₆ по отклонению в магн. поле сверхпроводящего магнита M₁.

Рис. 2. Схематическое изображение К. с. д. ГЕЛИОС: ПМ — проводочная активная мишень; КД — 4-слойный микростриповый кремниевый вершинный детектор; ДК — прецизионные многотрековые дрейфовые камеры; ДРПИ — 8-слойный детектор рентгеновского переходного излучения; М, М₁ — магниты; УСК — урановые сцинтилляционные calorиметры; ЖАИК — жидкоаргоновый ионизационный calorиметр с урановыми поглотителями; ВПД — время-пролётный детектор; ЧДИ — черенковский детектор-идентификатор; ПК — координатные пропорциональные камеры; ГСД — годоскопические сцинтилляционные детекторы; Fe — железный мюонный фильтр.



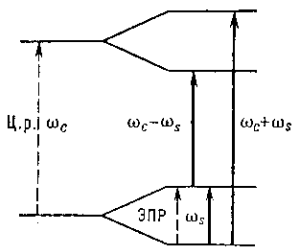
Большое кол-во детекторов позволяет варьировать триггер, оптимизируя его для каждой конкретной задачи. В частности, при изучении ядро-ядерных столкновений отбираются события с большим «поперечным» энерговыделением, т. е. события, сопровождающиеся высокой множественностью рождения вторичных адронов, вылетающих под большими углами и с большим импульсом.

Лит.: Ballam J., Watt R. D., Hybrid bubble chamber systems, «Ann. Rev. Nucl. Sci.», 1977, v. 27, p. 75; Fabjan C. W., Fischer H. G., Particle detectors, «Repts Progr. Phys.», 1980, v. 43, p. 1003; Kleinknecht K., Particle detectors, «Phys. Repts», 1982, v. 84, p. 87; Gidal G., Armstrong B., Rittenberg A., Major detectors in elementary particle physics, 2 ed., (s. 1.1), 1985 (Publ. LBL, № 91. Suppl.), California Univ. Berkeley. Lawrence Berkeley lab.

Г. И. Мерзон.

КОМБИНИРОВАННЫЙ РЕЗОНАНС — возбуждение квантовых переходов между магн. подуровнями электрона переменным электрич. полем E . К. р. отличается от *электронного парамагнитного резонанса* (ЭПР),

Схема расщепления уровней Ландау на спиновые подуровни, штриховые стрелки указывают циклотронный (ЦР) и парамагнитный (ЭПР) резонансы, сплошные стрелки — комбинированный резонанс.



к-рый возбуждается переменным магн. полем. К. р. обусловлен взаимодействием между спиновым магн. моментом μ электрона и полем E (см. *Спин-орбитальное взаимодействие*). К. р. был впервые предсказан для зонных носителей заряда в кристаллах, для к-рых он может превышать по интенсивности ЭПР на 7—8 порядков [1].

В отсутствие спин-орбитальной связи электрон в постоянном однородном магн. поле H совершает два

независимых движения: орбитальное, описываемое квантованием Ландау, и спиновое. Переходы между Ландау уровнями возбуждаются переменным электрич. полем и отвечают *циклотронному резонансу* (ЦР). Они происходят на циклотронной частоте $\omega_c = eH/mc$ (e — заряд электрона, m — его эфф. масса). Переходы между двумя спиновыми уровнями, принадлежащими одному уровню Ландау, возбуждаются переменным магн. полем, отвечают ЭПР и происходят на частоте, определяемой соотношением $\hbar\omega_s = 2\mu H$ (рис.). Отношение интенсивностей ЦР и ЭПР определяется квадратом отношения электрич. дипольного момента перехода $e\lambda_H$ для ЦР $[\lambda_H = (c\hbar/eH)]^{1/2}$ — т. н. магнитная

длина] к магн. моменту $\mu \sim \mu_B = e\hbar/2$ для ЭПР (μ_B — магнетон Бора, $\lambda_0 = \hbar/mc = 4 \cdot 10^{-11}$ см — *комптоновская длина волны*). В полупроводниках обычно $\lambda_H \sim 10^{-5}$ см, поэтому ЦР в 10^{10} раз интенсивнее, чем ЭПР.

Спин-орбитальная связь нарушает автономность орбитального и спинового движений. В результате поле E действует не только на заряд электрона, но и на его спин, что вызывает К. р. Он возбуждается на частоте ω_s и на комбинац. частотах $n\omega_c \pm \omega_s$ (n — целое число). Сильное воздействие поля E обеспечивает высокую интенсивность К. р. даже при относительно слабой спин-орбитальной связи. В результате интенсивность К. р. меньше интенсивности ЦР, но может значительно превышать интенсивность ЭПР.

Чем ниже *симметрия кристалла*, тем интенсивнее К. р. Резонанс на примесных центрах [Н. Бломберген (N. Bloembergen), 1961], как правило, слабее, чем для зонных носителей заряда [2].

К. р. был обнаружен на зонных электронах в n -InSb (на спиновой ω_s и комбинационной $\omega_s + \omega_c$ частотах), на зонных дырках в одноосно деформированном Ge, на нецентросимметричных примесных центрах в Si и Ge, на дислокациях в Si и др. К. р. является методом изучения тонких деталей зонной структуры кристаллов [2], симметрии примесных центров [3] и структурных дефектов в них [4].

Лит.: 1) Рашба Э. И., Свойства полупроводников с петлей экстремумов, «ФТТ», 1960, т. 2, с. 1224; 2) Рашба Э. И., Комбинированный резонанс в полупроводниках, «УФН», 1964, т. 84, с. 557; 3) Электрические эффекты в радиоспектроскопии. Сб. ст., под ред. М. Ф. Дейгена, М., 1981; 4) Кведер В. В. и др., Комбинированный резонанс на дислокациях в кремнии, «Письма в ЖЭТФ», 1986, т. 43, с. 203.

Э. И. Рашба.

КОМЕТЫ (греч., ед. ч. komētēs, букв. — длинноволосый) — малые тела Солнечной системы с протяжёнными (до сотен млн. км) нестационарными атмосферами. От др. малых тел К. отличаются также физ.-хим. и орбитальными характеристиками. С Земли наблюдаются именно атмосферы К., а не тела, их порождающие, — кометные ядра. Всего зарегистрировано появление более тысячи К.