

Калибровка энергии и эксперименты с поляризованными пучками

С.А. Никитин

Рабочее совещание "Перспективы экспериментов на комплексе ВЭПП-4" ИЯФ СО РАН 20-21 Мая 2015

Что было

Что есть

Что будет ?

Методы измерения энергии частиц на ВЭПП-4М

Resonant Depolarization



Compton Back Scattering energy monitor

- R. Klein et al., NIM A384 (1997) 293: BESSY-I, 800 MeV
- R. Klein et al., NIM A486 (2002) 545: BESSY-II, 1700 MeV



VEPP-4M, 2006-14, 900-2000 MeV



Достигнуто на ВЭПП-4 в 2000-х годах

- Начиная с 2002г. на коллайдере ВЭПП-4М выполнена серия экспериментов мирового уровня по измерению масс с детектором КЕДР с применением метода резонансной деполяризации для абсолютной калибровки энергии пучков с рекордной точностью 10⁻⁶
- Впервые в таких экспериментах для мониторинга энергии (точность 50-100 кэВ) и энергетического разброса в пучке (точность 7-10%) на интервалах времени между калибровками энергии методом РД применялся метод ОКР
- Впервые применена внутренняя мишень для измерения поляризации электронного пучка в накопителе (ВЭПП-3) по асимметрии мёллеровского рассеяния
- В экспериментах по тонкому сканированию достигнуто рекордное разрешение лучше 10⁻⁸ по частоте резонансной деполяризации пучка

В последнее время

- Изготовлена новая аппаратура и проводятся новые методические эксперименты, направленные на развитие инструментальных возможностей поляризованных пучков
- Создана и испытана в пучковых экспериментах уникальная система ВЧ разведения орбит в паразитном месте встречи (техническом промежутке) коллайдера с целью исключить вклад ~10⁻⁶ от эл.ст. полей при прецизионном сравнении спиновых частот электронов и позитронов (СРТ эксперимент) V E Blinov et al., 2014 JINST 9 P12011
- Предложен и успешно реализован способ (S. A.Nikitin/Preprint INP 2015-1) сохранения поляризации при ускорении частиц в ВЭПП-4М с прохождением значения энергии целого спинового резонанса (1763 МэВ) при проведении экспериментов с детектором КЕДР

Специальное и вспомогательное оборудование

- Импульсный соленоид 2.5 Тесла × 2 м перед "штанами" в канале инжекции для управления величиной вертикальной проекции поляризации
- Пластины деполяризатора (на трех азимутах)
- Система усилителей сигналов от двух синтезаторов частоты, поступающих на пластины кикера с противоположных сторон, для генерации двух независимых встречных TEM волн
- Распределенная система тушековских счетчиков (на трех азимутах)
- Система регистрации Тушековского поляриметра
- Система ВЧ разведения орбит электронов и позитронов
- Лазер и система регистрации ОКР
- Две системы стабилизации основного поля с точностью 10⁻⁶. Карпова (по сигналу ЯМР корректируется ток ИСТа) и Батракова-Карпова-Павленко : по низкочастотной составляющей – от ЯМР (0-0.5 Гц) и высокочастотной составляющей сигнала (до 50 Гц) - с катушки в калибровочном магните – формируется корректирующий сигнал, поступающий непосредственно в токовый контур магнитов с ведущим полем.
- Система автоматической (Карнаев) стабилизации температуры дистиллята ограничивает среднюю скорость дрейфа поля на уровне ~ 1 эВ/сек ("fit forward")

Блок-схема устройства для независимой деполяризации е+е- пучков на ВЭПП-4М

(В.Черепанов, 2010)



Система ВЧ разведения пучков

Цель: исключить вклад ~10⁻⁶ от эл.ст. разведения пучков в паразитном месте встречи в техн. промежутке при сравнении спиновых частот электронов и позитронов (СРТ эксперимент)

Принципиальная схема (2-оборотная орбита"улитка Паскаля")



Моделирование эффектов встречи







Figure 6: SR images of the 1.1 mA electron (left) and the 0.3 mA positron (right) bunches on the TV monitors while applying the RF separation at the 6.5 kV peak voltage. Electrostatic separation system is fully off.

Сохранение поляризации при ускорении

с пересечением энергии целого спинового резонанса 1763 МэВ









Прохождение резонанса E=1322 МэВ (v=3)? Энергия подскока E=1550 МэВ Легко!

Прохождение резонанса E=2203 МэВ (v=5)?

Энергия подскока E=1.85 ГэВ Энергия цели E=2.4 ГэВ Уменьшение степени в 3 раза, но калиброваться еще можно



В настоящее время

- С применением РД проводится эксперимент по измерению R в области энергий пучка 1.5-1.9 ГэВ, а также набор статистики в пике J/ Psi (ОКР не используется из-за фатальной поломки CO₂ лазера)
- В специальных экспериментах и теоретически нами показано, что эффективность тушековского поляриметра на энергиях пучка *E_{beam}* > 4 GeV значительно снижается (норм. загрузка ∝ *E^{-(2÷3)}*, эффект ∝ *E⁻⁴*), поэтому готовится новый, лазерный, поляриметр для применения в области ипсилон-резонанса (4.73 ГэВ) – отв. И.Николаев.



Лазерный поляриметр на ВЭПП-4М



Предложен Байером и Хозе (1969) Впервые реализован: SPEARS (1979), ВЭПП-4 (1982), etc...

$$A = \left| \frac{\sigma_{_{egepx}} - \sigma_{_{eHu3}}}{\sigma_{_{egepx}} + \sigma_{_{eHu3}}} \right| \sim \frac{E\omega_0}{m_e^2} \lambda \cdot P \approx (1 \div 2)\% \quad (5 \ \Gamma \Im B)$$

 $\lambda = \pm 1$ — циркулярная поляризация фотонов, P— вертикальная поляризация электронов

Твердотельный лазер с диодной накачкой (Nd:YLF)

| Длина волны (энергия фотона) | 527 нм (2.3 eV) |
|-----------------------------------|-----------------|
| Частота повторения | до 4 кГц |
| Энергия импульса (1кГц) | 250 мкДж |
| Энергия импульса (4кГц) | 130 мкДж |
| Длительность импульса | 5 нс (1.5 м) |
| рассеянных фотонов/вспышку (1 мА) | 1 |



Лазерный поляриметр на ВЭПП-4 в 80-х (Г.Я.Кезерашвили**)**

Лазер: 0.532 μm (χ=0.085 при *E*=4.73 ГэВ), <P>=1 Вт, частота повторения 10 кГц, длительность импульса 70 нс



Экспериментально достигнутая скорость счёта ү-квантов более 10 кГц, что обеспечивало 10% точность измерения степени поляризации за 100 секунд

Семейство Y -резонансов и ОКР



Подходящие длины лазерных волн для измерение энергии методом ОКР в области Ү-мезонов

Υ(3S)

10355.2(.5)

5177.6

4.282

2.761

Υ(4S)

10580.0(3.5)

5290.0

4.470

2.882

H. Мучной: Edinburgh Instruments FIRL 295 (только FIR) до 500 мВт при 150 Вт накачки. Цена: 15 млн руб. Для обеспечения разумного времени измерения энергии необходима мощность непрерывного излучения FIR лазера около 0.3 Вт.

Ho! Не ясно пока, как обустроить FIR оптику для транспортировки и ввода лазерного пучка в камеру.

Еще один поляриметр – на "спиновом свете"



Рассматривался вариант со сверхпроводящим шифтером (6 Тесла). Технического решения по оптимальному выделению каналов СИ из имеющихся в северном п/к не было найдено. Размещение шифтера с каналами и приемниками в южном п/к даже не рассматривалось ввиду громоздкости этого варианта (долбить надо!)

Вперед, в прошлое

(на новом витке спирали!)

С переходом к программе работ на высокой энергии (в области Y - пика) начинается новая серия поляризационных экспериментов, связанных с методом резонансной деполяризации:

- отладка лазерного поляриметра (для начала на Е=3.8 ГэВ)
- изучение и коррекция ближайших спиновых резонансов (начиная с первого Ŷ)
- попытки наблюдать поляризацию еще одним независимым методом, параллельно используя лазерный и тушековский поляриметры
- выход на максимальную точность калибровок, изучение систематик

Возможный план СРТ эксперимента

В переходный период (когда КЕДРу уже не надо "низкой энергии", но "высокая" еще не подготовлена) выделить достаточное количество смен в виде непрерывной серии измерений для СРТ эксперимента с точностью лучше 10⁻⁸ (такой возможности ни разу до сих пор не предоставлялось)

<u>Вариант А</u>

 Делается серия экспериментов с одновременным тонким сканированием частоты деполяризации на электронах и позитронах (2×2 сгустка) с включенным электростатическим разведением при условии воспроизведения величины энергии частиц и уровня напряжения на пластинах разведения с точностью 10⁻³.

- Делается вторая серия с тем же условием, но при другом знаке электростатических полей разведения.

 Результат находится как разность усредненных данных первой и второй серий (вычитание систематической ошибки, связанной с электростатикой, которая вносит сдвиг спиновой частоты ~ 10⁻⁶).

<u>Вариант Б</u>

Одновременное тонкое сканирование на электронах и позитронах (1×1) в режиме ВЧ разведения орбит в техническом промежутке (единая для е+ и е- 2-оборотная замкнутая орбита).

Спасибо!