

# Программа ядерно-физических экспериментов на ВЭПП-3

И.Рачек

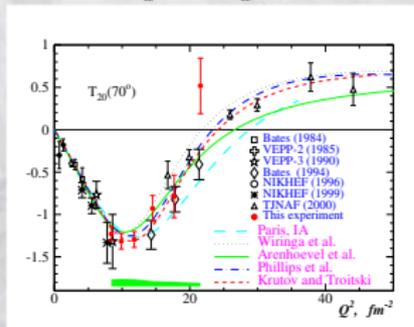
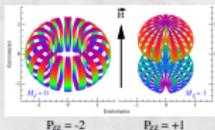
Перспективы экспериментов на комплексе ВЭПП-4  
20 мая 2015

## Действующие экспериментальные установки

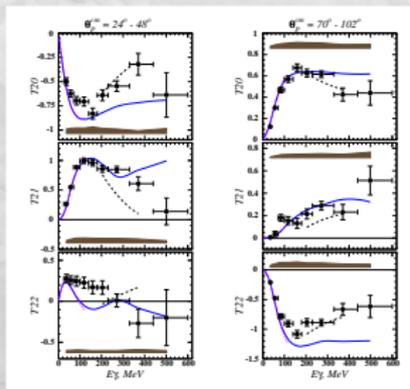
	Установка	$E_{\max}$	$I_e$	
1	Jefferson Lab, США	11 ГэВ	200 мкА	поляризованные электроны, меченные фотоны
2	MAMI, Германия	1.5 ГэВ	100 мкА	поляризованные электроны, меченные фотоны
3	ELSA, Германия	3.5 ГэВ		меченные поляризованные фотоны
4	LEPS, Япония	2.4 ГэВ		фотоны из ОКР
5	MAX-LAB, Швеция	0.2 ГэВ		меченные фотоны
6	Дейтрон@ВЭПП-3	2 ГэВ	100 мА	электроны, <b>позитроны</b> , меченные квази-реальные фотоны, <b>внутренняя мишень</b>

- В ИЯФе экспериментальное изучение Электро- и Фото- ядерных процессов базируется на использовании **Метода Сверхтонкой Внутренней Мишени** в накопителе.
- Метод предложен, развит в ИЯФ.
- Позволяет проводить уникальные эксперименты **с экзотическими мишенями** и/или **с уникальными пучками**

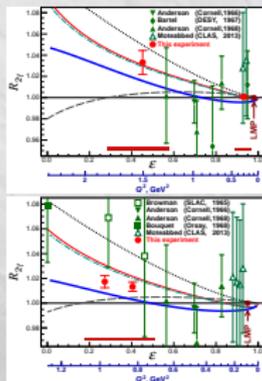
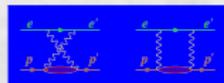
## форм-факторы дейтрона



## Фотодезинтеграция



## 2\gamma вклад в упругое ер-рассеяние

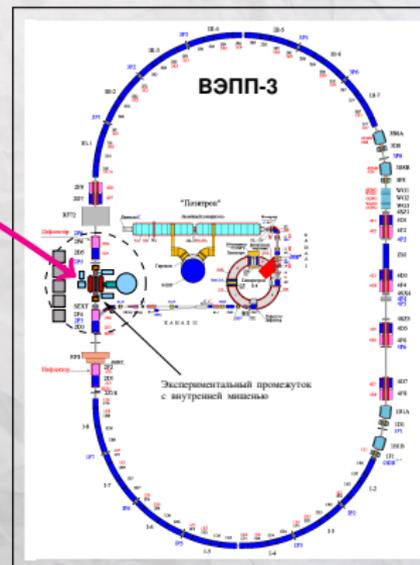
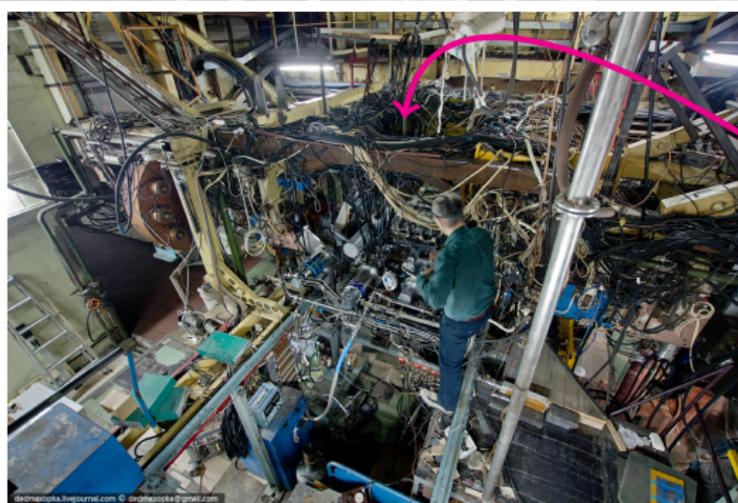


# Группа "Дейтрон"

... 6 научных сотрудников + 2 инженера + 3 лаборанта ...



Работаем на 2-ом  
линейном промежутке  
ВЭПП-3



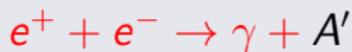
## Два основных эксперимента:

- 1 Измерение тензорной анализирующей способности  $T_{20}$  реакции двух-частичной фотодезинтеграции дейтрона:



при энергии фотона  $E_\gamma = 0.4 \div 1.5$  ГэВ

- 2 Поиск гипотетического “тёмного” фотона  $A'$  в электрон – позитронной аннигиляции:

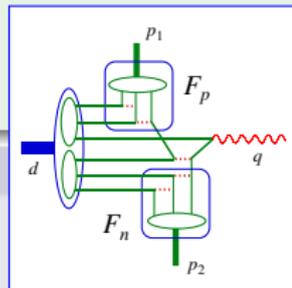


# Фотодезинтеграция Дейтрона

- Дейтрон – простейшее составное ядро → *аналог атома водорода в атомной физике*
- В области небольших энергий фотона фотодезинтеграция дейтрона очень важна для проверки нуклон-мезонных моделей ядер;
- Процесс фотодезинтеграции дейтрона в области средних энергий очень удобен для изучения особенностей перехода к кварк-глюонной картине описания нуклонов и ядер.
- В фотодезинтеграции дейтрона экспериментально изучаются:
  - полное и дифференциальное сечение
  - асимметрии, связанные с поляризацией фотона
  - асимметрии, связанные с поляризацией мишени
  - поляриметрия вылетевших нуклонов
  - комбинированные асимметрии

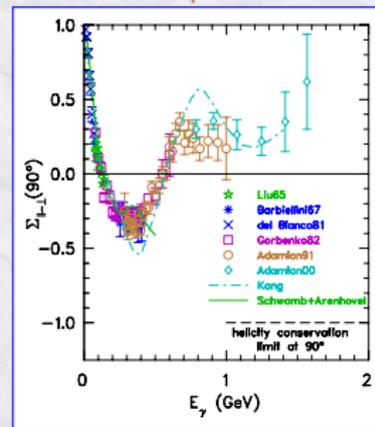
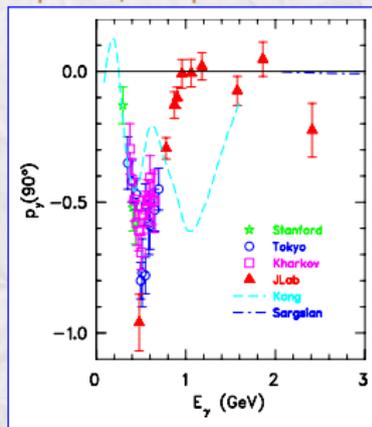
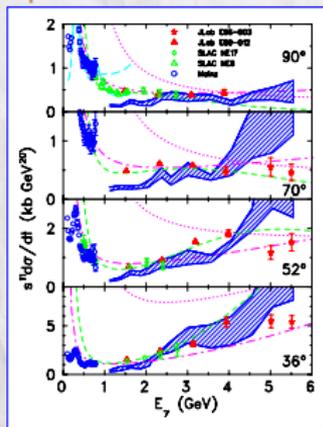
## изучение перехода к кварк-глюонной картине

- правила pQCD: **CCR** (Constituents Counting Rule),  
**ННС** (Hadron Helicity Conservation)
- для  $\gamma d \rightarrow pn$ :  $d\sigma \rightarrow s^{-11}$ ,  $\Sigma \rightarrow -1$ ,  $T_{20} \rightarrow -\sqrt{2}$ ,  $p_y, T_{21}, T_{22} \dots \rightarrow 0$
- должны быть большими ***u, t*** и ***s*** одновременно → реализуется при  $\Theta_p^{CM} \approx 90^\circ$

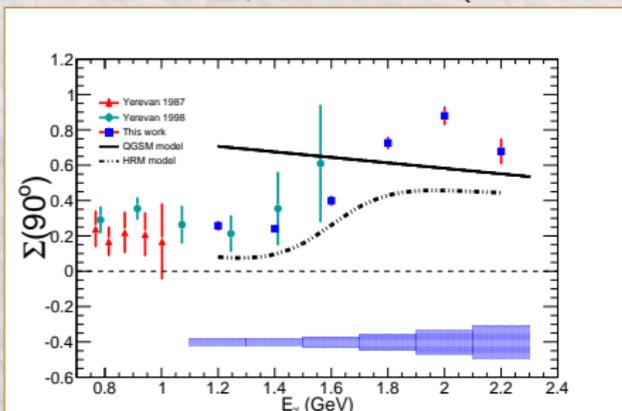


# Фотодезинтеграция Дейтрона: экспериментальные данные

диф. сечение  $\xrightarrow{pQCD} s^{-11}$  !    поляризация протона  $\xrightarrow{pQCD} 0$  !     $\Sigma$  – асимметрия  $\xrightarrow{pQCD} -1$  ?



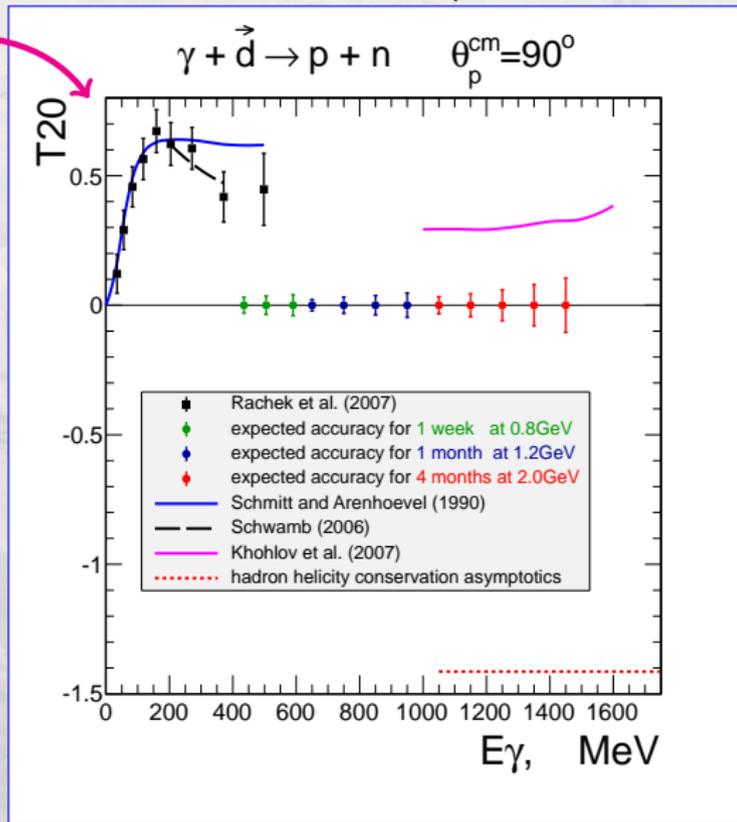
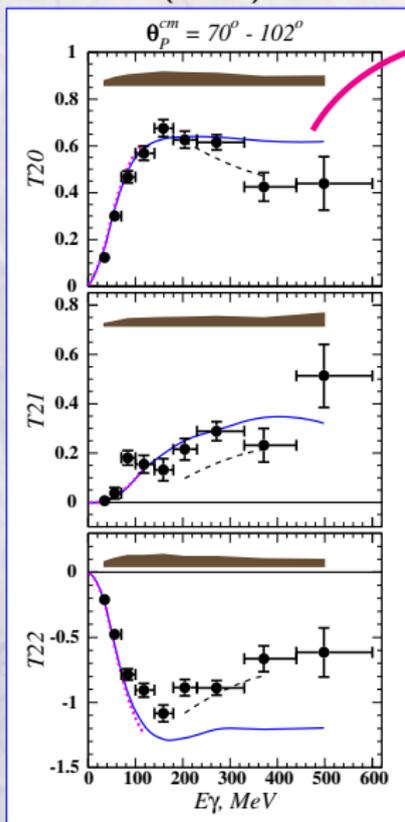
Новое измерение фотонной асимметрии  $\Sigma$  в JLab (arXiv:1503.05435 – март-2015):



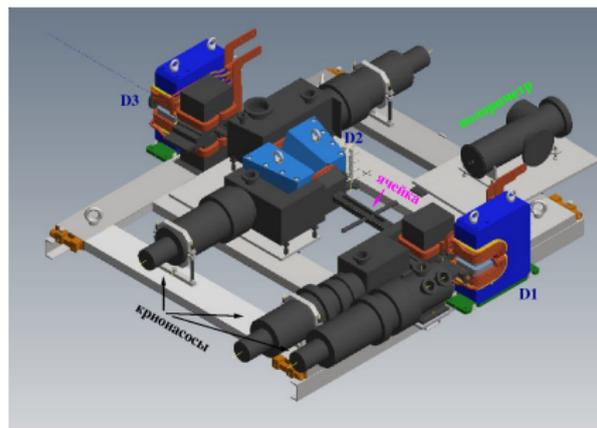
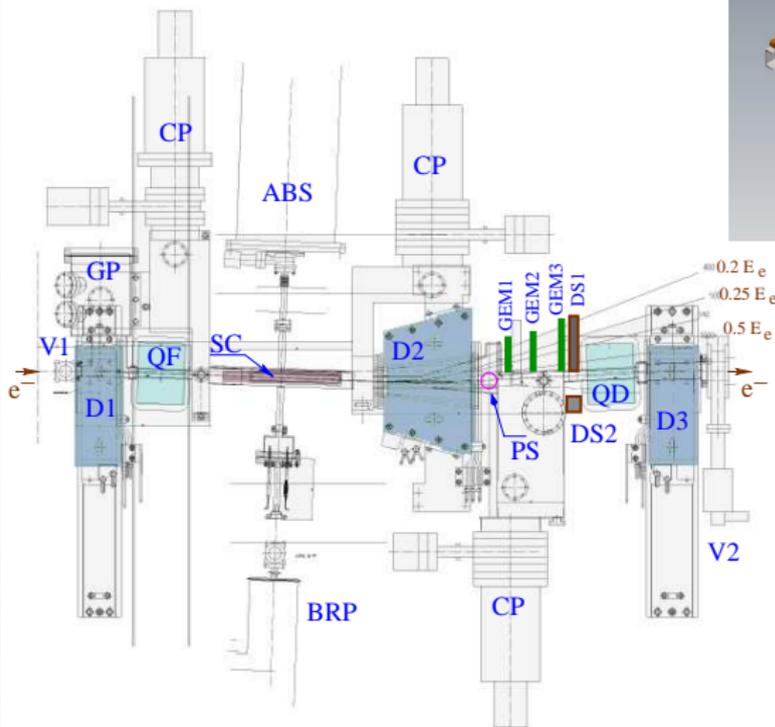
# Тензорные асимметрии в Фотодезинтеграции Дейтрона

Измерено на "Дейтроне"  
PRL **98** (2007) 182303

Проектная точность нового измерения  
с Системой Мечения квази-реальных Фотонов



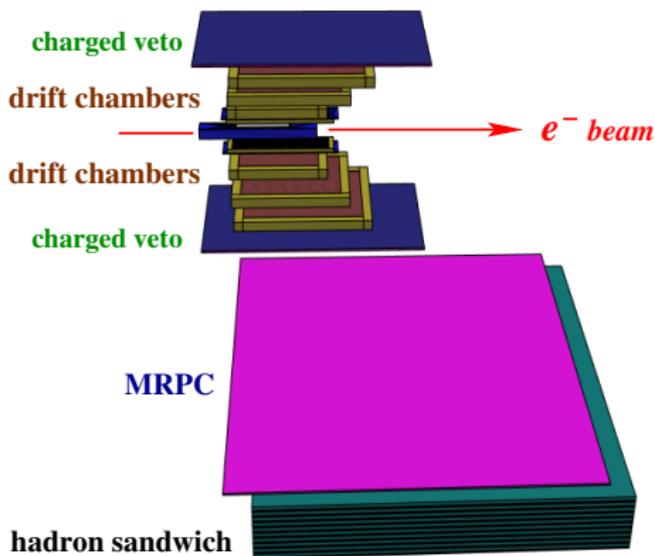
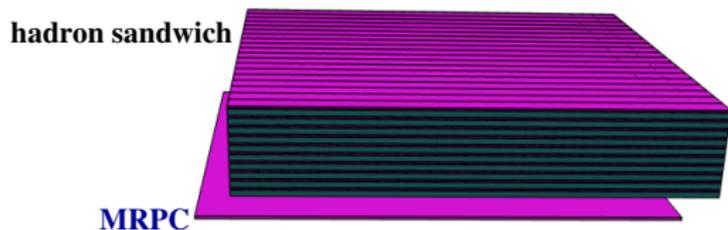
Тройка дипольных магнитов в линейном промежутке ВЭПП-3



Магнит D2 и трековые детекторы образуют магнитный спектрометр электронов, потерявших энергию на излучение фотона.

Реконструируя энергию и угол рассеянного электрона можно определять энергию и плоскость поляризации фотона, вызвавшего ядерную реакцию.

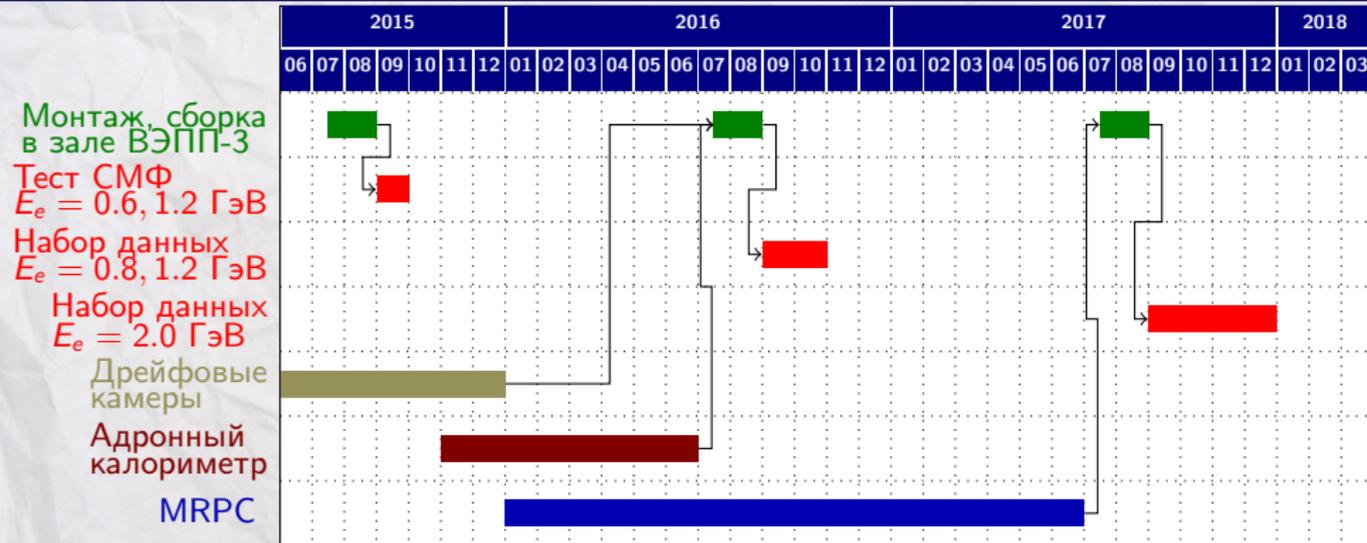
# Новый эксперимент на ВЭПП-3: Детектор протонов/нейтронов



- два симметричных плеча:
  - дрейфовые камеры
  - вето заряженных
  - МРПК для времени пролета
  - Адронный калориметр-сэндвич

- Дрейфовые камеры
  - изготовлены,
  - нужна электроника
  - затраты  $\sim 0.5$  млн руб
- Адронный калориметр
  - в сотрудничестве с Протвино;
  - затраты  $\sim 4$  млн руб
- МРПК
  - в сотрудничестве с Дубной;
  - затраты  $\sim 2$  млн руб
  - будет необходима на последнем этапе ( $E_e = 2$  ГэВ)

# Временная диаграмма для Фотодезинтеграции



Пучковое время на ВЭПП-3:

- 2015: 3 недели ( $E_e = 0.6$  ГэВ и  $1.2$  ГэВ)
- 2016: 1.5 месяца ( $E_e = 0.8$  ГэВ и  $1.2$  ГэВ)
- 2017: 4 месяца ( $E_e = 2$  ГэВ)

**в эти периоды ВЭПП-3 недоступен для других режимов!**

# Тёмный фотон

- Тёмная материя существует!
- → Возможно есть новое взаимодействие между частицами тёмной материи?

## Минимальное расширение Стандартной Модели:

- дополнительная  $U'(1)$  - симметрия

$$U(1)_Y \times SU(2)_W \times SU(3)_s \times U'(1)_D$$

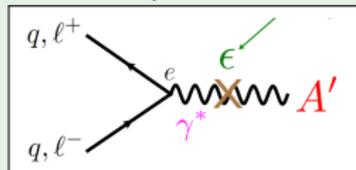
- Спонтанное нарушение  $U'(1)_D \rightarrow$  новый массивный спин-1 бозон ("тёмный" фотон  $A'$ ) с массой  $m_{A'}$
- бозон  $A'$  связан с обычным фотоном через **кинетическое смешивание**, если есть очень тяжелые частицы, заряженные и под  $U(1)_Y$  и под  $U'(1)_D$  (Holdom, 1986)



$$\Delta\mathcal{L} = \frac{\epsilon}{2} F^{Y,\mu\nu} F'_{\mu\nu}$$

$\epsilon$  – параметр смешивания

$A'$  связывается с кварками/лептонами

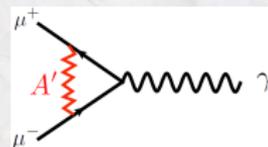


- По ряду соображений следует ожидать:

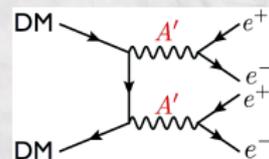
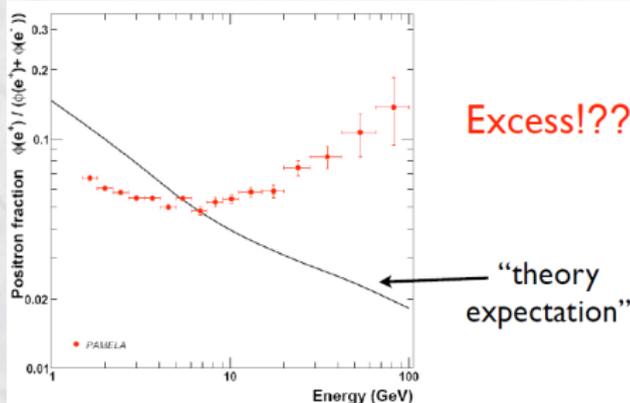
$$m_{A'} = 1\text{MeV} \dots 1\text{GeV} \text{ и } \epsilon = 10^{-2} \dots 10^{-6}$$

# возможные указания на темный фотон

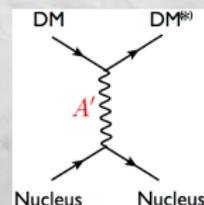
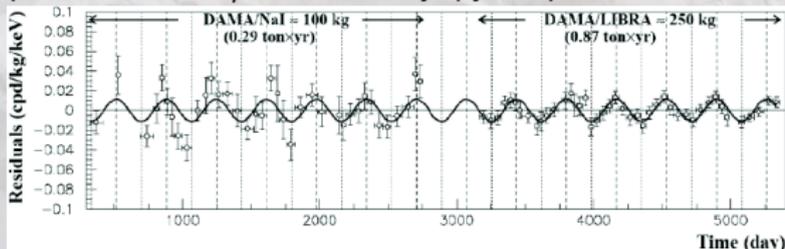
- Вклад в аномальный магнитный момент мюона?



- Избыток позитронов в космических лучах – из аннигиляции ТМ ?



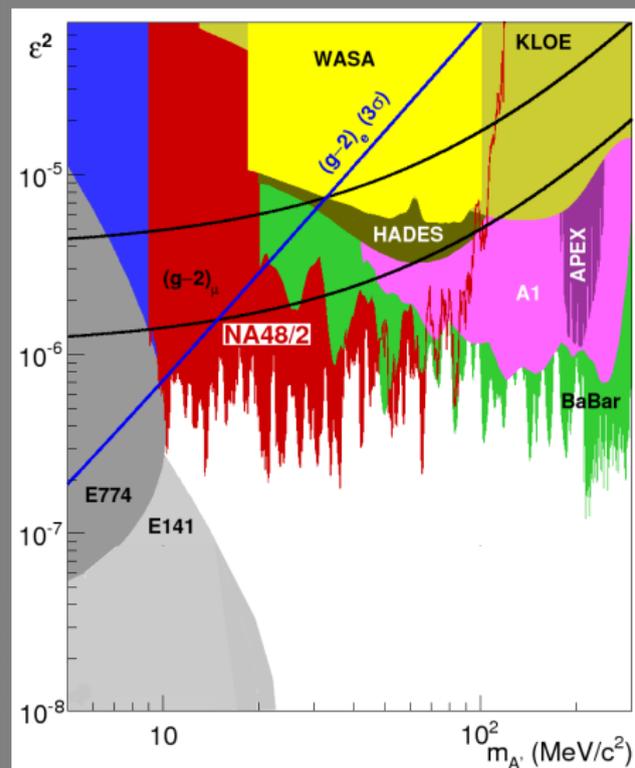
- Эксперимент DAMA/LIBRA – неупругое рассеяние ТМ на ядрах?



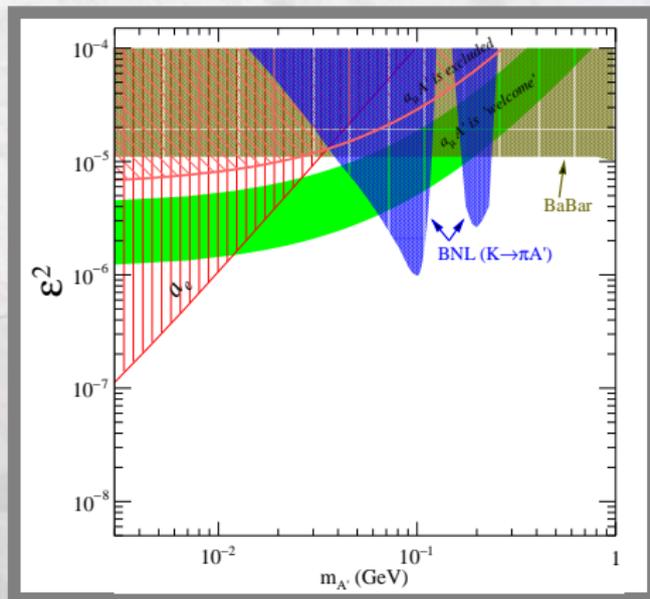
# Статус поиска

☉ Ни одного сигнала тёмного фотона пока не обнаружено!

Распад  $A'$  на  $e^+e^-$  с бранчингом 100%

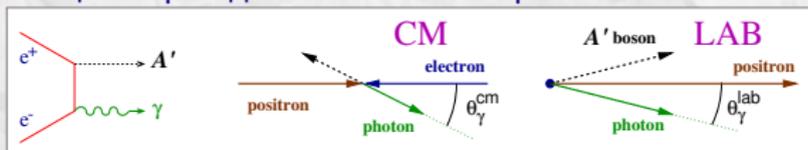


Распад  $A'$  на невидимые частицы

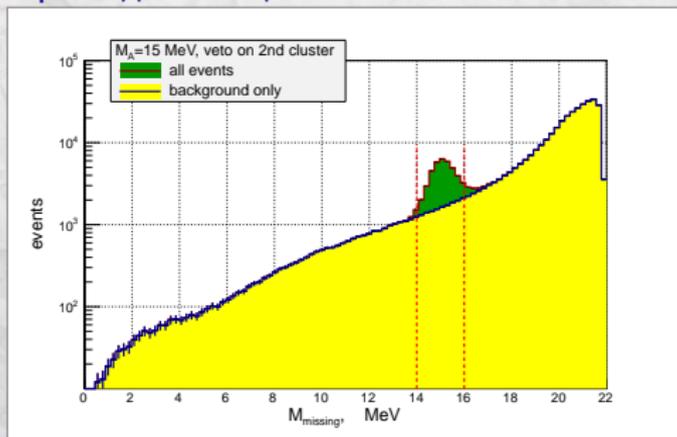


# Эксперимент на ВЭПП-3: тёмный фотон из $e^+e^-$ аннигиляции

- аннигиляция с рождением темного фотона  $e^+ + e^- \rightarrow \gamma + A'$ :

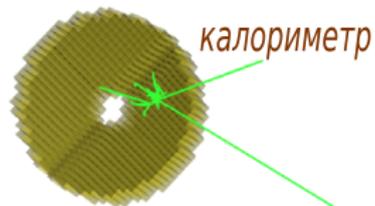


- позитронный пучок  $E_+ = 500\text{МэВ}$  многократно пересекает газовую водородную мишень
- регистрируется одиночный  $\gamma$ -квант сегментированным ЭМ-калориметром
- поиск пика в спектре недостающей массы  $\rightarrow$  *не зависит от моды распада  $A'$*



GEANT-4: распределение по недостающей массе для  $m'_A = 15\text{МэВ}$

# Конфигурация эксперимента



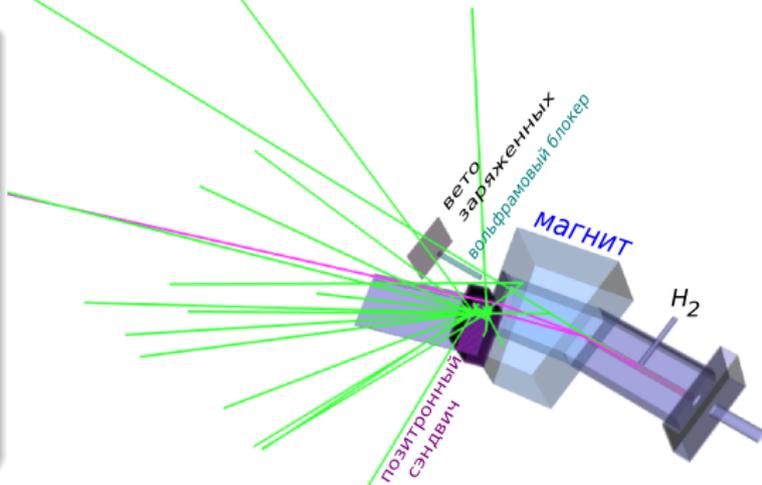
ЭМ калориметр

608 кристаллов CsI(Tl)

из торц. калориметра CLEO



✓ есть договоренность с Корнеллом об аренде кристаллов и фотоприемников

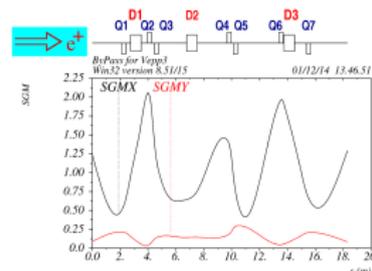
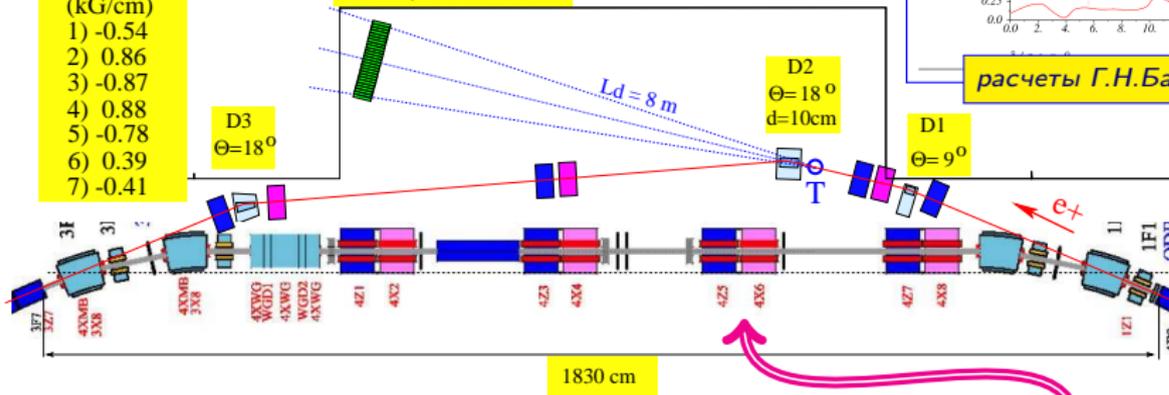


## БАЙПАС вдоль 4-ого линейного промежутка ВЭПП-3 – на месте байпаса Оптического Клистрона

### Q Lenses

- (kG/cm)
- 1) -0.54
  - 2) 0.86
  - 3) -0.87
  - 4) 0.88
  - 5) -0.78
  - 6) 0.39
  - 7) -0.41

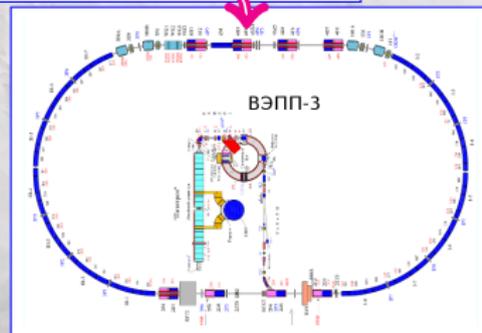
608 CsI, 50x50x300 mm



расчеты Г.Н.Баранова

### байпас включает

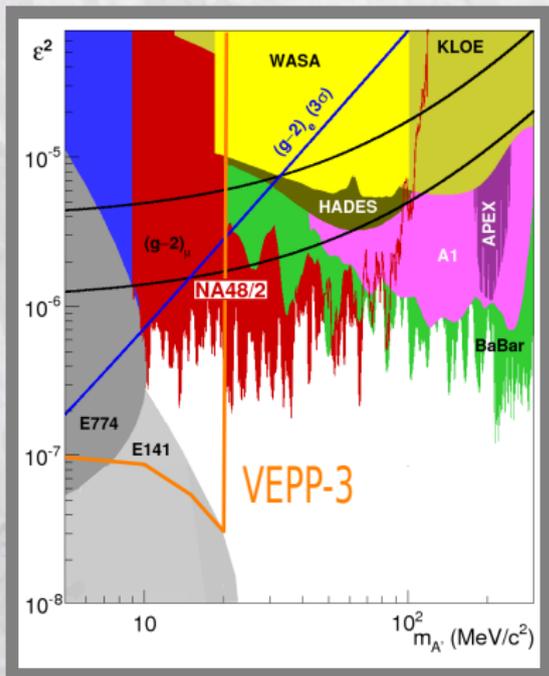
- вакуумная камера с откачкой, отделенной от ВЭПП-3 управляемыми шиберами
- 3 дипольных магнита
- 7 квадрупольных линз
- секступоль (?), корректоры (?)
- диагностика: 4 пикапа, 6 пробников, СИ (?)



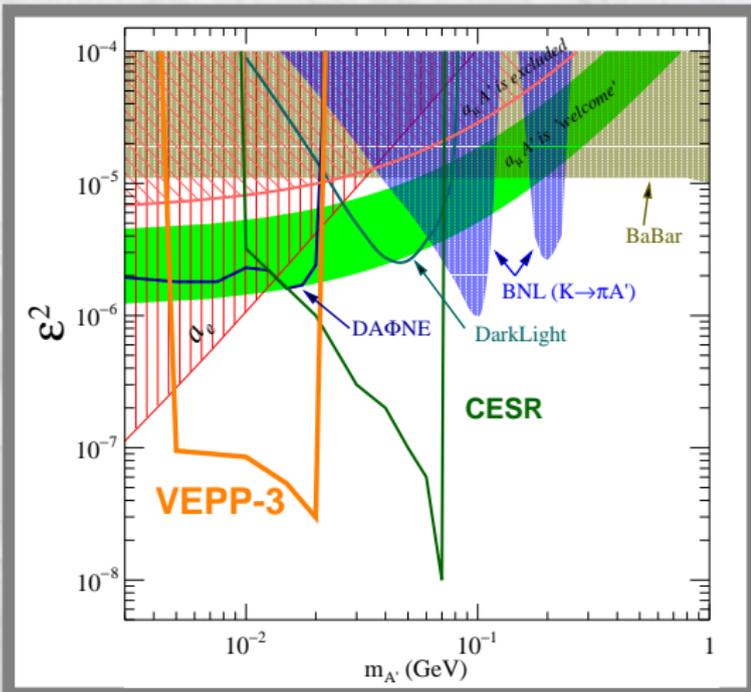
# Проектная чувствительность поиска

$10^7$  секунд при светимости  $10^{33} \rightarrow 300$  килоКулон с мишенью  $5 \times 10^{15}$  ат/см<sup>2</sup>  
 работа на энергии инжекции из инжекционного комплекса  $E_{e^+} = 500$  МэВ

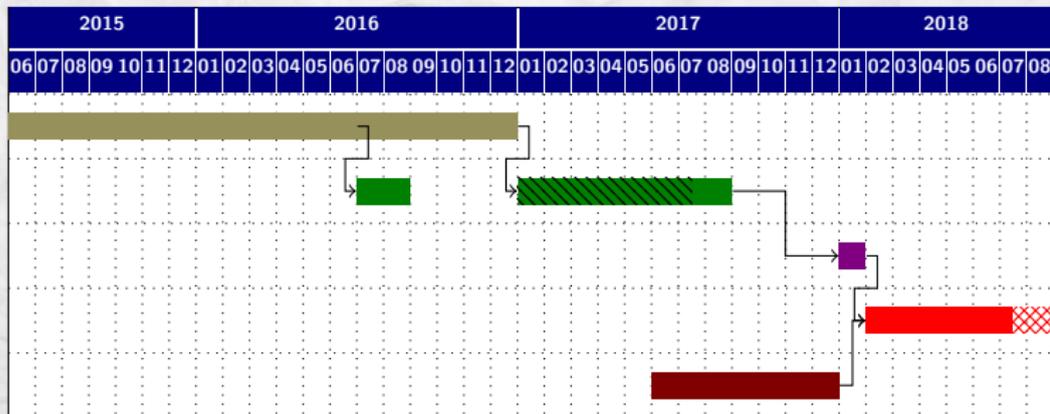
Распад  $A'$  на  $e^+e^-$



Распад  $A'$  на невидимые частицы



# Временная диаграмма для Тёмного фотона



Пучковое время на ВЭПП-3:

6 месяцев в 2018г. ( $E_{e^+} = 0.5$  ГэВ,  $Q=300$  кКулон)

возможно оперативное переключение ВЭПП-3 в другие режимы

- посменное распределение пучкового времени
- квази-параллельная работа с КЕДР-ом (?)



# Дополнительные Слайды

## оценка затрат (очень предварительная)

	рубли	нормочасы
магнитная система	500 тыс.	2000
вакуумная система	500 тыс.	2000
диагностика	200 тыс.	200
инфраструктура	500 тыс.	800
детектор и электроника	1.3 млн	500
<b>ИТОГО</b>	<b>3 млн</b>	<b>5500</b>

### замечания:

- кристаллы *CsI* и фотоприемники поставляются Корнельским Университетом
- часть вакуумного оборудования (шиберы, насос?) поставляется коллаборантами из США
- все магнитные элементы байпаса (кроме диполя *D2*) имеются в наличии
- часть материалов (напр., медная шина для магнита *D2*) имеется в наличии

# Квадрупольные линзы

## ГОТОВЫЕ ЛИНЗЫ, ДОСТУПНЫЕ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

- Q1 – Q4

2 дуплета в "яме" рядом с РИУСом.

Вписанный диаметр 55 мм

$L_{\text{полюса}} \sim 260 \text{ mm}$

$GG \sim 2 \text{ kG/cm}$  при токе  $I = 1000 \text{ A}$

Габариты дуплета 400X400X650

- Q5

Похожий квадруполь (зал ВЭПП-4)

Вписанный диаметр 55 мм

$L_{\text{полюса}} \sim 340 \text{ mm}$

Многовитковый, охлаждаемый водой

$GG = ?$

- Q6 – Q7

Квадруполь с выставки.

Вписанный диаметр 100 мм

$L_{\text{магнитная}} = 592 \text{ mm}$

$GG = 1.56 \text{ kG/cm}$  при токе  $I = 3900 \text{ A}$

- Q8

Квадруполь с выставки (использовать как корректор?)

Вписанный диаметр 100 мм

$L_{\text{магнитная}} = 294 \text{ mm}$

$GG = 0.2 \text{ kG/cm}$  при токе  $I = 15 \text{ A}$

## 1 Состав байпаса.

Магнитные элементы: 3 диполя; 7(?) квадрупольей; корректоры (?); секступоль(?).

Вакуумные элементы: входной/выходной управляемые шиберы; узел мишени;

насосы: ТМН, МРН, 4 крионасоса; 3 вак.лампы.

Элементы диагностики пучка: 4 пикапа; 4+2 пробников/скреперов; СИ?

## 2 Расчеты.

Расчет оптики байпаса.

Расчет диполя D2.

Расчет траекторий для выяснения возможности подавления фонов.

## 3 Конструкторские работы.

Диполь D2.

Вакуумная камера, включая узел мишени.

Подставки с элементами юстировок магнитов

Подставка калориметра CsI (вес 2 т) с возможностью регулировки его положения.

## 4 Работы по магнитам.

Доработка квадрупольных линз.

Магнитные измерения квадрупольных линз и D2 (по его готовности).

Выяснение ситуации с источниками питания магнитов и силовыми трассами.

Подвод дистиллята к магнитам, термозащита.

## 5 Подготовка много-сгусткового (до 6 банчей) режима работы ВЭПП-3.

Упорядочивание фронтов и длин инфлекторных импульсов.

"Скользящая" синхронизация инфлекторных импульсов.