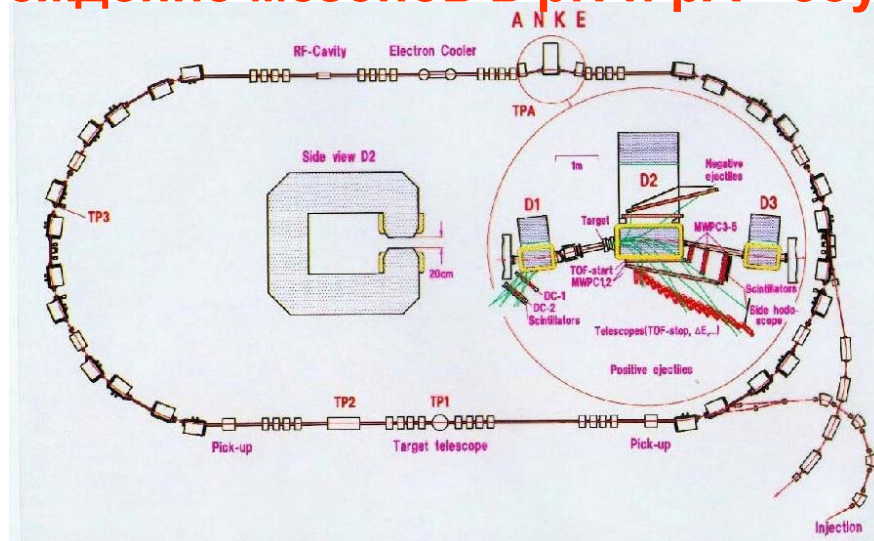


ЛМФКС в 2007 году:

Два направления:

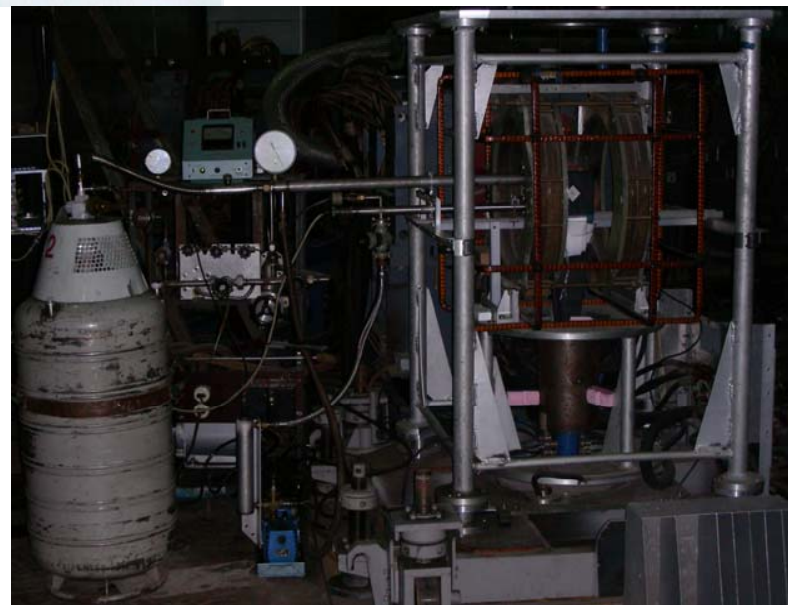
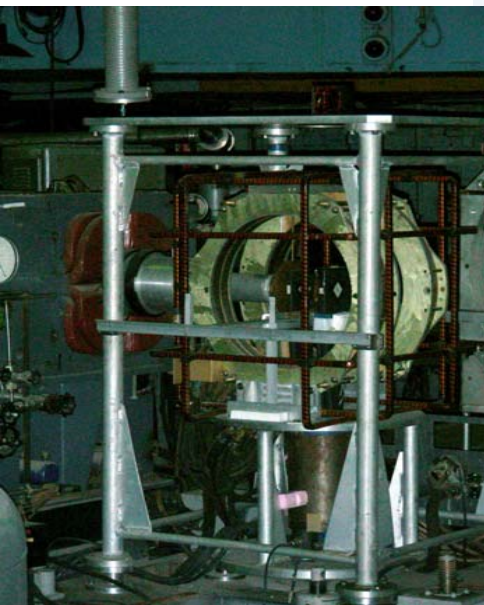
а). Рождение мезонов в pN и pA - соударениях;



COSY

б). μ SR- исследования.

μ -канал
ПИЯФ



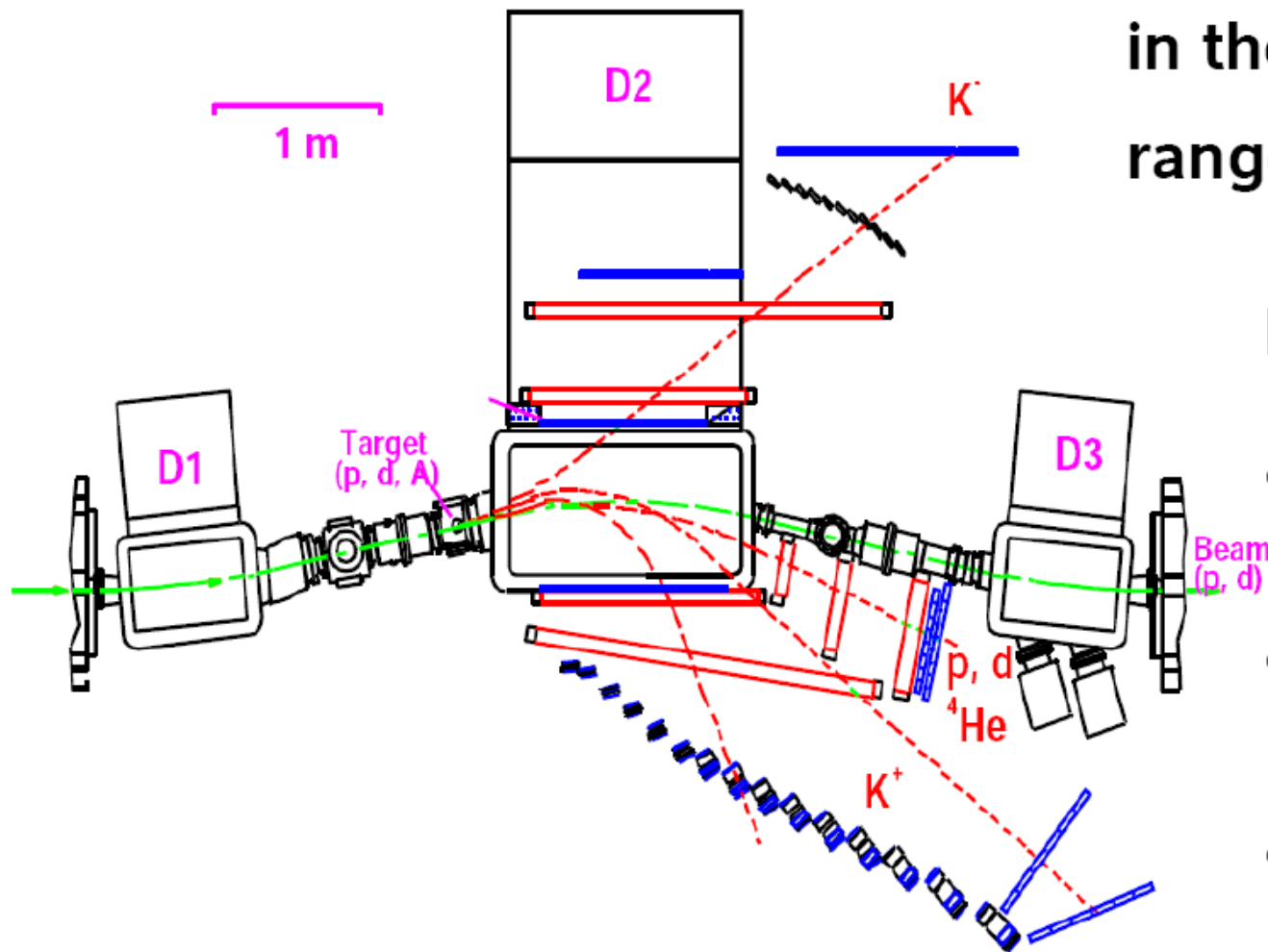
ANKE spectrometer (FZJ, PNPI-Gatchina, JINR-Dubna)

Construction started
First experiment

1992
1998

Spectroscopy of π , K^\pm , p , d , He

in the momentum
range 0.2 – 3.6 GeV/c

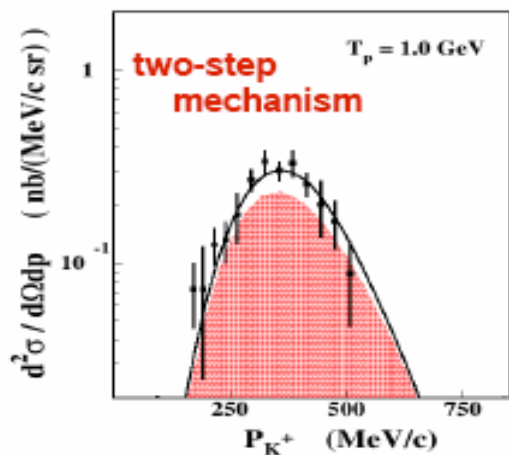
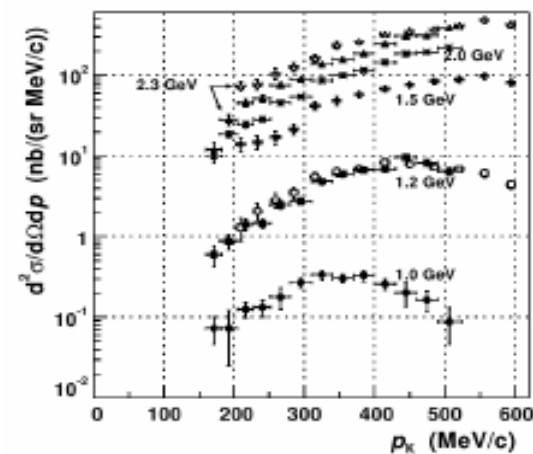


Resolution:

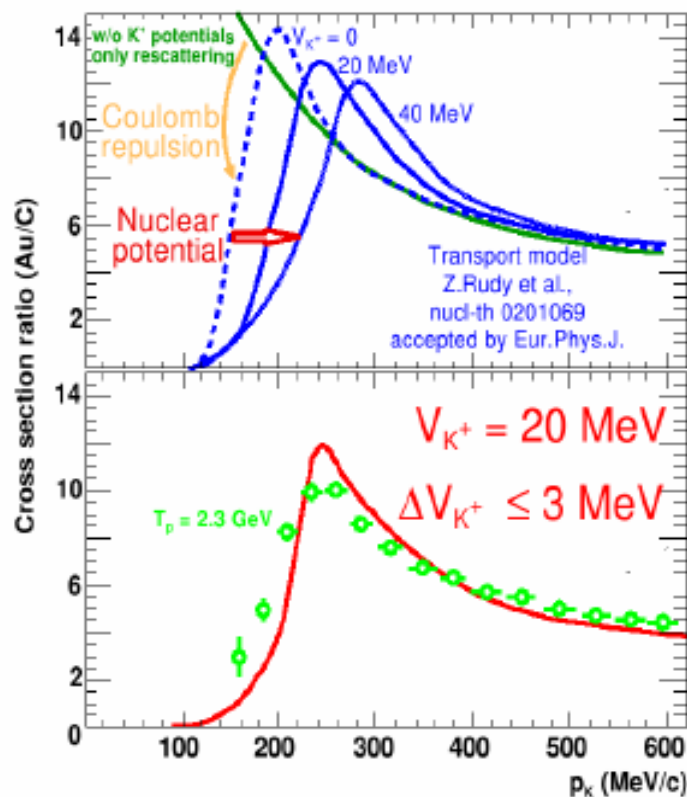
- $\Delta p/p \approx 1.5\%$
- $\sigma_{MM} \leq 10 \text{ MeV}/c^2$
- $\sigma_{InvM} \leq 3 \text{ MeV}/c^2$

Subthreshold K^+ -production (PhD thesis M.Nekipelov)

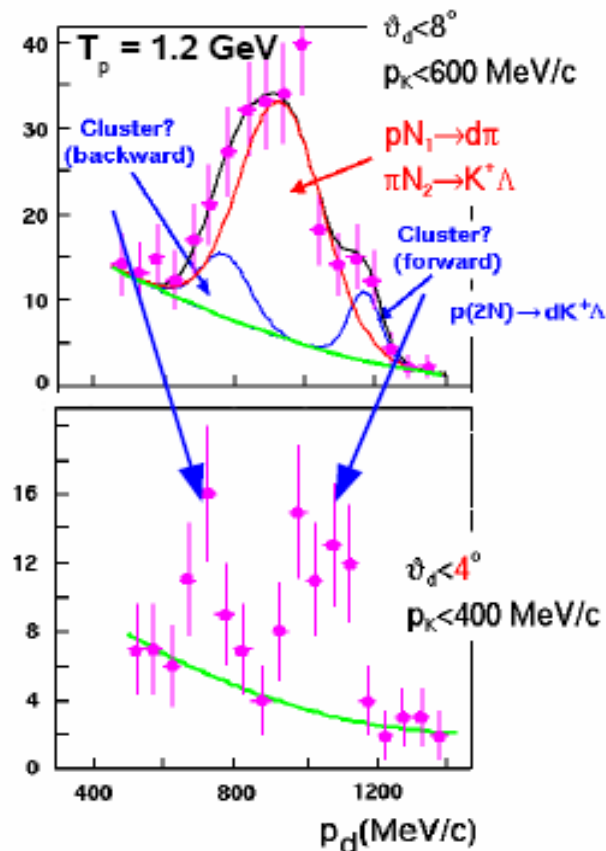
Prove of two-step mechanism



K^+ -potential measurements



First dK^+ correlation experiment



Рождение K^+K^- и ϕ мезонов в рА соударениях при $T_p = 2.83$ ГэВ

- Цель:**
- Определение K^- -ядерного потенциала
 - Модификация характеристик ϕ -мезона в ядерной материи и определение ϕ -ядерного потенциала

2007 г.: Выполнены измерения K^+K^- и K^+K^-p корреляций на ядрах C, Cu, Ag и Au.

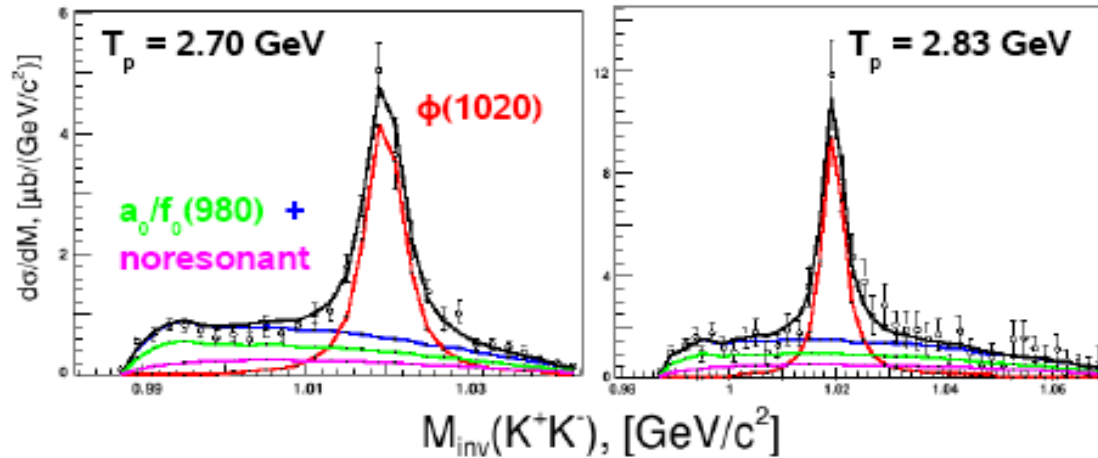
Данные в стадии обработки.

Первая публикация планируется в 2008 году, завершение обработки планируется в 2009 году

$K\bar{K}$ production (PhD-work A.Dzyuba)

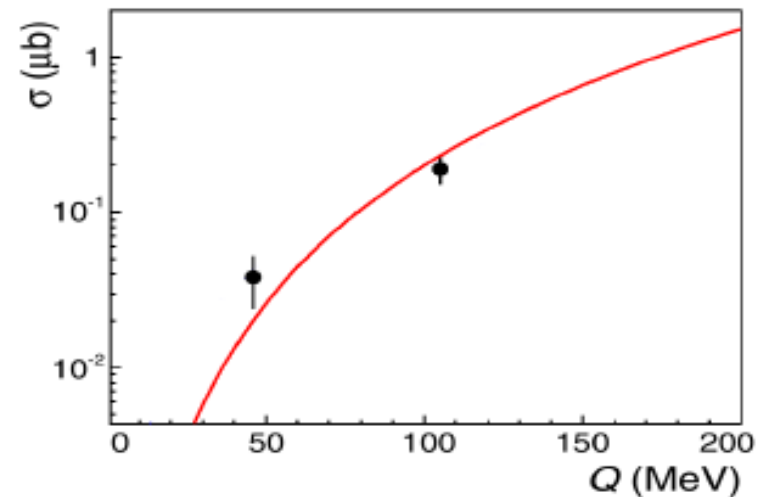
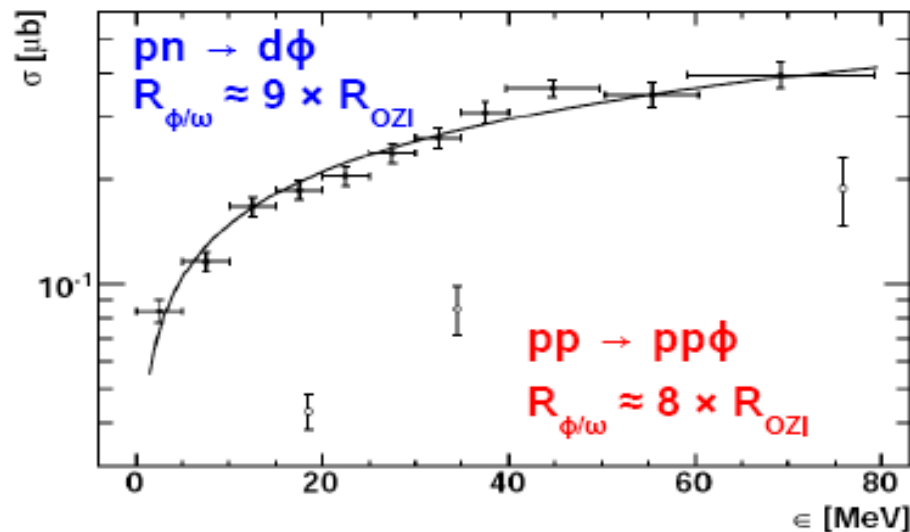
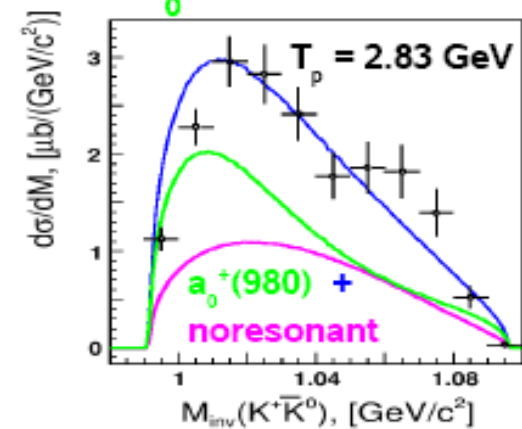
$pp \rightarrow ppK^+K^-$

OZI rule brake



$pp \rightarrow dK^+\bar{K}^0$

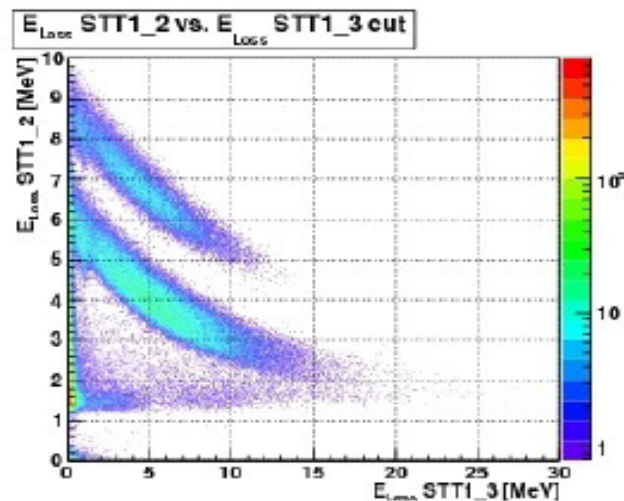
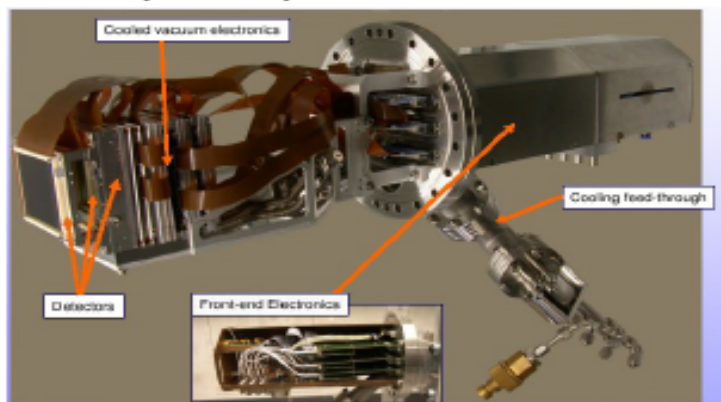
$a_0^+ \rightarrow K^+\bar{K}^0$ content



2008 – 2009 г.г. (С.Г. Барсов, С.М. Микиртычьянц)

ноябрь 2007 г.:

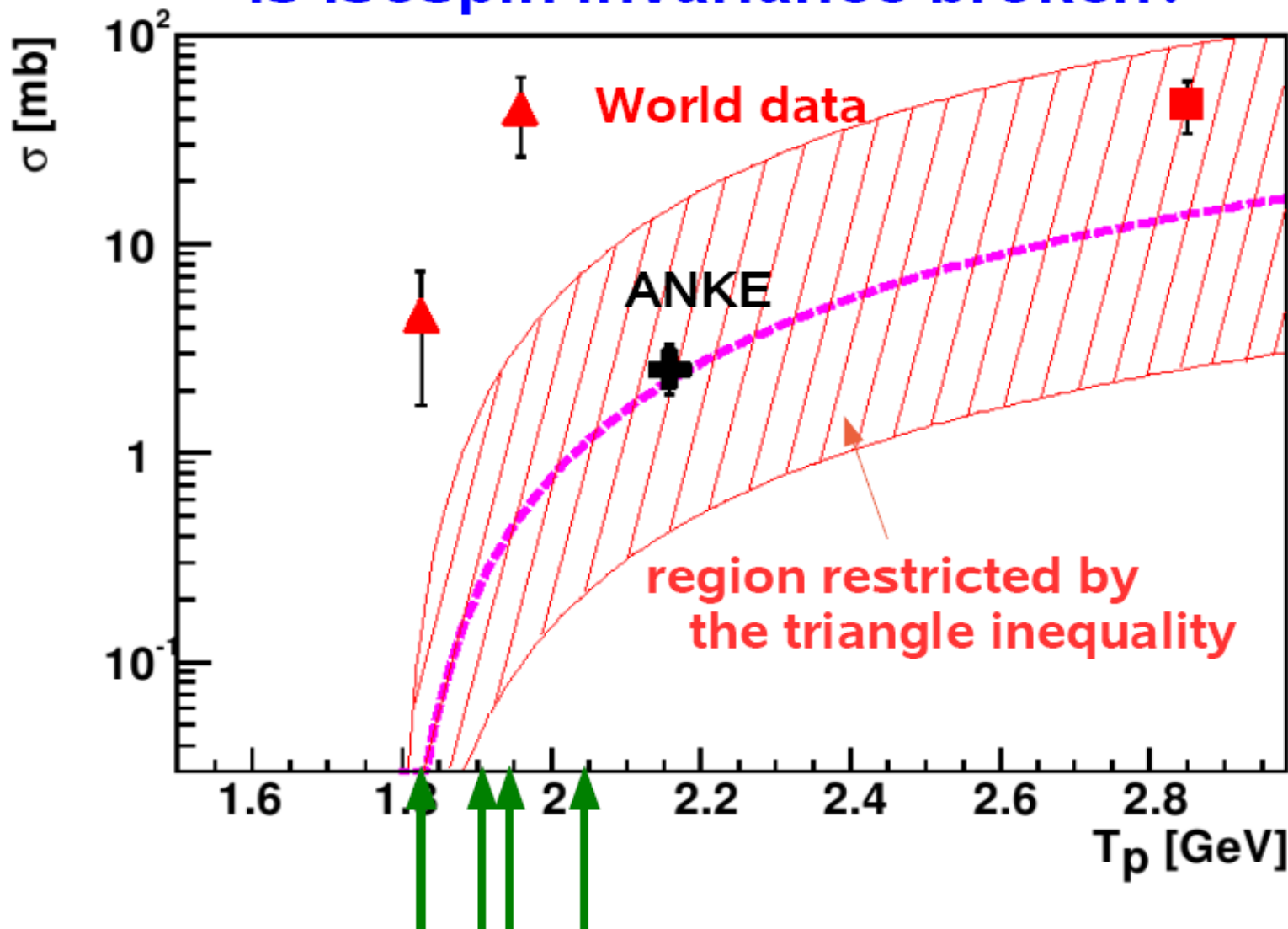
Введен в эксплуатацию новый полупроводниковый спектрометр спектров протонов с большим телесным углом захвата (~ 1 sr)



- $pn \rightarrow d\omega$ (лето 2008)
- $pn \rightarrow pnK^+K^-$ (осень 2008 – весна 2009)
- $pp \rightarrow ppK^+K^-$ вблизи (ниже) порога образования ϕ -мезона ($p_p \approx 3.4$ ГэВ/с)

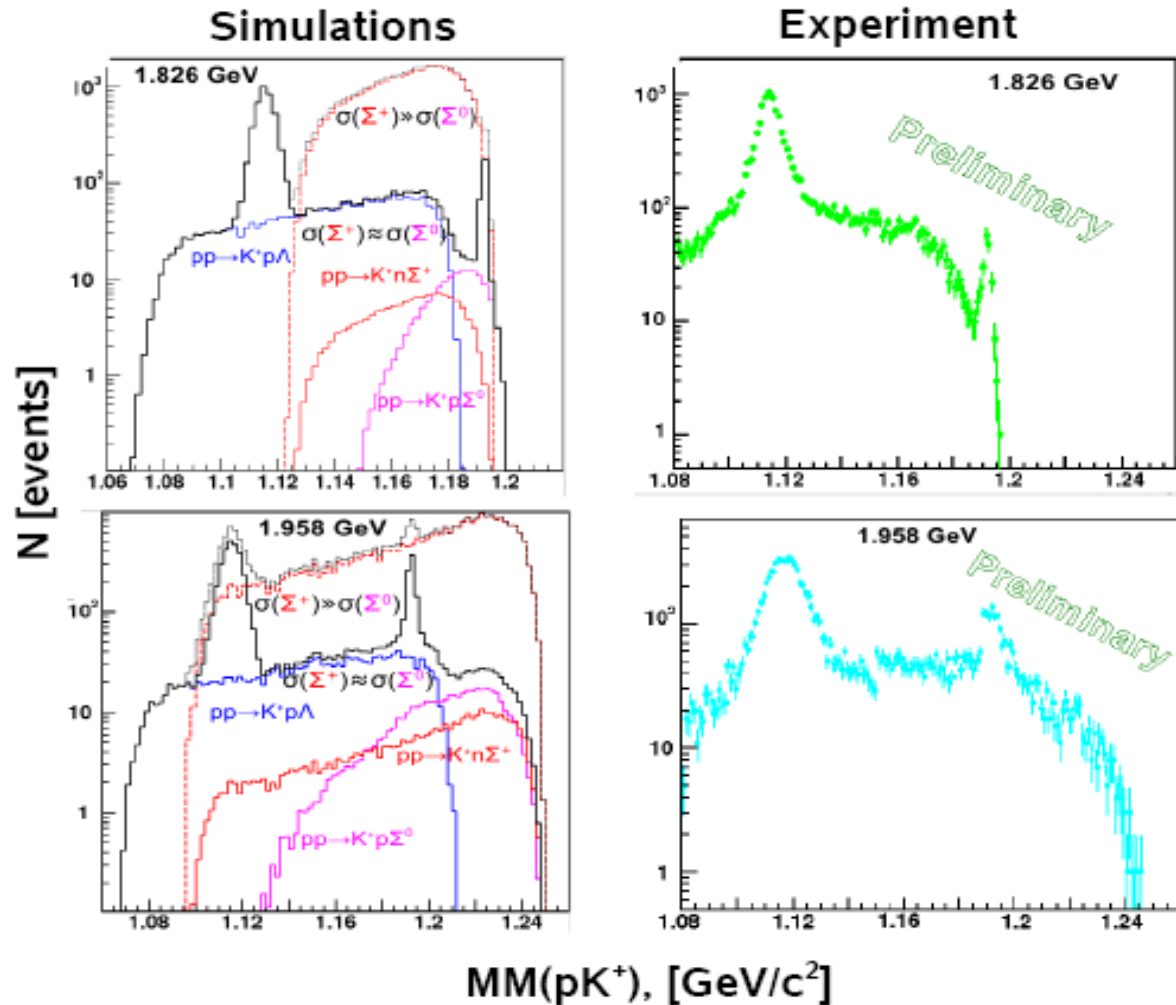
$pp \rightarrow nK^+\Sigma^+$ (PhD-work Yu.Valdau)

Is isospin invariance broken?



At these energies measurements have been done in September 2007

K^+p missing mass

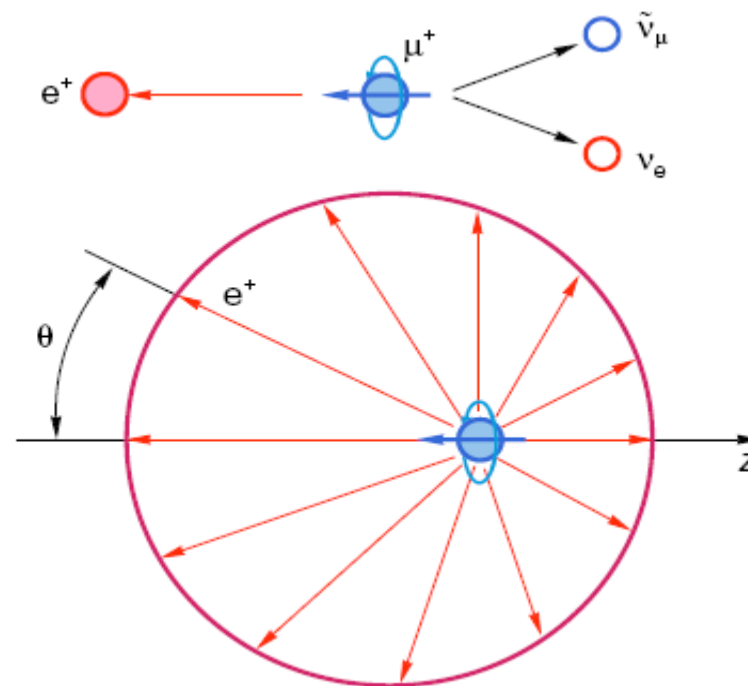


Завершение обработки планируется в 2008 году

μ SR-исследования

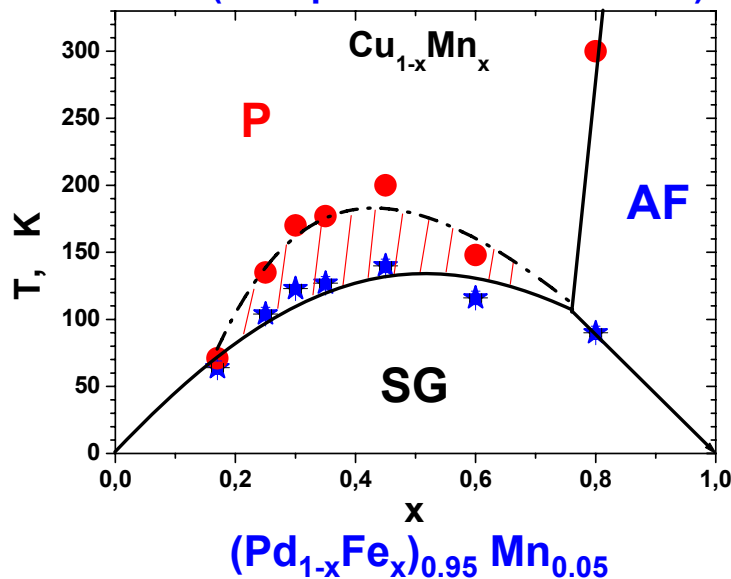
μ SR rotation
relaxation
resonance

m u o n
s p i n

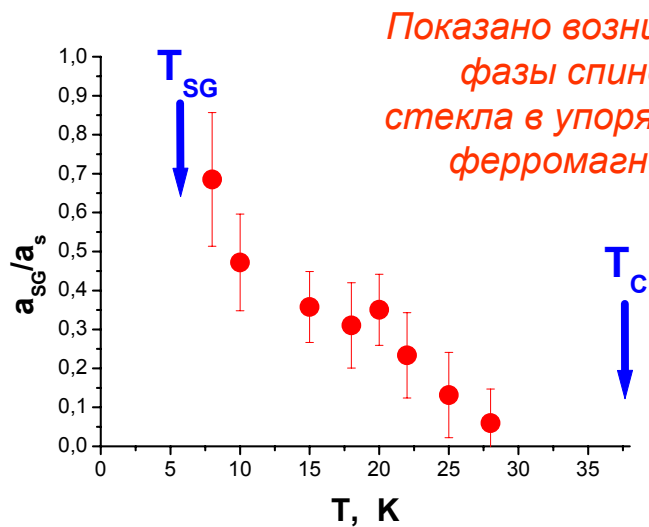


В 2007 году были полностью завершены исследования:

Суперпарамагнетизм в сплавах $\text{Cu}_x\text{Mn}_{1-x}$ (Работа С.А. Котова) (заштрихованная область)

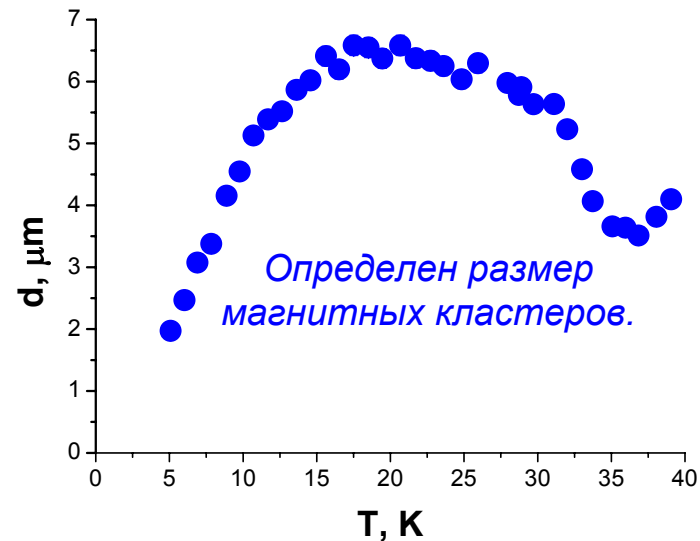


ФТТ, том 49, вып. 9,
2007, стр. 1660–1663.



ФТТ, том 49, вып. 8, 2007, стр. 1421–1426.

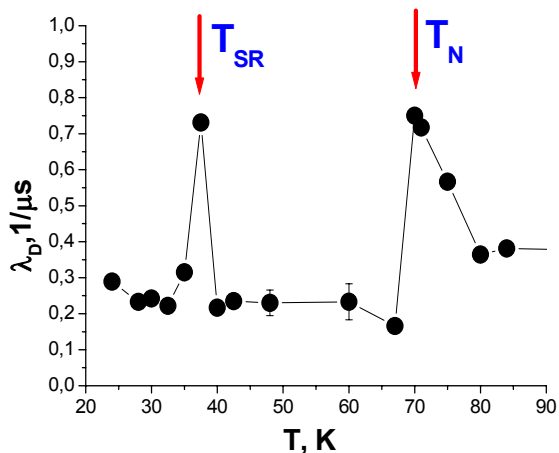
Совместно с данными о деполяризации нейтронов



HoMnO₃

Изготовитель образцов МИСиС, Москва

два перехода:

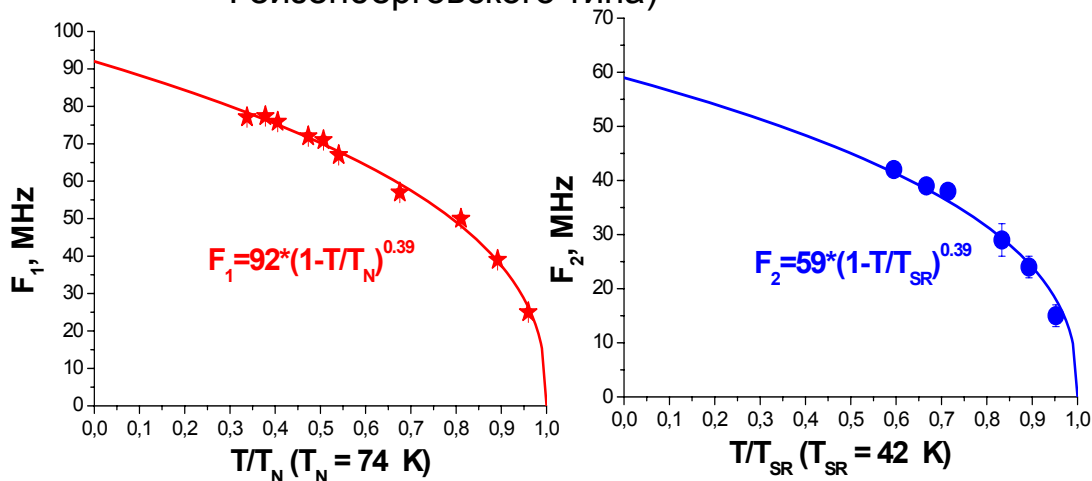


Известны в литературе два перехода:

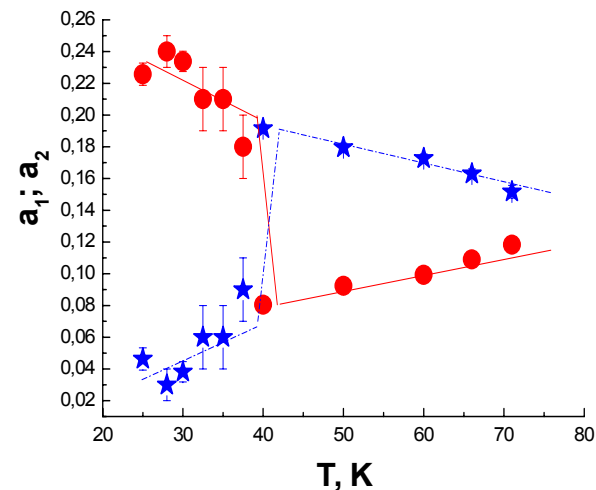
- 1). Слабовыраженный РМ-ФМ при температуре T_N ;
- 2). Поляризация спина электронов проводимости гексагональной структуры при температуре T_{SR} .
- 3). В T_{SR} происходит поворот спинов Mn 90°.

Вопрос: каковы внутренние магнитные поля и что происходит в этих переходах???

две частоты: (3D-магнетик Гейзенберговского типа)



90° разворот спинов Mn приводит к 100% перераспределению вклада частот



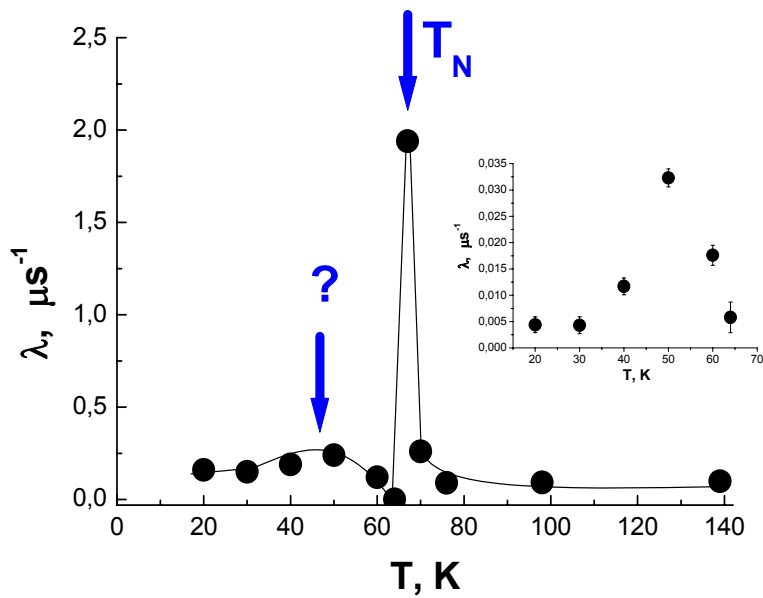
Письма в ЖЭТФ, том 85, вып. 12, 2007, стр. 795-798.

В 2008-2009 гг. планируется исследовать TbMnO₃

YMnO₃

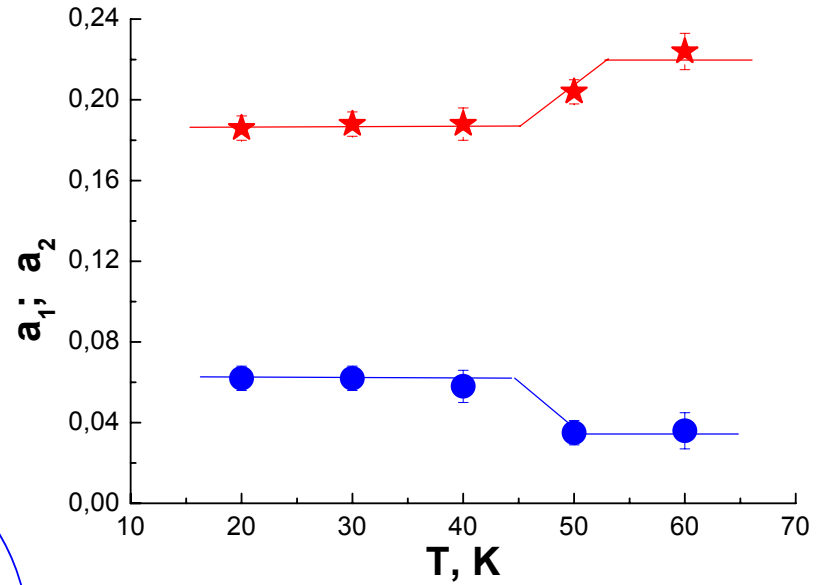
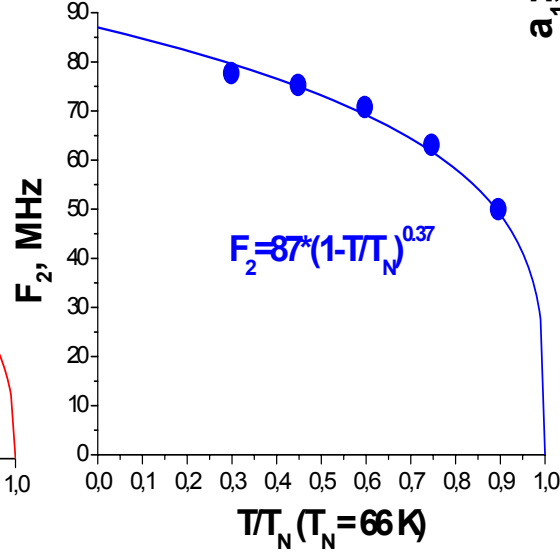
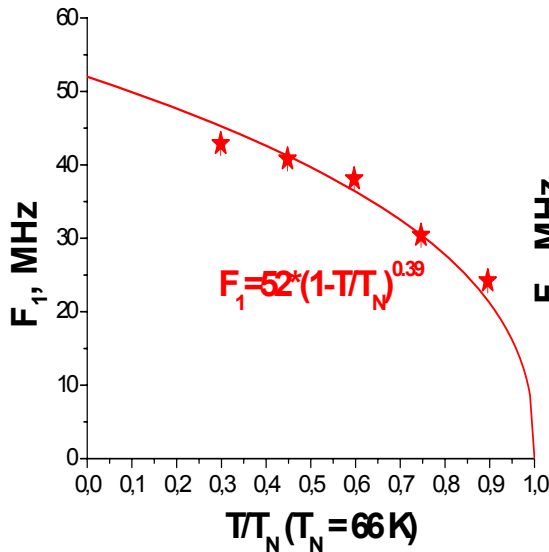
один переход,

но в районе 45 К видим неоднородность связанную, возможно с частичным разворотом спинов марганца, приводящее к 10% перераспределению доль частот



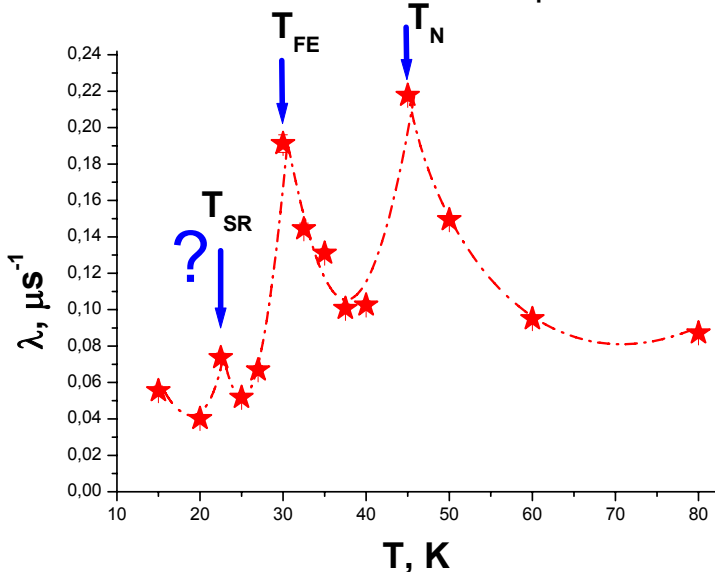
две частоты:

(3D-магнетик Гейзенберговского типа)

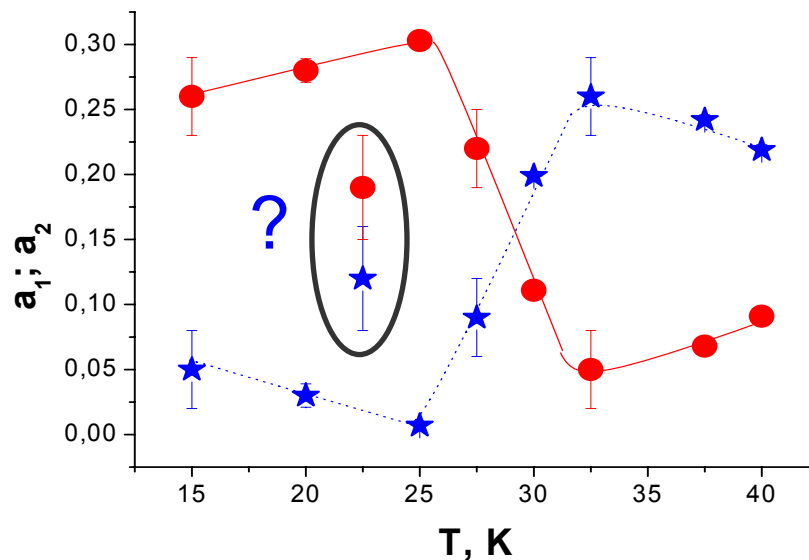


EuMn₂O₅

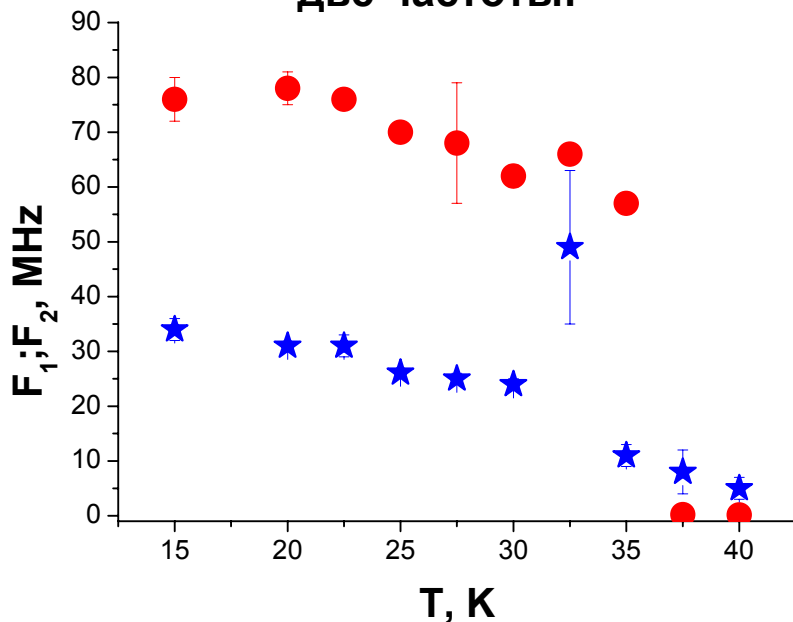
Однозначно видны два перехода
и имеется намёк на третий



Изготовитель образцов
ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН
(Шувалово)



две частоты:



В литературе имеются все три перехода, но слабо
изучена магнитное состояние.

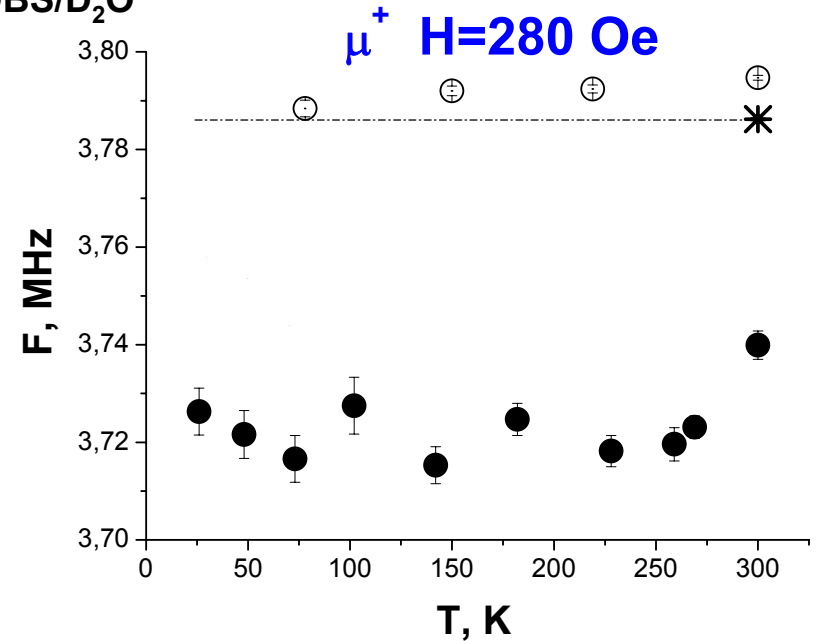
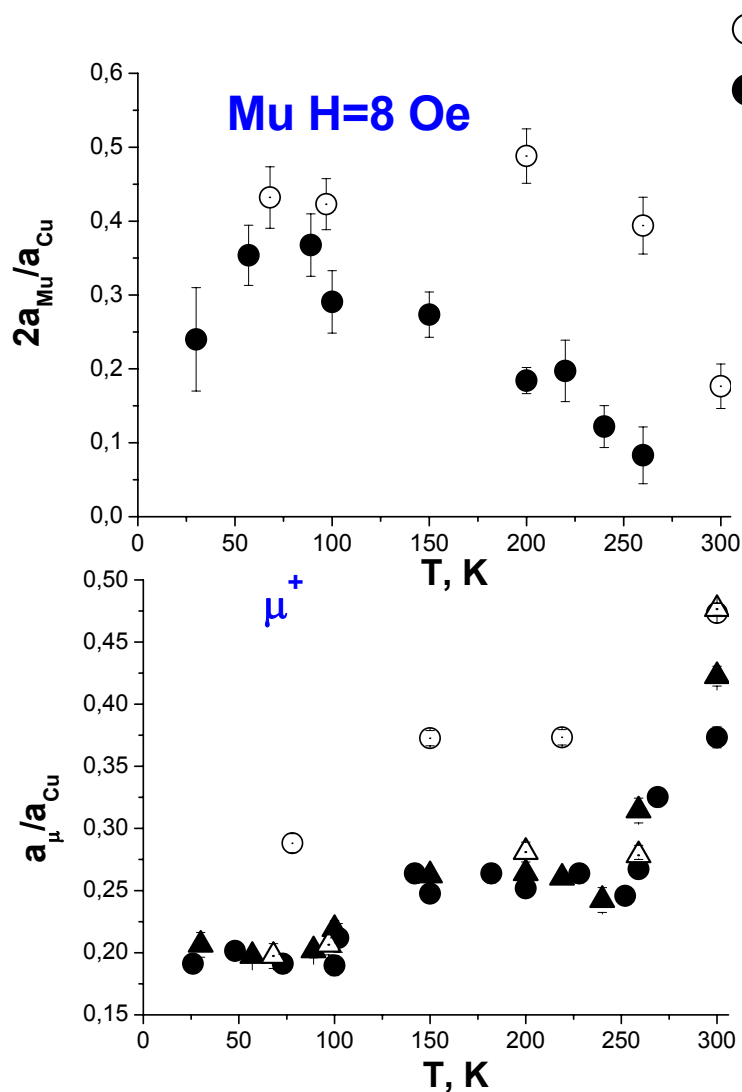
Происходит почти 100% перераспределение доли
частот аналогично образцу HoMnO₃.

В 2008-2009 гг. более детальное изучение EuMn₂O₅;

В 2008-2009 гг. планируется исследовать GdMn₂O₅ –
невозможно исследовать нейтронами.

Феррожидкость (D₂O+PAV+Fe₃O₄)

Работа проводилась совместно с ЛЯП ОИЯИ. Размер гранул Fe₃O₄ 10 нм; 5% объема.



В феррожидкости Fe₃O₄/2DBS/D₂O наблюдается значительное изменение частоты прецессии мюона, связанное с появлением межгранульных рассеянных полей направленных против внешнего поля

В феррожидкости Fe₃O₄/2DBS/D₂O наблюдается значительное уменьшение доли μ⁺ и Mu

2008-2009 гг.

Изготовитель образцов
Центральный НИИ материалов,
Санкт-Петербург

МЮОНИЙ В АЛМАЗЕ

Зависимость диэлектрической постоянной от размеров гранул.

Что известно в крупных алмазах?

1. Огромная доля свободного мюония μ ($\sim 70\%$);
2. Связанного мюония $\sim 20\%$ (для нас не наблюдаемого);
3. Диамагнитная составляющая (μ^+) $\sim 10\%$ (достаточно для наблюдения в слабых внешних магнитных полях);
4. Константа сверхтонкое взаимодействие мюония в алмазе $A=3711$ МГц, что очень сильно отличается от вакуумного (на 17 %) и определяется диэлектрической постоянной. Это позволяет надеяться наблюдать изменение диэлектрической постоянной от размера гранул алмаза.

К февралю 2008 года будут приготовлены два образца:

1. Размер гранул микрометры;
 2. Размер гранул десятки нанометров.
- } объём > 90 %.

Список публикаций ЛМФКС за 2007 год:

1. S.Barsov et al., *Study of omega-meson production in pp collisions at ANKE*. Eur. Phys. J. A31, (2007) 95.
2. M.Nekipelov et al., *Investigation of the reaction $pp \rightarrow pK^0\pi^+\Lambda$ in search of the pentaquark*. J.Phys.G, 34, (2007) 627.
3. T.Mersmann et al., *Precision study of the $\eta^3\text{He}$ system using $dp \rightarrow ^3\text{He}\eta$ reaction*. PRL, 98, (2007) 242301.
4. Yu.Valdau et al., *Energy dependence of the $pp \rightarrow K^+n\Sigma^+$ reaction near threshold*. PLB, 652, (2007) 245-249.
5. C.Wilkin et al., *Is there an $\eta^3\text{He}$ quasi-bound state?* PLB, 654, (2007) 92-96.
6. I. Zychor et al., *Lineshape of the $\Lambda(1405)$ hyperon measured through its $\Sigma^0\pi^0$ decay*. Submitted to PLB.
7. Y.Maeda et al., *Kaon pair production in proton-proton collisions*. Submitted to PRC.
8. С.Г. Барсов, С.И. Воробьев, В.П. Коптев и др. *Изучение магнитных свойств сплава $(\text{Pd}_x\text{Fe}_{1-x})_{0.95}\text{Mn}_{0.05}$ с помощью поляризованных мюонов и нейтронов*. ФТТ, том 49, вып. 8, 2007, стр. 1421–1426.
9. С.Г. Барсов, С.И. Воробьев, В.П. Коптев и др. *Исследование магнитных свойств гомогенных медно-марганцевых сплавов*. ФТТ, том 49, вып. 9, 2007, стр. 1660–1663.
10. С.Г. Барсов, С.И. Воробьев, В.П. Коптев и др. *μSR -установка на мюонном пучке синхроциклотрона ПИЯФ РАН*. ПТЭ, том 50, № 6, 2007, стр. 36–42.
11. С.Г. Барсов, С.И. Воробьев, В.П. Коптев и др. *Исследование магнитных фазовых переходов и распределения локальных магнитных полей μSR -методом*. В сборнике: «Основные результаты научных исследований ПИЯФ РАН в 2004–2006 годах». Гатчина, ПИЯФ РАН, (в печати).
12. С.Г. Барсов, С.И. Воробьев, В.П. Коптев и др. *Исследование гексагональных манганитов HoMnO_3 и YMnO_3 с помощью мюонного метода*. Письма в ЖЭТФ, том 85, вып. 12, 2007, стр. 795-798.
13. С.Г. Барсов, С.И. Воробьев, В.П. Коптев и др. *Исследование магнитных фазовых переходов и распределения локальных магнитных полей в мультиферроиках HoMnO_3 и YMnO_3 с помощью мюонного метода исследования вещества (μSR -метод)*. Первый международный, междисциплинарный симпозиум «Среды со структурным и магнитным упорядочением» (MULTIFERROICS-2007). – Ростов-на-Дону, п. Лоо, 5-10 сентября 2007 г.: Труды симпозиума. – Ростов-на-Дону: ИПО ПИ ЮФУ, 2007. стр. 72–75.
14. С.Г. Барсов, С.И. Воробьев, Е.Н. Комаров и др. *Применение мюонного метода (μSR -метода) для исследования магнитных свойств вещества*. Первый международный, междисциплинарный симпозиум «Среды со структурным и магнитным упорядочением» (MULTIFERROICS-2007). – Ростов-на-Дону, п. Лоо, 5-10 сентября 2007 г.: Труды симпозиума. – Ростов-на-Дону: ИПО ПИ ЮФУ, 2007. стр. 76 – 79.
15. С.Г. Барсов, С.И. Воробьев, Е.Н. Комаров и др. *Исследование магнитных фазовых переходов и распределений локальных магнитных полей в манганитах редкоземельных металлов μSR -методом*. Препринт ПИЯФ–2738, Гатчина–2007, 34 стр.
16. М. Балашою, С.Г. Барсов, Д. Бика и др. *Влияние магнитных наночастиц на поведение поляризованных положительных мюонов в феррожидкости на основе Fe_3O_4 в среде D_2O* . Препринт ПИЯФ–2745, Гатчина–2007, 27 стр.

МЮОННОМУ МЕТОДУ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕЩЕСТВА 50 ЛЕТ!!!

Всем хорошо известны традиционные методы исследования вещества: ядерный магнитный и электронный парамагнитный резонанс (ЯМР и ЭПР), нейтронграфия и мёсбауэровская спектроскопия. Но что представляет собой мюонный метод исследования вещества, получившего в зарубежной научной литературе название μ SR (Muon Spin Rotation or Spin Resonance, Spin Relaxation), известно гораздо меньшему кругу людей, даже среди тех, кто профессионально занимается наукой.

А между тем μ SR-метод уже перешел в «зрелый возраст» (опубликовано несколько тысяч работ) и дал много новой и ценной информации о свойствах вещества. Причем многие результаты либо вообще нельзя получить другими методами, либо μ SR-метод позволяет получить более точные данные. Хотя, конечно же, μ SR-метод не заменяет все остальные методы, а является хорошим дополнением для них.

Суть мюонного метода исследования вещества заключается в возможности изучения локальных микрополей в веществе с помощью легкой нестабильной заряженной элементарной частицы — мюона (как положительного μ^+ , так и отрицательного μ^-). Для изучения свойств материи наиболее перспективны положительные мюоны. Поскольку мюоны — нестабильные частицы, их получают на ускорителях, поэтому метод доступен лишь при наличии специальных ускорителей. На сегод-

няшний момент во всем мире насчитывается всего лишь шесть научно-исследовательских центров, где возможно применение μ SR-метода: PSI в Швейцарии, TRIUMF в Канаде, KEK в Японии, ISIS в Великобритании и два научных центра — ОИЯИ (г. Дубна, Московской обл.) и ПИЯФ РАН (г. Гатчина, Ленинградской обл.) — в России.

Возможно, такая незаслуженно малая известность μ SR-метода обусловлена его относитель-

но рода и т.д.

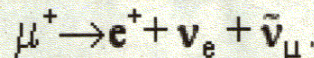
Мюонный метод исследования вещества (μ SR-метод) берет свое начало еще с работы Т. Ли и Ч. Янга, где впервые рассматривался вопрос о несохранении пространственной и зарядовой четности в слабых взаимодействиях и предлагалось экспериментаторам искать нарушение ранее «незыблемого» закона сохранения природы в β -распаде поляризованных ядер и в распадах мезонов и гиперонов. Опыты, выполненные Ц. Ву, Е. Амблером и др. по изучению β -распада поляризованных ядер ^{60}Co и Р. Гарвина, Л. Лидермана и М. Вейриха по изучению углового распределения электронов в распаде мюона, явились первыми экспериментальными доказательствами справедливости нарушения закона четности в слабых взаимодействиях.

Но в 1957 году Р.Л. Гарвин, Л.М. Ледерман и Г. Вейрих и Дж.И. Фридман, В.Л. Телегди, которые открыли несохранение четности в $\pi \rightarrow \mu + e$ распаде, вряд ли могли предположить, что этот фундаментальный результат в физике элементарных частиц положит начало новому методу изучения свойств вещества — μ SR-методу.

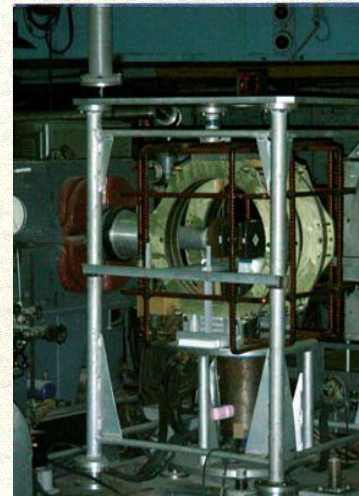
Качественное объяснение экспериментов было дано и в представлении о нейтрине как частице, спин которой коллинеарен с её импульсом, что является следствием теории двухкомпонентного нейтринно, предложенной Л.Д. Ландау, Т. Ли и Ч. Янгом. В этой теории нейтринно описывается двухкомпонентными волновыми функциями, т.е. является частицей, направление спина которой противоположно (или совпадает для антинейтринно) с направлением её импульса. Экспериментальное обнаружение резкой асимметрии в распределении позитро-

нов $\mu \rightarrow e$ распада и послужило фундаментом для создания нового ядерно-физического метода исследования свойств мюона и мюония (лёгкого аналога атома водорода — связанной системы $\mu^+e^- \equiv \text{Mu}$) и способов их взаимодействия в веществе μ SR (MuSR)-спектроскопии. μ SR-метод по физической сути, возможностям и перспективам сравним с методом ядерного магнитного резонанса (ЯМР), а соответственно, MuSR -метод — с методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР).

Идея метода проста: в силу несохранения четности угловое распределение позитронов распада покоящегося мюона асимметрично относительно направления спина. Реакция распада мюона имеет единственный канал



Среднее время жизни покоящегося мюона примерно 2,2-мкс. В эксперименте анализируется поляризация ансамбля мюонов, образовавшихся при распаде π^+ -мезонов и остановившихся в исследуемом образце (при этом в принципе можно добиться практически стопроцентной начальной поляризации мюонов). В среде поляризации мюонов изменяется со временем. По распределению позитронов можно определить направление поляризации мюона в момент распада. Таким образом, поляризованный мюон в веществе — это своеобразный магнитный зонд, позволяющий исследовать внутренние локальные магнитные поля, а также их распределение. В экспериментах измеряют частоту прецессии спинов мюона F_μ или мюония F_{Mu} и скорости их деполаризации λ . Эти параметры содержат богатую информацию о широком спектре физико-химических свойств



материала. По своей природе эта информация во многом близка к той, что получают с помощью методов ЭПР и ЯМР, однако она зачастую совершенно специфична.

В ПИЯФ РАН мюонный метод начал развиваться после 1976 года, когда был пущен в эксплуатацию мюонный канал на синхротроне, и тогда начались экспериментальные исследования. В настоящее время в России существует единственная работающая μ SR-установка на мюонном пучке синхротрона ПИЯФ РАН (в Дубне произошла авария — был пожар). μ SR в ПИЯФ уже 30 лет! На данной установке и сейчас проводятся интенсивные исследования, в частности, изучаются магнетизм в материалах с памятью формы; сплавы со случайным конкурирующим взаимодействием; взаимодействие ферромагнетизма и ферромагнетизма; наноструктурные материалы; мультиферроики и многое другое.

С.И. ВОРОБЬЕВ
м.н.с. ОФВЗ ПИЯФ РАН.



ПОЗДРАВЛЯЕМ С НОВЫМ 2008 ГОДОМ!!!

