

---

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ИНФОРМАЦИИ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ПО АТОМНОЙ НАУКЕ И ТЕХНИКЕ  
**ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

---

Е. А. АРАКЕЛЯН, Г. Л. БАЯТЯН, Г. С. ВАРТАНЯН,  
А. Р. ВОСКАНЯН, Н. К. ГРИГОРЯН, К. Т. ДАРБИНЯН,  
С. Г. КНЯЗЯН, А. Т. МАРГАРЯН, Г. Г. МАРИКЯН,  
Э. М. ОГАНЕСЯН, С. С. СТЕПАНЯН, С. Р. ШАХАЗИЗЯН,  
Ш. К. ШИРОЯН

МЕЧЕННЫЙ ФОТОННЫЙ ПУЧОК НА ВЫВЕДЕННОМ  
РАЗРЕЖЕННОМ ЭЛЕКТРОННОМ ПУЧКЕ ЕРЕВАНСКОГО  
СИНХРОТРОНА

ЕРЕВАН-1984

© Центральный научно-исследовательский институт информации  
и технико-экономических исследований по атомной науке  
и технике (ЦНИИатоминформ) 1984

УДК 621.3.615

Б.А. АРАКЕЛЯН, Г.Л. БАЙТЯН, Г.С. ВАРТАНЯН,  
А.Р. ВОСКАНЯН, Н.К. ГРИГОРЯН, К.Т. ДАРБИНЯН,  
С.Г. КНЯЗЯН, А.Т. МАРГАРЯН, Г.Г. МАРЖКЯН,  
Э.М. ОГАНЕСЯН, С.С. СТЕПАНЯН, С.Р. ВАХАЗИЗЯН,  
Ш.К. ШИРОЯН

МЕЧЕННЫЙ ФОТОННЫЙ ПУЧОК НА ВЫВЕДЕННОМ  
РАЗРЕЖЕННОМ ЭЛЕКТРОННОМ ПУЧКЕ ЕРЕВАНСКОГО  
СИНХРОТРОНА

Описывается выведенный разреженный (вторичный) электронный пучок с энергией 1,65 ГэВ и созданный на нем пучок меченых фотонов. Приводятся характеристики электронного и фотонного пучков. Анализируется энергетическое разрешение меченых фотонов, приводится вычисленное и определенное экспериментальным путем его значение для каждого канала системы мечения.

Ереванский физический институт

Ереван 1984

EՓՄ-733(48)-84

E.A.ARAKELIAN, G.L.BAYATIAN, G.S.VARTANIAN,  
A.R.VOSKANIAN, N.K.GRIGORIAN, K.T.DARBINIAN,  
S.G.KNYAZIAN, A.T.MARGARIAN, G.G.MARIKIAN,  
E.M.OGANESIAN, S.S.STEPANIAN, S.R.SHAHAZIZIAN,  
SH.K.SHIROYAN

TAGGED PHOTON BEAM ON THE EXTRACTED  
RAREFIED ELECTRON BEAM OF THE YEREVAN SYNCHROTRON

The extracted rarefied (secondary) electron beam of the energy 1.65 GeV as well as the tagged photon beam set up on it are described. Characteristics of electron and photon beams are presented. The energy resolution of tagged photons is analyzed, and its calculated and experimentally defined values for each channel of the tagging system are presented.

Yerevan Physics Institute

Yerevan 1984

Разреженный электронный пучок Ереванского синхротрона для получения энергомаркированных фотонов.

Для исследования фотоядерных реакций в области энергии 0,2–2 ГэВ на выведенном электронном пучке Ереванского синхротрона [1,2] создан меченый фотонный пучок.

В экспериментах по измерению полных фотоядерных сечений интенсивность фотонного пучка ограничивается загрузкой ливневого детектора, регистрирующего основную часть тормозного спектра [3,4]. Загрузка ливневого детектора должна быть  $\sim 10^4$  фотонов/с при скважности ускорителя  $\sim 1\%$ .

Средняя интенсивность выведенного и сформированного электронного пучка при токе циркулирующих электронов  $\sim 1,5$  мА порядка  $10^9$  эл/с. Для получения фотонного пучка интенсивности  $\sim 10^4$  фотонов/с необходимо на несколько порядков снизить интенсивность первичного электронного пучка. Общее снижение интенсивности приводит к нестабильности интенсивности и значения центральной энергии выведенного электронного пучка, особенно

после вынужденных или аварийных остановок ускорителя.

С целью получения стабильного и малоинтенсивного фотонного пучка был создан вторичный электронный пучок методом разрежения выведенного электронного пучка. На выходной патрубке отклоняющего магнита ускоряющего кольца (рис.1) ставится свинцовый радиатор  $R_1$ . Ток питания магнита СП-12М выбирается таким, чтобы при первичной энергии электронов  $E_0$  по выбранному каналу, т.е. под углом  $12^\circ 53'$  относительно направления первичных электронов, проходили электроны отдачи с определенной энергией  $E_T$ . После магнита СП-12М на расстоянии от его центра 7,18 м помещается импульсный коллиматор  $K_4$ , определяющий импульсный интервал пучка и пропускающий пучок электронов по вертикали полностью, а по горизонтали - шириной 8 мм.

Трассировка и согласование канала для энергии  $E_T=1,65$  ГэВ проводились как по программе TRAMP, так и экспериментально - измерением профиля пучка пропорциональной проволочной камерой с пространственным разрешением 2 мм [5]. На рис.2 приведены горизонтальный и вертикальный профили полученного разреженного электронного пучка, снятые на расстоянии от магнита мечения СП-57 3 м. Угловая расходимость пучка вычислена по программе TRAMP с учетом размеров и угловой расходимости первичного пучка после радиатора  $R_1$ . Размеры первичного пучка обусловлены использованием нами коллиматора  $K_1$  диаметром 3,3 мм, а угловая расходимость - угловой расходимостью ( $\sim 1$  мр) первичного пучка, падающего на радиатор, среднеквадратичным углом многократного рассеяния электронов на радиаторе  $R_1$  ( $\sim 2,8$  мр для толщины радиатора  $R_1$   $d=0,1$  радиационных единиц). Угловая рас-

ходимость вторичного разреженного пучка на импульсном коллиматоре  $K_4$  по горизонтали получается  $\sim 4$  мр, что и обуславливает энергетический разброс вторичного пучка. При пренебрежении неоднородностью магнитной индукции в рабочей области магнита СП-12М

$$\frac{\Delta E_1}{E_1} = \frac{\Delta d}{d} = 0,017 \quad (1)$$

Интенсивность вторичного пучка на коллиматоре  $K_4$  оценивается по соотношению:

$$N_1 = N_0 (1 - e^{-d/X_0}) \ln \frac{E_0 - E_1 + \Delta E_1}{E_0 - E_1 - \Delta E_1}, \quad (2)$$

где  $d$  - толщина радиатора  $R$  в радиационных единицах  $X_0$ ,

$N_0$  - интенсивность первичных электронов,

$E_1, \Delta E_1$  - энергия и энергетический разброс вторичного пучка, соответственно.

Для  $E_1 = 1,65$  ГэВ,  $\Delta E_1 = 28$  МэВ,  $d = 0,1 X_0$ ,  $E_0 = 2$  ГэВ получается:

$$N_1 \cong 10^{-2} N_0$$

Как показывают расчеты TRAMP, горизонтальные размеры пучка на коллиматоре  $K_4$  были 5,5 см, так что после коллиматора шириной 8 мм интенсивность пучка уменьшается еще на порядок.

Следовательно, интенсивность вторичного пучка, использованного нами для получения меченого фотонного пучка была  $N_1 \cong 10^{-3} N_0$ . Такой пучок стабилен по энергиям, так как при любом изменении энергии первичного пучка энергия вторичного пучка зависит только от выбранного режима канала.

Меченый фотонный пучок.

Для получения меченого фотонного пучка [6,7] перед анали-

зирующим магнитом СИ-57 (рис.3) ставится свинцовый радиатор толщиной  $\sim 0,01X_0$ . Отбираются случаи совпадения во времени тормозных фотонов или их взаимодействия с электронами отдачи. Энергия  $E_\gamma$  тормозного фотона определяется разностью энергии до и после тормозного излучения. Магнитные характеристики СИ-57 измерены нами датчиком Холла. Относительная неоднородность индукции в рабочей области составляет  $\sim 30\%$  на расстоянии 60 см средней осевой точки магнитных полюсов. Исходя из измеренных магнитных характеристик определяется эффективная длина магнита.

$$l_{\text{эф}} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{B(x) dx}{B_0} \quad (3)$$

Здесь  $B_0$ ,  $B(x)$  - средняя индуктивность магнитного поля в его однородной области и в точке с координатами  $(X, 0, 0)$ , соответственно.

Из магнитных характеристик видно, что высокоэнергичные электроны с различными энергиями проходят приблизительно одинаковую длину однородного магнитного поля. Следовательно, длина этого поля  $l_{\text{эф}}$  и его индукция  $B$  связаны с импульсом, углом отклонения  $\mathcal{L}$  - электрона отдачи и его смещением  $S$  относительно траектории тормозного фотона на выходе из зазора магнита соотношениями:

$$B = \frac{0,015 S P'_c}{S^2 + l_{\text{эф}}^2}$$

$$\mathcal{L} = \frac{30 l_{\text{эф}} B}{P'_c}, \quad (4)$$

где величины имеют размерность  $[l_{\text{эф}}] \equiv [S] \equiv \text{м}$

$[B] \equiv \text{кгс}$ ,  $[\mathcal{L}] \equiv \text{мр}$ ,  $[P'_c] \equiv \text{ГэВ}$

Минимальная энергия электронов отдачи для данной индукции маг-

нитного поля определяется отношением длины поля  $l_{эф}$  к наибольшему допустимому смещению пучка, обусловленному шириной зазора анализирующего магнита.

Геометрические характеристики фотонного пучка обусловлены как размерами и угловой расходимостью электронного пучка, так и угловым распределением тормозных фотонов для данного радиатора. Как показано в работе [8], угол при котором максимальная интенсивность тормозного излучения уменьшается в  $e$  раз определяется по формуле:

$$\theta_{1/e} \approx 3,2 t^{1/4} / E_1, \quad (5)$$

где  $t$  - толщина радиатора в радиационных единицах,  $E_1$  - энергия электронов в мегаэлектронвольтах, если  $\theta$  измеряется в радианах.

Для  $t = 0,01$  рад.единиц и  $E_1 = 1,65$  ГэВ получается  $\theta_{1/e} \approx 0,6$  мр т.е. фотонный пучок, в основном, определяется характеристикой электронного пучка.

Интенсивность тормозных фотонов в области энергии  $E_2$  (150-800) МэВ для данной толщины радиатора  $t$  и энергии электронов  $E_1$  вычисляется:

$$N_2 \approx 1,1 \cdot 10^{-7} N_1$$

где  $N_1$  - интенсивность электронов в пучке, выходящем из СВ-БВ разворота, т.е. в области энергии электронов  $E_1$  в спектре электронов. Интенсивность фотонов  $N_2$  в области энергии  $E_2$  может быть вычислена по формуле (5) для угла  $\theta_{1/e}$ .

Следует отметить, что при вычислении интенсивности фотонов  $N_2$  в области энергии  $E_2$  не учитывается поглощение фотонов в радиаторе. Поглощение фотонов в радиаторе может быть учтено, если известна толщина радиатора  $t$  и коэффициент поглощения фотонов  $\mu$  в радиаторе. В этом случае интенсивность фотонов  $N_2$  в области энергии  $E_2$  вычисляется по формуле (5) для угла  $\theta_{1/e}$  и по формуле (6) для коэффициента поглощения фотонов  $\mu$ .

кального профиля электронного пучка, падающего на радиатор  $R_2$  системы мечения и углового разброса по вертикали электронов отдачи. Последнее обусловлено не только угловой расходимостью разреженного электронного пучка на радиаторе  $R_2$ , но и многократным рассеянием электронов в радиаторе  $R_2$  и в воздушном пространстве от вакуумной камеры магнита мечения (рис. 3) до годоскопа.

В следующих двух рядах использованы большие сцинтилляционные счетчики, перекрывающие несколько каналов системы мечения. Разветвленные сигналы от этих счетчиков включаются на совпадение с отдельными каналами. Такое трехкратное совпадение уменьшает возможность регистрации случайных событий при определении энергии меченого фотона. Регистрация электронов, не сопровождающихся фотонами и "галло" пучка, подавляется охранной счетчиком ( $\bar{A}_1 - \bar{A}_4$ ), включенными на антисовпадение с каналами системы мечения, так что регистрируемое нами число электронов, не сопровождающихся фотонами, составляет  $\sim 3\%$  от полного числа меченых фотонов.

Для годоскопа системы мечения использованы малогабаритные фотоумножители ФЭУ-87. Чтобы избежать потерь событий из-за затухания в кабелях на выходе ФЭУ-87 в экспериментальном канале установлены дискриминаторы-формирователи с низким порогом срабатывания ( $\sim 30$  мВ).

#### Энергетическое разрешение каналов системы мечения

Энергия соответствующего канала определялась нами согласно выражению (4) по измеренной топографии магнитного поля для магнита системы мечения. Абсолютное значение энергии разрежен-

ного электронного пучка, использованного для получения фотонного пучка также определялось по отклонению основного электронного пучка, не взаимодействовавшего с радиатором  $R_2$ , в магнитном поле СШ-57.

Энергетическое разрешение тормозных фотонов для данной энергии при выбранных размерах и расположениях счетчиков системы мечения, обусловлено энергетическим разрешением электронного пучка, относительной неоднородностью магнитной индукции в рабочей области анализирующего магнита и угловым разрешением каждого канала.

Измерение энергетического разрешения проводилось ливневым детектором  $NaJ(Te)$  размерами  $12 \times 13$  см и толщиной  $\sim 12$  рад единиц, имеющим энергетическое разрешение  $\sim 8,5\%$  при энергии 1 ГэВ (половина ширины на полувысоте энергетического распределения). Кристалл просматривался спектрометрическим фотоумножителем ФЭУ-49. Сигнал от ливневого детектора, воротированный каналами системы мечения, через линейный усилитель подавался на вход амплитудного анализатора АИ-256. Градуировка анализатора проводилась путем измерения амплитудного распределения пучка электронов с известной энергией  $E_T = (1,65 \pm 0,028)$  ГэВ. На рис. 4 приведены амплитудные распределения трех различных каналов системы мечения. Ширина каждого амплитудного распределения обусловлена истинной шириной данного канала и шириной, связанной с энергетическим разрешением детектора  $NaJ(Te)$  для энергии этого канала. Энергетическое разрешение ливневого детектора для энергии  $i$ -канала  $E_i$  определялось экспериментально проверенной для данного детектора энергетической зависимостью:

$$\frac{\Delta E_i}{E_i} \approx \frac{0,085}{E_i^{1/2}},$$

где  $\Delta E_i$  - полуширина на полувьсоте энергетического распределения.

В таблице приведены вычисленные и измеренные значения полуширины на полувьсоте энергетического распределения для каждого канала системы мечения.

На таком меченом фотонном пучке проведены измерения полного сечения фотообразования адронов и  $\pi^0$ - мезонов на ядрах Be, C, O, Al .

В заключение авторы выражают благодарность коллективу ускорителя за обеспечение пучком.

Таблица

$E_i$ (МэВ)	185	208	230	292	375	430	472	500	550	590	630	650	750	800	845	880
Вычислен. полуширина МэВ	39	38	37	36	35	43	41	39	39	37	39	40	35	32	30	33
Измерен. полуширина МэВ	40	43	42	43	44	52	44	45	-	35	50	44	45	37	35	40

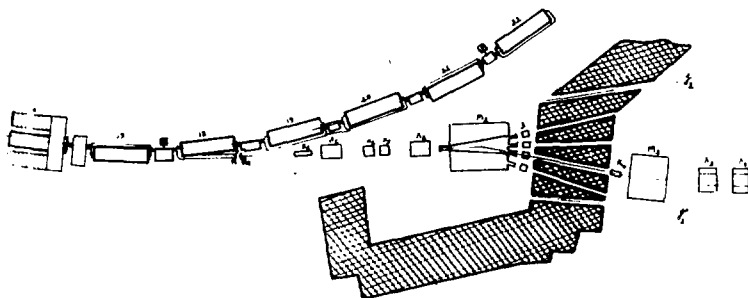


Рис. I Электронный канал для получения разреженного электронного пучка.

П - Выходной патрубок

$R_1, R_2$  - радиаторы

$K_1, K_2, K_3, K_4$  - коллиматоры

$L_1, L_2$  - квадрупольные линзы МЛ-15

З - затворы

$M_1$  - поворотный магнит СП-12

$M_2$  - отклоняющий магнит СП-137

$L_3, L_4$  - квадрупольные линзы МЛ-16

$M_3$  - анализирующий магнит СП-57

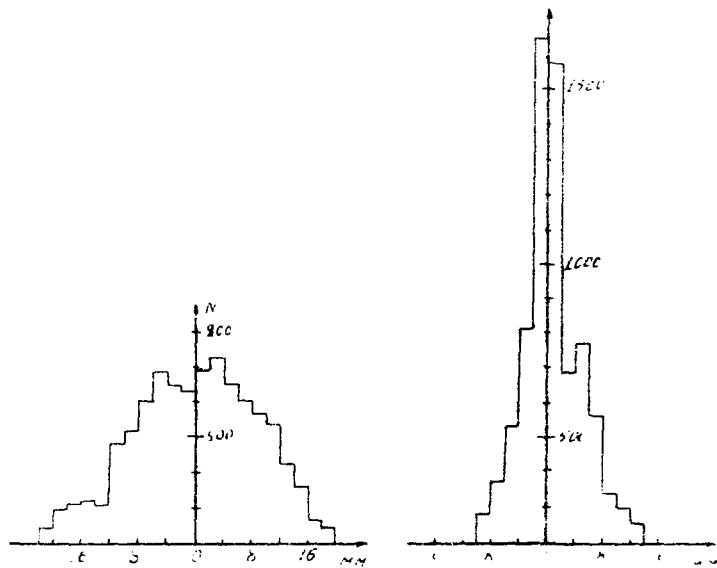


Рис. 2 Горизонтальный (а) и вертикальный (б) профили внесенного разреженного пучка на расстоянии 3,7 м от решетки.

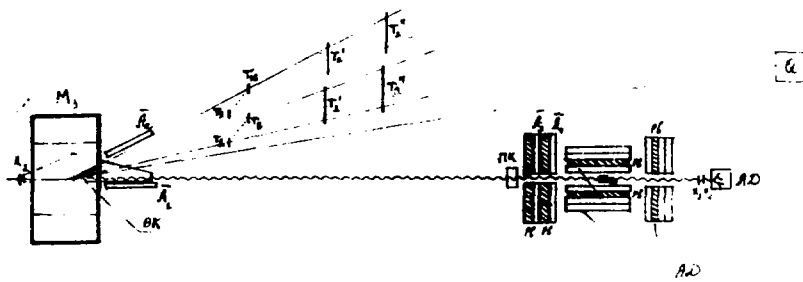


Рис. 1. Схематическое изображение реактора и системы детальной установки для получения меченого фотонного пучка.

$R_2$  - реактор;

$M_3$  - анализирющий магнит системы мечення;

$BK$  - вакуумная камера;

$TK$  - ферромагнитная пропорциональная камера;

$AD$  - ливневой детектор;

$A_1-A_2$  - охранные счетчики;

$G$  - вольтметр;

Электронная система:  $Э_1, Э_2$  - электронная система.

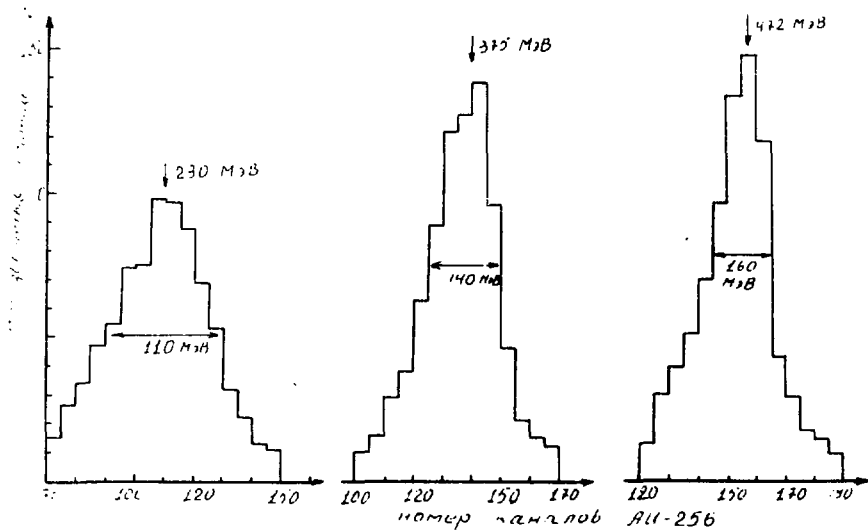


Рис. 4 Энергетическое распределение меченых фотонов, соответствующих III, V и VII каналам системы мечения.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Абрамян Р.О., Ананова Л.А., Бадалян Г.В. и др.  
Система вывода электронов из Ереванского синхротрона.  
Труды II Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. М.:Наука 1972, т. II, с.187.
2. Баятян Г.Л., Вартамян Г.С., Гишян С.А. и др. Электронный канал ускорителя ЕрФМ для экспериментов на меченых фотонах.  
Препринт ЕФМ-545 (32)-82, Ереван, 1982.  
Известия АН АрмССР, Физика, 1984, т.19, вып.2, с 90.
3. Аракелян Е.А., Баятян Г.Л., Вартамян Г.С. и др.  
Измерение полного сечения фотообразования адронов на ядрах Ве, С, О, Си в интервале энергии фотонов  $E_\gamma = 0,25-2,7$  ГэВ.  
Ядерная физика, 1983, т.38, вып 4(10) с 980.
4. Аракелян Е.А., Баятян Г.Л., Вартамян Г.С. и др.  
Измерение полного сечения фотообразования  $\pi^0$ - мезонов на ядрах Ве, С, О, в интервале энергии  $E_\gamma = (0,25-1)$  ГэВ без заряженных частиц в конечном состоянии.  
Ядерная физика, 1983, т.38, вып.6(12), с 1455.
5. Аракелян Е.А., Баятян Г.Л., Вартамян Г.С. и др.  
Измерение профиля пучка выведенных электронов при помощи пропорциональной камеры. Препринт ЕФМ-598(85)-82, Ереван, 1982
6. Маишеев В.А., Сахаров В.П., Фролов А.М. и др.  
Модифицированный электрон - фотонный пучок на ускорителе ИФЭ. Препринт ИФЭ ОП74-149 Серпухов, 1974.
7. Arends Y., Eyink Y., Hartmann et al.  
The Tagged Photon Beam Facility at the Bonn 500 MeV Synchrotron. NIM, 1982, vol.201, p.361.

8. Баятян Г.Л., Князян С.Г., Маргарян А.Т.

Об угловом распределении тормозных  $\gamma$ -квантов. Препринт  
ЕФИ-421(28)-80, Ереван, 1980 .

Рукопись поступила 31 мая 1984 г.

Е. А. АРАКЕЛЯН, Г. Л. БАЯТЯН, Г. С. ВАРТАНЯН, А. Р. ВОСКАНЯН,  
Н. К. ГРИГОРЯН, К. Т. ДАРБИНЯН, С. Г. КНЯЗЯН, А. Т. МАРГАРЯН,  
Г. Г. МАРИКЯН, Э. М. ОГАНЕСЯН, С. С. СТЕПАНЯН, С. Р. ШАХАЗИЗЯН,  
Ш. К. ШИРОЯН

МЕЧЕННЫЙ ФОТОННЫЙ ПУЧОК НА ВЫВЕДЕННОМ РАЗРЕЖЕННОМ  
ЭЛЕКТРОННОМ ПУЧКЕ ЕРЕВАНСКОГО СИНХРОТРОНА

Ереванский физический институт

Редактор Л. П. Мукаян

Технический редактор А. С. Абрамян

---

Подписано в печать 14/УШ-84г. ВФ-06089      Формат 80x84/16

Офсетная печать. Уч. изд. л. 1,0

Тираж 299 экз. Ц. 15 к.

Зак. тип. № 744

Индекс 3624

---

Отпечатано в Ереванском физическом институте

Ереван 36, Маркаряна 2

индекс 3624



**ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**