

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

Б 902

P13-88-485-e

С.Ю.Будяшова, В.П.Зрелов, Е.С.Кузьмин

**ЧЕРЕНКОВСКИЙ СПОСОБ
ОДНОВРЕМЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ
СРЕДНЕЙ ЭНЕРГИИ И НАПРАВЛЕНИЯ
ПУЧКА ПРОТОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 650 МэВ**

Направлено в журнал "Nuclear Instruments
and Methods in Physics Research"

1988

1. ВВЕДЕНИЕ

В работе ^{/1/} был предложен способ одновременного измерения средней энергии и направления коллимированного пучка протонов по излучению Вавилова-Черенкова /ИВЧ/, который может быть использован, например, при транспортировке пучков частиц на значительные расстояния или запуске линейных ускорителей на сотни МэВ, так как позволяет выводить пучок на заданное направление и контролировать его энергию.

В настоящей работе описывается один из вариантов его осуществления и результаты испытаний на выведенном пучке протонов 650 МэВ фазотрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

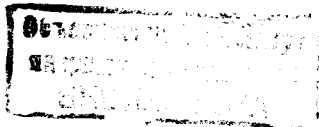
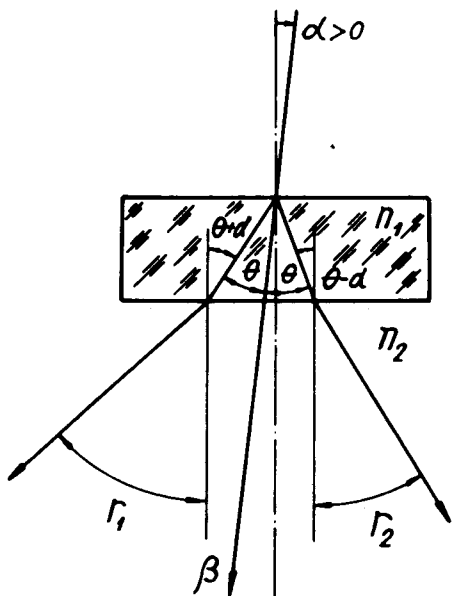
2. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ УСТРОЙСТВА /БЕЗ И С АХРОМАТИЧЕСКОЙ ПРИЗМОЙ/

1. Пусть частица со скоростью $\beta > n^{-1}$ пролетает плоскопараллельную прозрачную пластинку - радиатор с абсолютным показателем преломления n_1 под углом α , как показано на рис.1. В этом

случае ИВЧ, испущенное в пластине под углом $\theta = \arccos(\beta n_1)^{-1}$, будет выходить под углами γ_1 и γ_2 /углы в плоскости, содержащей вектор скорости частицы и нормаль к входной поверхности радиатора/. Тогда угол наклона α и скорость β определяются из уравнений:

$$\begin{cases} n_1 \sin(\theta + \alpha) = n_2 \sin \gamma_1, \\ n_1 \sin(\theta - \alpha) = n_2 \sin \gamma_2, \end{cases} \quad //$$

Рис.1. Ход лучей ИВЧ при прохождении частицей плоскопараллельной пластинки под углом α со скоростью β .



где n_2 - показатель преломления окружающей пластинку среды. Решение имеет вид*

$$\frac{1}{\beta^2} = \frac{n_1^2}{2} \left\{ \frac{n_1'^2 + \sin^2 \gamma_2 - \sin^2 \gamma_1}{n_1'^2} + \sqrt{\frac{(\sin^2 \gamma_1 - \sin^2 \gamma_2)^2}{n_1'^4} - 2 \frac{\sin^2 \gamma_1 \cos^2 \gamma_2 + \sin^2 \gamma_2 \cos^2 \gamma_1}{n_1'^2} + 1} \right\} /2/$$

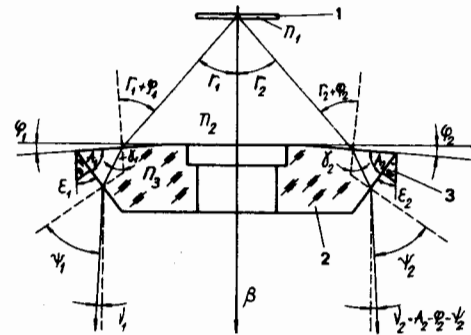
$$\alpha = \arcsin (n_2 \beta \sin \gamma_2 \cos \gamma_1) , \quad /3/$$

где $n_1' = \frac{n_1}{n_2}$ - относительный показатель преломления радиатора,

а $\gamma_1 = \frac{r_1 + r_2}{2}$ и $\gamma_2 = \frac{r_1 - r_2}{2}$. Если $r_1 > r_2$, то $\gamma_2 > 0$ и $\alpha > 0$,

это означает, что частица отклонена под углом α , отсчитываемым по часовой стрелке относительно нормали к входной грани пластинки.

2. Сильная зависимость углов r_1 и r_2 от длины волны λ /вследствие зависимости $n_1(\lambda)$ / приводит к значительным неопределенностям как в β , так и в α . Поэтому в чистом виде этот метод применим, если регистрируемый диапазон длин волн $\Delta \lambda$ ограничен, например, интерференционным фильтром, но в этом случае интенсивность ИВЧ мала.



$A_1: 60^\circ 44' 57''$	$A_2: 60^\circ 47' 22''$
$\phi_1: 6^\circ 35' 04''$	$\phi_2: 6^\circ 37' 17''$
$\epsilon_1: 35^\circ 00' 09''$	$\epsilon_2: 35^\circ 00' 53''$

В настоящей работе для компенсации дисперсии использовалось устройство с ахроматической призмой, схема которого показана на рис.2.

Исходя из уравнений, написанных для случая перпендику-

Рис.2. Схема черенковского устройства с компенсатором дисперсии: 1 - радиатор из LiF; 2 - ахроматическая призма из стекла ЛК-4; 3 - реперная призмочка.

лярного входа частицы в радиатор / $\alpha = 0$ / и $\theta < \theta^* = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$:

$$n_1 \sin \theta = n_2 \sin r ,$$

$$n_2 \sin (\phi + r) = n_3 \sin \gamma , \quad /4/$$

$$n_3 \sin (A - \gamma_1) = n_2 \sin (\nu + A - \phi) ,$$

и условия ахроматизации ИВЧ на выходе из призмы $\Delta \nu_{\lambda_1, \lambda_2} = 0$,

можно, как это было показано в работе /2/, прийти к основному уравнению ахроматизации, имеющему в наших обозначениях / $\phi + r = x$ и $R = \nu + \gamma_1 + r$ / вид

$$(\sin x + \frac{\Delta r}{K} \cos x) \frac{n_3}{n_2} \cos (R - x) - \sin (R - x) \sqrt{\frac{n_3^2}{n_2^2} - \sin^2 x} = 0 , \quad /5/$$

где

$$r = \arcsin \frac{\sqrt{\beta^2 n_1^2 - 1}}{\beta n_2} ; \quad K = \frac{\Delta n_2}{n_2} - \frac{\Delta n_3}{n_3} , \quad /6/$$

$$\Delta r = \frac{1}{\sqrt{\beta^2 n_2^2 - (\beta^2 n_1^2 - 1)}} \left\{ \frac{\Delta n_1}{n_1} \frac{\beta^2 n_1^2}{\sqrt{\beta^2 n_1^2 - 1}} - \frac{\Delta n_2}{n_2} \sqrt{\beta^2 n_1^2 - 1} \right\} .$$

Принимая во внимание, что $\gamma = \arcsin \left\{ \frac{n_2}{n_3} \sin x \right\}$, и решая уравнение /5/ в диапазоне $0 < x < \pi/2$, находим x_0 , а затем $\phi = x_0 - r$ и угол ахроматизации A :

$$A = \gamma_1 + \arctg \left\{ \frac{\sin (R - x_0)}{\frac{n_3}{n_2} - \cos (R - x_0)} \right\} . \quad /7/$$

Заметим, что при заданных Δn_1 , Δn_2 и Δn_3 , соответствующих выбранному диапазону ахроматизации λ_1 и λ_2 , решение уравнений /5/ находят дважды: сначала с подстановкой величин n_1' , n_2' и n_3' /для λ_1 /, а затем при n_1'' , n_2'' и n_3'' /для λ_2 / . Полученные значения углов A' , A'' и ϕ' , ϕ'' усредняют.

* В этих выражениях исправлены авторские опечатки в соответствующих формулах работы /1/.

В примененном устройстве плоскопараллельный радиатор был выполнен из LiF с зависимостью показателя преломления от λ в виде

$$n_{\text{LiF}}(\lambda) = 1,38630 + 0,20618 \cdot 10^{-2} \lambda^{-2} - 0,86473 \cdot 10^{-5} \lambda^{-4}, \quad /8/$$

а ахроматическая призма была изготовлена из стекла марки ЛК-4 с зависимостью $n(\lambda)$ *:

$$n_{\text{ЛК-4}}(\lambda) = 1,477241 + 0,37377 \cdot 10^{-2} \lambda^{-2} + 0,1678 \cdot 10^{-6} \lambda^{-4}, \quad /9/$$

где λ в мкм.

Использованная в устройстве призма с $\bar{A} = 60^{\circ}46'10''$ и $\bar{\phi} = 6^{\circ}36'10''$ достаточно хорошо ахроматизировала ИВЧ и для протонов 650 МэВ $\Delta\nu = 0,0191^{\circ}$ в диапазоне от $\lambda_1 = 404,7$ нм до $\lambda_2 = 656,3$ нм/.

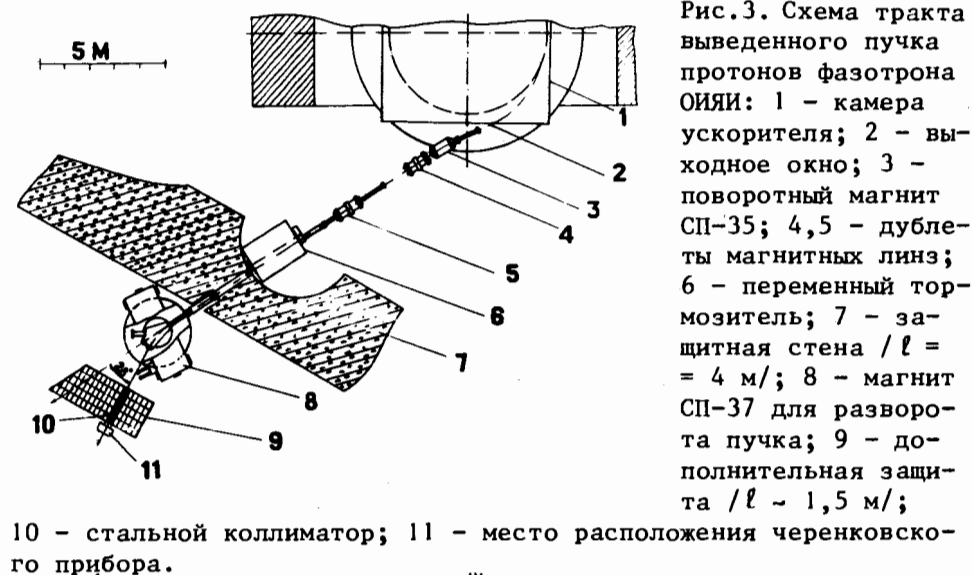
Оптимальной же ахроматической призмой, рассчитанной по формулам /5/ и /7/ при этой энергии, была бы призма с углами $\phi_1 = 10^{\circ}52'11''$ и $A = 61^{\circ}04'36''$ /для которой $\Delta\nu = 0$ для тех же длин волн под $\nu = 2^{\circ}$ /.

3. УСТРОЙСТВО ПРИБОРА, ЭКСПЕРИМЕНТ И ЕГО РЕЗУЛЬТАТЫ

Опробование устройства производилось на выведенном пучке протонов из фазотрона. Тракт пучка и место проведения опыта показаны на рис.3. Схема черенковского прибора приведена на рис.4. Пучок протонов /1/ с энергией ~650 МэВ, сформированный коллиматором диаметром 10 мм и длиной 700 мм, направлялся на плоскопараллельную пластинку /3/ из фтористого лития толщиной 1,5 мм. Часть конуса ИВЧ, вышедшая из радиатора, попадала на ахроматическую призму /4/, а на выходе из нее отражалась плоскими зеркалами /6/ в стороны от пучка, где и фотографировалась двумя фотоаппаратами "Зенит-Е" с объективами "Гелиос-40" /фокусное расстояние $f = 85$ мм, светосила 1:1,5/, настроенными на бесконечность.

Оптические элементы устройства - радиатор, ахроматическая призма, отклоняющие зеркала - размещались на подвижных столиках, позволявших производить их юстировку. Контроль за установкой на параллельность выходной грани радиатора и юстировочной

* Получена путем аппроксимации данных по $n(\lambda)$, измеренных на самой ахроматической призме на гониометре ГС-5.



10 - стальной коллиматор; 11 - место расположения черенковского прибора.

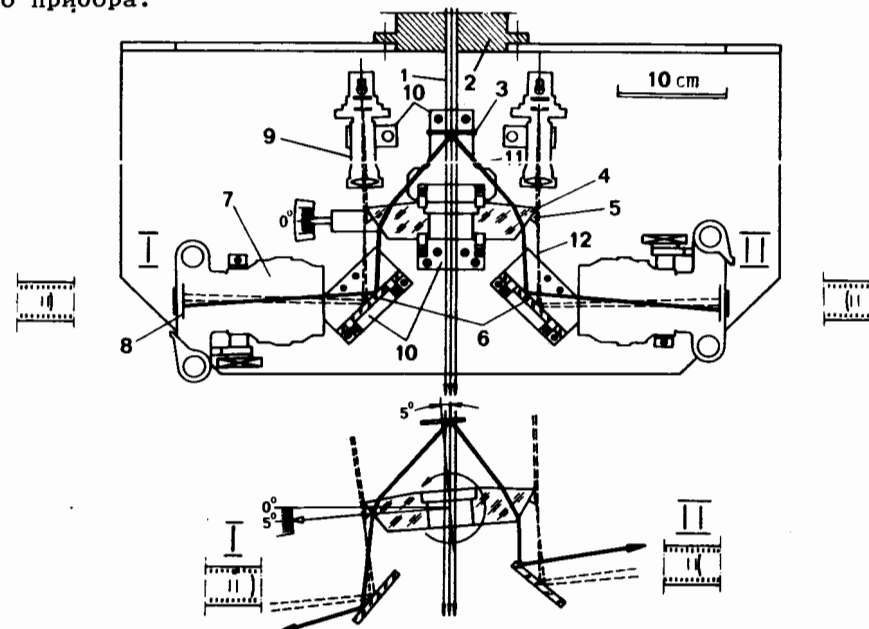


Рис.4. Устройство черенковского прибора: 1 - пучок протонов; 2 - коллиматор; 3 - плоскопараллельный радиатор из LiF; 4 - ахроматическая призма из стекла ЛК-4; 5 - реперные призмочки; 6 - плоские отклоняющие зеркала; 7 - фотоаппараты; 8 - фото-пленка; 9 - проекторы для нанесения реперных меток; 10 - регулируемые столики; 11 - ИВЧ; 12 - свет от реперных рисок.

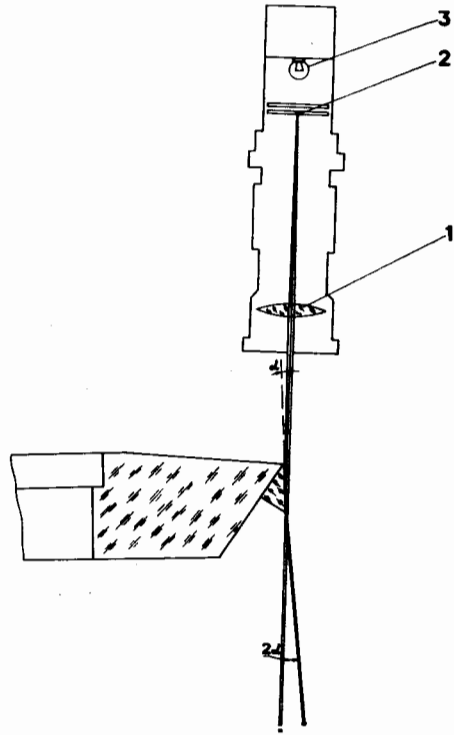


Рис.5. Схема работы реперного устройства: 1 - линза; 2 - узкая щель; 3 - лампочка.

границы ахроматической призмы осуществлялся с помощью автоколлиматора от оптического гониометра ГС-5. Точность установки была $\sim \pm 30''$.

Наклонное падение пучка протонов на радиатор осуществлялось поворотом платформы со всеми оптическими элементами /кроме фотоаппаратов/ относительно центра ахроматической призмы. Ход лучей ИВЧ в этом случае, а также характерные изменения положения "дуг" ИВЧ относительно реперов в фокальной плоскости объективов показаны в нижней части рис.4. Значительные углы выхода ИВЧ относительно нормали к выходной грани призмы затрудняли их измерение.

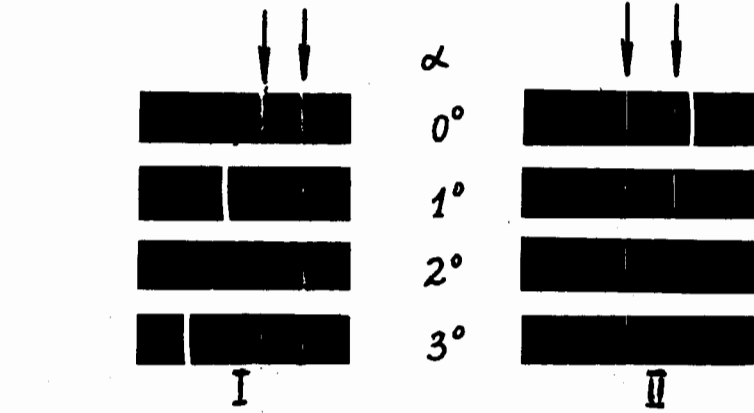


Рис.6. Позитивные изображения ИВЧ, зарегистрированные фотоаппаратами в обоих плечах устройства, изображенного на рис.4 при различных углах наклона α . Плечо I /фотоаппарат I/. Плечо II /фотоаппарат II /. Стрелки указывают положение реперных меток.

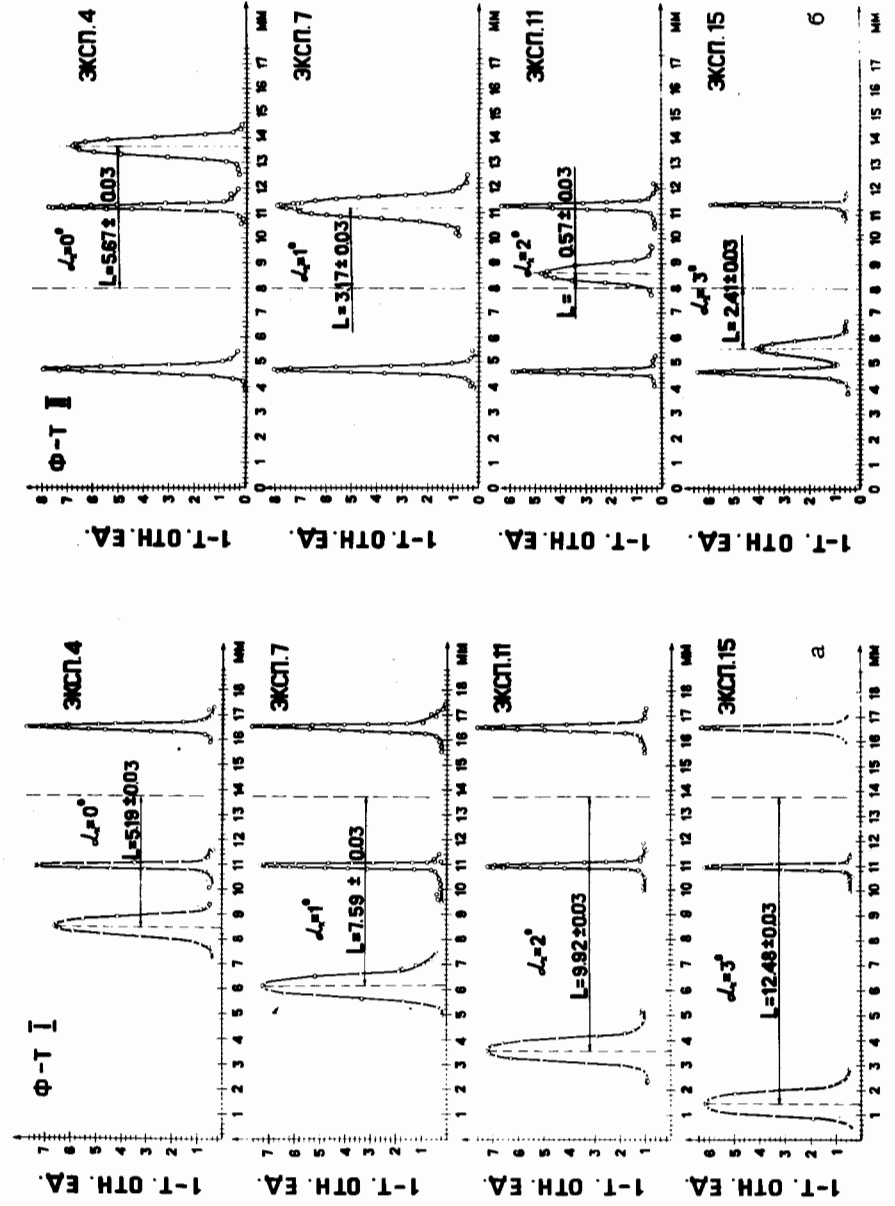


Рис.7. Фотометрические кривые изображений, приведенных на рис.6: а - фотоаппарат I, б - фотоаппарат II /Г - пропускание/.

Поэтому на эти грани наклеивались реперные призмочки с углами $\epsilon_1 = 35^\circ 00' 09''$ и $\epsilon_2 = 35^\circ 00' 53''$ /см. рис.2/. Внешние их грани просвечивались параллельными световыми пучками от двух реперных проекторов, схема работы которых показана на рис.5. В результате подсветки щели проектора в фокальной плоскости объективов получались две реперные риски, среднее расстояние между которыми соответствовало положению просвечиваемой грани призмочки.

При экспонировании устройства на пучке протонов при различных углах наклона α /отсчет углов против часовой стрелки/ в обоих фотоаппаратах получались изображения ИВЧ, приведенные на рис.6. Фотометрические кривые этих изображений показаны на рис.7, а одна из фотометрических кривых в более крупном масштабе приведена на рис.8, на котором указана принадлежность отдельных пиков. Средние расстояния l_1 и l_2 между черенковскими пиками /1/ и средней линией между реперами /2/ и /3/ являются исходными при расчете величин β и α . Для одной из экспозиций /29.6.1986/ они просуммированы в табл.1.

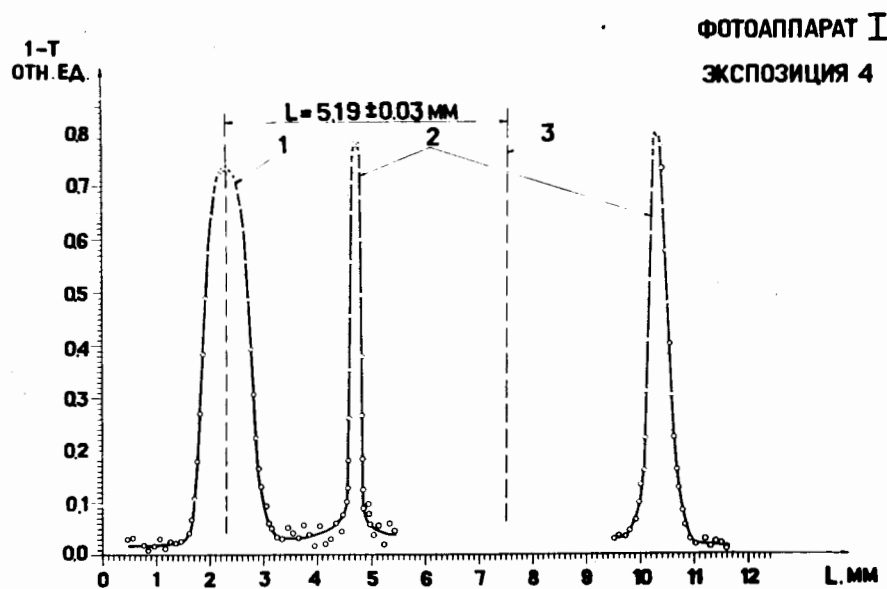


Рис.8. Фотометрическая кривая для случая $\alpha = 0$: 1 - пик ИВЧ; 2 - реперные риски; 3 - положение внешней грани реперной призмочки.

Угол наклона, α	Фотоаппарат I (l_1), мм	Фотоаппарат II (l_2), мм
0°	5,19	5,67
1°	7,59	3,17
2°	9,92	0,57
3°	12,48	-2,41
4°	14,71	-5,105

Ошибки измерений составляли $\Delta l_1 = \Delta l_2 = \pm 0,03$ мм.

4. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

В связи с добавлением ахроматической призмы к принципиальной схеме устройства /рис.1/ определение скорости β и углов α также можно провести через углы τ_1 и τ_2 :

$$\sin \tau_{1,2} = \frac{n_3}{n_2} \sin \phi_{1,2} \left(\sin \xi_{1,2} \operatorname{ctg} \phi_{1,2} - \sqrt{\frac{n_2^2}{n_3^2} - \sin^2 \xi_{1,2}} \right), \quad /10/$$

где

$$\sin \xi_{1,2} = \frac{n_2}{n_3} \sin A_{1,2} \left(-\sin \psi_{1,2} \operatorname{ctg} A_{1,2} + \sqrt{\frac{n_3^2}{n_2^2} - \sin^2 \psi_{1,2}} \right),$$

а

$$\psi_{1,2} = \frac{\pi}{2} - (m_{1,2} l_{1,2} + \epsilon_{1,2}),$$

где $m_{1,2}$ - калибровочные коэффициенты* [град/мм], $\epsilon_{1,2}$ - углы реперных призмочек.

* При наклоне пучка частиц по часовой стрелке от нормали к входной грани радиатора /поворот всей оптической системы против часовой стрелки, как показано в нижней части рис.4/ пик ИВЧ во втором плече будет перемещаться "внутри" реперных меток, а при переходе его через центр между ними при вычислении угла ψ_2 знак перед произведением $m_2 l_2$ в формуле /10/ надо изменить на обратный.

Однако определение β и α , как оказалось, проще производить через углы падения ИВЧ на грань плоскопараллельного радиатора, т.е. через углы $\Phi_1 = \theta + \alpha$ и $\Phi_2 = \theta - \alpha$.

В этом случае α и β определяются независимо друг от друга

$$\alpha = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{2}, \quad \beta^2 = \frac{n_1^2}{2} [1 + \cos(\Phi_1 + \Phi_2)], \quad /11/$$

где $\Phi_{1,2} = \arcsin \left\{ \frac{n_2}{n_1} \sin r_{1,2} \right\}$, а $r_{1,2}$ определяются теми же

формулами /10/.

Ахроматический компенсатор дисперсии в наших условиях при широком спектральном диапазоне ИВЧ и значительных углах отклонения / $\sim 3^\circ \div 5^\circ$ / частиц от нормали к плоскому радиатору из-за остаточной дисперсии второго порядка обеспечивает точность измерения энергии лишь $\sim 0,5$ МэВ. Лучшую точность с учетом спектра ИВЧ, а также спектральных характеристик объектива и фотопленки можно получить методом обратной задачи.

Для определения параметров α и β использовавшегося в опытах пучка протонов минимизировалась функция отклика следующего вида:

$$L(\alpha, \beta) = [l_1 - f_1(\alpha, \beta)]^2 + [l_2 - f_2(\alpha, \beta)]^2, \quad /12/$$

где $f_{1,2}(\alpha, \beta)$ - модельные функции обоих плеч прибора. Значение модельной функции определялось как координата центра тяжести черенковского изображения на фотопленке для диапазона длин волн, ограниченного в длинноволновой области пределом ее спектральной чувствительности, а со стороны коротких длин волн - обрезанием пропускной способности объектива. Минимизация функции отклика по параметрам α и β проводилась с помощью программы MINUIT^{3/}. Результаты расчетов представлены в табл.2.

В табл.2 $\alpha^{\text{зад}}$ обозначает заданный /грубо/ в эксперименте угол наклона пучка, а $\alpha^{\text{э}}$ - точно измеренный угол.

Средние энергии протонов в центре радиатора составили в сеансе 29.6.1986 г. $E = 649,29$ МэВ, а в сеансе 12.6.1987 г. - $\bar{E} = 653,34$ МэВ. С учетом замедления протонов с энергией 650 МэВ в LiF толщиной 1,5 мм /согласно таблиц^{4/} - 5,21 МэВ/см/ средние энергии протонов в этих сеансах соответственно составили 649,68 и 653,73 МэВ. Максимальный разброс энергий от экспозиции к экспозиции /как это видно из табл.2/ в каждом сеансе составил $\Delta E_{\text{max}} = 1,0$ МэВ.

С учетом этого обстоятельства настоящие измерения находятся в хорошем согласии с измерениями, проведенными в тех же сеансах работы, но другим черенковским методом /комбинированным/^{5/}.

Таблица 2

Дата	$\alpha^{\text{зад}}$	$l_1, \text{мм}$	$l_2, \text{мм}$	T, МэВ	$\alpha_x^{\text{э}}, \text{рад}$	$\alpha_x^{\text{э}}, \text{град}$
29.6.1986	0°	5,19	5,67	649,18	-0,0017*	-0°5'50''*
	1°	7,59	3,17	649,08	0,0147	0°50'25''
	2°	9,92	0,57	648,96	0,0311	1°46'48''
	3°	12,48	-2,41	649,26	0,0494	2°49'46''
12.6.1987	0°	6,02	5,62	653,21	0,0012	0°4'19''
	1°	7,87	3,65	652,81	0,0130	0°48'23''
	2°	10,58	0,85	653,93	0,0325	1°51'54''
	3°	13,13	-2,31	653,41	0,0515	2°56'59''

* Знак минус означает, что пучок относительно нормали к входной грани радиатора был отклонен в горизонтальной плоскости против часовой стрелки.

5. ОШИБКИ ИЗМЕРЕНИЙ E И α

Ошибки, влияющие на точность определения энергий (ΔE) и направления пучка ($\Delta \alpha$), в данном методе можно подразделить на приборные и экспериментальные. Первые связаны с неопределенностями в оптических характеристиках, которые просуммированы в табл.3.

Таблица 3

Параметр	Величина	$\Delta E, \text{МэВ}$	$\Delta \alpha$
ΔA	$\pm 5''$	$\pm 0,022$	$\pm 3,0''$
$\Delta \phi$	$\pm 5''$	$\pm 0,012$	$\pm 2,0''$
Δn_{LiF}	$\pm 4 \cdot 10^{-5}$	$\pm 0,05$	$\pm 7,0''$
$\Delta n_{\text{ЛК-4}}$	$\pm 4 \cdot 10^{-5}$	$\pm 0,028$	$\pm 4,0''$
$\Delta \epsilon$	$\pm 5''$	$\pm 0,01$	$\pm 1''$

Среднеквадратичные: $\overline{\Delta E} = \pm 0,063$ МэВ; $\overline{\Delta \alpha} = \pm 9$.

Основной же вклад в ΔE и $\Delta \alpha$ вносят экспериментальные погрешности, связанные с ошибками определения расстояний l_1 и l_2

с помощью фотометрирования черенковских изображений и реперных меток.

В общем виде $r_1 \neq r_2$ и $\Delta l_1 \neq \Delta l_2$ / аналитические выражения для вычисления $\Delta \beta$ и $\Delta \alpha$ имеют вид

$$\Delta \beta = \frac{n_2 \beta^3}{4} \left\{ (\Delta r_2)^2 \left[\cos r_1 \sin r_2 - \frac{\sin 2r_1 (\sin^2 r_2 - n_1'^2)^2}{2M} \right]^2 + (\Delta r_2)^2 \left[\cos r_2 \sin r_1 - \frac{\sin 2r_2 (\sin^2 r_1 - n_1'^2)}{2M} \right]^2 \right\}^{1/2} \quad /13/$$

$$\Delta \alpha = n_2 \beta \left\{ \frac{(\Delta r_1)^2 \cos^2 r_1 + (\Delta r_2)^2 \cos^2 r_2}{4 - n_2^2 \beta^2 (\sin r_1 - \sin r_2)^2} \right\}^{1/2} \quad /14/$$

где

$$M = \{ \sin^2 r_1 \sin^2 r_2 - n_1'^2 (\sin^2 r_1 + \sin^2 r_2) + n_1'^4 \}^{1/2}$$

а

$$\Delta r_{1,2} = \frac{m_{1,2} \Delta l_{1,2} \sin(\epsilon_{1,2} + m_{1,2} \frac{\ell_{1,2}}{l_{1,2}})}{\cos r_{1,2}} \left\{ \cos A_{1,2} + \frac{n_2 \cos(\epsilon_{1,2} + m_{1,2} \frac{\ell_{1,2}}{l_{1,2}}) \sin A_{1,2}}{\sqrt{n_3^2 - n_2^2 \cos^2(\epsilon_{1,2} + m_{1,2} \frac{\ell_{1,2}}{l_{1,2}})}} \right\} \times \left(\cos \phi_{1,2} + \sin \phi_{1,2} \frac{V_{1,2}}{\sqrt{1 - V_{1,2}^2}} \right)$$

где

$$V_{1,2} = -\cos(\epsilon_{1,2} + m_{1,2} \frac{\ell_{1,2}}{l_{1,2}}) \cos A_{1,2} + \frac{\sin A_{1,2}}{n_2} \sqrt{n_3^2 - n_2^2 \cos^2(\epsilon_{1,2} + m_{1,2} \frac{\ell_{1,2}}{l_{1,2}})}$$

Выполненные по этим формулам расчеты для $\Delta l_1 = \Delta l_2 = \pm 0,03$ мм дают следующие величины:

$$\Delta E = \pm 0,2 \text{ МэВ} \quad (\Delta \beta = \pm 5,4 \cdot 10^{-5}),$$

$$\Delta \alpha = \pm 0^\circ 0' 22'' \quad (\pm 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ рад}).$$

С учетом ошибок, приведенных в табл.3, суммарные средне-квадратичные ошибки равны $\Delta E = \pm 0,2$ МэВ, а $\Delta \alpha = \pm 24''$.

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ ПУЧКА ПРОТОНОВ

В отдельном эксперименте при "нормальном" / $\alpha = 0^\circ$ / падении пучка частиц определялось действительное значение углов α в двух плоскостях: в горизонтальной - α_x и вертикальной - α_y *. Результаты измерений приведены в табл.4.

Таблица 4

Положение устройства	Плечо I, ℓ_1 , мм	Плечо II, ℓ_2 , мм	Величина α , рад	
α_x	6,02	5,62	$1,30 \cdot 10^{-3}$	$0^\circ 04' 28''$
α_y	6,30	5,46	$2,75 \cdot 10^{-3}$	$0^\circ 09' 27''$

$$\alpha = \sqrt{\alpha_x^2 + \alpha_y^2} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ рад} (0^\circ 10' 18'').$$

С учетом знаков α_x и α_y пространственная ориентировка пучка в этой экспозиции соответствовала рис.9. Из рисунка видно, что если смотреть против пучка, то он "шел" влево-вниз.

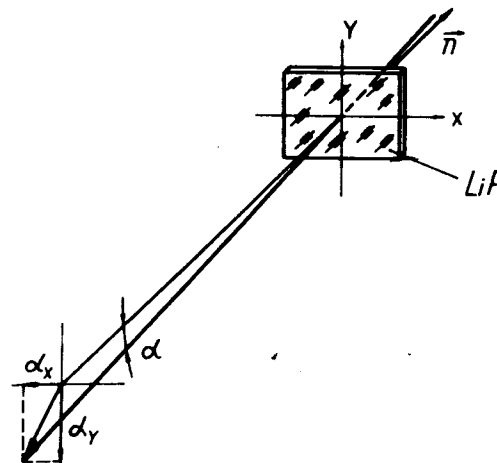


Рис.9. Пространственная ориентировка пучка протонов относительно нормали \vec{n} к радиатору LiF.

* В этом случае все устройство поворачивалось против часовой стрелки относительно оси пучка на 90° /фотоаппарат I под пучком/.

В заключение авторы благодарят Н.Н.Лебедева за качественное изготовление различных узлов устройства, подготовку его к работе и участие в сеансах измерений, Р.В.Столупину за фотометрические измерения и помощь в оформлении работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zrel'ov V.P. - Nucl.Instr. and Meth., 1975, v.123, p.255.
Авторское свидетельство СССР № 499495 от 17.08.73 .
ОИПОТЗ, № 2, 1976.
2. Зрелов В.П., Шулекова Г., Шулек П. Сообщение ОИЯИ 13-5863, Дубна, 1971.
3. James F., Ross M. - Comp. Phys. Comm., 1975, v.10, p.343.
4. Tanui J.F. Atomic Data and Nuclear Data Tables, 1982, v.27, p.282.
5. Зрелов В.П. и др. Препринт ОИЯИ 13-87-835, Дубна, 1987.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 июля 1988 года.

ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Будяшова С.Ю., Зрелов В.П., Кузьмин Е.С.

P13-88-485

Черенковский способ одновременного определения средней энергии и направления пучка протонов с энергией 650 МэВ

В работе приводятся результаты испытаний черенковского способа одновременного измерения средней энергии и направления коллимированного пучка протонов 650 МэВ от фазотрона Лаборатории ядерных проблем. С целью понижения требований к интенсивности пучка протонов регистрировалось излучение Вавилова - Черенкова /ИВЧ/ в широком диапазоне длин волн, а влияние дисперсии радиатора из LIF устранялось ахроматической призмой из стекла ЛК-4. Приводятся уравнения и формулы для расчетов параметров такой системы. Результаты испытаний такого устройства показали, что среднюю энергию протонов можно определить с точностью $\Delta E = \pm 0,2$ МэВ и одновременно угол наклона пучка с точностью $\Delta \alpha = \pm 25''$.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод М.И.Потапова

Budyashova S.Yu., Zrelov V.P., Kuzmin E.S.

P13-88-485

The Cherenkov Method of Simultaneous Determination of the Mean Energy and Direction of the 650 MeV Proton Beam

The paper presents the results obtained in the test of the Cherenkov method for simultaneous measurement of the mean energy and direction of a collimated 650 MeV proton beam from the phasotron of the Laboratory of Nuclear Problems. To make requirements to the proton beam intensity less strict, the Vavilov-Cherenkov radiation (VChR) was registered in a wide range of wavelengths, and the LIF radiator dispersion effect was eliminated by an achromatic LK-4 glass prism. Equations and formulae are given to calculate parameters of a system like this. The test results have shown that the mean energy of protons can be determined with an accuracy of $\Delta E = \pm 0.2$ MeV; at the same time the beam oblique angle is measured with an accuracy of $\Delta \alpha = \pm 25''$.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988