



сообщения
Объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

3885/82

16/8-82

19-82-380

К.Хюбнер¹, Г.Эрцгребер, К.Айхорн²

ИССЛЕДОВАНИЕ
ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ЦВЕТОПОРоговых ДЕТЕКТОРОВ
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФЛЮЕНСА
УСКОРЕННЫХ ИОНОВ

¹ Технический университет, Дрезден.

² ЦИМ АН ГДР, Берлин.

Под пороговым пластическим дозиметром понимают такой дозиметр, цвет которого изменяется с изменением величины дозы ионизирующих излучений. В основе дозиметра лежит свойство индикаторов изменять цвет при изменении значения pH, что происходит при выделении галогенводорода из галогенпроизводных углеводов. В качестве порогового дозиметра /или детектора/ в работах по радиационной стерилизации использовалась система, содержащая поливиниловый спирт, метилоранж, хлоральгидрат и тетраборнокислый натрий /1,2/*/. Эта система применялась для визуализации пучков излучений /4,5/. Она может быть также использована в работе с ускоренными ионами /6/. Ниже приведены наиболее важные свойства таких пороговых детекторов и результаты их исследований на пучках ускоренных ионов циклотрона У-200 в Объединенном институте ядерных исследований.

СВОЙСТВА ДЕТЕКТОРОВ

Пороговые детекторы изготавливаются в виде пленки. Для этого используют водный раствор поливинилового спирта, содержащий индикатор метилоранж, галогенсоединение хлоральгидрат и тетраборнокислый натрий. При испарении раствора на покрытой силиконом стеклянной подложке образуется прозрачная желтая пленка с максимумом поглощения света при 455 нм.

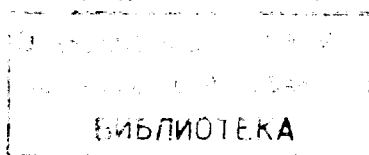
После облучения этой пленки ионизирующим излучением при достижении определенной поглощенной дозы происходит изменение ее цвета от желтого до красного. Максимум поглощения света облученной пленки соответствует 525 нм /рис.1/.

Доза, при которой цвет изменяется, называется "Дозой изменения" ($D_{и}$) /рис.2/. $D_{и}$ - это поглощенная доза, при которой отношение оптических плотностей

$$Q_{и} = \frac{E_{525}}{E_{455}} = 1. \quad /1/$$

где E_{525} и E_{455} - оптические плотности при 525 и 455 нм.

* Эти детекторы производились под названием Steridohn на химическом заводе г.Нинхриц, филиал Дона, ГДР /3/.



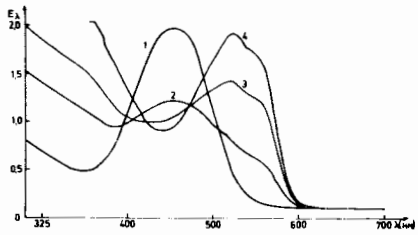


Рис.1. Спектры поглощения цветопорогового детектора до и после облучения электронами с энергией 1,5 МэВ. 1 - до облучения, 2 - 20 кГр, 3 - 25 кГр, 4 - 40 кГр. По оси абсцисс: длина волны, нм; по оси ординат: оптическая плотность E_{λ} .

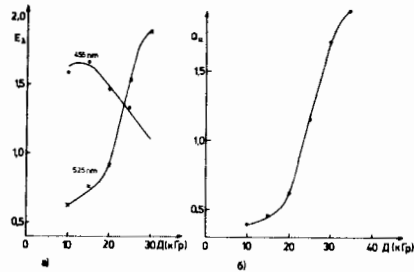


Рис.2. а/ Зависимость оптической плотности E_{λ} от дозы облучения при длине волны 455 и 525 нм. По оси абсцисс: доза, кГр; по оси ординат: E_{λ} . б/ зависимость отношения $Q_{\lambda} = E_{525}/E_{455}$ от дозы электронов с энергией 1,5 МэВ. По оси абсцисс: доза, кГр; по оси ординат: Q_{λ} .

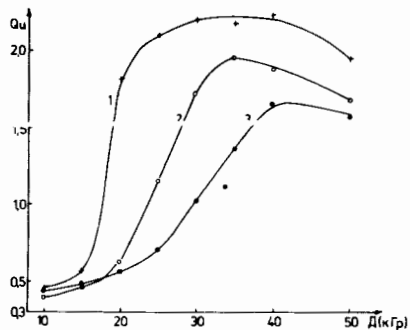


Рис.3. Зависимость Q_{λ} от поглощенной дозы для разных концентраций тетраборнокислого натрия /тбн/, /концентрация хлоральгидрата 0,52 г/г ПВС/. 1 - 69 мг тбн/г ПВС, 2 - 79 мг тбн/г ПВС, 3 - 88,8 мг тбн/г ПВС. По оси абсцисс: доза электронов, кГр; по оси ординат:

Изменяя содержание в детекторе хлоральгидрата и тетраборнокислого натрия, можно добиться изменения величины $D_{и}$ в широком диапазоне доз, от 2 до 100 кГр. На рис.3 в качестве примера показано влияние концентрации тетраборнокислого натрия на величину $D_{и}$ при облучении детектора электронами. Более полная информация о форме кривых $Q_{\lambda}(D)$ и величин $D_{и}$ в зависимости от химического состава детектора приведена в статьях /1,7/.

В исследованиях с α -частицами при мощностях дозы от 1,2 до 120 Гр/с не наблюдалось зависимости изучаемого эффекта от мощности дозы /6/. Окраска детектора после облучения не изменилась. Так, у детекторов, которые после облучения хранили в темноте, никаких изменений красного цвета не наблюдали в течение

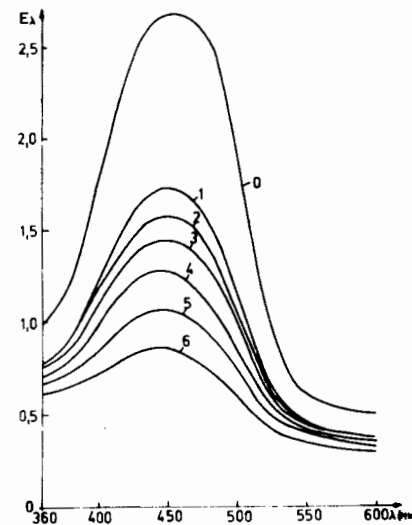


Рис.4. Спектр поглощения необлученных цветопороговых детекторов при их хранении на свету. 0 - сразу после изготовления, 1-6 - от одного до шести месяцев после изготовления. По оси абсцисс: длина волны λ , нм; по оси ординат: E_{λ} .

11 лет после облучения протонами. У необлученного детектора при хранении на свету цвет в течение нескольких месяцев все-таки изменяется, хотя и очень мало /см.рис.4/, а в темноте вообще не изменяется. Влияние на изменение цвета других факторов, например, температуры, во время облучения, описано в /1,8/. О радиационно-химическом механизме изменения цвета сообщается в работах /1,7,12,13/.

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДЕТЕКТОРОВ

Как уже отмечалось, в радиационной стерилизации цветопороговые детекторы использовались для визуализации полей облучения и распределения плотности потока частиц /4/. Ниже приводятся результаты исследований в ОИЯИ на циклотроне У-200, которые показали пригодность для количественного определения флюенса ускоренных ионов и измерения длины пробега заряженных частиц.

Известно /рис.3/, что существует диапазон доз, в котором эффект Q_{λ} зависит от величины дозы D как:

$$Q_{\lambda} = K \cdot D. \quad /2/$$

Зависимость коэффициента K от химического состава (i) детектора описывается формулой /см. рис.5/

$$K = \frac{\Delta Q_{\lambda}^{(i)}}{\Delta D^{(i)}}, \quad /3/$$

$$\text{где} \quad \Delta Q_{\lambda}^{(i)} = Q_{\lambda,2}^{(i)} - Q_{\lambda,1}^{(i)}, \quad /4/$$

$$\Delta D^{(i)} = D_2^{(i)} - D_1^{(i)}. \quad /5/$$

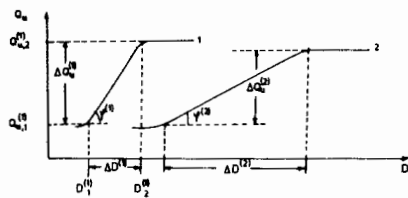


Рис.5. Зависимость $Q_{И} = E_{525}/E_{455}$ от дозы облучения для двух детекторов, имеющих разные химические составы /схематически/.

На рис.5 приведена зависимость $Q_{И} = E_{525}/E_{455}$ от дозы для двух детекторов, имеющих разный химический состав. С помощью формулы

$$D = \int_0^t \int_{W_{\min}}^{W_{\max}} \phi_W(W) \frac{S}{\rho}(W) dW dt \quad /6/$$

соотношение /2/ можно записать в виде:

$$Q_{И} = K \int_t \int_W \phi_W(W) \frac{S}{\rho}(W) dW dt, \quad /7/$$

где ϕ_W — спектральная плотность потока частиц в диапазоне энергий от W_{\min} до W_{\max} ; $\frac{S}{\rho}$ — массовая тормозная способность /S — тормозная способность, ρ — плотность материала/; t — время облучения.

При использовании усредненного значения величины $\frac{S}{\rho}$ уравнение /7/ можно записать как:

$$Q_{И} = K \cdot \frac{\bar{S}}{\rho} \int_t \int_W \phi_W(W) dW dt, \quad /8/$$

$$Q_{И} = K \cdot \frac{\bar{S}}{\rho} \cdot \Phi, \quad /9/$$

$$\Phi = \int_t \int_W \phi_W(W) dW dt \quad /10/$$

или

$$Q = \frac{K}{\rho} \cdot L_{\infty} \cdot \Phi, \quad /11/$$

потому что $\bar{S} = L_{\infty}$. Для детектора с химическим составом (i) плотность потока частиц в диапазоне $\Phi_1^{(i)} - \Phi_2^{(i)}$ можно определить как:

$$\Phi_1^{(i)} = \frac{Q_{И,1}^{(i)} \cdot \rho}{K^{(i)} \cdot L_{\infty}} \quad /12/$$

и

$$\Phi_2^{(i)} = \frac{Q_{И,2}^{(i)} \cdot \rho}{K^{(i)} \cdot L_{\infty}} \quad /13/$$

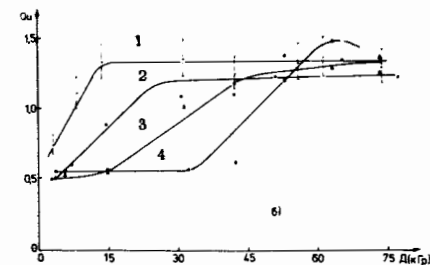
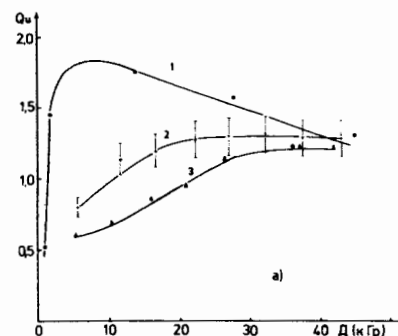
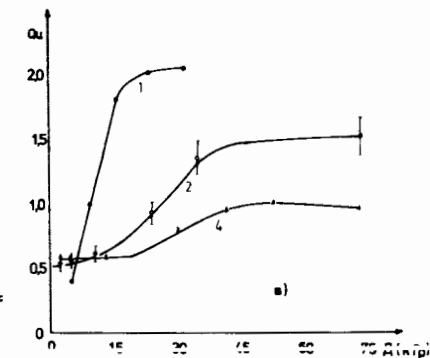


Рис.6. Зависимости $Q_{И}$ от дозы облучения тяжелыми ионами для детекторов разного химического состава. 1 — 36,6 мг тбн/г ПВС, 2 — 47,4 мг тбн/г ПВС, 3 — 63,2 мг тбн/г ПВС, 4 — 79,0 мг тбн/г ПВС. а/ ионы ${}^4\text{He}$, 33,5 МэВ; б/ ${}^{12}\text{C}$, 73 МэВ, в/ ${}^{18}\text{O}$, 75 МэВ. По оси абсцисс: доза, кГр; по оси ординат: $Q_{И} = E_{525}/E_{455}$.



С целью экспериментальной проверки уравнений /12/ и /13/ детекторы с разным химическим составом были облучены ионами ${}^4\text{He}$, ${}^{12}\text{C}$, ${}^{18}\text{O}$ и ${}^{22}\text{Ne}$ на циклотроне У-200 в ОИЯИ.

Концентрация хлоральгидрата во всех опытах была равна 0,5 г/г поливинилового спирта/ПВС/. Концентрация бора изменялась в диапазоне от 31,6 до 79,0 мг/г ПВС. Толщина пленки — 95 мкм. $Q_{И}$ определялась с точностью не менее 10%.

На рис.6а-в показаны зависимости $D_{И}$ от поглощенной дозы для детекторов с разным химическим составом после облучения их ионами ${}^4\text{He}$ /а/, ${}^{12}\text{C}$ /б/ и ${}^{18}\text{O}$ /в/. Из представленных кривых определены значения $Q_{И,1}^{(i)}$, $Q_{И,2}^{(i)}$, $D_1^{(i)}$, $D_2^{(i)}$, $K^{(i)}$, $\Phi_1^{(i)}$ и $\Phi_2^{(i)}$. Результаты, представленные на рис.7, подтверждают теоретические соображения, изложенные выше, и показывают, что флюенсы ионов, для измерения которых могут быть использованы детекторы данного химического состава, не превышают одного порядка.

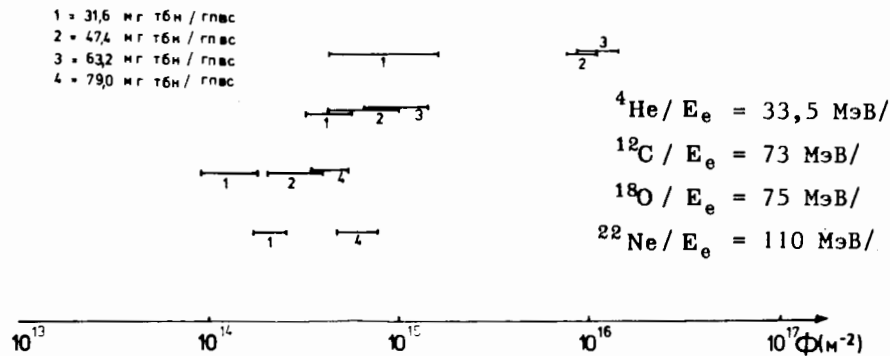


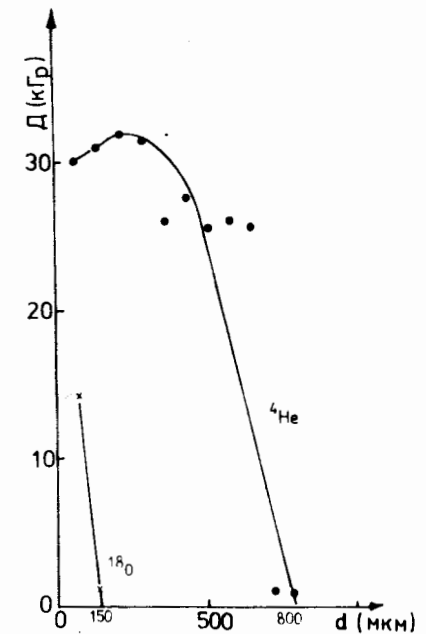
Рис.7. Диапазоны флюенса определенных ионов для детекторов разного состава. 1 - 31,6 мг тбн/г ПВС, 2 - 47,4 мг тбн/г ПВС, 3 - 63,2 мг тбн/г ПВС, 4 - 79,0 мг тбн/г ПВС. По оси абсцисс: флюенсы, $\Phi, \text{м}^{-2}$.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИН ПРОБЕГОВ УСКОРЕННЫХ ИОНОВ

В /6/ было показано, что цветопороговые детекторы используются для определения длин пробегов ускоренных ионов. Это делается следующим образом. Облучается несколько детекторов, положенных друг на друга. Для каждого отдельного детектора измеряется $Q_{\text{и}}$, рассчитывается $D_{\text{и}}$ и строится зависимость $Q_{\text{и}}$ от толщины пленок детектора. Точка пересечения полученной кривой с осью абсцисс указывает на величину пробега R ускоренного иона. При этом надо учитывать, что $Q_{\text{и}}$ зависит от линейной передачи энергии /ЛПЭ/ /см. рис.6/, которая изменяется по толщине пленок. Для определения ЛПЭ в зависимости от толщины пленок используются специальные таблицы /11/, затем определяются D из кривой $Q_{\text{и}}(D)$ в зависимости от ЛПЭ /12/ для рассчитанного значения ЛПЭ. Полученные таким образом кривые распределения дозы по толщине пленки представлены на рис.8. Из этих кривых определяются длины пробегов ионов R . Так, например, было определено, что $R = /800+40/$ мкм для ионов ${}^4\text{He}$ с энергией 33,5 МэВ и $R = /150+40/$ мкм для ${}^{18}\text{O}$ с энергией 75 МэВ. Известно, что пробеги этих ионов имеют значения $R = 823$ мкм и $R = 93$ мкм /11/.

Авторы выражают благодарность академику Г.Н.Флерову за предоставление возможности проведения экспериментов на ускорителях У-300 и У-200 в ЛЯР ОИЯИ /Дубна/.

Рис.8. Зависимость величин поглощенной дозы от толщины детектора для ионов ${}^4\text{He}$ и ${}^{18}\text{O}$. По оси абсцисс: толщина d , мкм; по оси ординат: доза, кГр.



ЛИТЕРАТУРА

1. Hübner K. Dissertation. TU Dresden. 1969.
2. Hübner K., Stolz W. Isotopenpraxis, 1969, 5, p.230.
3. Steridohn, Strahlendosisindikator, Firmenprospekt des VEB Chemiewerke Nünchritz/Betriebsteil Dohna, DDR.
4. Hübner K. et al. Isotopenpraxis, 1970, 6, p.332.
5. Haberer G. et al. studia biophysica, 1968, 6, p.113.
6. Hübner K., Eichhorn K. Kernenergie, 1978, 21, p.179.
7. Hübner K. Radiochim.Radioanalyt.Lett., 1974, 17, p.41.
8. Hübner K. Isotopenpraxis, 1971, 7, p.268.
9. Strahlenschutzphysik, Schuricht V., VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1975.
10. ICRU Report 19, Radiation Quantities and Units, Washington, 1971.
11. Hübner K. Isotopenpraxis, 1978, 14, p.284.
12. Hübner K., Erzgräber G. TU Dresden, 05-07-79, 1979.
13. Hübner K. et al. Isotopenpraxis, 1980, 23, p.105.

Рукопись поступила в издательский отдел
 26 мая 1982 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

D13-11182	Труды IX Международного симпозиума по ядерной электронике. Варна, 1977.	5 р. 00 к.
D17-11490	Труды Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1977.	6 р. 00 к.
D6-11574	Сборник аннотаций XV совещания по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дубна, 1978.	2 р. 50 к.
D3-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
D13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
D1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
D1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
D4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
D1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.

Хубнер К., Эрцгребер Г., Айхорн К. 19-82-380
Исследование возможности использования цветопороговых детекторов для определения флюенса ускоренных ионов

Систему фольг, содержащих поливиниловый спирт, метилоранж, хлоральгидрат, тетраборнокислый натрий, применяемую в качестве порогового детектора в радиационной стерилизации, использовали для определения флюенса и величины пробега ускоренных ионов. С этой целью проводились спектрофотометрические измерения с фольгами разных химических составов после облучения их ионами ^4He , ^{12}C , ^{18}O , ^{22}Ne . Получены следующие результаты: 1. Цветопороговые детекторы пригодны для измерения флюенса ионов, но только в узком диапазоне флюенса. 2. Детекторы пригодны для измерения пробега ускоренных ионов.

Работа выполнены в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Hübner K., Erzgräber G., Eichhorn K. 19-82-380
Investigation of Possibility for Using Threshold Detectors in the Determination of Heavy Ion Fluence

A system of foils, which contained polyvinyl alcohol, methylorange, chloralhydrate and tetraboracidal natrium developed for the radiation sterilization, was used for the measurement of the fluence and heavy accelerated ion range. For this aim spectrophotometrical measurements are performed with detectors of chemically different compositions after irradiation with fluence ^4He , ^{12}C , ^{18}O , ^{22}Ne ions. The results are the following: threshold detectors are suitable for measurements of fluence but only in about one order of They are also suitable for measurements of heavy accelerated ion range.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований