

С 341.3

ПТЭ, № 2, с. 73-75, 1968^{5/2-627}

A-139

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P12 - 3243



Х. Абдуллаев, А. Капусцик, О. Отгонсурен,
В.П. Перельгин, Д. Чултэм

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ
ДЕЛЯЩИХСЯ ВЕЩЕСТВ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

1967.

P12 - 3243

4949/1, 28.

Х. Абдуллаев, А. Капусцик, О. Отгонсурен,
В.П. Перельгин, Д. Чултэм

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ
ДЕЛЯЩИХСЯ ВЕЩЕСТВ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ**

Направлено в ПТЭ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Измерение концентрации урана, а также других делящихся веществ во всевозможных твердых телах наиболее удобно производить с помощью разработанных Прайсом и Уокером диэлектрических детекторов заряженных частиц ^{/1,2/}.

Методика такого рода измерений была впервые предложена в работе ^{/3/}. Она основывается на использовании детекторов осколков деления, помещаемых в плотный контакт с исследуемым образцом. Образец с детектором облучается известным потоком тепловых нейтронов или других частиц. Затем детектор обрабатывается в соответствующем травителе и с помощью оптического микроскопа на нем определяется плотность следов осколков деления.

Эта методика была успешно использована в экспериментах по измерению концентрации урана в минералах ^{/4-7/} и сплавах ^{/8/} в опытах по определению скорости диффузии U в железе и титане ^{/9/}. Аналогичным образом могут измеряться концентрации других делящихся элементов, в том числе спонтанно делящихся трансуранов.

Чувствительность метода определяется содержанием урана в самих детекторах. Применение внешних детекторов из органических полимеров позволяет определять очень низкие концентрации урана - вплоть до 10^{-10} г/г ^{/5,7/}.

Однако при измерении концентрации делящихся веществ методом внешнего детектора необходимо учитывать ряд факторов, определяющих точность такого рода измерений.

Во-первых, это поглощение осколков деления в самом образце. Действительно, поскольку акты деления ядер имеют место в глубине слоя, осколки деления неизбежно теряют часть своей энергии на торможение в исследуемом образце.

Эффективный пробег осколков в веществах с Z от 1 до 92 изменяется весьма существенно — в несколько раз^{/10/}.

Во-вторых, важное значение имеет эффективность регистрации осколков в данном детекторе ϵ , определяемая как отношение числа зарегистрированных осколков к полному числу актов деления, имевших место в бесконечно тонком препарате у поверхности детектора^{/11/}.

В-третьих, необходимо учитывать также чувствительность детекторов к заряженным частицам. Так, известно, что чувствительность слюды к осколкам деления выше, чем силикатного или кварцевого стекла^{/11/}. В лавсане и нитрате целлюлозы регистрируется практически весь пробег осколков^{/12/}.

Кроме того, для идентификация следа осколков в детекторе необходимо, чтобы он характеризовался направлением и длиной, позволяющими отличать его от случайных дефектов поверхности. Такая идентификация возможна, если длина следа превосходит один-два микрона.

Учет всех этих факторов наиболее целесообразно произвести экспериментальным путем, определяя для каждой среды с известным Z эффективную толщину слоя $R_{эф}$, в котором с помощью данного детектора регистрируются все акты деления ядер.

Детекторами осколков деления в настоящих экспериментах служили слюда-мусковит, силикатное стекло, лавсан и поликарбонат. Эффективная толщина слоя $R_{эф}$ определялась по поглощению осколков деления в слоях воздуха, поликарбоната, алюминия, никеля, серебра, золота, а также в толстых слоях урана.

В качестве источника осколков использовался препарат куря с удельной активностью $7,2 \cdot 10^3$ оск/час, диаметром 1 см.

Вначале облучался детектор без поглотителя, затем поверх препарата помещался калиброванный слой исследуемого материала и производилось облучение следующего детектора. Время экспозиции у препарата составляло 15 мин во всех экспериментах. Для каждого из указанных выше детекторов выполнялась серия из 6-8 облучений, при разных толщинах поглотителей. Затем детекторы обрабатывались в режимах, указанных в таблице 1. На каждом детекторе определялось количество следов осколков деления, результаты представлялись в виде графиков.

Т а б л и ц а 1

Детектор	Реагент	Концентрация	Время травления	Температура
1. Слюда	HF	40%	1 час	20°C
2. Стекло	HF	5%	10 мин	20°C
3. Лавсан	KOH	1,35 г/см ³	18 час	20°C
3. Поликарбонат	NaOH	1,25 г/см ³	24 час	20°C

На рис. 1 представлена зависимость числа зарегистрированных следов осколков от толщины слоя серебрянного поглотителя для силикатного стекла, лавсана и слюды. Как видно из этого рисунка, слюда имеет наибольшую эффективность регистрации при минимальной толщине поглотителя, затем числа зарегистрированных осколков на слюде и лавсане сравниваются. При больших толщинах поглотителя число следов на лавсане больше, чем на слюде за счет большой чувствительности лавсана к заряженным частицам.

На рис. 2а, б, в представлены зависимости числа зарегистрированных следов осколков, выраженные в процентах по отношению к числу следов на детекторе без поглотителя, от толщины поглотителя: а) для силикатного стекла, б) слюды мусковита и в) лавсана. Эффективность регистрации ϵ слюды мусковит равна 100%, для лавсана и поликарбоната при указанных выше условиях травления она определена равной $(88 \pm 5)\%$, для силикатного стекла $(42 \pm 3)\%$.

Из этих графиков интегрированием находились эффективные толщины $R_{эф}$ для всех указанных выше поглотителей и детекторов:

$$R = \epsilon \int_0^{R_{max}} \frac{N(x)}{N(0)} dx,$$

где ϵ — эффективность детектора для бесконечно тонкого слоя препарата, R_{max} — максимальный пробег осколков в данной среде, при котором он может быть зарегистрирован,

$N(x)/N(0)$ — отношение числа зарегистрированных в детекторе осколков при толщине поглотителя x и без поглотителя.

Измерение $R_{эф}$ для металлического урана производилось более прямым образом, поскольку слой урана одновременно является источником и поглотителем осколков с однородным распределением делящихся ядер в слое.

К препаратам урана ($0,18 \text{ мг/см}^2$ и $22,4 \text{ мг/см}^2$) помещались в плотную стекло, слюда, лавсан и поликарбонат. Затем производилось облучение тепловыми нейтронами и на детекторах определялась плотность следов осколков деления. Для тонкого слоя урана поглощением осколков можно пренебречь, слой урана $22,4 \text{ мг/см}^2$ превосходил максимальный пробег осколков деления в уране, поэтому из отношения плотностей следов для каждого детектора определялась эффективная толщина урана $R_{эф}$ в миллиграммах на см^2 .

Результаты экспериментов по определению $R_{эф}$ для слюды, лавсана и силикатного стекла в зависимости от атомного номера Z тормозящей среды представлены на рис. 3. Точки для поликарбоната здесь не приведены, поскольку они в пределах ошибок совпали с данными для лавсана.

Как видно из этого рисунка, наблюдается плавная зависимость $R_{эф}$ от Z поглотителя. Неточность в измерении величины $R_{эф}$ определяется в основном статистической ошибкой. Она не превосходит 5% для большинства экспериментальных точек.

Эффективные толщины $R_{эф}$ для слюды и лавсана практически одни и те же во всем районе изменения Z . Эти зависимости позволяют вычислять значения $R_{эф}$ для образцов, имеющих сложный химический состав. В таких расчетах необходимо учитывать атомные тормозные способности элементов, входящих в состав исследуемого образца.

Отметим, что полученные нами значения $R_{эф}$ в 1,5–2 раза больше, чем величины, вычисленные из известных средних пробегов тяжелого и легкого осколков (10). Этот результат обусловлен, очевидно, вкладом от наиболее длинно-пробежных легких осколков (11).

Измерение потока бомбардирующих частиц в такого рода экспериментах целесообразно производить также с помощью диэлектрических детекторов, помещаемых в контакт с калиброванным препаратом из делящихся элементов. Поскольку поток бомбардирующих частиц один и тот же для препарата и исследуемого образца, то концентрация определяется из соотношения:

$$C_B = \frac{C_A N_2 \epsilon_1}{N_1 R_{эф}}$$

где N_1 и N_2 – плотности следов осколков деления на детекторах, находившихся в контакте с препаратом и исследуемым образцом;

C_A – количество делящегося вещества на препарате (в мг/см^2);

ϵ_1 – эффективность детектора, находившегося в контакте с препаратом;

$R_{эф}$ – эффективная толщина слоя исследуемого образца;

C_B – количество делящегося вещества в образце (в г/г).

Ошибка в определении концентрации делящихся ядер этим методом составляет $\pm 10\%$. Она определяется в основном неточностью в измерении эффективности регистрации детектора ϵ и толщины слоя $R_{эф}$ ($\pm 5-7\%$), а также статистическими ошибками в измерении плотностей следов N_1 и N_2 на детекторах.

В заключение авторы выражают глубокую признательность члену-корреспонденту АН СССР Г.Н. Флерову за постоянное внимание к работе, полезные советы и обсуждения полученных результатов. Авторы благодарны С.П. Третьяковой за помощь в проведении экспериментов, а также Т.И. Рыбаковой и К.И. Меркиной, обеспечившим просмотр детекторов осколков деления.

Л и т е р а т у р а

1. P. V. Price, R. M. Walker, J. Appl. Phys. 33, 3407 (1963).
2. R. L. Fleischer, P. V. Price, R. M. Walker, Science 149, 383 (1965).
3. P. V. Price, R. M. Walker, Appl. Phys. Letters, 2, 23 (1963).
4. R. L. Fleischer, C. W. Naeser, P. V. Price, R. M. Walker, V. B. Mervin, Science 148, 629 (1965).
5. Х. Абдуллаев, С.К. Горбачев, В.П. Перелыгин, С.П. Третьякова. Препринт ОИЯИ, ОИЯИ, РЗ-2981, Дубна 1966.
6. И.Г. Берзина, И.Б. Берман, М.Ю. Гурвич, Г.Н. Флеров, Ю.С. Шимелевич. Препринт ОИЯИ Р12-3159, Дубна, 1967.
7. R. L. Fleischer, Nucl. Instr. and Meth, 27, 1738 (1966).
8. C. V. Bean, R. L. Fleischer, P. S. Swartz, H. R. Hart, J. Appl. Phys., 37, 2218 (1966).

9. J. Mory, F. de Keroulas, J. C. Resneau, Y. Quere, 1Y International Conference on Nuclear Photography, Florence 19-23, July, Italy, p 210.

10. C. V. Fulmer, Phys. Rev. 108, 1113(1957).

11. А. Капусник, В.П. Перельгин, В.И. Свидерский, С.П. Третьякова. Препринт ОИЯИ, Р-2705, Дубна, 1966.

12. R. L. Fleischer, P. B. Price, R. M. Walker, E. L. Hubbard, Phys. Rev., 133 A, 1443 (1964).

Рукопись поступила в издательский отдел
21 марта 1967 г.

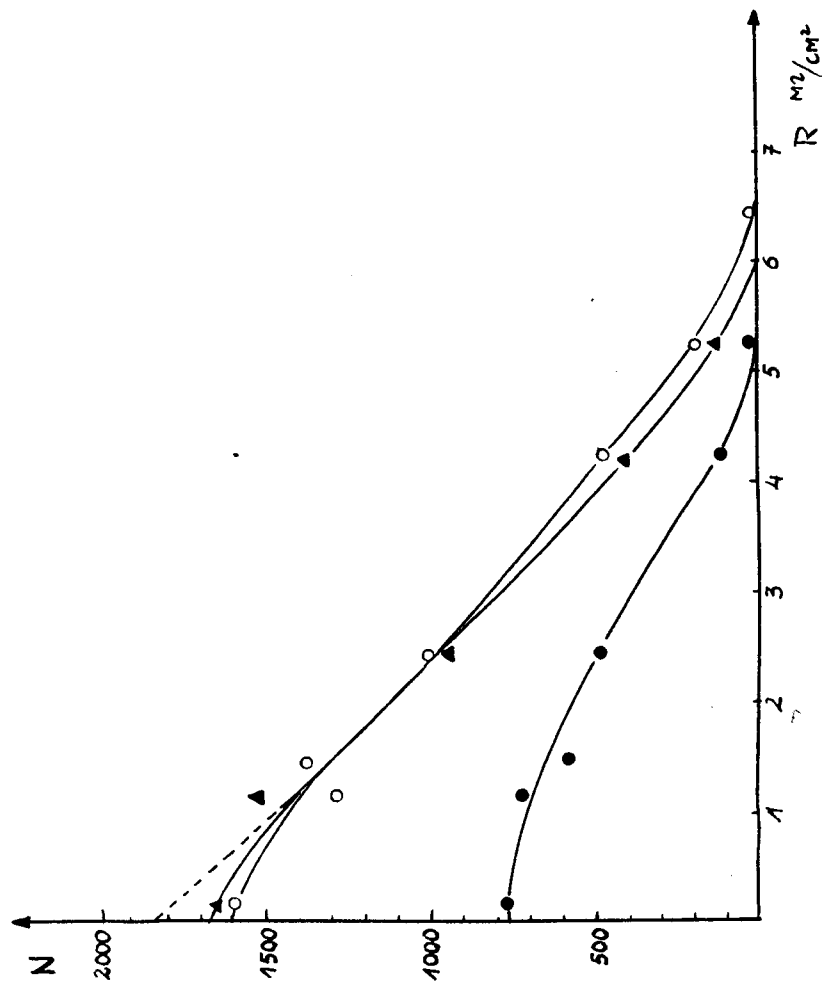


Рис. 1. Зависимость числа зарегистрированных осколков от толщины слоя серебряного поглотителя.
○ - силикатное стекло; ● - лавсан; ▲ - слюда.

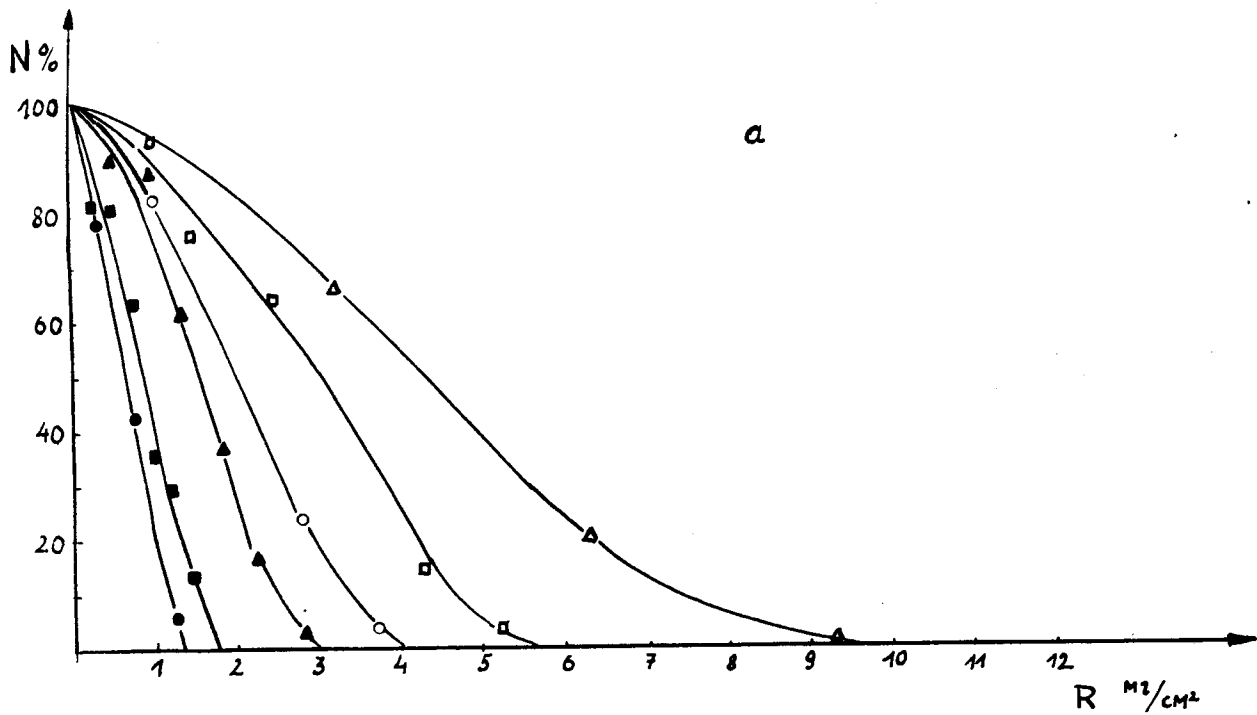


Рис. 2а. Зависимости числа зарегистрированных осколков в процентах от числа следов на детекторе без поглотителя для силикатного стекла от толщины поглотителя:
 ● - поликарбонат; ■ - воздух; ▲ - алюминий; ○ - никель; □ - серебро;
 △ - золото.

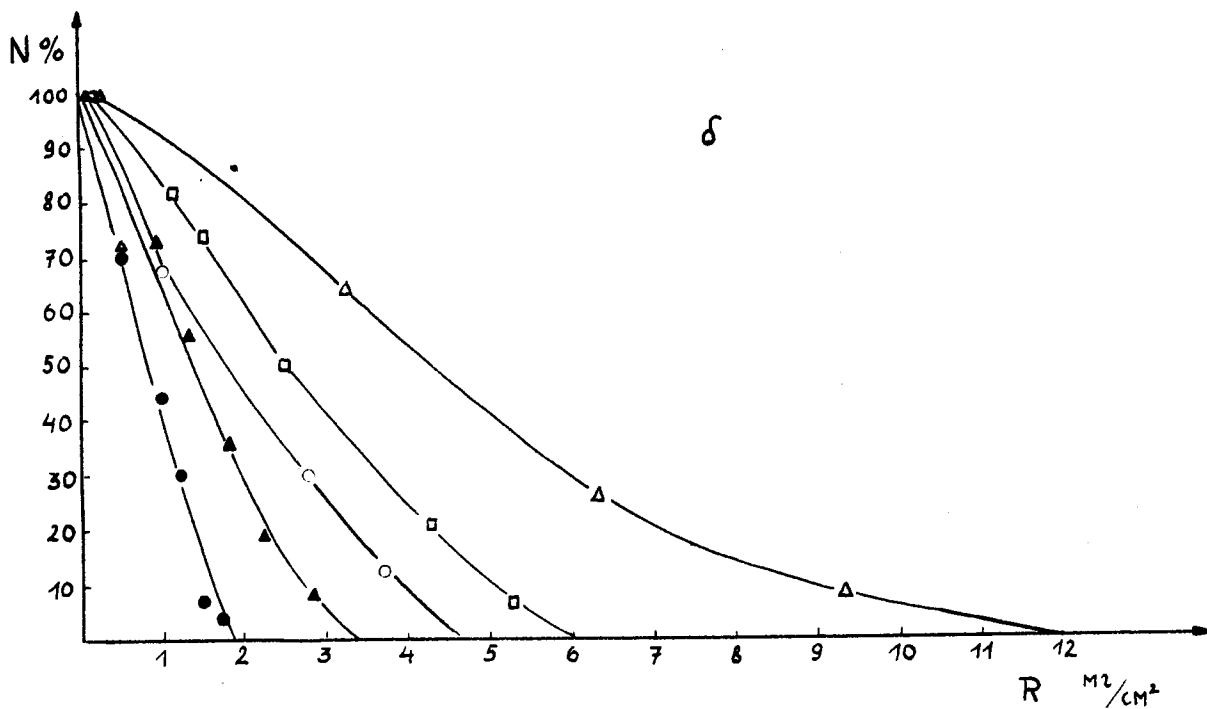


Рис. 2б. Зависимости числа зарегистрированных осколков в процентах от числа следов на детекторе без поглотителя для слюды мусковита от толщины поглотителя:
 ● - поликарбонат; ■ - воздух; ▲ - алюминий; ○ - никель; □ - серебро;
 △ - золото.

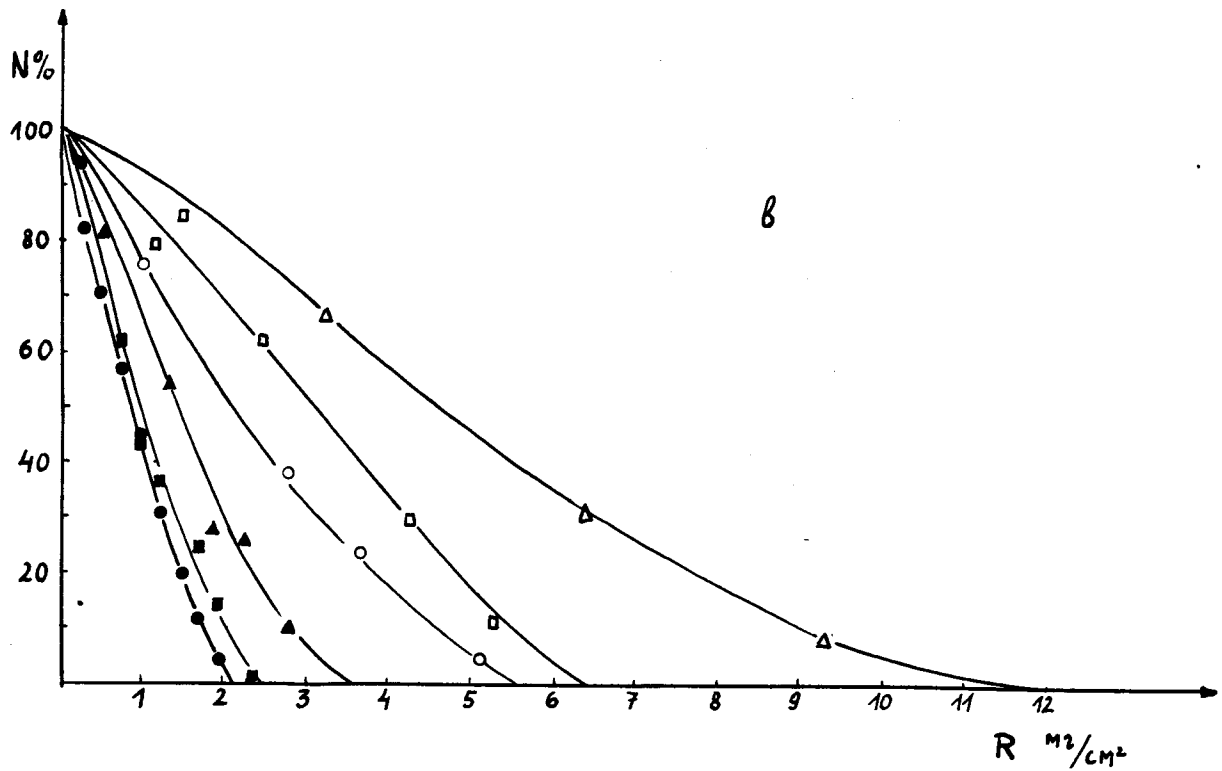


Рис. 2в. Зависимости числа зарегистрированных осколков в процентах от числа следов на детекторе без поглотителя для лавсана от толщины поглотителя.

□ - поликарбонат; ■ - воздух; ▲ - алюминий; ○ - никель;
◇ - серебро; △ - золото.

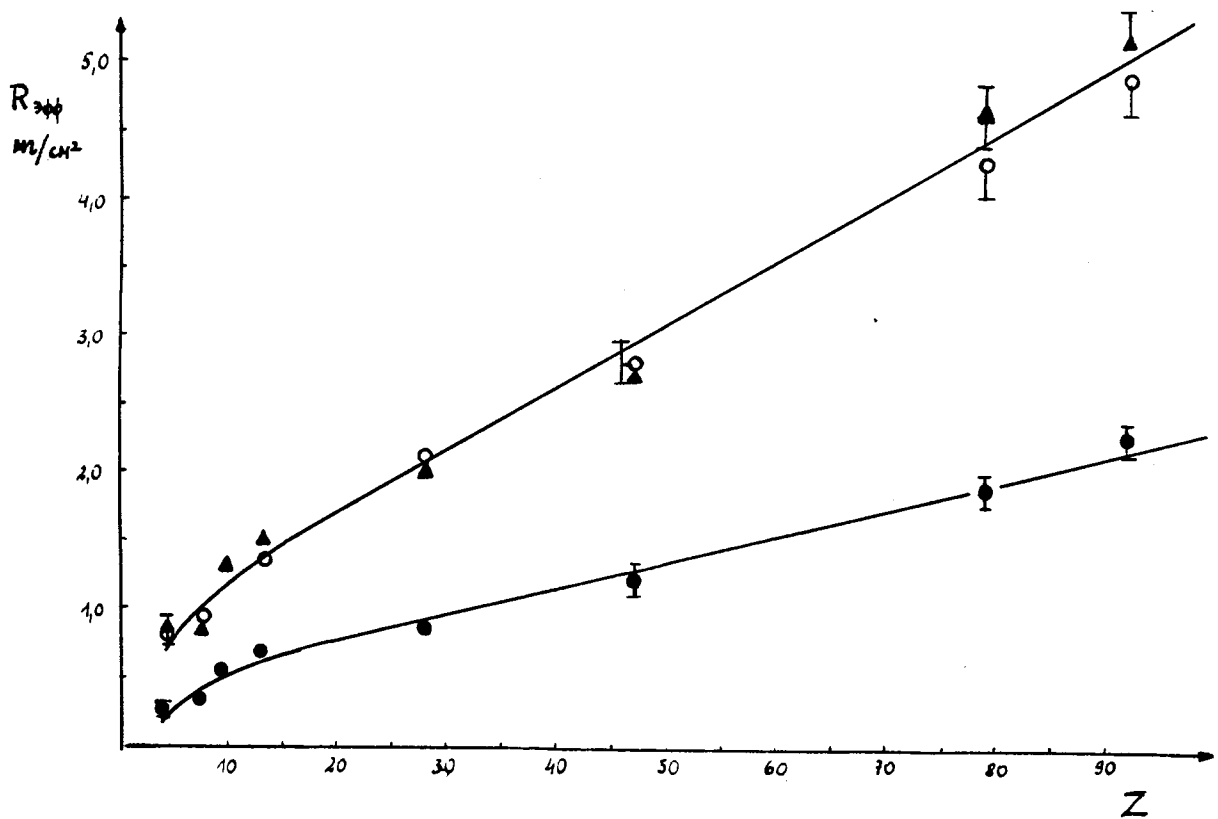


Рис. 3. Зависимость эффективной толщины слоя $R_{эфф}$ от атомного номера поглотителя Z .

□ - силикатное стекло; ○ - лавсан; ▲ - слюда.