

(-)

Введение

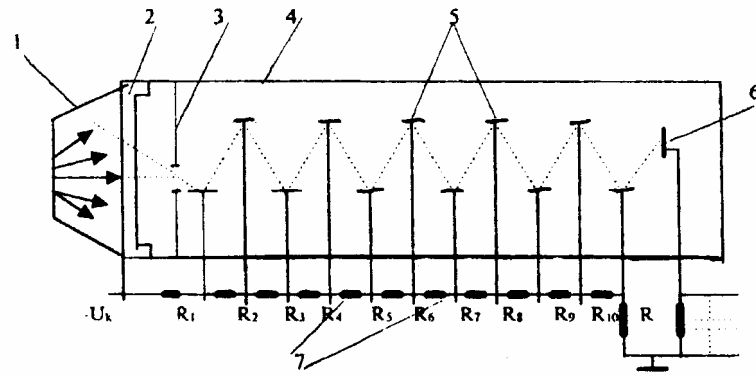
(ZnS), α-
.

1947 .

(.1) ,

(),

γ-



1. ; 3 - ; 4 - ; 5 - ; 6 - ; 7 - ; 1 - ; 2 -

γ - (50 100%).

1. Сцинтилляторы

(. . .) /1,2,3/.

флуоресценцией.

фосфоресценцией.

Конверсионная эффективность —

СВЕТОВОЙ ВЫХОД –

Световой выход – это количество фотонов, выходящих из кристалла за единицу времени на единицу площади поперечного сечения кристалла и на единицу угла. Световой выход зависит от многих факторов: от материала кристалла, от его геометрии, от угла падения света, от длины волны излучения, от температуры и т.д.

Световой выход кристаллов можно измерить с помощью фотодиода или фотопластинки. При измерении с помощью фотодиода необходимо знать спектральную чувствительность фотодиода. При измерении с помощью фотопластинки необходимо знать чувствительность фотопластинки.

Световой выход кристаллов можно также измерить с помощью фотометра. Фотометр измеряет световой поток, который падает на его фоточувствительный элемент. Если известен коэффициент пропускания кристалла, то можно рассчитать световой выход кристалла.

Световой выход кристаллов можно также измерить с помощью фотопластинки. При измерении с помощью фотопластинки необходимо знать чувствительность фотопластинки.

Световой выход кристаллов можно также измерить с помощью фотодиода. При измерении с помощью фотодиода необходимо знать спектральную чувствительность фотодиода.

Световой выход кристаллов можно также измерить с помощью фотометра. Фотометр измеряет световой поток, который падает на его фоточувствительный элемент. Если известен коэффициент пропускания кристалла, то можно рассчитать световой выход кристалла.

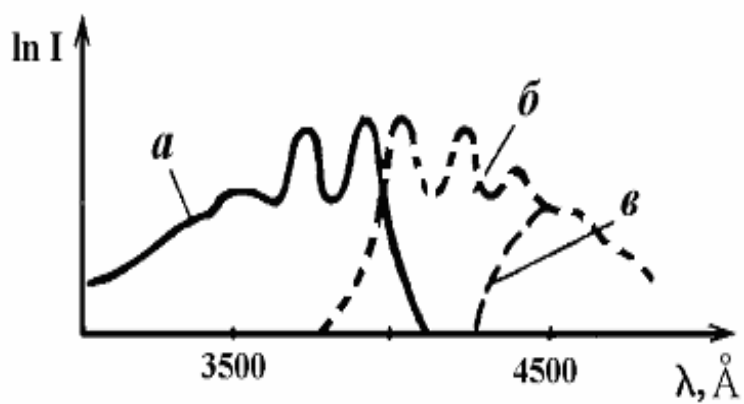
NaI)

CsI,

(α-

(

.2



.2.

() - () () ,

t c

I

$$I(t) = I_0 e^{-t/\tau} \quad (1)$$

τ -

e ,

ВЫСВЕЧИВАНИЯ

ВРЕМЕНЕМ

. 1

(ZnS, NaI),

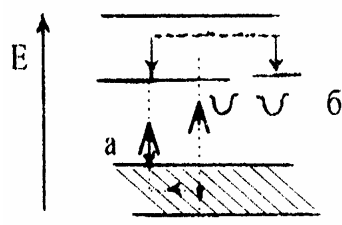
неорганического кристалла

« »

«...» (3).

«...»,

(«...»)

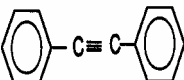
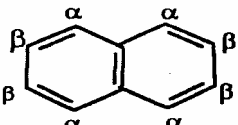
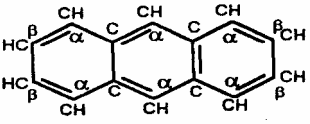
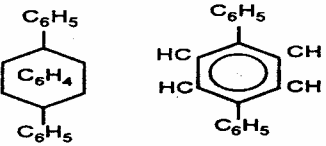


Незаполненная зона проводимости

Запрещенная зона

Заполненная, валентная зона

3.

	$\frac{1}{\lambda^3}$	%	$\lambda_{\max}, \text{Å}$	ϵ
ZnS(Ag)	4,10	20,0	4500	10^{-5}
NaI(Tl)	3,67	8,0	4100	$2,3 \cdot 10^{-7}$
CsI(Tl)	4,51	3,6	5650	$1,0 \cdot 10^{-6}$
(1,2-), 14 12	1,16	2,0	4100	$6,0 \cdot 10^{-9}$
$C_{14}H_{10}$ ($H_5C_6-C \equiv C-C_6H_5$ 	1,18	1,5	3900	$4,0 \cdot 10^{-9}$
$C_{10}H_8$ 	1,15	0,4	3450	$(7-8) \cdot 10^{-8}$
A $C_{14}H_{10}$ 	1,25	4,0	4450	$2,7 \cdot 10^{-8}$
P- ($C_{18}H_{14}$, , 5 /) 	0,86	1,5	3800	$2,0 \cdot 10^{-9}$
P- $C_{18}H_{14}$, (-)	1,10	1,0	3800	$2,0 \cdot 10^{-9}$

органических сцинтилляторах

/2,3/.

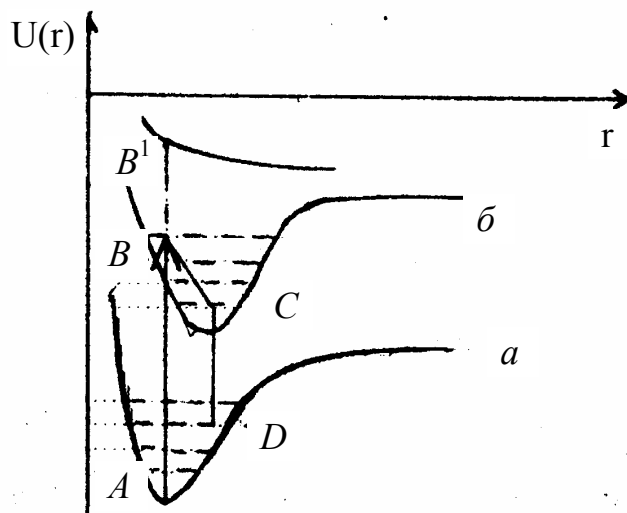
10^{-12}),

$10^{-11}-10^{-12}$)

r

(a)

(b).



4.

a -

; b -

AB.

B

C.

(CD)

(C-D)

(B-A).

(10^{-8} - 10^{-9})

а б.

B^1

Газовые сцинтилляторы

() .

(, , ,) $\sim 10^8$ с

2. Фотоумножители

() -

()

-93 (. .1) 14

: 2,

3,

б.

(~50 /) .

100

10

3500-5500 А.

(. . .1).

$$U_{\kappa}$$

$\sigma -$

$$\kappa = q \sigma^n, \tag{2}$$

$q -$

; $n -$

$\sigma = 2-4,$

-93

$= 10^4 - 10^8 .$

(2)

σ

σ

σ

$$\sigma = A U e^{-U/U_0}, \tag{3}$$

U-
 , A U₀ - , - 93 U₀ ≅ 600 .
 :

$$\kappa = qA^n U^n e^{-nU/U_0} \quad (4)$$

$$\ln \kappa = C + n \left(\ln U - \frac{U}{U_0} \right), \quad (5)$$

C - U -
 , U_κ
 (U ≤ 1000), $\frac{U}{U_0} \ll 1$, $\frac{U}{U_0}$
 ln - ln U_κ c

/1/.

3. Характеристики сцинтилляционного детектора

Временные характеристики.

« C_a » (1).

τ (1),

R_a

$\tau \ll R_a C_a,$

C_a

$$A_{(t)} = -\frac{Q}{C_a} (1 - e^{-t/\tau}), \quad (6)$$

Q -

$$A_0 = \frac{Q}{C_a}$$

C_a

R_a, \dots

$$A_{(t)} = A_0 \exp(-t/R_a C_a) \quad (7)$$

T,

$T \sim R_a C_a.$

$R_a C_a \sim \tau$

$A_0.$

(6)

τ

).

(-

$$10^{-9} - 10^{-8}$$

$$(>10^{-7} \text{ с}),$$

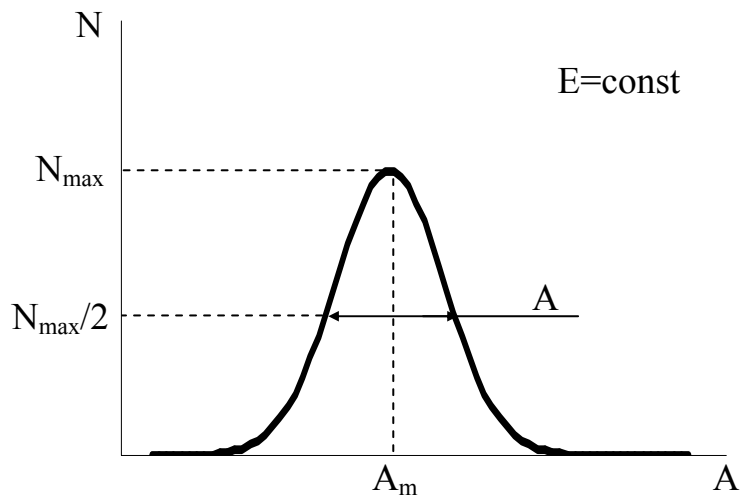
$$(1-2) \cdot 10^{-10}$$

Энергетическое разрешение.

(
).

$$A = \frac{Q}{C_a} = \frac{n_0 e k}{C_a} = E \frac{\alpha \beta \varepsilon}{C_a} e k \quad (8)$$

$n_0 = E \alpha \beta \varepsilon -$
 $C_a -$, $e -$, $k -$,
 1 , $\alpha -$
 $C_a -$, $\beta -$, $\varepsilon -$
 e
 A
 $(-)$.



.5.
 N - (+d) ;

$$R = \frac{\Delta A}{A_m}$$

$$R = \Delta A / A_m. \quad (9)$$

$$A \sim E,$$

$$R = \Delta E/E \quad (10)$$

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{v}}$$

$$E \approx 600 \quad v \sim 10^4 \\ (\delta \approx 1\%)$$

(n_0)
 ~ 600) 30% 50% $(v \sim 10^4, 6\% -$
 $\sim 10\% -$ 100)
 ()

~ 600 NaI(Tl) -93
 7%

$$R = \frac{\Delta E}{E} = \left(B + \frac{D}{E}\right)^{1/2}, \quad (11)$$

$$R = const/\sqrt{E}. \quad (12)$$

Эффективность регистрации.

Эффективность -

100%,

γ -

d с (γ -

)

$$W = 1 - e^{-\mu d} = 1 - e^{-(\sigma_\phi + \sigma_\kappa + \sigma_n) N_0 d}, \quad (13)$$

$\sigma_\phi, \sigma_\kappa, \sigma_n$ (с⁻²) -

N_0 (с⁻³) -

$1 - e^{-\mu d}, \mu = (\sigma_\phi + \sigma_\kappa + \sigma_n) N_0$ (с⁻¹) -

γ -
 γ -

γ -

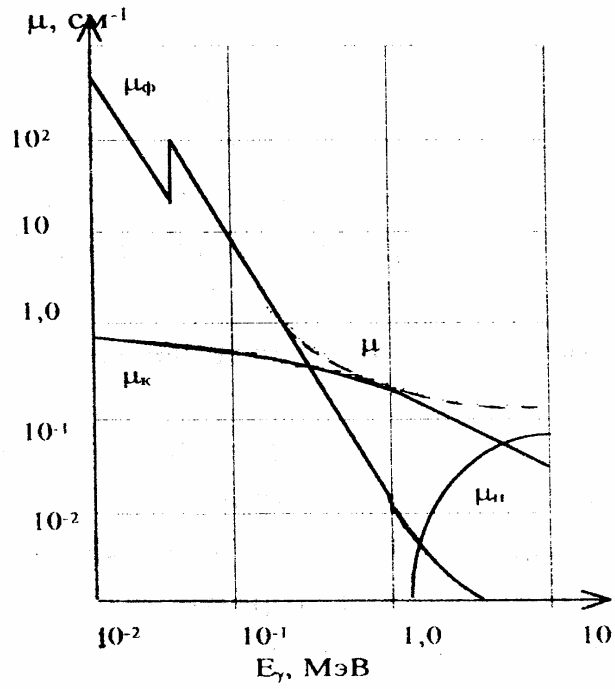
$\sigma_\phi, \sigma_\kappa, \sigma_n$

.6

μ

NaI(Tl)

γ



.6.

γ

$\mu -$
 $\mu -$

μ

$\mu -$

NaI(Tl)

$(\sigma_{\phi} \sim Z^5).$

γ

NaI(Tl).

γ

$\sigma_{\kappa} \sim Z \quad \sigma_{\tau} \sim Z^2.$

γ

γ

γ

γ

γ

4. Однокристалльный гамма-спектрометр

(. . .12).

«

».

моноэнергетического

.7

- $^{137}_{55}\text{Cs}$ ($E_\gamma=662$; . . . 8).

NaI(Tl).

A,

(A, A+dA).

E_γ

$E = E_\gamma - E_k$, $E_k = 28$

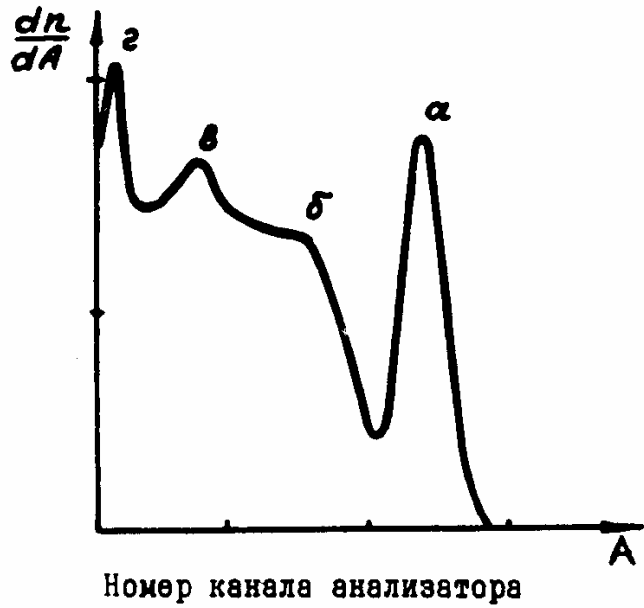
$E_\gamma \geq 100$

E_e

θ

$$E_e = E_\gamma \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{E_\gamma}{mc^2}(1 - \cos \theta)} \right) \quad (14)$$

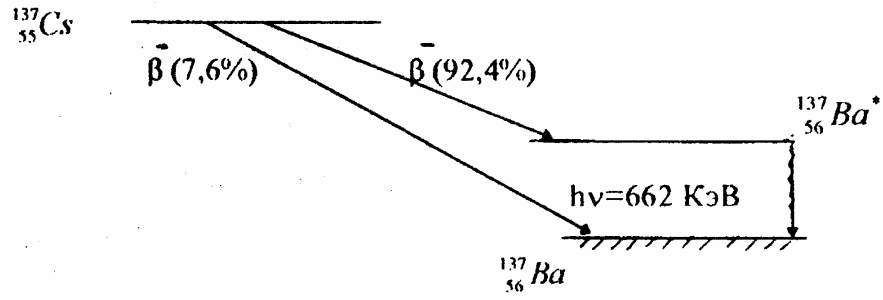
E_γ



7. $^{137}_{55}\text{Cs}$,
 - NaI(Tl)
 40x40 ; -
 ; -
 Ba (33)

($E_\gamma > mc^2$).
 $E_\gamma \left(1 + \frac{2E_\gamma}{mc^2} \right)^{-1}$, . . . $\frac{mc^2}{2} \approx 250$

$E_\gamma > mc^2$, $\theta = 180^\circ$
 « E_γ »
 $\frac{1}{2}mc^2$, . . . 250
 33 ,
 662 (. 8).



8. $^{137}_{55}\text{Cs}$, γ , $E_\gamma=662$
 $^{137}_{56}\text{Ba}$, β^- , $^{137}_{55}\text{Cs}$

$E_\gamma > 1,02 \quad (2mc^2),$

1,02

0,51

$E_\gamma,$

0,51

1,02

()

(A)

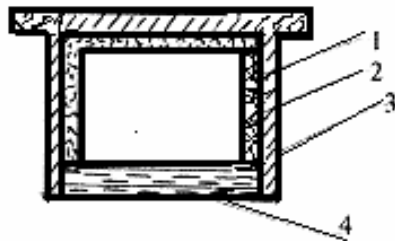
(E).

()

5. Описание установки

MgO,

NaI(Tl) (.9)
;



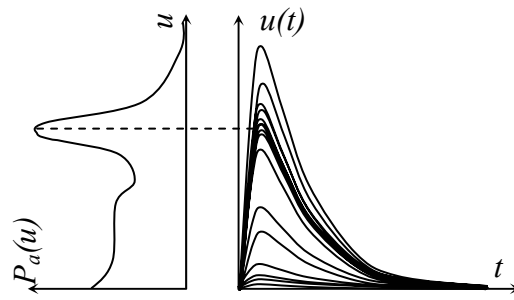
.9. NaI(Tl) : 1 - NaI(Tl);
2 - MgO; 3 - ; 4 -

~100

0.

γ -

(.10).



a

.10.

()

()

1024),

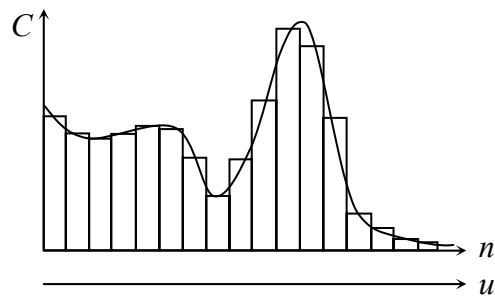
(),

1.

().

(.11).

, $n \sim u$,



.11.

γ -

.12.



. 12. -

USB-

«Si».

(«Сброс»), («Пуск», «Стоп»),

Si.

«Файл/Сохранить как...»

Si;

«Файл/Экспорт»

xls

ods

(EXCEL,

);

- «Файл/Экспорт» txt
 , NPZ1C (. ,
).
 Si NPZ1C
 ;

EXCEL

6. Математическая обработка данных

, - UNIK-4
 (Si), NPZ1C.
 , - ,
 .
 ó ,
 , .

: «Исходные
 данные», «Аппроксимация пиков», «Градуировка» «R%(E) –
 Разрешение».

6.1. Исходные данные

, , ()
 Si.
 «Исходные данные»
 (),
 –
 (),
 ().

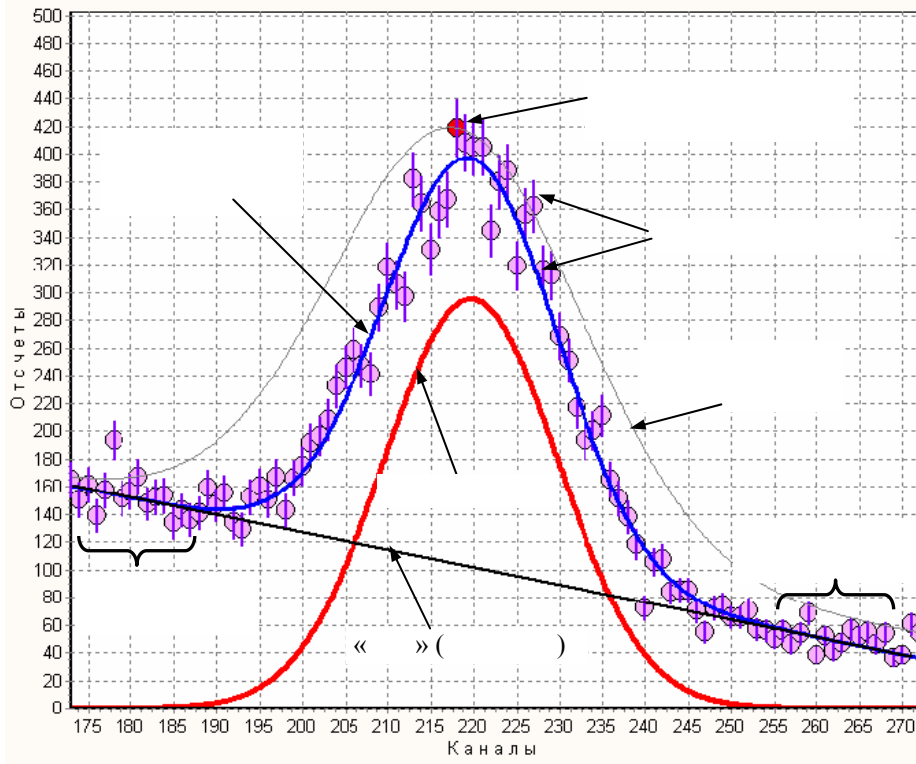
6.2. Статистическая обработка данных

«Аппроксимация пиков»;

«Синглет» (γ -
) «Дублет» (),
 () (« »
 « »
 , γ - ,
).

$$Y(p) = A_1 + A_2 p + A_3 e^{-\frac{(p-p_m)^2}{2\sigma^2}},$$

p - ()
);
 p_m - ;
 σ - ,
 $fwhm=2.355\sigma$;
 A_1, A_2 - ,
 ;
 A_3 - .
 (- ,
).
 « -
 ».
 A_1 A_2 -
 .
 ,
 () .



. 13.

«Выполнение аппроксимации»

P_m –
 $fwhm$ –
 $Summ$ –

;
 E – ;
 R –
 $R\%$ –

($fwhm$) ;

() .

$E, R, R\%$ () .

() .

6.3. Градуировка спектрометра по энергиям.

«Аппроксимация пиков».

«Ввод энергии».

«Градуировка».

$$E = a + b \cdot p,$$

6.4. Зависимость относительного разрешения от энергии

«Аппроксимация пиков»

$$E \cdot R\% (\quad) .$$

Разрешение».

«R%(E) -

Сп.

7. Порядок выполнения работы

«Задача 1 спектрометр».

«Задача 1 обработка».

EXCEL

«Open office 3,2».

ВАЖНО:

- 1
(120 γ)
2

-

-

-

-

(20) – 10 ~ 30 ;
()

У П Р А Ж Н Е Н И Е 1

()

,

,

.

,

(Si). -

.

$P_m (N)$
 U (800÷1800 -)

$P_m = F(U)$. ,

K .

,

$A = F(U)$, $A = P_m / K$.

, . . .

U

$K = 8$,

100÷150

() .

Si ()
(N)

U , K $P_m (N)$ (. 2)

(EXCEL, ORIGIN .),
 (. 1.1).

2

1-

	U	$N(P_m)$	K	$N(P_m)/K$	
1					
2					
3					

NPZ1C.

Si

U K .

U (

K).

NPZ1C
 $U, K P_m$

$$A_{cb.z.} = f(U_K)$$

(2 3)

(Z1Dat, Z1EGrad, Z1RE;
).

У П Р А Ж Н Е Н И Е 2

’ : NaI(Tl), CsI(Tl), ’ ,
() –
(« »).
необходимо
снимать высокое напряжение ()
).

- , ¹³⁷₅₅Cs .
— , ’ ,
- ,
· :
NaI(Tl), , « » (. 1 «
»).

- , , ¹³⁷₅₅Cs
·
(« », 8 ,) 2 –
NaI(Tl).
« »,

8.

U

(400)

N,

« NaI(Tl), $\left(\begin{matrix} U \\ =8 \end{matrix} \right)$, « $\left(\begin{matrix} \\ =2 \end{matrix} \right)$ »,

$\frac{N}{N} / \frac{N}{N}$, $\frac{N_{NaI}}{N}$ ($\frac{N_{NaI}}{N}$) NaI(Tl) - N_{NaI} . $\left(\begin{matrix} ^{137}_{55}Cs \\ (N) \end{matrix} \right)$

1.

« $\left(\begin{matrix} ^{137}_{55}Cs \\ NaI(Tl) \end{matrix} \right)$ U.

- $\left(\begin{matrix} ^{137}_{55}Cs \\ \end{matrix} \right)$ « »

УП РА Ж Н Е Н И Е 3

($\left(\begin{matrix} \\ \end{matrix} \right)$)

U

~ 3-5%.

NaI(Tl).
 NaI(Tl)
 1. - $^{60}_{27}\text{Co}$.
 U =4.
 ()
 (~800)
 - ($^{60}_{27}\text{Co}$).
 : 100211 (
 - 10 2011).
 - $^{137}_{55}\text{Cs}$, $^{181}_{72}\text{Hf}$ X.
 “ ” - (Cs100211, Hf100211
 X100211).

Обработка результатов

1. - ().
 1.1. E(N) -
 -
 -
 -
 - $^{137}_{55}\text{Cs}$ - 661.7 В; $^{60}_{27}\text{Co}$ - 1173.2 В 1332.5 В; $^{181}_{72}\text{Hf}$ -
 133.3 В, 345.9 В 482.1 В.

$^{60}_{27}\text{Co}$, $^{137}_{55}\text{Cs}$ $^{181}_{72}\text{Hf}$

1.2.

X.

3

2. разрешающую способность $R_{\text{экс}}(E)$

${}^{60}_{27}\text{Co}$, ${}^{137}_{55}\text{Cs}$, ${}^{181}_{72}\text{Hf}$ X.

$R_{\text{экс}}(E)$ ()

$$R_m(E) \approx \text{const} / \sqrt{E} \quad \text{const} \quad R_{\text{экс}}(E)$$

$$() \quad R_m(E)$$

$$(\quad , \quad =1173.2 \quad - \quad {}^{60}_{27}\text{Co}) \quad \therefore$$

$$R_m(E) = R_{\text{экс}}(E); \quad \text{const} / \sqrt{E} = R_{\text{экс}}(E); \quad \text{const} = R_{\text{экс}}(E_{\text{Co}}) \cdot \sqrt{(E_{\text{Co}})}$$

$$R_{\text{экс}}(E) \quad R_m(E)$$

NaI(Tl)

2

	γ -	
$^{22}_{11}\text{Na}$	1274.5	2,6
$^{22}_{11}\text{Na}$	511.0	
$^{54}_{25}\text{Mn}$	84.0	310
$^{60}_{27}\text{Co}$	1173.2	5,24
$^{60}_{27}\text{Co}$	1332.5	5,24
$^{55}_{30}\text{Zn}$	111.0	243,5
$^{95}_{41}\text{Nb}$	745.0	35
$^{113}_{50}\text{Sn}$	396.0	118
$^{137}_{55}\text{Cs}$	661.7	30
$^{181}_{72}\text{Hf}$	133.3	46
$^{181}_{72}\text{Hf}$	345.9	46
$^{181}_{72}\text{Hf}$	482.1	46
$^{203}_{80}\text{Hg}$	279.0	46,9

EXCEL.

- «Open office 3,2».

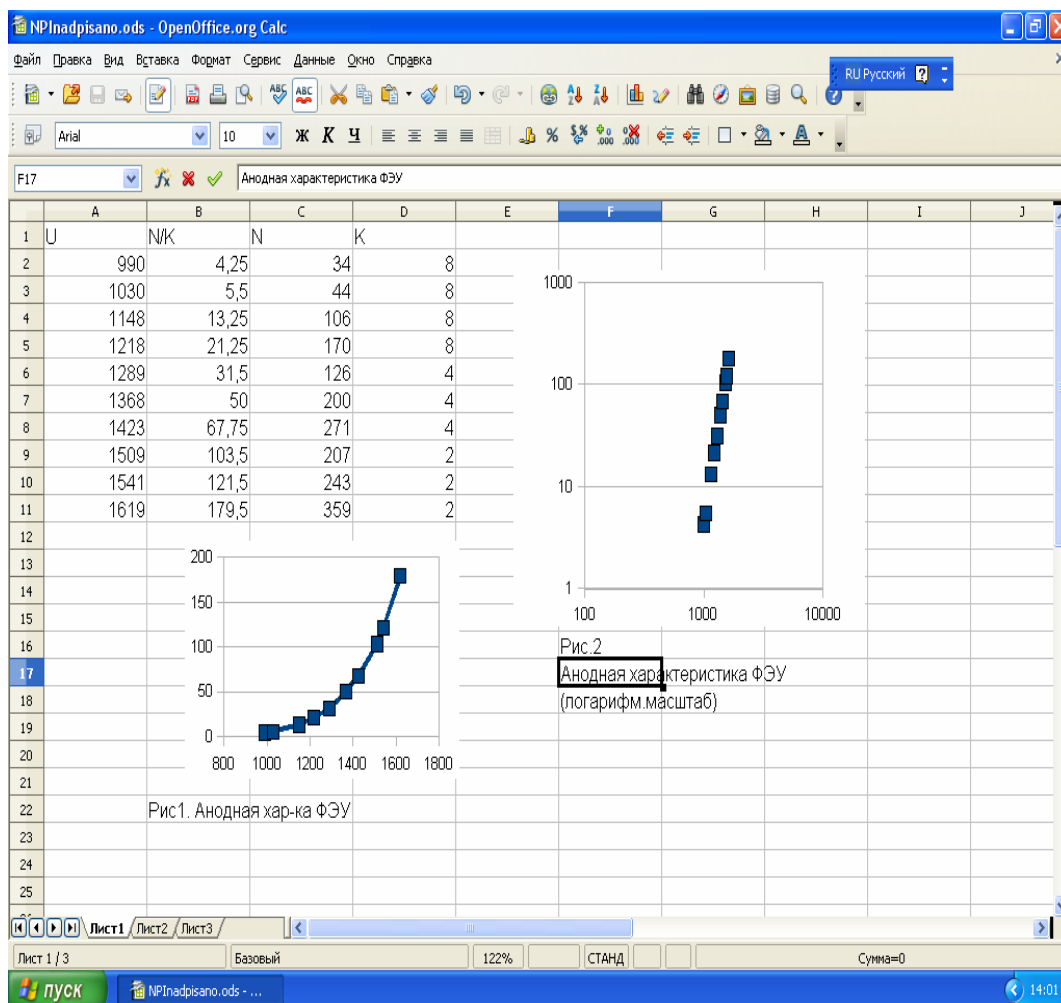
(U, N K) EXCEL.
A U;
C - N; D -
K.

- B N/K. :
=C1/D1. - « » -
- « » - « » -
B -
« » - « ».

(U) (N/K):
- A B -
« »; « ».
- « XY» -
- « ».

« »,
, « ».
« »
» -

Y.



.14. EXCEL.

:

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

