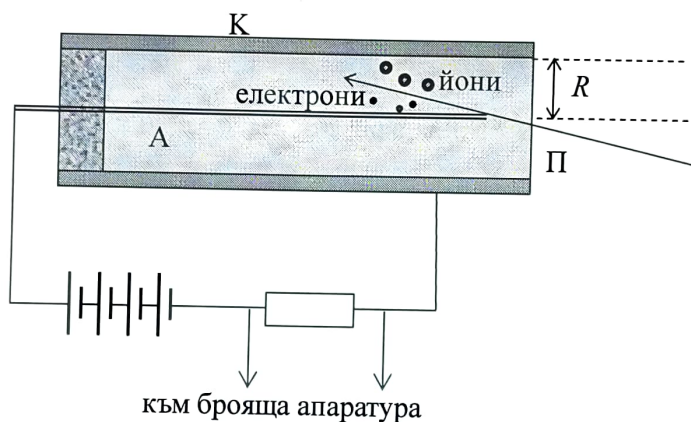


## Експериментална задача 1

### Гайгер-Мюлеров брояч

Гайгер-Мюлеровият брояч (фиг.1) е най-простият детектор за йонизиращи лъчения. Състои се от електрически изолирани дебелостенна метална тръба (катод К) и тънка метална нишка по оста на цилиндъра (анод А), които са свързани към източник на високо напрежение. Тръбата е пълна с разреден газ и от единия си край е затворена с тънко метално прозорче (П), през което високоенергетичните заредени частици на лъчението (алфа или бета) попадат в тръбата. Всяка минала през прозорчето частица йонизира газа, което води до краткотраен токов импулс във веригата и съответно импулс на напрежението върху товарното съпротивление. Импулсът се регистрира от електронна брояща апаратура.



Фиг. 1. Схематично устройство на Гайгер-Мюлеров брояч

Времето, за което след попадане на частица във веригата протича ток и броящата апаратура регистрира електричен импулс, се нарича **мъртво време  $\tau$**  на брояча. Ако в продължение на мъртвото време в брояча попадне друга частица, нейният токов импулс се „слива“ с предишния импулс и съответно новата частица няма да бъде регистрирана. Затова броят  $N$  на регистрираните за време  $t$  импулси е по-малък от действително попадналите в брояча частици и се дава с формулата:

$$(1) \quad N = \frac{\Phi t}{1 + \Phi \tau}$$

където  $\Phi$  е падащият поток частици, т.е. средният брой частици, минаващи за единица време през прозорчето на брояча. Размерността на  $\Phi$  е  $s^{-1}$ .

В тази задача се разглежда Гайгер-Мюлеров брояч с радиус на прозорчето  $R = 1.0$  cm. С помощта на симулационния софтуер **gmcounter.exe** може да се задава време на измерване  $t \in [10\text{ s}; 100\text{ s}]$  с точност до 1 s. Всяка въведена дробна стойност от този интервал се закръгля до цяло число секунди.

## Част 1. Определяне на мъртвото време на брояча

Разполагате с пет източника на бета-лъчение с известна активност, съответно  $A = 2.1, 5.0, 10.3, 15.2, 17.9 \text{ Bq}^*$ . Източниците може да бъдат поставяни, само по един, непосредствено до прозорчето на брояча. Може да приемете, че източниците са точкови и излъчват изотропно, т.е. с равна вероятност във всички посоки на пространството. Източниците са от радиоактивен изотоп с период на полуразпадане, много по-голям от времето на експеримента. Затова приемете, че активността на източниците не се мени по време на контролната работа.

Когато от главното меню на симулационната програма изберете **Part 1**, на екрана се появява списък, от който можете да изберете източник, като зададете съответния му номер (от 1 до 5). Ако въведете 0, се връщате в главното меню. След като изберете източник, трябва да въведете времето  $t$  за броене на импулсите. Когато измерването завърши, на екрана се изписва регистрираният брой  $N$  импулси и програмата се връща към менюто за избор на източник.

|      |                                                                                                                    |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (1a) | Направете измервания (симулации) на броя импулси, които броячът регистрира за определено време от всеки източник.  |
| (1b) | Представете данните таблично и графично, като използвате помощни променливи, между които се очаква линейна връзка. |
| (1c) | Определете мъртвото време на брояча и оценете грешката на вашето измерване.                                        |

\* Активност на източник е средният брой радиоактивни разпадания за единица време в източника:  $A = dN/dt$ . Единицата за активност в SI е **бекерел (Bq)**, която е еквивалентна на  $s^{-1}$  т.е. на едно разпадане в секунда.

*Упътване.* Имайте предвид, че броят  $N$  регистрирани частици за дадено време търпи неизбежни случайни флуктуации около определена средна стойност  $\bar{N}$ . Относителното случайно отклонение от средната стойност е:  $|N - \bar{N}|/\bar{N} \propto 1/\sqrt{\bar{N}}$ . Тази връзка може да ви помогне да изберете нужното време на измерване, така че грешката на измерване да бъде в определена граница.

## Част 2. Определяне на периода на полуразпадане на урана

Разполагате с радиоактивен източник, който съдържа  $m = 5 \text{ mg}$  изотоп на урана  $^{238}_{92}\text{U}$ . Уран-238 търпи алфа-разпадане с много голям период на полуразпадане, поради което в рамките на експеримента количеството на изотопа практически не се мени. Приемете, че източникът е точков и алфа-частиците се излъчват равномерно (изотропно) в цялото пространство. Източникът се намира върху оста на брояча и може да бъде поставян на определено разстояние  $d \in [0.5 \text{ cm}; 5.0 \text{ cm}]$  от прозорчето на брояча с точност  $0.1 \text{ cm}$  ( $1 \text{ mm}$ ). В тази задача използвайте менюто **Part 2** на симулационната програма. Чрез него можете да задавате време  $t$  на измерването в секунди и разстоянието  $d$  от източника до

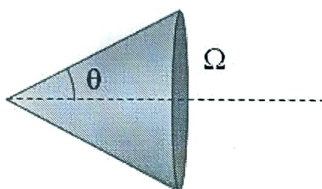
прозорчето в сантиметри. За да се върнете в главното меню, въведете отрицателно разстояние или отрицателно време на измерване.

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (2a) | Като използвате закона за радиоактивно разпадане, получите връзка между активността $A$ на източника и масата на радиоактивния изотоп. Като параметри в зависимостта може да участват моларната маса $\mu$ на изотопа, неговият период на полуразпадане $T_{1/2}$ и числото на Авогадро: $N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .                   |
| (2b) | Чрез измервания (симулации) при различни разстояния $d$ , определете разстоянието $L$ на пробег на алфа-частиците във въздуха. Пресметнете кинетичната енергия $E$ на отделените при разпадането на урана алфа-частици, като използвате връзката за дължината на пробег на алфа-частиците във въздуха:<br>$L/\text{cm} = 0.3(E/\text{MeV})^{\frac{3}{2}}$ |
| (2c) | Чрез измервания (симулации) при различни разстояния $d < L$ , определете активността $A$ на източника.                                                                                                                                                                                                                                                    |
| (2d) | Въз основа на вашите измервания пресметнете в години времето на полуразпадане $T_{1/2}$ на ${}^{238}_{92}\text{U}$ и оценете грешката на получения резултат.                                                                                                                                                                                              |

*Полезна математика.* Пространственият ъгъл  $\Omega$ , съответстващ на конус с ъгъл  $\theta$  между оста и образуващата на конуса (фиг. 2) е:

$$\Omega = 2\pi(1 - \cos \theta)$$

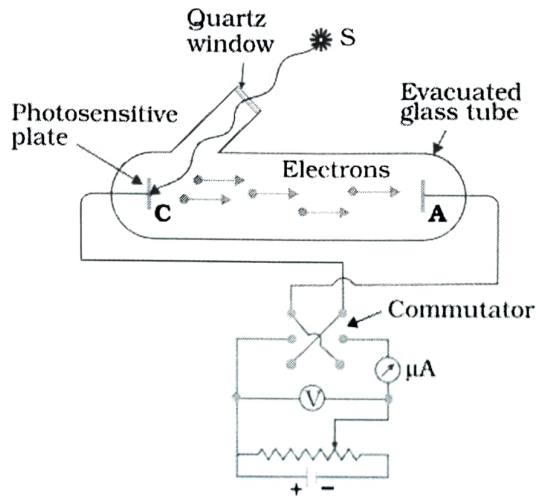
Пространственият ъгъл, съответстващ на цялото пространство е  $4\pi \text{ strad}$  (стерадиана).



Фиг. 2

## Външен фотоэффект

Сглобена е следната верига (вижте схемата):



За светлинен източник е използвана живачна лампа. С помощта на монохроматор нейният спектър се филтрира и се създава монохроматична светлина с определена дължина на вълната, която осветява катода (единия електрод) на вакуумирана тръба. Направени са измервания на зависимостта на тока през вакуумираната тръба от напрежението на електродите за 5 различни дължини на вълните и при 2 мощности на падащата светлина за всяка дължина на вълната. Данните са дадени в таблицата по-долу.

**Задача 1** Използвайки данните от таблицата определете графично отделителната работа  $A$  (в eV) на използвания фотокатод в експеримента. [7.0 т.]

**Задача 2** Квантова ефективност (или квантов добив)  $QE$  за фотоелектричния ефект се дефинира като отношението на избитите от електрода електрони към броя на падналите върху него фотони. Използвайки данните от таблицата, начертайте на графика зависимостта на квантовата ефективност  $QE$  от дължината на вълната (в nm) на използваната в експеримента монохроматична светлина. При каква дължина на вълната  $\lambda_{QE=0}$  квантовата ефективност трябва да стане нула според данните от експеримента? [7.0 т.]

**Задача 3** От дадената таблица за стойността на  $A$  (в eV) за различни химични елементи определете използвания метал за катод в този експеримент. [1.0 т.]

*Фундаментални константи:*

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$$

константа на Планк

$$c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

скорост на светлината във вакуум

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

заряд на електрона

| $\lambda, \text{nm} \rightarrow$ | 365,5            |                  | 404,7            |                  | 435,8            |                  | 546,1            |                  | 578,0            |                  |
|----------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| P, W $\rightarrow$               | 0,961            | 1,73             | 2,44             | 4,40             | 5,56             | 10,00            | 5,45             | 9,80             | 1,23             | 2,30             |
| U, V $\downarrow$                | I, $\mu\text{A}$ | I, $\mu\text{A}$ | I, $\mu\text{A}$ | I, $\mu\text{A}$ | I, $\mu\text{A}$ | I, $\mu\text{A}$ | I, $\mu\text{A}$ | I, $\mu\text{A}$ | I, $\mu\text{A}$ | I, $\mu\text{A}$ |
| -1,60                            | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                |
| -1,50                            | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                |
| -1,40                            | 2                | 4                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                |
| -1,30                            | 7                | 12               | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                |
| -1,20                            | 12               | 22               | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                |
| -1,10                            | 17               | 29               | 2                | 3                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                |
| -1,00                            | 22               | 39               | 10               | 19               | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                |
| -0,90                            | 27               | 47               | 18               | 34               | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                |
| -0,80                            | 32               | 56               | 27               | 50               | 25               | 45               | 0                | 0                | 0                | 0                |
| -0,70                            | 40               | 71               | 36               | 66               | 50               | 90               | 0                | 0                | 0                | 0                |
| -0,60                            | 50               | 89               | 46               | 84               | 75               | 135              | 0                | 0                | 0                | 0                |
| -0,50                            | 62               | 111              | 58               | 106              | 105              | 185              | 0                | 0                | 0                | 0                |
| -0,40                            | 73               | 132              | 70               | 128              | 140              | 250              | 0                | 0                | 0                | 0                |
| -0,30                            | 88               | 160              | 83               | 152              | 210              | 370              | 3                | 5                | 0                | 0                |
| -0,20                            | 105              | 190              | 109              | 192              | 295              | 535              | 15               | 27               | 0                | 0                |
| -0,10                            | 125              | 222              | 139              | 247              | 425              | 760              | 30               | 54               | 3                | 5                |
| 0,00                             | 156              | 281              | 185              | 330              | 700              | 1270             | 50               | 90               | 6                | 11               |
| 0,10                             | 192              | 347              | 240              | 430              | 980              | 1750             | 90               | 160              | 10               | 18               |
| 0,20                             | 233              | 417              | 300              | 535              | 1200             | 2160             | 140              | 250              | 15               | 27               |
| 0,30                             | 270              | 487              | 360              | 640              | 1370             | 2460             | 210              | 380              | 23               | 40               |
| 0,40                             | 290              | 522              | 422              | 740              | 1520             | 2745             | 300              | 540              | 33               | 60               |
| 0,50                             | 303              | 541              | 505              | 900              | 1620             | 2910             | 420              | 760              | 55               | 100              |
| 0,60                             | 313              | 562              | 620              | 1110             | 1680             | 3030             | 760              | 1370             | 85               | 150              |
| 0,70                             | 321              | 578              | 700              | 1270             | 1730             | 3115             | 1080             | 1940             | 132              | 240              |
| 0,80                             | 325              | 584              | 750              | 1345             | 1760             | 3155             | 1180             | 2120             | 230              | 410              |
| 0,90                             | 328              | 590              | 775              | 1390             | 1785             | 3220             | 1250             | 2240             | 245              | 440              |
| 1,00                             | 330              | 595              | 800              | 1440             | 1810             | 3250             | 1280             | 2300             | 250              | 450              |
| 2,00                             | 335              | 600              | 825              | 1488             | 1830             | 3280             | 1335             | 2400             | 256              | 460              |
| 3,00                             | 337              | 605              | 835              | 1500             | 1840             | 3310             | 1360             | 2450             | 261              | 465              |
| 4,00                             | 340              | 610              | 840              | 1510             | 1850             | 3300             | 1380             | 2480             | 265              | 470              |
| 5,00                             | 340              | 610              | 840              | 1510             | 1850             | 3300             | 1380             | 2480             | 265              | 470              |

|    |      |    |      |    |      |    |       |    |      |     |      |
|----|------|----|------|----|------|----|-------|----|------|-----|------|
| Ag | 4.5  | Al | 4.16 | As | 3.75 | Au | 5.25  | B  | 4.45 | Ba  | 2.6  |
| Be | 4.98 | Bi | 4.31 | C  | 5    | Ca | 2.87  | Cd | 4.08 | Ce  | 2.9  |
| Co | 5    | Cr | 4.5  | Cs | 1.95 | Cu | 4.7   | Eu | 2.5  | Fe: | 4.75 |
| Ga | 4.32 | Gd | 2.90 | Hf | 3.90 | Hg | 4.475 | In | 4.09 | Ir  | 5.3  |
| K  | 2.29 | La | 3.5  | Li | 2.9  | Lu | 3.3   | Mg | 3.66 | Mn  | 4.1  |
| Mo | 4.6  | Na | 2.36 | Nb | 4.4  | Nd | 3.2   | Ni | 5.2  | Os  | 5.93 |
| Pb | 4.25 | Pd | 5.4  | Pt | 5.5  | Rb | 2.261 | Re | 4.72 | Rh  | 4.98 |
| Ru | 4.71 | Sb | 4.6  | Sc | 3.5  | Se | 5.9   | Si | 4.7  | Sm  | 2.7  |
| Sn | 4.42 | Sr | 2.59 | Ta | 4.4  | Tb | 3.00  | Te | 4.95 | Th  | 3.4  |
| Ti | 4.33 | Tl | 3.84 | U  | 3.75 | V  | 4.3   | W  | 4.8  | Y   | 3.1  |
| Yb | 2.60 | Zn | 4.2  | Zr | 4.05 |    |       |    |      |     |      |