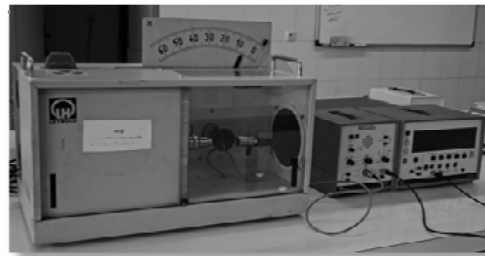


## آشکارسازی و جذب اشعه X

هدف آزمایش:



آشنایی با روش تولید اشعه X

آشنایی با روش آشکارسازی اشعه X

بررسی وابستگی شدت عبوری اشعه X به ضخامت مانع

بررسی وابستگی شدت عبوری اشعه X به عدد اتمی (نوع) مانع

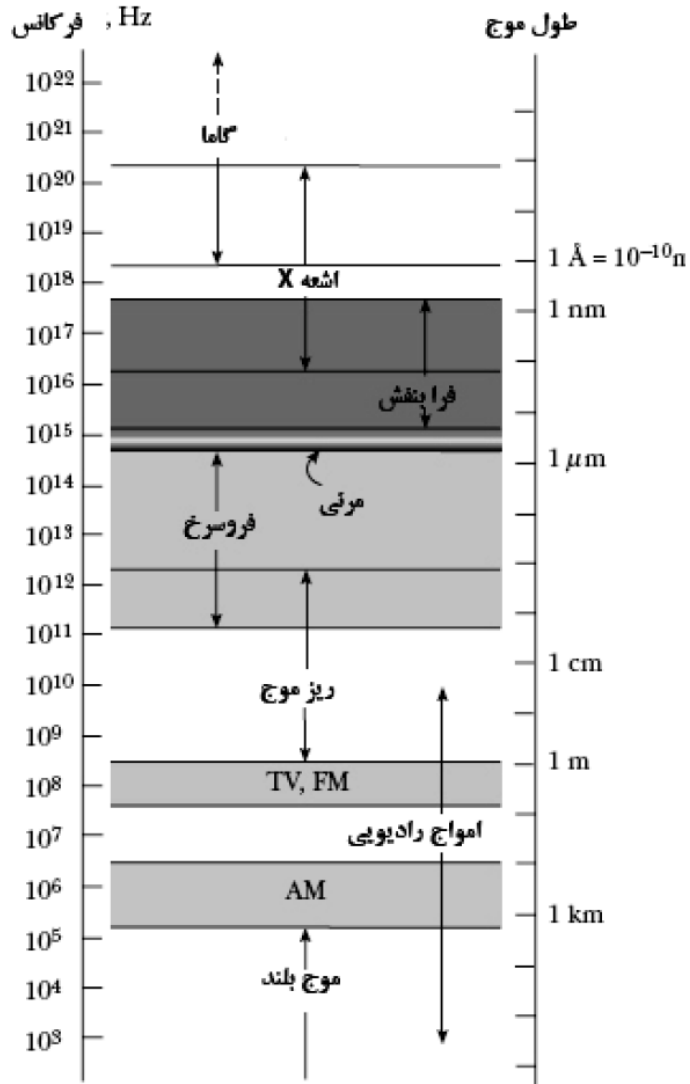
اعظم ایرجی زاد

بهار ۱۴۰۰

# سوالات آزمایش آشکارسازی و جذب اشعه ایکس

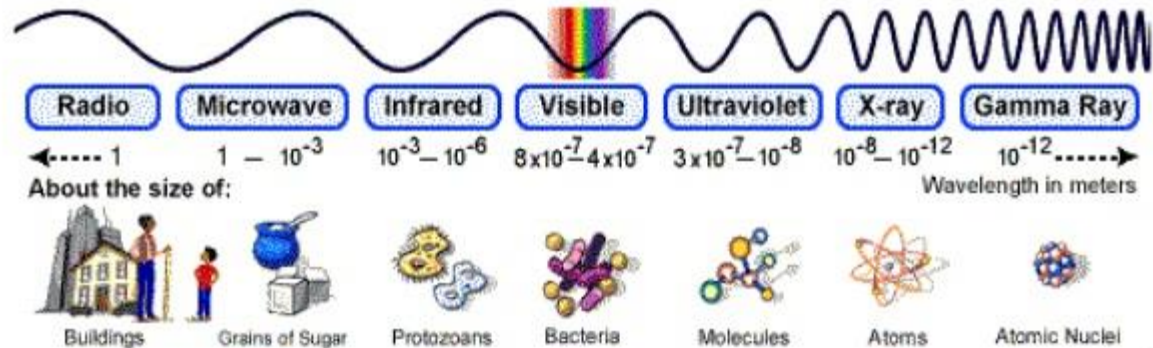
- 1- نحوه ایجاد و کاربردهای اشعه X را توضیح دهید
- 2- آشکارساز گایگر چگونه کار می کند؟
- 3- امواج الکترومغناطیسی طی چه فرآیندهایی با یک ورقه فلزی واکنش می دهند؟
- 4- شدت عبوری پرتو ایکس از ورقه فلزی چه رابطه ای با ضخامت و نوع آن ورقه دارد؟

# اشعه ایکس



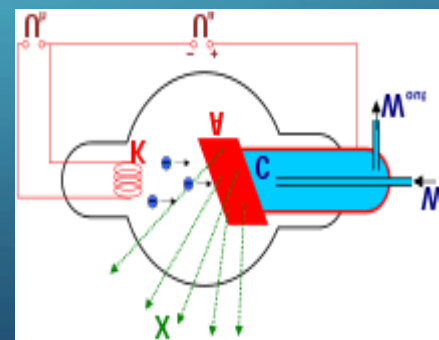
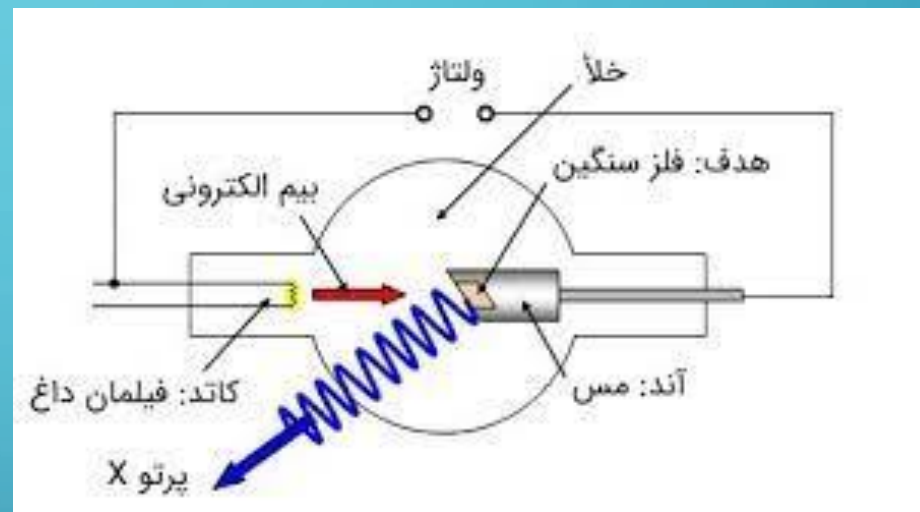
## Electromagnetic spectrum

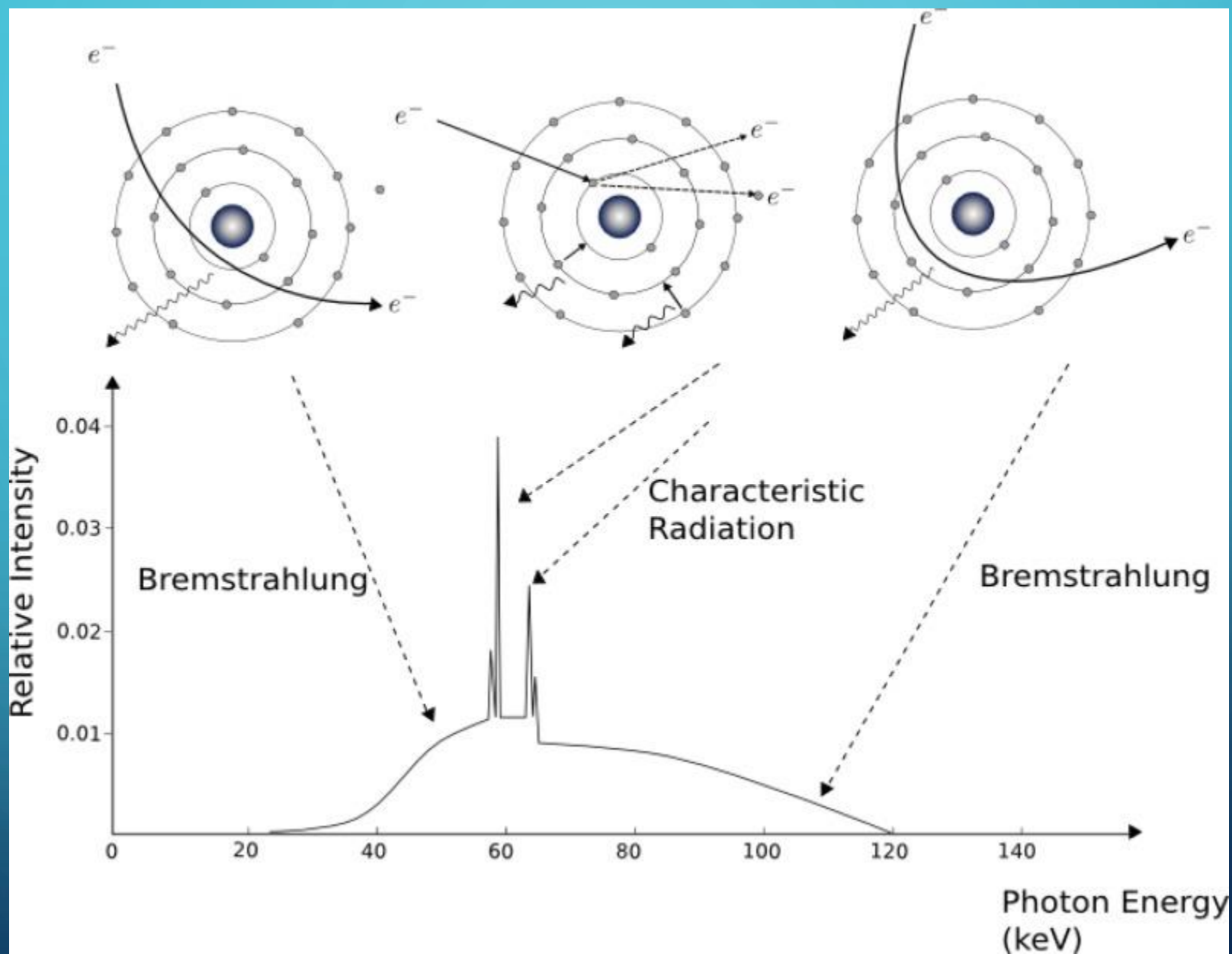
X-rays are electromagnetic radiation of exactly the same nature as light but of very much shorter wavelength



# تولید اشعه ایکس

کاتد      آنود





# X-RAY SPECTRA

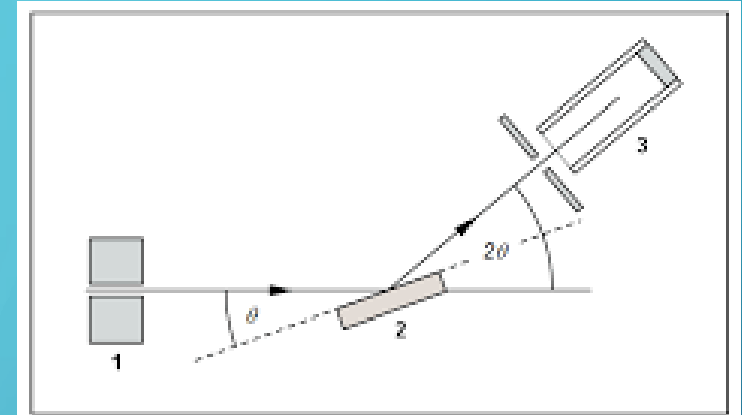
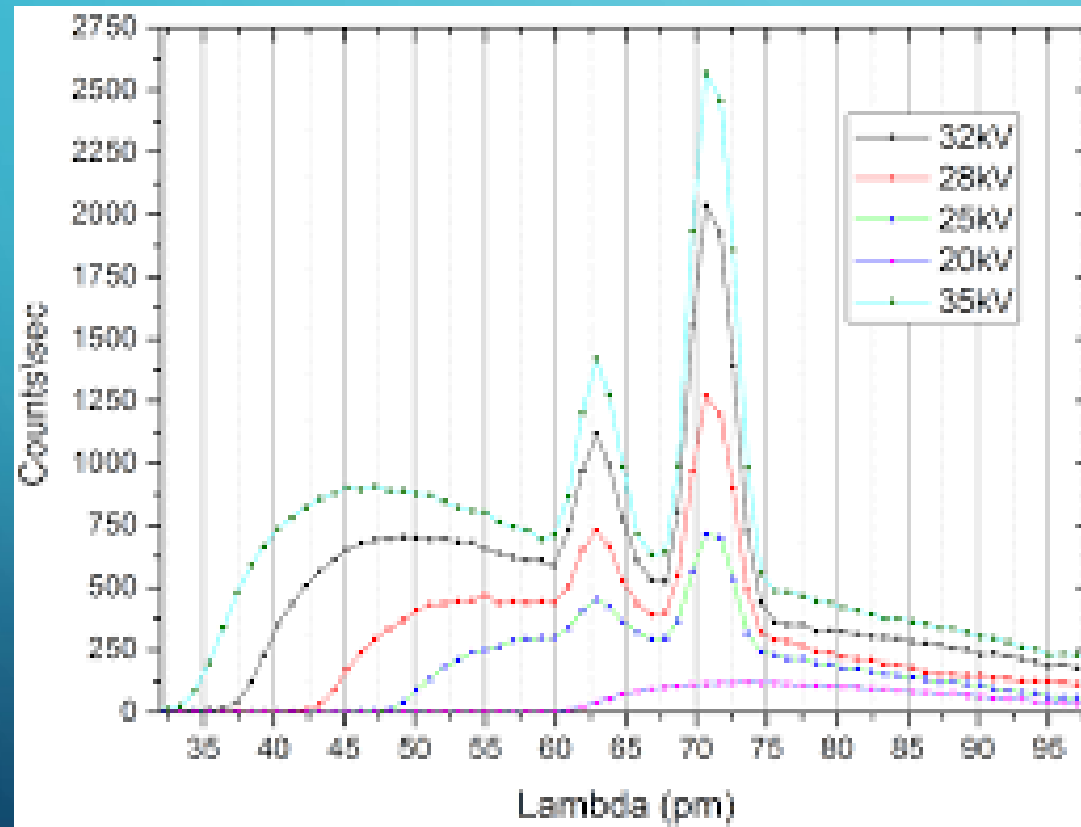
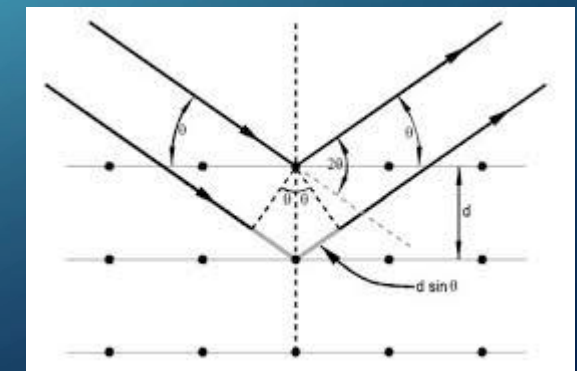


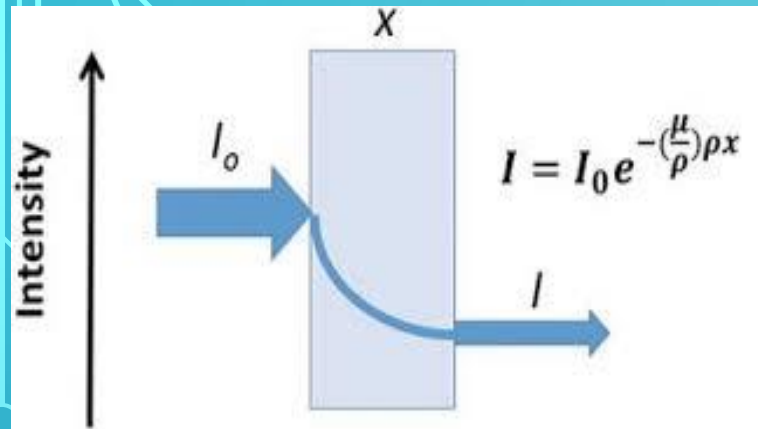
Figure 2: Diagram showing the principle of x-ray diffraction at a monocrystal and  $2\theta$  coupling between counter-tube angle and scattering angle (glancing angle).

- 1: Collimator
- 2: Monocrystal
- 3: Counter tube





### ۳- جذب اشعه X:



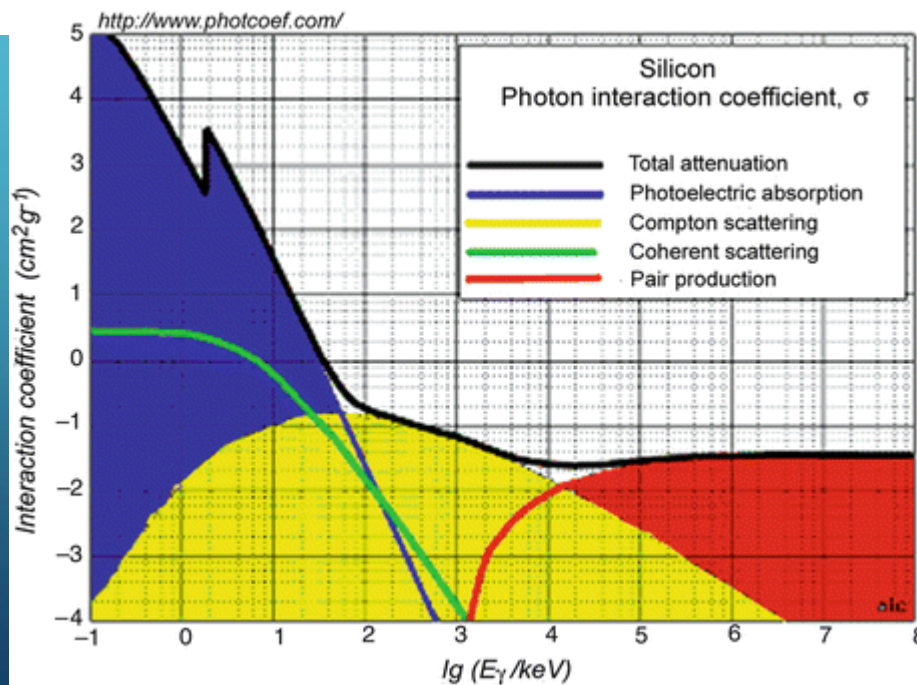
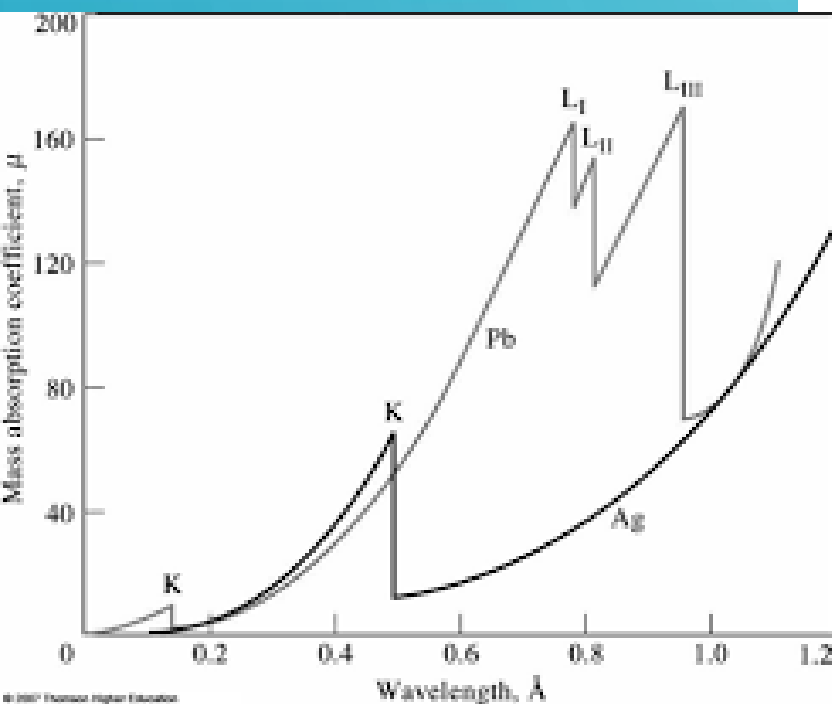
شدت امواج الکترومغناطیسی به صورت‌های مختلف می‌تواند کاهش یابد که از چهار حالت زیر خارج نمی‌باشد:

۱- فوتوالکتریک (جذب کامل یک فوتون و انتقال انرژی آن به الکترون)

۲- کامپتون (پراکندگی فوتون که منجر به کاهش انرژی فوتون خروجی می‌شود)

۳- تامسون (پراکندگی الاستیک فوتون بدون کاهش انرژی فوتون خروجی)

۴- تولید زوج (تبدیل حداقل دو فوتون (چرا؟) به حداقل یک ذره و پاد ذره)

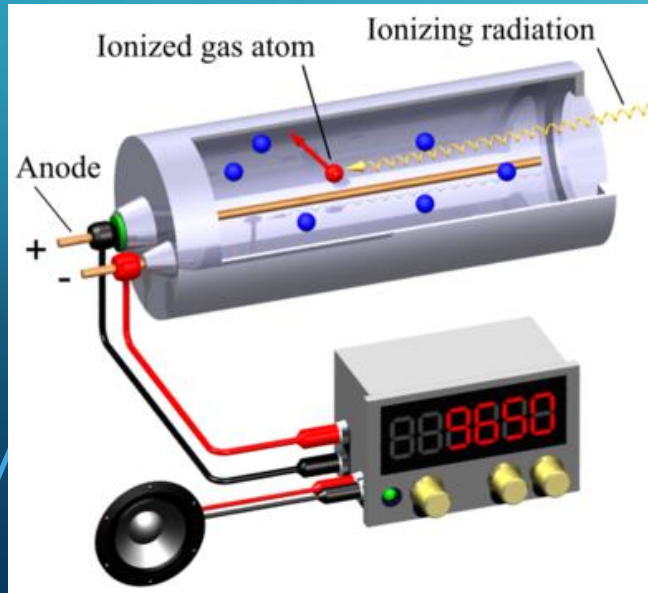
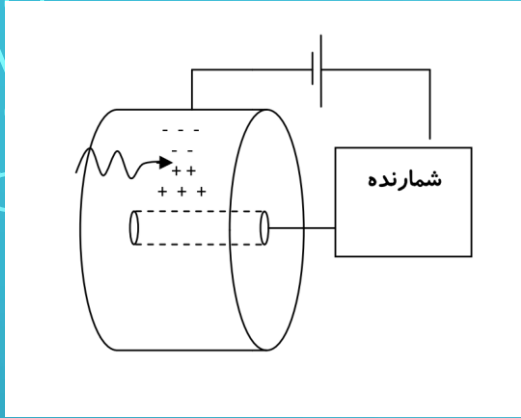


الف) وابستگی به ضخامت ماده

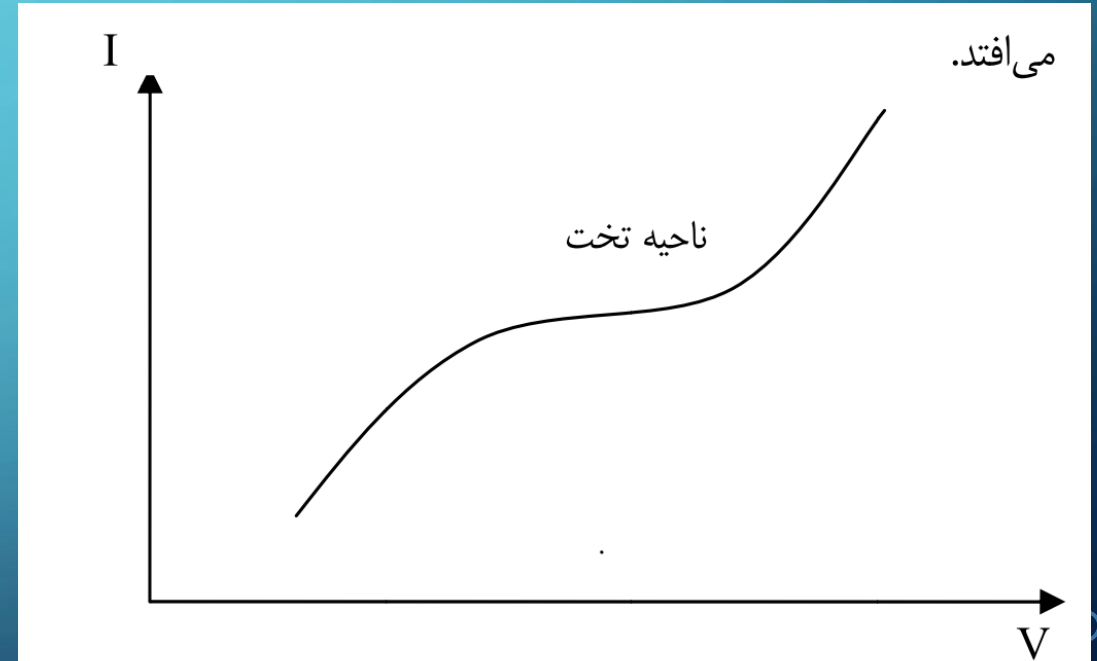
ب) وابستگی به نوع ماده

# شرح آزمایش:

## آزمایش ۱: بررسی ناحیه کار گایگر و کالیبره کردن آن

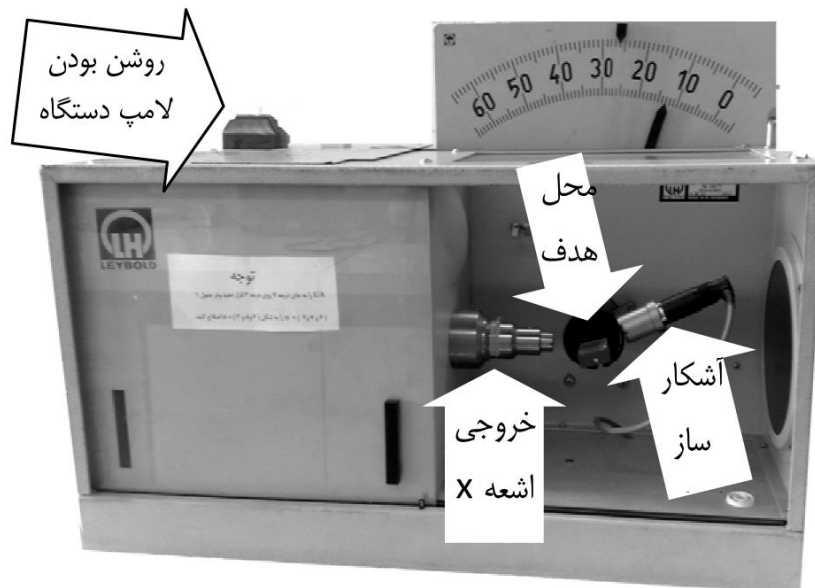


شکل ۷. دستگاه تنظیم ولتاژ و تقویت گایگر

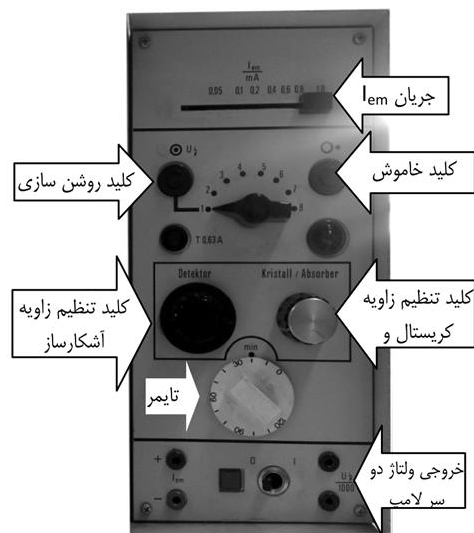


شکل ۴. نمودار جریان عبوری از گایگر بر حسب ولتاژ و ناحیه

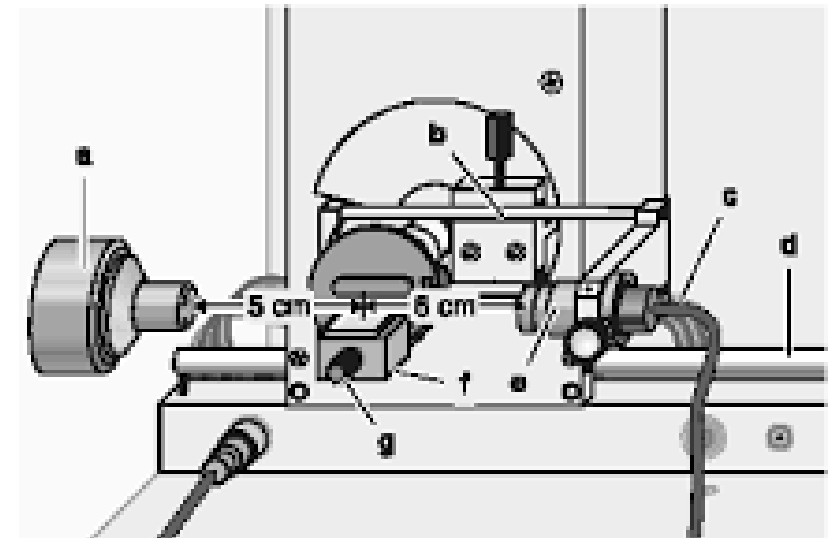




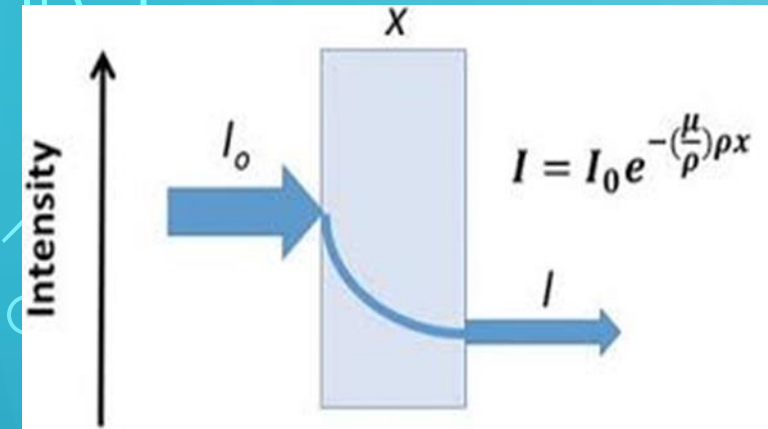
شکل ۵. محفظه تولید اشعه و چشم گایگر



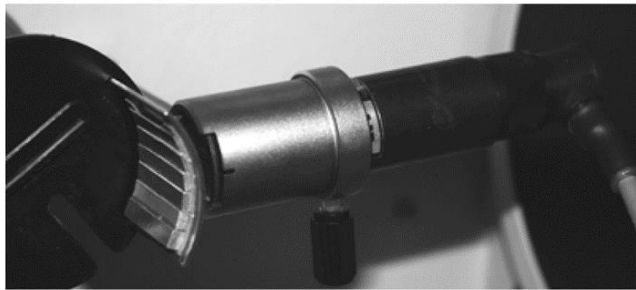
شکل ۶. پنل تنظیمات محفظه تولید اشعه و چشم گایگر



## آزمایش ۲: بررسی شدت عبوری به ضخامت مانع:



۱- با استفاده از داده‌های جدول ۱ منحنی  $I/I_0$  را بر حسب ضخامت آلومینیم در یک کاغذ نیم‌لگاریتمی رسم کنید. منحنی را تفسیر کنید. (ضریب جذب را برای طول موج  $0.714^\circ$  به دست آورید).



شکل ۹. ضخامت‌های مختلف آلومینیم در مسیر پرتو اشعه X و در مقابل آشکارساز گایگر

جدول ۱ شدت دریافتی پس از عبور اشعه X از ضخامت‌های مختلف آلومینیم.

( $U = 21 \text{ kV}$ ,  $I = 0.05 \text{ mA}$ ,  $\Delta t = 100 \text{ s}$ )

d(mm)	I With Zr	I Without Zr
0	969.4	977.9
0.5	426.1	428.6
1	197.3	210.1
1.5	84.29	106.1
2	40.51	49.1
2.5	19.48	30.55
3	9.52	16.11

مقدار ضریب جذب به دست آمده را با مقدار جذب موجود در جدول بین المللی کریستالوگرافی X-ray مقایسه نمایید.

$$\mu = 13.46 \text{ cm}^{-1}$$

J.L. Lawrence, ACTA CRYSTALLOGR A 35.5 (1979): 845-848.

Background effect  $R_1 = 0.243 \text{ s}^{-1}$

### آزمایش ۳: بررسی شدت عبوری به نوع مانع:



شکل ۸. ورقه زیرکونیوم در مسیر پرتو اشعه X

با استفاده از داده‌های جدول ۲ منحنی  $\mu$  را بر حسب عدد اتمی رسم کنید و منحنی را تفسیر کنید.

سوال: علت کم کردن جریان  $I$  در  $Z$  های کوچک چیست؟

جدول ۲ شدت دریافتی پس از عبور اشعه X از فلزات مختلف.

تکفام کردن اشعه ایکس با  
گذاشتن فیلتر زیرکونیوم  
(برق نازک و حذف طیف  
سفید)  
 $U = 30 \text{ kV}$ ,  $d = 0.05 \text{ cm}$ , without zirconium filter

$U = 30 \text{ kV}$ ,  $d = 0.05 \text{ cm}$ , with zirconium filter

Absorber	Z	I/mA	$\Delta t/s$	I(intensity)/s <sup>-1</sup>	T(I/I <sub>0</sub> )	$\mu$
none	0	0.02	30	1841		
C	6	0.02	30	1801		
Al	13	0.02	30	1164		
Fe	26	1	300	93.3		
Cu	29	1	300	16.63		
Zr	40	1	300	194.3		
Ag	47	1	300	106		

Absorber	Z	I/mA	$\Delta t/s$	I(intensity)/s <sup>-1</sup>	T(I/I <sub>0</sub> )	$\mu$
none	0	0.02	30	718.3		
C	6	0.02	30	698.4		
Al	13	0.02	30	406.1		
Fe	26	1	300	29.24		
Cu	29	1	300	6.016		
Zr	40	1	300	113.9		
Ag	47	1	300	24.52		

برای عناصر با عدد اتمی  $Z > 30$  به علت افزایش انرژی بستگی الکترون ها ، بعضی گذارها دیگر ناممکن می شوند و در نتیجه جذب اشعه ایکس توسط ماده کاهش می یابد .

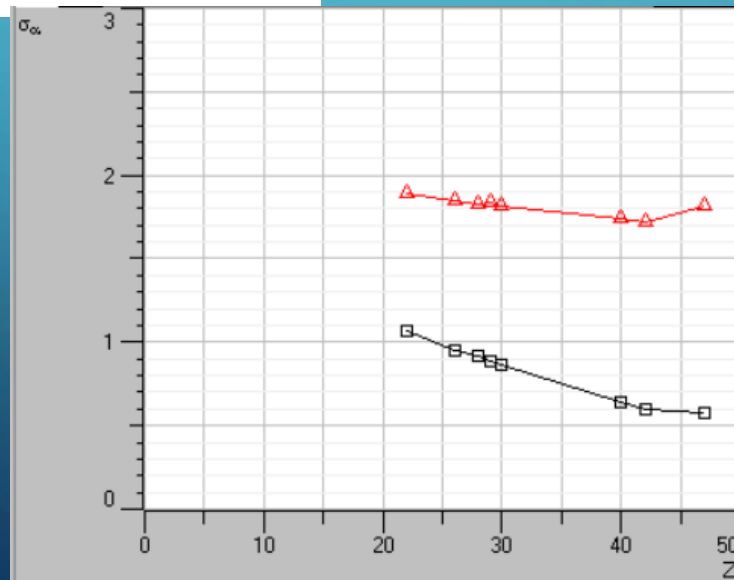
$$\sqrt{\frac{E}{Ry}} = (Z - \sigma_{2,1}) \sqrt{\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)} \quad (II)$$

Here the numerical value of  $Ry$  is  $Ry = Rhc \approx 2.18 \cdot 10^{-18} \text{ J} \approx 13.6 \text{ eV}$ .

For the  $K\alpha$ -lines of the lighter elements ( $Z < 30$ ) the atomic screening constant is  $\sigma_{2,1} \approx 1$  and therefore

$$\sqrt{\frac{E}{Ry}} = (Z - 1) \sqrt{\frac{3}{4}} \quad (III).$$

With increasing atomic number,  $\sigma_{2,1}$  becomes smaller and for  $Z \geq 55$  it even becomes negative, i.e. at (?) these  $Z$  the influence of the outer electrons exceeds the screening effect of the inner electrons.



Tab. 1 Experimentally determined energies  $E$  of the K-lines and the atomic screening constants  $\sigma_{i,j}$  for the corresponding electron transitions.

Element	Z	K $\alpha$ -line			K $\beta$ -line		
		E, keV	$\sqrt{\frac{E}{Ry}}$	$\sigma_{2,1}$	E, keV	$\sqrt{\frac{E}{Ry}}$	$\sigma_{3,1}$
Ti	22	4.47	18.13	1.07	4.89	18.96	1.89
Fe	26	6.40	21.69	0.95	7.05	22.77	1.85
Ni	28	7.48	23.45	0.92	8.28	24.67	1.83
Cu	29	8.06	24.34	0.89	8.92	25.61	1.84
Zn	30	8.66	25.23	0.86	9.60	26.57	1.82
Zr	40	15.80	34.08	0.64	17.70	36.08	1.74
Mo	42	17.48	35.85	0.60	19.61	37.97	1.72
Ag	47	21.98	40.20	0.58	24.68	42.60	1.81

# FURTHER CALCULATIONS

$$Z_{\text{eff}} = Z - \sigma_n$$

$$E_n = -Rhc \frac{(Z - \sigma_n)^2}{n^2}$$

$$\nu = (E_2 - E_1)/h$$

$$\nu = cR \left[ \frac{(Z - \sigma_{n1})^2}{n_1^2} - \frac{(Z - \sigma_{n2})^2}{n_2^2} \right]$$

$$\sqrt{\frac{\nu}{\nu_R}} = (Z - \sigma_{2,1}) \sqrt{\left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)},$$

with  $R$  being the Rydberg constant,  $R = m_e e^4 / 8 \epsilon_0^2 h^3 c$ . The principal quantum number  $n$  refers to the electron shells:  $n = 1$  for the *K*-shell,  $n = 2$  for the *L*-shell,  $n = 3$  for the *M*-shell etc. This formula describes the energy structure of an electron in an inner shell. The atomic screening constant  $\sigma_n$  in general depends on  $n$  and  $Z$ .

If instead of  $\sigma_{n1}$  and  $\sigma_{n2}$  a single average atomic screening constant  $\sigma_{2,1}$  is introduced for the transitions from  $n_2$  to  $n_1$ , this formula can be re-written as *Moseley's law*:



در زمان انجام آزمایش به سوالات زیر پاسخ دهید:

۱. با استفاده از آزمایش اول منحنی شدت رسیده به آشکارساز بر حسب ولتاژ گایگر را رسم کنید. هر ناحیه را تفسیر کرده و ناحیه کار گایگر را مشخص کنید. چرا در آزمایش‌های بعدی از این ناحیه استفاده می‌کنید؟
۲. با افزایش ضخامت ورقه آلومینیومی شدت اشعه X چه تغییری می‌کند؟
۳. آیا شدت دریافتی پس از عبور اشعه X از فلزات مختلف روندی منطقی دارد؟ نتایج را تفسیر کنید.

۱- با استفاده از داده‌های جدول ۱ منحنی  $I/I_0$  را بر حسب ضخامت آلومینیم در یک کاغذ نیم‌لگاریتمی رسم کنید. منحنی را تفسیر کنید. (ضریب جذب را برای طول موج  $0.71\text{\AA}$  به دست آورید).

۲- با استفاده از داده‌های جدول ۲ منحنی  $\mu$  را بر حسب عدد اتمی رسم کنید و منحنی را تفسیر کنید.

۳- عوامل خطا را ذکر کنید. خطای سیستماتیک را وارد نتیجه آزمایش کنید.

۴- نحوه ایجاد و کاربردهای اشعه X را توضیح دهید.

۵- از بررسی جذب اشعه X چه کمیاتی را می‌توان یافت؟ نتایج این آزمایش چه کاربردهایی دارد؟

۶- آیا جذب اشعه X به طول موج بستگی دارد؟ توضیح دهید.

۷- پالس‌های زمینه ناشی از چه منابعی هستند؟

۸- فوتون‌ها از طریق چهار فرایند متفاوت می‌توانند با اتم‌های یک ورقه برهم‌کنش داشته باشند: فوتوالکتریک، تولید زوج، تامسون، کامپتون. دو فرایند اول فوتون‌ها را کاملاً جذب می‌کنند، در حالی که دو فرایند آخر تنها آنها را پراکنده می‌کنند. البته تمام فرایندها فوتون‌ها را از باریکه‌ی موازی دور می‌سازند. اینکه تحت مجموعه‌ای از شرایط مفروض شانس وقوع کدام فرایند بیشتر است، از اهمیت نظری و عملی قابل توجهی برخوردار است. این شانس یا احتمال وقوع با چهار سطح مقطع بیان می‌شود.

الف) در مورد مفاهیم سطح مقطع پراکندگی، سطح مقطع فوتوالکتریک، سطح مقطع تولید زوج و سطح مقطع کل بحث کنید.

ب) منحنی این چهار سطح مقطع را بر حسب انرژی فوتون فرودی رسم کرده و آن را تفسیر کنید.

# سوالات آزمایش بررسی پراش اشعه ایکس و اثر کامپتون

1- علت استفاده از بلور در اندازه گیری طول موج اشعه ایکس چیست؟ از کدام بلور در این آزمایش استفاده می شود؟

2- اثر کامپتون چیست؟ آیا با فیزیک کلاسیک قابل توجیه است؟ توضیح دهید.

3- چرا در این آزمایش از ورقه زیرکونیم به عنوان فیلتر استفاده می شود؟

4- ورقه مسی در مشاهده اثر کامپتون چه کاربردی دارد؟ توضیح دهید.