

Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald / Institut für Physik
Physikalisches Grundpraktikum

Praktikum für Physiker		
Versuch A7 : RÖNTGENDOSIMETRIE		
Name:	Versuchsgruppe:	Datum:
Mitarbeiter der Versuchsgruppe:		Ifd. Versuchs-Nr:

Aufgabe Messen Sie den durch Röntgenstrahlen hervorgerufenen Ionisationsstrom in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern.

Physikalische Schwerpunkte des Versuches

- Entstehen der RÖNTGENSTRAHLEN
- Aufbau einer RÖNTGENRÖHRE
- Eigenschaften der RÖNTGENSTRAHLEN
- Dosimetrische Größen
- Beschreibung des experimentellen Aufbaus

Versuchsablauf

1. Messungen

- 1.1. Messen Sie den Ionisationsstrom I bei einer Emissionsstromstärke $I_{EM} = 1\text{mA}$ in Abhängigkeit von der eingespeisten Wechselspannung U_- für den Kondensator (Umrechnung $GL(x)$) für alle Röhrenspannungen U_R . Erfassen Sie die Messwerte in Tabellen.
- 1.2. Erfassen Sie den Ionisationsstrom I in Abhängigkeit von der Emissionsstromstärke I_{EM} ($I_{EM} = 0,1\text{mA} \dots 1\text{mA}$) bei maximaler Röhrenspannung U_R und Kondensatorspannung U_K als Parameter tabellarisch.

2. Berechnungen und Auswertungen

- 2.1. Berechnen Sie zur Messung 1.1. die Kondensatorgleichspannung U_K . Stellen Sie in einem $I(U_K)$ -Diagramm mit U_R als Parameter die Sättigungskurven dar.
- 2.2. Stellen Sie die Kurve $I = f(U_R)$ für $I_{EM} = 1\text{mA}$ dar.
- 2.3. Berechnen Sie die Ionendosisleistung j für alle Röhrenspannungen U_R . Zeichnen Sie als zusätzliche Ordinate in das Diagramm zu 2.2. die Ionendosisleistung j ein.
- 2.4. Zeichnen Sie zur Messung 1.2. das $I(I_{EM})$ -Diagramm. Berechnen Sie die Ionendosisleistung j und ergänzen die Ordinate mit dieser Skalierung.

Röntgendosimetrie

Medizinische und technische Anwendungen sowie die Gewährleistung des Schutzes vor ionisierender Strahlung (Strahlungsschutz) erfordern eine quantitative Erfassung der Röntgenstrahlung. Der Umgang mit ionisierender Strahlung wird vom Gesetzgeber durch die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und die Röntgenverordnung (RöV) geregelt. Das im Versuch benutzte Röntgengerät 42 kV für Schulzwecke genügt den Vorschriften.

Der von der Röntgenröhre ausgehende Strahlungsfluß energiereicher Photonen erzeugt in der durchstrahlten Materie, die diese Photonen mehr oder weniger absorbiert, charakteristische Wirkungen:

- Filmmaterial wird geschwärzt,
- Haut wird gerötet,
- Luft und andere Gase werden elektrisch leitend (ionisiert),
- an Metalloberflächen beobachtet man den Photoeffekt,
- geeignete Leuchtstoffe werden zu Lumineszenz angeregt.

Hauptursache dieser Wirkungen ist die Ionisierung der von den Röntgenquanten betroffenen Moleküle.

Unter Röntgendosimetrie ist das quantitative Erfassen dieser Strahlenwirkung zu verstehen. Die Einheiten der Dosis und der Dosisleistung sind daher von den Wirkungen her definiert. Die Dosismessung stellt demzufolge keine Messung der tatsächlichen von der Röntgenröhre zum Absorber gelangenden Strahlungsstärke dar. Allerdings kann man u.U. von der Dosis auf die tatsächliche Strahlungsstärke schließen, und vielfach ist die quantitativ erfassbare Wirkung dem Produkt aus Strahlungsstärke und Einwirkdauer proportional.

Die Definition der Strahlungsdosis beruht auf den folgenden beiden Wirkungen der Strahlung:

- auf der ionisierenden Wirkung der Strahlung beim Durchgang durch Materie (Erzeugung von Ladungsträgern) --> **Ionendosis**,
- auf der Energieabsorption beim Durchgang der Strahlung durch Materie --> **Energiedosis**.

Definition der Ionendosis J

Die Ionendosis J ist der Quotient aus der bei der Durchstrahlung von Luft unter Normalbedingungen erzeugten Ladung ΔQ von Ionen eines Vorzeichens und der Masse Δm der durchstrahlten Substanz:

$$J = \Delta Q / \Delta m \quad , \quad \text{SI-Einheit } [J] = 1 \text{ As/kg} \quad (1)$$

Definition der Energiedosis K

Die Energiedosis K ist der Quotient aus der vom durchstrahlten Stoff absorbierten Energie ΔW und der durchstrahlten Masse Δm :

$$K = \Delta W / \Delta m \quad , \quad \text{SI-Einheit } [K] = 1 \text{ J/kg} \quad (2)$$

Die wirksame "Intensität" der Röntgenstrahlung wird durch die empfangene Dosis je Zeiteinheit angegeben (--> Dosisleistung).

$$\text{Ionendosisleistung} \quad j = J / t \quad , \quad \text{SI-Einheit } [j] = \text{A/kg} \quad (3)$$

$$\text{Energiedosisleistung} \quad w = K / t \quad , \quad \text{SI-Einheit } [w] = \text{J/kg s} \quad (4)$$

Die Ionendosisleistung j kann mit einem mit Luft gefüllten Kondensator durch Messung des Ionisationsstromes erfolgen.

Aus den gemessenen Sättigungskurven des Ionisationsstromes I im Luftkondensator kann auf einfache Weise die mittlere wirksame Ionendosisleistung j im Bereich des Luftkondensators berechnet werden.

Außer den für verschiedene Betriebsparameter der Röntgenröhre gemessenen Ionensättigungsströmen I ist die Masse m der vom Röntgenstrahlbündel zwischen den Platten des Kondensators durchstrahlten Luftvolumens zu ermitteln. Das erfaßte Volumen ist aus den geometrischen Parametern und der Anordnung der Röhre errechenbar und beträgt für unser Gerät $V = 120 \text{ cm}^3$. Die Masse m der darin enthaltenen Luft hängt gemäß der Zustandsgleichung für ideale Gase von der Temperatur T und dem Luftdruck p ab:

$$m = \rho V = MpV / RT \quad (5)$$

Für die mittlere Ionendosisleistung j ergibt sich:

$$j = \frac{I}{m} = \frac{I}{M} \frac{RT}{pV} \quad (6)$$

I Ionensättigungsstrom (in A),

T absolute Temperatur (in K),

p Luftdruck (in Pa bzw. Nm^{-2}),

R Gaskonstante ($= 8,31 \text{ J K}^{-1} \text{ Mol}^{-1}$),

M molare Masse von Luft ($M_{\text{Luft}} = 28,8 \cdot 10^{-3} \text{ kg Mol}^{-1}$)

Die im Luftkondensator durch die Röntgenstrahlung erzeugten Ladungsträger werden durch ein elektrisches Feld zwischen den Kondensatorplatten abgesaugt und bilden einen Strom. Dieser Strom hängt von der Feldstärke ab. Bei kleinen angelegten Spannungen gelangt nur ein Teil der erzeugten Ladungsträger zu den Platten. Mit zunehmender Spannung werden schließlich alle erzeugten Ladungsträger abgesaugt. Dann wird ein Sättigungsstrom I gemessen. Bei unserem Gerät tritt dies oberhalb von ca. 100 V Spannung zwischen den Kondensatorplatten ein. Die Ionenströme sind sehr gering und müssen daher mit einem empfindlichen Meßverstärker (MV 40, Messbereich 3 nA) gemessen werden. Für jede der acht Stellungen des Hochspannungsstufenschalters ist bei einem Emissionsstrom $I_R = 1 \text{ mA}$ eine solche Sättigungskennlinie aufzunehmen. Die gewünschte Kondensatorgleichspannung U_K wird aus einer von außen angelegten Wechselspannung erzeugt, die mittels eines Potentiometers zwischen 0 V_{eff} und 20 V_{eff} einstellbar ist.

Dabei gilt folgende Umrechnung: $U_K/V_{\text{eff}} = 10 * U_{\text{eff}}/V_{\text{eff}}$.

Aus den 8 Ionensättigungsströmen (gemäß den Stellungen (1) bis (8) des Schalters für die Hochspannung U_R der Röntgenröhre) sind die Ionendosisleistungen j zu berechnen. Auf der Grundlage dieser Werte ist dem Diagramm I über U_R eine zweite vertikale Skala für j hinzuzufügen.

Da der von der Röntgenröhre ausgehende Strahlungsfluß entscheidend vom Emissionsstrom I_{EM} der Röhre abhängt, sind bei maximaler Röhrenspannung U_R (gemäß Stellung 8) für mindestens fünf Emissionsstromstärken I_{EM} die Ionensättigungsströme I zu messen und daraus die Ionendosisleistungen j zu berechnen sowie in einem Diagramm I bzw. j über I_{EM} darzustellen.

Bedienungshinweise für das Röntgengerät 42 kV :

(s. Abb. 1 Kurzbeschreibung der Bedienelemente aus der Gerätebeschreibung)

- Röntgengerät mit Netzschalter **1** einschalten; Betriebsanzeige leuchtet,
- am Betriebszeitschalter **4** eine geeignete Betriebsdauer (bis maximal 2 h) einstellen,
- Stufenschalter **11** für Hochspannung U_R in Stellung "1" bringen,
- mit Taster **12** Hochspannung U_R einschalten; Hochspannungskontrolllampe **9** und große rote Signallampe **18** leuchten. **!!! Jetzt erzeugt das Gerät Röntgenstrahlung!!!**
- Mit Taster 10 kann die Hochspannung an der Röhre jederzeit ausgeschaltet werden.
- Hochspannung U_R mit Stufenschalter 11 auf den gewünschten Wert einstellen,
Es gelten folgende Orientierungswerte:

Stellung	1	2	3	4	5	6	7	8
U_R/kV_s	21	24	27	30	33	36	39	42
- Buchsenpaar **2** zur Messung der Röhrenhochspannung
(gemäß der Umrechnung: $U_R/kV_s = 1,4 * U_{eff}$).
- Emissionsstrom I_{EM} mit Schieber **13** einstellen.
- Buchsenpaar **32** dient zur Zuführung einer variablen Wechselspannung 0..20 V_{eff} zwecks Erzeugung der Kondensatorspannung U_K , um Ionisationsströme zu messen.
- Koaxialbuchse **31** dient zum Anschluß des empfindlichen Meßverstärkers MV 40 zur Messung der winzigen Ionisationsströme. Wählen Sie bitte Meßbereich 3 nA.
- Für die Lebensdauer der Röntgenröhre ist es wichtig, daß diese nicht ständig ein- und ausgeschaltet wird. Zu diesem Zwecke wird die Katode nach Einschalten des Gerätes ständig geheizt, aber erst bei Anschalten der Hochspannung über den Taster **12** kann Röntgenstrahlung emittiert werden.