

Verwandte Begriffe

Ionisierender Effekt, Erzeugung von Röntgenstrahlung, Elektroskop.

Prinzip

So wie die Strahlen, die von einem radioaktiven Strahler ausgehen, in der Lage sind, Luft zu ionisieren, so zeigt auch Röntgenstrahlung eine ionisierende Wirkung. Wenn Luft von Röntgenstrahlung durchdrungen wird, wird diese elektrisch leitend. Dieses wird mithilfe eines geladenen Elektroskops getestet, und optional die Abhängigkeit der Ionisierung von Betriebsspannung und Stromstärke der Röntgenröhre festgestellt.

Material

1	XR 4.0 expert unit Röntgengerät, 35 kV	09057-99
1	XR 4.0 X-ray Einschub mit Wolfram-Röntgenröhre	09057-80
1	XR 4.0 X-ray Blendentubus, $d = 5$ mm	09057-03
1	Elektroskop nach Kolbe	07120-00
1	Konduktorkugel, $d = 40$ mm	06237-00
1	Digitale Stoppuhr, 24 h, 1/100 s & 1 s	24025-00
(1)	Bananenstecker, 4 mm, 4 Stück	29417-00
1	Kupferdraht, $d = 0.5$ mm, $l = 50$ m	06106-03
1	Filz, Naturhaar, 10 x 10 cm	06204-00
1	Bernsteinstab, $l = 100$ mm, $d = 10$ mm	06260-00



Abb. 1: Versuchsaufbau.

Dieser Versuch ist im Erweiterungsset XRD 4.0 X-ray Dosimetrie enthalten.

Aufgaben

Illustrieren Sie die ionisierende Wirkung von Röntgenstrahlung mithilfe eines Elektroskops. Untersuchen Sie den Einfluss der Anodenspannung und der Stromstärke auf die Zeitdauer bis das Elektroskop entladen ist.

Aufbau

Vor Versuchsbeginn ist zunächst, falls vorhanden, das Goniometer aus dem Experimentierraum zu entfernen.

Dann wird der Blendentubus mit 5 mm Durchmesser in den Ausgangstubus des Röhreneinschubes eingesetzt.

Das Elektroskop mit der aufgesteckten Konduktorkugel wird im Experimentierraum platziert.

Ein etwa 20 cm langes Stück Kupferdraht wird so gebogen, dass die beiden Drahtenden in einen Bananenstecker zusammengesteckt werden können.

Der Bananenstecker mit der Drahtschlinge wird dann in die freie Querbohrung des Elektroskops (unterhalb der Kugel, *nicht* unten am Gehäuse!) eingesteckt und die Drahtschleife so gebogen, dass sie direkt hinter der Austrittsöffnung von der Röntgenstrahlung getroffen wird.

Hinweis

Details zur Bedienung des Röntgengeräts entnehmen Sie bitte der entsprechenden Bedienungsanleitung.

Durchführung

Stellen Sie die Anodenspannung und Stromstärke im "X-ray-Parameters"-Menü ein. Wählen Sie für die erste Messung eine Spannung von 35 kV und eine Stromstärke von 1 mA.

Laden Sie den Bernsteinstab durch intensives Reiben mit dem Filz auf. Laden Sie nun das Elektroskop, indem Sie den Stab in Kontakt mit der Konduktorkugel bringen. Gegebenenfalls besteht die Notwendigkeit diesen Vorgang zu wiederholen um das Elektroskop vollständig zu laden.

Nachdem der Zeiger des Elektroskops zur Ruhe gekommen ist, warten Sie einige Zeit und schließen die Tür des Experimentierraums. Schalten Sie nun die Röntgenstrahlung ein. Achten Sie beim Bedienen der Stoppuhr darauf, den Einschaltvorgang der Röntgenröhre zu berücksichtigen und erst dann zu starten, wenn die Röhre sichtbar in Betrieb ist. Messen Sie die Zeitdauer der Entladung für eine bestimmte Anzahl Skalenteile. Achten Sie hierbei darauf, für alle Messungen die gleiche Anzahl Skalenteile zu verwenden.

Der Versuch sollte mehrere Male mit unterschiedlichen Spannungen (Strom konstant, z.B. $I = 1 \text{ mA}$) und Stromstärken (Spannung konstant, z.B. $U = 35 \text{ kV}$) wiederholt werden. Achten Sie dabei darauf, den Bereich niedriger Spannungen bzw. Stromstärken (bis ca. 20 kV bzw. 0,4 mA) mit kleineren Schritten zu rastern, da sich in diesem Bereich die Messgröße Zeit am stärksten ändern wird, z.B. Schritte von 1 kV bzw. 0,05 mA. Für den Bereich ab 20 kV bzw. 0,4 mA empfiehlt sich eine Abtastung in Schritten von 5 kV bzw. 0,2 mA (siehe auch Tabelle 1 und 2).

Bitte beachten Sie folgendes: Die o.g. Parameter sind gewählt, um mit kurzen Entladungszeiten den Zeitaufwand der Durchführung zu minimieren. Um die Durchführung weiter zu beschleunigen empfiehlt es sich, geeignete Messwerte auszulassen (für Beispielwerte siehe Tabelle 1 und 2). Beachten Sie, dass die kurzen Entladungszeiten mit einem größeren prozentualen Messfehler durch die Ungenauigkeit beim Bedienen der Stoppuhr behaftet sind. Um die Qualität der Messdaten zu erhöhen kann das Elektroskop

weiter von der Austrittsöffnung der Röntgenstrahlung entfernt oder der jeweils konstant gehaltene Parameter Stromstärke oder Spannung niedriger gewählt werden, sodass sich die Entladungszeit entsprechend vergrößert.

Alternative Durchführung

Alternativ kann zum Laden des Elektroskops ein Hochspannungsnetzgerät (13670-93) genutzt werden. Wählen Sie hierbei eine Spannung von 0,9 kV für den Ladevorgang. Beachten Sie die Hinweise in der Bedienungsanleitung des Geräts.

Theorie

Röntgenstrahlung kann nicht durch elektrische oder magnetische Felder abgelenkt werden, denn die Röntgenphotonen (Lichtteilchen des Röntgenlichts) sind ungeladen. Dennoch sind sie in der Lage, das Elektroskop zu entladen.

Röntgen entdeckte diesen Effekt in einem seiner ersten Experimente 1895 und vermutete, dass diese Entladung auftritt, da die Röntgenstrahlung die umgebende Luft leitend macht. Die Röntgenstrahlung erzeugt positiv geladene Ionen in der Luft, die beispielsweise ein Elektroskop durch Rekombination entladen können. Elektrische Leitung eines ionisierten Gases lässt sich ebenfalls nachweisen, wenn eine elektrische Spannung am Gas anliegt, die einen Stromfluss hervorruft (nämlich der Ionen zur Kathode und der Elektronen zur Anode). Dies ist im vorliegenden Aufbau der Fall, denn die geladenen Teile des Elektroskops sind gegen das Gehäuse isoliert, befinden sich also auf einem anderen Potential. Diese Ladungstrennung ist gleichbedeutend mit einer elektrostatischen Spannung, welche den Entladungsvorgang treibt: Die positiv geladenen Ionen werden von dem negativ geladenen Elektroskop angezogen, ein Ionenstrom fließt. Die Luft wird also in dieser Situation durch die Ionisierung elektrisch leitend.

Die ionisierende Wirkung von Röntgenstrahlung kann auch die Ursache von Zellschäden (Schädigung des Erbguts) bei der Bestrahlung von Organen und Geweben sein. Dies ist der Grund, weshalb der Gesetzgeber strenge Vorsichtsmaßnahmen bei der Handhabung von Röntgenstrahlung verlangt.

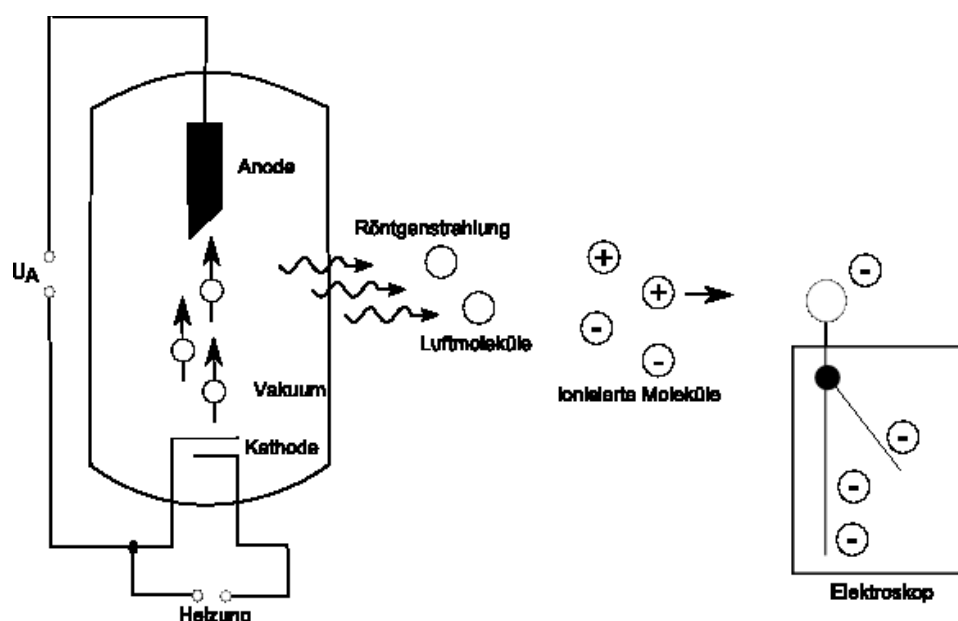


Abb. 2: Schematisches Diagramm des Versuchs.

Auswertung

Wenn die Röntgenstrahlung ausgeschaltet ist, wird das geladene Elektroskop nicht entladen. Sobald die Röntgenstrahlung eingeschaltet wird, entlädt sich das geladene Elektroskop innerhalb einiger Sekunden.

Ursache für die Entladung ist eine Rekombination der ionisierten Luftmoleküle (positive Ladung) mit den Elektronen (negative Ladungen) auf dem Elektroskop. Die Drahtschleife liegt hierbei auf einem Potential mit dem geladenen Elektroskop und dient dazu, den Entladungsvorgang zu beschleunigen, indem sie den geladenen Bereich vergrößert. Die schnellste Entladung durch Rekombination an der Schleife wird erzielt, wenn diese direkt hinter der Austrittsöffnung der Röntgenstrahlung positioniert wird, da sich der Strahl kegelförmig aufweitet und direkt an der Öffnung am stärksten gebündelt ist.

Wird die Drahtschleife vom Elektroskop entfernt, verlangsamt sich der Entladungsvorgang je nach aufgebrachtener Ladung, gewählter Spannung und Stromstärke entsprechend auf einige Minuten.

Die Zeit, die zum Entladen des Elektroskop benötigt wird, hängt dabei sowohl von der verwendeten Stromstärke als auch von der Anodenspannung ab. Je niedriger Anodenspannung und Stromstärke gewählt werden, desto länger dauert die Entladung des Elektroskops.

Die Stromstärke reguliert hierbei die Anzahl der aus der Röhre austretenden Lichtteilchen, die Spannung hingegen ihre Energie (pro Ionisationsprozess wird einmal die entsprechende Ionisationsenergie des Gases an ein Molekül abgegeben, ein entsprechend höherenergetisches Teilchen kann also auch häufiger stoßen). Je höher diese beiden Regelparameter gewählt werden, desto mehr Ionisationsprozesse pro Zeiteinheit stehen zur Verfügung, um das Elektroskop zu entladen.

Für die Abhängigkeit der Entladungszeit von Spannung und Stromstärke finden sich exponentielle Zusammenhänge.

Tabelle 1: Messdaten und graphische Darstellung der Entladungszeiten t bei konstanter Stromstärke $I = 1 \text{ mA}$.

U in kV	t in sec
8	186
9	81
10	44
12	22
14	12
16	8
18	7
20	5,5
25	4,5
30	4
35	3,5

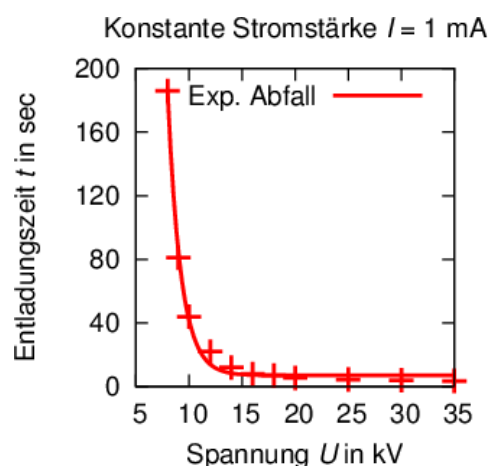
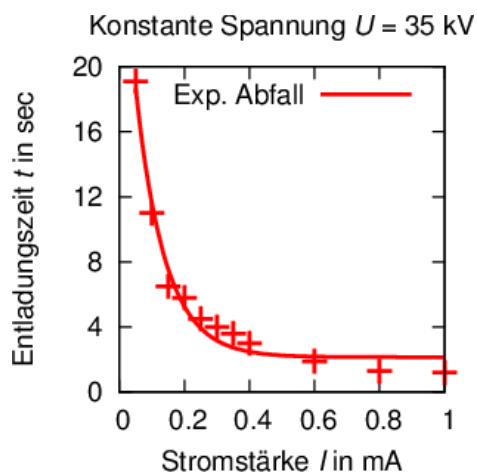


Tabelle 2: Messdaten und graphische Darstellung der Entladungszeiten t bei konstanter Spannung $U = 35$ kV.

I in mA	t in sec
0,05	19,1
0,1	11
0,15	6,5
0,2	5,8
0,25	4,5
0,3	4
0,35	3,6
0,4	3
0,6	1,9
0,8	1,3
1	1,2



Sobald die Spannung unter einen bestimmten Wert fällt (ca. 6 kV mit $I = 1,0$ mA), gibt es keine Entladung. Dies bedeutet, dass unter diesem Wert keine Röntgenstrahlung erzeugt wird.