

背景

2017年6月に告示された中学校学習指導要領解説 理科編

H31 教科書検定
H33 全面実施

雷も静電気の放電現象の一種であることを取り上げ、高電圧発生装置（誘導コイルなど）の放電やクルックス管などの真空放電の観察から電子の存在を理解させ、電子の流れが電流に関係していることを理解させる。

その際、真空放電と関連させてX線にも触れるとともに、X線と同じように透過性などの性質をもつ放射線が存在し、医療や製造業などで利用されていることにも触れる。

クルックス管自体に関しては2008年版の学習指導要領解説にも記載されていた。

現行の教科書に於いても、理科の教科書を出版している5社全てに於いて、2年生の電流の単元でクルックス管による真空放電の実験が記載されている。

今現在既に問題となっており、さらに今後全国での利用の増加が予想される

教員に対する指導書でも放射線に関する注意が記載されていない会社もある。低エネルギーX線の正確な評価は専門家でも困難であり、教員には安全に関する指針が与えられていない。

クルックス管を用いた実験を行う際の安全指針の策定が必要

クルックス管からの被ばく線量を下げるには

- 1) 印加する電圧を下げる
- 2) 流れる電流を下げる
- 3) 距離を取る
- 4) 遮蔽をする
- 5) 時間を短くする

発生するX線量
自体を下げる

放射線防護の
三原則

印加電圧を下げることによりX線のエネルギーが下がり、劇的に漏洩するX線量を下げることが出来る。クルックス管はガラスで出来ており、このガラスに対する透過率が15keVと30keVでは100倍程度異なるためである。

遮蔽に関しては、アクリルでは1cmの厚さでも半分程度にしかならないため、ガラスの水槽を用いるか(2mmで1/5以下に下がる)、距離を取る方が簡単である(距離の二乗に反比例する)。

1) 2) 印加電圧を下げる、電流を下げる



絶対に放電極を取り付ける。

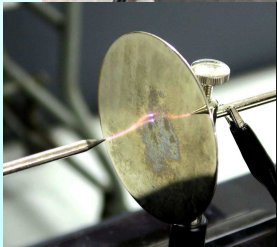
電氣的な安全上も必須。

放電極距離は20mm以下にする。

空気中では 1kV で約 1mm 放電

放電出力を出来る限り下げる。

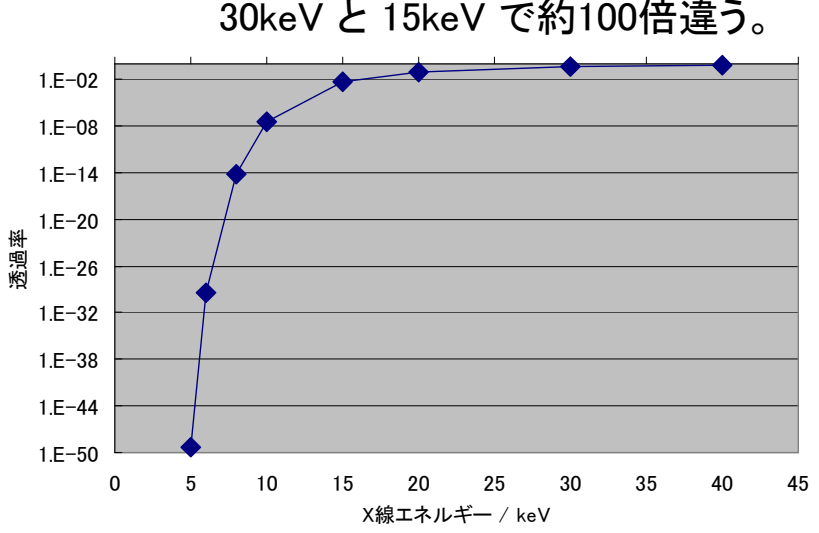
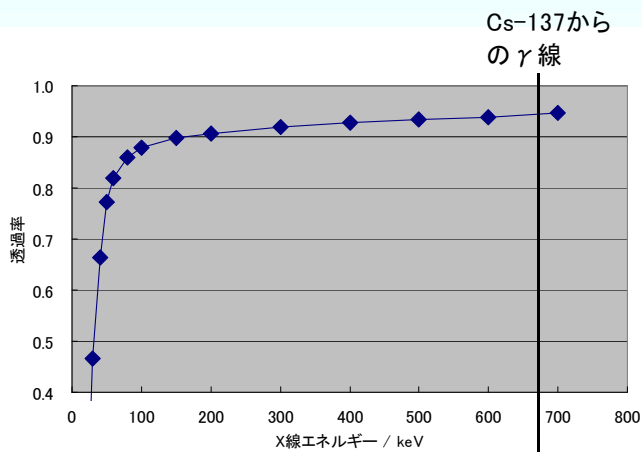
電子線を観察できる範囲で下げる



放電極は、一定以上の電圧がかかると放電してそれ以上電圧が上がらないようにする、**安全装置**

わずかな印加電圧低下での大きな線量の変化

20keV 前後のX線は僅かなエネルギー変動により、クルックス管自体を構成するガラス管の透過率が何桁も変わる。

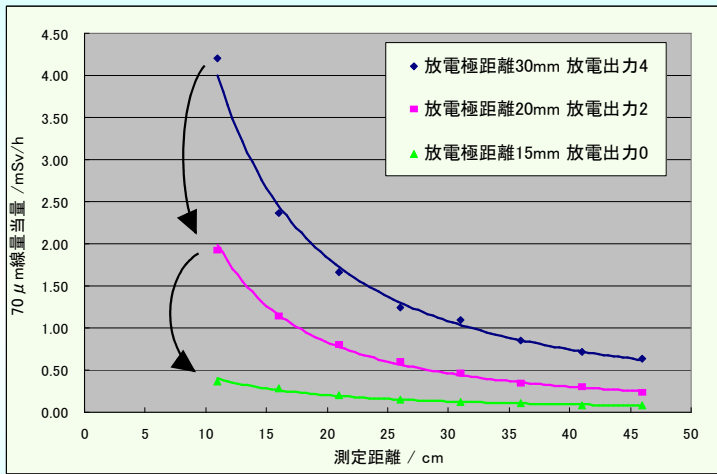


100keV 以上のエネルギーでは
余り大きく変わらない

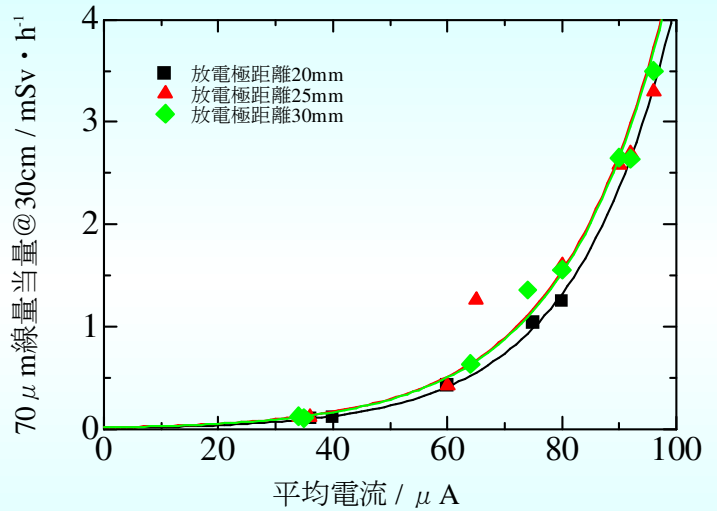
3mmのガラスに対するX線の透過率

印加電圧、電流、距離依存性

放電極距離 30, 20, 15mm でギリギリ
放電が起こる出力に合わせて測定



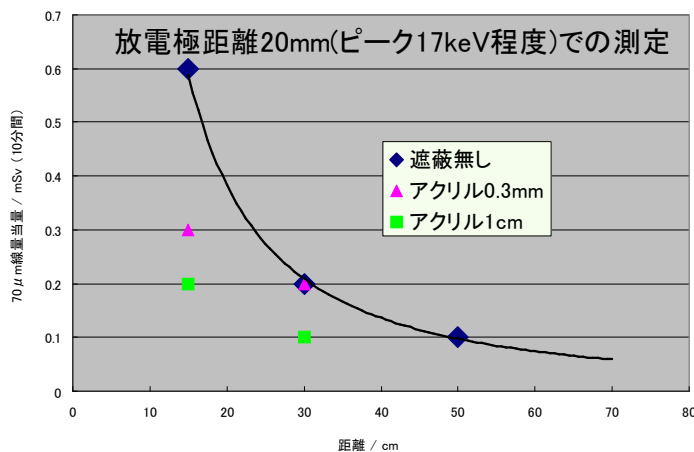
放電出力変化に伴う平均電流を
アナログ電流計で測定



- ・電圧を低く抑えると極端に線量は小さくなる
放電極距離は20mm以下に留める
- ・距離の二乗に反比例して線量は小さくなる
1mの距離では10cmの距離での1/100になる
1mから50cmに近付いただけで4倍になる。

- ・電流上昇に従い指数関数的に線量が上昇
放電出力上昇で電圧も電流も同時に上昇するため、電子線が観察できる必要最小限の出力に留める。
放電極は、一定以上に電圧を上げないための安全弁の役割。

有効な遮蔽



20keV ではアクリル1cmで半分に減衰する。
実際はもう少しエネルギーが低いため、3mm
で約半分、1cmで1/3に減衰する。
ガラスははるかに遮蔽能が高く、5mmのガラ
スで20keVでも1/50程度に減衰する。

しかし、実際には分厚いアクリルやガラスの
遮蔽体は取扱が困難。



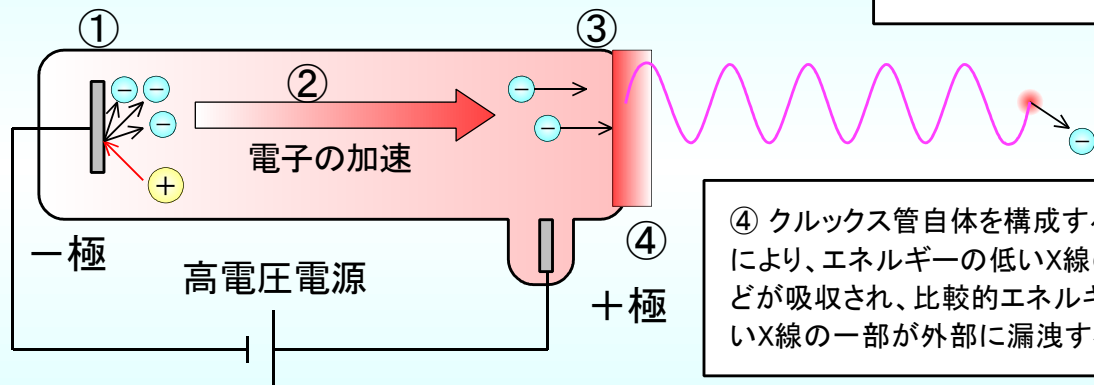
スリット入りのクルックス管は、
観察を行わないスリットより陰極
側(ビームの上流側)が最も線
量が高いため、この部分を適当
な物で遮蔽すると効果的。
古くなったデスクトップPCが、自
立するので使いやすい。

クルックス管からのX線の漏洩

① +のイオンが一極に引きつけられて電子を叩き出す
(二次電子放出)

③ 電子がガラス管の壁に衝突するときに、制動放射X線を放出する

X線は最終的に原子の周りを回る電子を光電効果などで弾き飛ばして(電離作用)、弾き飛ばされた高速の光電子はβ線と同じように振る舞う。



④ クルックス管自体を構成するガラスにより、エネルギーの低いX線のほとんどが吸収され、比較的エネルギーの高いX線の一部が外部に漏洩する

クルックス管に封入されているガスの量が少ない(ガラスに吸着するなどして少なくなる)と、①で陰極を叩くイオンが少なくなるため、電子が飛び出しにくくなり、電流が流れにくくなる。その結果誘導コイルに電磁エネルギーが蓄積され高い電圧が印加されてしまい、電流は小さいが④で漏洩する線量が大きくなってしまう。

クルックス管安全取扱のガイドライン(暫定)

・低電圧駆動の製品に買い換える

絶対安全なので
何も考えなくても良い

経済的理由などで困難な場合は ↓ 以下の点に注意を払う必要がある

- ・誘導コイルの放電出力は電子線の観察が出来る範囲で最低に設定する
- ・放電極を絶対に使用し、放電極距離は20mm以下とする。
- ・出来る限り距離を取る。生徒への距離は1m以上とする。
教員が磁石で電子線を曲げるときは指し棒などを使用する。
- ・演示時間は10分程度に抑える

より詳しくは、クルックス管プロジェクトのウェブサイト

<http://bigbird.riast.osakafu-u.ac.jp/~akiyoshi/Works/index.htm> を参照。

