

Laboration

Mi 2

Radioaktivitet

Målsättning:

Att själv kunna mäta radonhalten i luft med olika metoder, få förståelse för principer bakom radonmätning och kunna analysera gammastrålningen från ett okänt prov.

INNEHÅLL

1. Inledning
2. Bestämning av relativa mängder av Cs-134 och Cs-137 från Tjernobyli
3. Bestämning av radonaktiviteten i luft med koldosa
4. Mätning av radonhalt inomhus med ATMOS
5. Mätning av radonhalt med RTA 30

Namn: _____

Handledare: _____

Laborationen utförd den: _____

Inlämnad den: _____

Godkänd den: _____ av: _____

A INLEDNING

De centrala momenten på laborationen utföres med mätsystemet GDM 20, vars kärna är en gammadetektor, och med den kontinuerliga filtermätaren RTA 30. Dessutom tillkommer mätningar som har karaktären av demonstrationer.

En gammadetektor registrerar antalet gammakvanta och deras energi. Det aktiva mätområdet mellan ungefär 50 keV och 2 MeV är indelat i en stort antal kanaler. Varje uppmätt gammakvantum registreras inom den kanal som motsvarar kvantens energi. Det totala antalet pulser inom varje kanal ligger till grund för presentationen av spektra på dataskärm och för mätanalyser.

Vid alla mätningar kommer det, förutom från provet, alltid ett visst antal gammakvanta från omgivningen eller bakgrunden. Därför måste ett bakgrundsspektrum tas upp, vilket subtraheras från provspektrum. Upptagningen av ett bakgrundsspektrum tar ganska lång tid och är därför utförd före laborationen.

Före varje mätserie utföres också energikalibrering av spektrometern, så att de uppmätta pulserna tilldelas korrekt energivärde. Vid energikalibreringen utnyttjas ett preparat med ett flertal distinkta toppar över hela energiområdet. Även denna kalibrering har skett före laborationstillfället.

Däremot får effektivitetskalibrering göras på laborationen. Gammadetektor från ett prov med känd aktivitet tas upp. Med hjälp av effektivitetskalibreringen kan man utgående från antalet registrerade pulser i spektret beräkna antalet gammakvanta som sänds ut från provet. Sambandet mellan antalet utsända kvanta och antalet registrerade pulser beror på energin.

Radonmätningar på inomhusluft kan utföras på ett otal olika sätt. Metoden med koldosor är den för nuvarande vanligaste i Sverige. Att använda kontinuerliga filtermätare ger dock betydligt mera information. Båda dessa mätmetoder behandlas utförligt på laborationen.

De som gör laborationen har erbjudits att ta hem koldosor för mätning av radonhalten i egna bostaden. Även filtermätaren RTA 30, som finns i ett exemplar, har funnits möjligheter att ta hem för mätning.

B BESTÄMNING AV RELATIVA MÄNGDERNA AV Cs-134 OCH Cs-137 I TJERNOBYLUTSLÄPPET.

I en reaktor i drift klyvs de kärnor som utgör bränslet i mindre kärnor. De mindre kärnorna eller fissionsprodukterna är nästan undantagslöst radioaktiva med olika halveringstider. Om en olycka frilägger reaktorhärden kommer fissionsprodukter, och andra radioaktiva isotoper, ut i omgivningen. Vid Tjernobylihavariet spreds fissionsprodukterna över hela jordklotet. På grund av väderleken föll en betydande andel ner över östra och norra Sverige. Prover från detta nedfall finns i laboratoriet och kommer att användas vid mätningarna.

Cesium-134 och cesium-137 är två av de mest förekommande fissionsprodukterna i reaktorer. De båda isotoperna är kemiskt identiska och kan därför förväntas få samma spridning i atmosfär och mark. En mätning av strålningen från ett prov i Sverige ger då möjlighet att beräkna relativa isotopmängderna vid utsläppet i Tjernobyli för åtta år sedan. Bestämningar av relativa isotopförekomster i reaktorutsläpp och i nedfall från kärnvapenprov ger väsentliga upplysningar om reaktorerna och kärnvapnen.

Antag att antalet kärnor av en isotop vid en intialtidpunkt $t=0$ är $N'(0)$ och antalet kärnor av en annan isotop är $N''(0)$ vid samma tidpunkt. Aktiviteterna, antalet sönderfall per tidsenhet, är för isotoperna $A'(0)$ respektive $A''(0)$. Vid en senare tidpunkt t är aktiviteterna

$$A'(t) = A'(0) e^{-\frac{t \ln 2}{t'_{1/2}}}$$

$$A''(t) = A''(0) e^{-\frac{t \ln 2}{t''_{1/2}}}$$

Kvoten mellan aktiviteterna

$$\frac{A'(t)}{A''(t)} = \frac{A'(0)}{A''(0)} e^{-t \ln 2 \left(\frac{t''_{1/2} - t'_{1/2}}{t'_{1/2} t''_{1/2}} \right)}$$

Genom mätningarna bestäms kvoten $\frac{A'(t)}{A''(t)}$. Kännedom om tiden t och halveringstiderna

ger sedan kvoten $\frac{A'(0)}{A''(0)}$. Antalet kärnor N är relaterat till aktiviteten genom

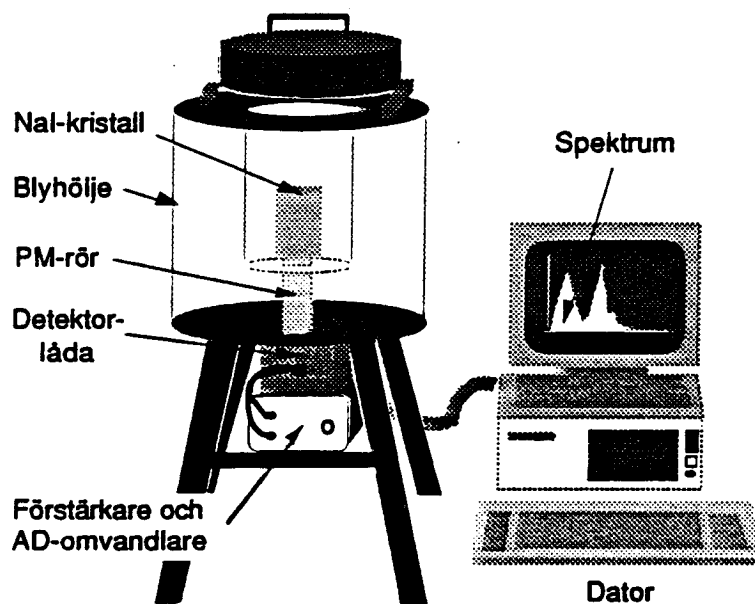
$A = \lambda N = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} N$. Denna relation ger relativa isotopförekomsterna vid $t=0$.

Vid mätningarna detekteras gammastrålningen från cesiumisotoperna i en gamma-spektrometer.

B 1 APPARATUR

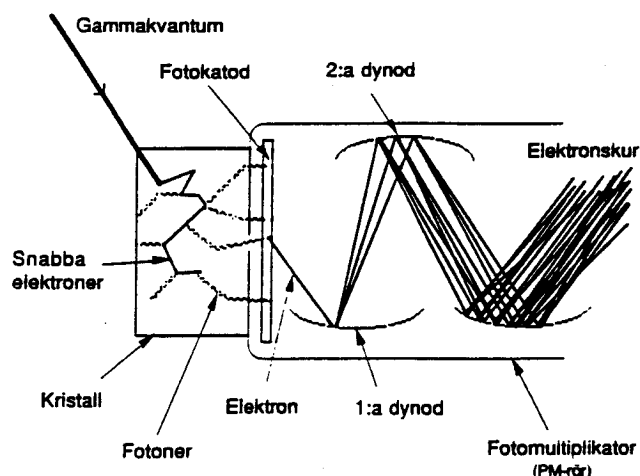
Apparaturen består av GDM 20 mätsystem omfattande kristalldetektor av natriumjodid, dator och prover. GDM= GammaData Mätteknik är namnet på firman i Uppsala som säljer och delvis producerar systemet.

Figur 1 visar förenklat de olika delarna i mätsystemet.



Figur 1. GDM mätsystem för detektering av gammastrålning.

Provet placeras ovanpå NaI - kristallen. Då gammastrålning träffar NaI - kristallen uppstår svagt ljus. En del av ljuset träffar PM-rörets fotokatod och slår ut elektroner på grund av den fotoelektriska effekten. Antalet elektroner från fotokatoden är proportionellt mot gammastrålningens energi. Elektronerna accelereras i PM-röret mot en struktur av metallbleck (dynoder). Vid varje dynod slår elektronerna ut ytterligare elektroner. Figur 2 visar en skiss av PM-röret och kristallen.



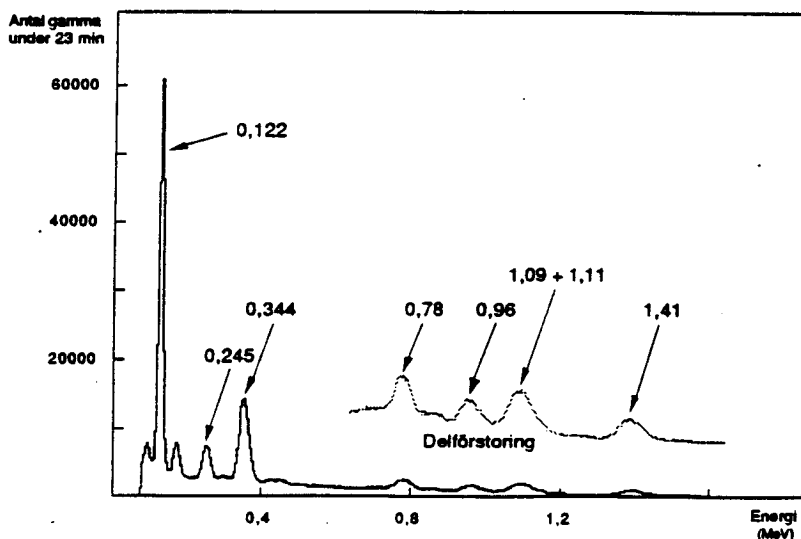
Figur 2. Principskiss av PM-rör med kristall.

Den resulterande elektronskuren ger upphov till en elektrisk puls vars amplitud (pulshöjd) är direkt proportionell mot den infallande ljusmängden och därmed mot gammastrålningens energi.

Genom att mäta pulshöjden kan energin hos motsvarande gammakvantum bestämmas. Pulserna från PM-röret förstoras, varefter de genomgår en omvandling från analoga till digitala pulser i en s k AD-omvandlare och efter bearbetning presenteras i ett energispektrum.

B 2 MÄTNING OCH ANALYS AV GAMMASPEKTRA

Målet med mätningen är att bestämma kvoten mellan aktiviteterna av Cs-134 och Cs-137 i ett prov. För att detta skall ske måste bakgrundsstrålningen subtraheras från cesiumspektrat. Energi- och effektivitetskalibrering måste också vara utförda på spektrometern. Bakgrundsspektrum är upptaget och energikalibrering är avklarad före laborationstillfället. Effektivitetskalibrering återstår och måste göras på laborationen. Det innebär att den andel av de från provet utsända gammakvanta som registreras i detektorn bestäms. Denna andel kommer att variera med energin. Som kalibreringskälla används europium-152 (Eu-152). Gammaskemat från en sådan källa visas i figur 3.



Figur 3. Gammaskemat från Eu-152.

På kalibreringsprovet finns angivet hur stor aktiviteten var vid en given tidpunkt och vidare hur lång halveringstiden är för Eu-152. Från dessa uppgifter beräknas provets aktivitet på laborationsdagen.

Varje kärnsönderfall ger med en viss sannolikhet f upphov till en viss gammaenergi. Tabellen visar antalet gammakvanta per sönderfall vid olika energier.

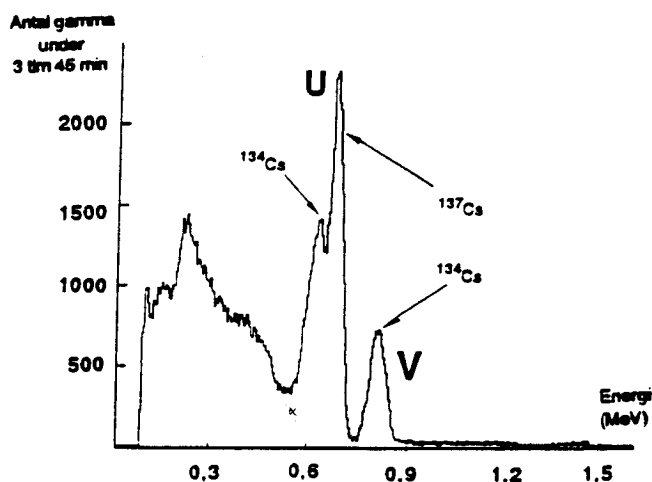
Kalibreringslinjer i ^{152}Eu :	Energi	Antal gamma per sönderfall (f_e)
	0,122	0,307
	0,245	0,079
	0,344	0,272
	0,78	0,133
	0,96	0,145
	1,41	0,214

Gammaaktiviteten för varje energi erhålles genom att multiplicera f -värdena med den framräknade totalaktiviteten för provet. Dessa värden föres in i vänstra kolumnen i tabellen nedan. Därefter avläses antalet detekterade pulser i de olika energitopparna i gammaspektrat. Markörerna placeras till vänster om toppen följt av **u enter** och till höger om toppen följt av **ö enter**. Därefter ges kommandot **cen** och antalet pulser per sekund i toppen visas på skärmen. Dessa värden föres in i tredje kolumnen i tabellen. Kvoten mellan antalet pulser per sekund och gammaaktiviteten ger effektiviteten. Rita diagram, på millimeterpapper, för effektiviteten som funktion av gammaenergin.

ENERGI (MeV)	GAMMAAKTIVITET (Bq)	ANTAL PULSER I FOTOTOPPEN	ANTAL PULSER PER SEK I FOTOTOPPEN	EFFEKTIVITET (%)
0,122				
0,244				
0,344				
0,78				
0,96				
1,41				

Tag upp ett spektrum från provet med cesium. **Starta upptagningen av spektrat före dataanalysen ovan, för att spara tid.** Samla pulser från cesiumprovet under 20-30 minuter.

Ett gammaspektrum från ett prov med cesium visas i figur 4. V-toppen i provet på laborationen är betydligt svagare på grund av att denna kortlivade isotop har klingat av. Halveringstiden för Cs-134 är 2,05 år och för Cs-137 30,2 år.



Figur 4. Gammaspektrum från Cs-prov.

Dubbeltoppen märkt U i figur 7 innehåller gammastrålning både från Cs-134 och från flera övergångar i Cs-137. För att bestämma andelen av Cs-134 i U-toppen använder man sig av V-toppen som endast kommer från Cs-134 strålning. Kärnfysikaliska tabeller anger sannolikheten att ett kärnsönderfall i Cs-134 ger gammaövergångar i U-toppen till $f_{u,134} = 1,218$ och sannolikheten till övergångar i V-toppen till $f_{v,134} = 0,945$.

Den ensamma Cs-137 övergången i U-toppen har f-värdet $f_{u,137} = 0,841$.

Vid mätningarna på cesiumprovet erhålles antalet pulser per sekund n_v från V-toppen och antalet pulser per sekund n_u från U-toppen. De sökta aktiviteterna A_{134} och A_{137} erhålles enligt följande.

$$A_{134} = \frac{n_v}{k_{0,8} f_{v,134}}$$

$k_{0,8}$ är detektorns effektivitet vid gammaenergin 0,8 MeV. Erhålles från effektivitetskalibreringen.

Med kännedom om A_{134} kan Cs-134 bidraget till antalet pulser i U-toppen beräknas enligt

$$n_{u,134} = k_{0,6} f_{u,134} A_{134}$$

och antalet pulser som detekteras från U-toppen blir

$$n_{u,137} = n_u - n_{u,134}$$

Aktiviteten i Cs-137 löses sedan ut till

$$A_{137} = \frac{n_{u,137}}{k_{0,66} f_{u,137}}$$

Bokför alla data snyggt och prydligt på separata papper.

C BESTÄMNING AV RADONAKTIVITETEN I LUFT MED KOLDOSA

Aktivt kol har förmåga att adsorbera gaser. Mängden adsorberad gas under en viss tid är proportionell mot mängden eller aktiviteten av radon i luften. Bestämning av radonhalten med koldosor bygger på analys av sönderfallet från radon som adsorberats i kolet.

Koldosan står med borttaget lock i en bostad under tre dagar och adsorberar radon. I laboratoriet placeras dosan på detektorn och ett gammaspektrum upptages. I den låg-energetiska delen av spektret finns fyra karakteristiska toppar. Två av dessa, vid 0,29 MeV och vid 0,35 MeV används vid analysen. Båda topparna härrör från sönderfall i radon-dottern vismuth-214. Det automatiskt arbetande radonanalysprogrammet summerar alla pulser mellan 0,26 MeV och 0,39 MeV. Antalet uppmätta pulser per sekund i detta intervall betecknas med C. Koldosorna har en proportionalitetsfaktor K som ger förhållandet mellan uppmätt antal pulser och radonhalten i rummet. Denna faktor är $146 \text{ (Bq/m}^3\text{) / (pulser/s)}$.

Radonadsorptionen i kolet beror på luftfuktigheten och temperaturen i rummet där dosan stått. En del av radonet har sönderfallit innan mätningen av sönderfallet påbörjas. Dessa förhållanden introducerar tre korrektionsfaktorer K_F , K_T och K_t . Radonhalten R i rummet blir då

$$R = C \cdot K \cdot K_F \cdot K_T \cdot K_t \text{ (Bq/m}^3\text{)}$$

Korrektionsfaktorerna för luftfuktighet och temperatur visas på nästa sida. Luftfuktigheten bestäms genom att väga dosan före och efter mätningen i rummet.

Korrigeringskonstanter

Fuktupp- tag (g)	K _F	Temp. °C	K _T
1.0	0.84	15	0.79
1.2	0.87	16	0.81
1.4	0.90	17	0.83
1.6	0.92	18	0.85
1.8	0.93	19	0.88
2.0	0.94	20	0.91
2.2	0.95	21	0.94
2.4	0.95	22	0.97
2.6	0.97	23	1.00
2.8	1.00	24	1.03
3.0	1.00	25	1.07
4.0	1.01	26	1.11
5.0	1.02	27	1.15
		28	1.20
		29	1.25
		30	1.30

Figur 3: Korrigeringsfaktorer

$$K_T = \frac{1}{(23 - t) \cdot 0,033 + 1}$$

$$K_F = \frac{1}{1,8 - 0,98\Delta m + 0,447(\Delta m)^2 - 0,0705(\Delta m)^3} \quad 0,3g \leq \Delta m \leq 2,7g$$

$$K_F = \frac{1}{1,026 - 0,00938\Delta m} \quad 2,8g \leq \Delta m \leq 5,7g$$

D Mätning av radonhalt inomhus med ATMOS

Uppgifter om dessa mätningar erhålles vid laborationstillfället.

E MÄTNING AV RADONHALTEN MED RTA 30

RTA (Radon-Toron-Analysator) är en kontinuerlig filtermätare. Rumsluft pumpas genom ett filter i instrumentet. Radondöttrarna fastnar på filtret och den alfastrålning som utsänds under radondöttrarnas sönderfall registreras i en detektor. Antalet alfapartiklar är ett mått på radonhalten i rummet. Sambandet mellan antalet alfapartiklar och radonhalten har bestämts vid kalibrering av instrumentet. Att det är möjligt att kalibrera instrumentet på det sätt som sker visas i den härledning som finns i avsnittet om radioaktivitet i miljöfysikpärmen.

Alfastrålningen som mäts kommer från sönderfall av Po-218 och Po-214. Dessutom registreras sönderfall från element i toriumserien. Dessa senare sönderfall används dels för att korrigera antalet pulser i Po-218 och Po-214-sönderfallen och dels för bestämning av toronhalten i rumsluften.

RTA kan ställas in för mätningar med olika periodlängder. Om den är inställd för perioden 10 minuter betyder det att den ackumulerar antalet pulser som kommer in under tio minuter och lagrar detta antal (för varje kanal) i sitt minne. Mätningen fortsätter sedan utan avbrott med inlagring av data var tionde minut. Radonhaltens variation kan därigenom följas i tiominuterssteg. Den konventionella periodlängden vid radonmätningar är en timme.

Vid radonhaltbestämningen utnyttjar RTA summan av antalet pulser från sönderfallen av Po-218 och Po-214. Eftersom alla rum har en viss ventilation innebär det att aktiviteten i rummet för Po-218 är högre än för Po-214. Den senare ligger längre ner i sönderfallsserien. Om radongashalten är hög kan radondotterhalterna vara låga om luftomsättningen i rummet är hög. Radongashalten är följaktligen inget bra mått på den alfaenergi, som de i andningsorganen ansamlade radondöttrarna avger till människan och som bestämmer de biologiska effekterna av radonet. För att undvika att gränsvärdet för radon görs beroende av luftomsättningen har det utvecklats något som kallas EER-värdet. Ett visst EER-värde i Bq/m^3 innebär att den aktuella radondotterhalten i rummet ger en alfastrålning till människor i rummet som är lika stor som om radondöttrarna hade varit i jämvikt med radongasen och radongaskoncentrationen hade varit just EER-värdet. De verkliga radongas- och radondotterhalterna i rummet räknas således om till en jämviktskoncentration.

Mätdata som har tagits upp med RTA bearbetas i ett program innan det i diagramform presenteras på dataskärmen. Vid standardmätningar redovisas data i fem olika diagram. Dessutom tillkommer specialfunktioner som ger möjlighet till ingående analyser av radonförhållanden i en bostad.

Instruktioner för RTA-analysen ges vid laborationstillfället.