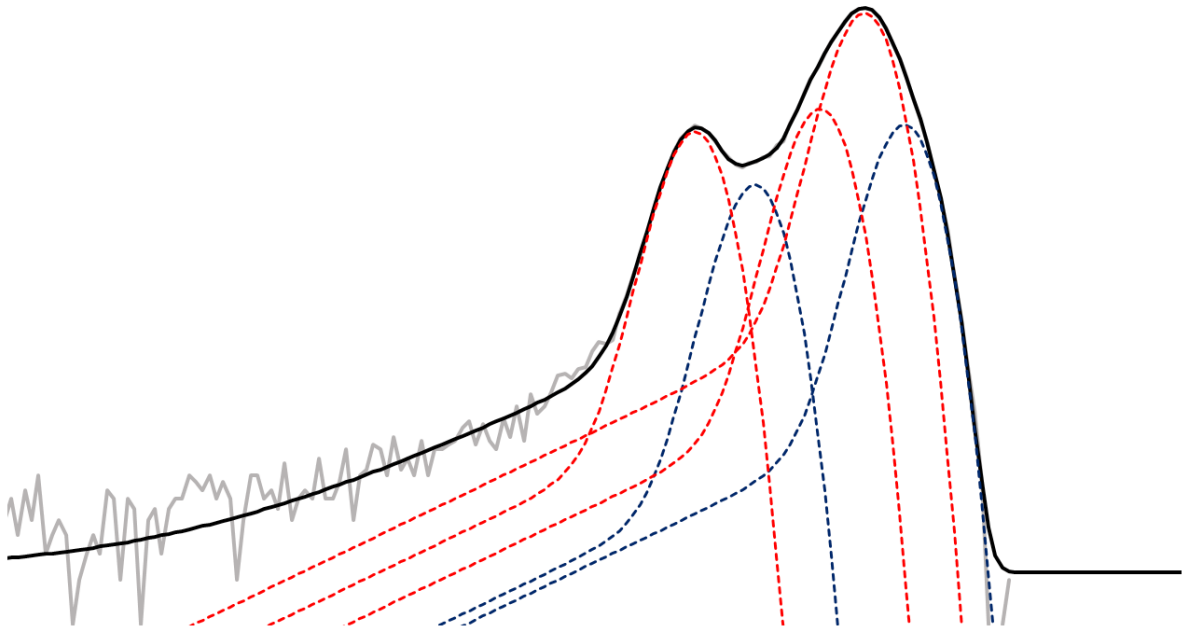


H. RAMEBÄCK, A. TOVEDAL



H. Ramebäck, A. Tovedal

Toppanpassning i alfaspektrometri

Titel	Toppanpassning i alfaspektrometri
Title	Peak fitting in alpha spectrometry
Rapportnr/Report no	FOI-R--4724--SE
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2018
Sidor/Pages	23 p
Kund/Customer	Fö
Forskningsområde	2. CBRN-frågor och icke-spridning
FoT-område	Ej FoT
Projektnr/Project no	A404618
Godkänd av/Approved by	Åsa Scott
Ansvarig avdelning	CBRN-skydd och säkerhet
Exportkontroll	Innehållet är granskat och omfattar ingen information som är underställd exportkontrollagstiftningen.

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk, vilket bl.a. innebär att citering är tillåten i enlighet med vad som anges i 22 § i nämnd lag. För att använda verket på ett sätt som inte medges direkt av svensk lag krävs särskild överenskommelse.

This work is protected by the Swedish Act on Copyright in Literary and Artistic Works (1960:729). Citation is permitted in accordance with article 22 in said act. Any form of use that goes beyond what is permitted by Swedish copyright law, requires the written permission of FOI.

Sammanfattning

I denna rapport presenteras en metodik för dekonvulering av alfaspetra. En förutsättning för bra resultat från dekonvulering är att man har spektrala data med tillräckligt god upplösning. Detta erhålls genom att mäta med tillräckligt bra vakuum, samt att man har tillräckligt tunna prover så att energiförluster för alfapartiklarna från prov till detektor minimeras. Dessutom bidrar ett stort prov-till-detektoravstånd till bättre upplösning. Metoden provades på tre olika material: ^{232}U , ^{240}Pu samt ett med ^{239}Pu och ^{240}Pu .

Nyckelord: Alfaspktrometri, dekonvulering

Summary

In this report a method for deconvolution of peaks in alpha spectra was evaluated. A prerequisite for good results for a deconvolution is to have spectra with good resolution. This can be achieved by having vacuum during the measurement, and thin enough samples in order to minimize energy losses for the alpha particles between the sample and the detector. Additionally, a large sample-to-detector distance results in an improved resolution. The method was tested on three different materials: ^{232}U , ^{240}Pu and one material containing both ^{239}Pu and ^{240}Pu .

Keywords: Alpha spectrometry, deconvolution

Innehållsförteckning

1	Inledning	9
2	Teori	10
3	Material och metod	11
3.1	$^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$	11
3.2	^{240}Pu	11
3.3	^{232}U	11
3.4	Alfaenergier för de studerade radionukliderna.....	12
3.5	Experimentellt	12
3.6	Mätosäkerhet	12
4	Resultat och diskussion	14
4.1	Plutonium ($^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$).....	14
4.2	^{240}Pu	15
4.3	^{232}U	16
5	Slutsats	19
6	Referenser	20

1 Inledning

Toppareabestämning av alfaspektra är problematiskt när en topp interfererar med en annan topp som har lägre energi, vilket kan förekomma om dels olika alfasönderfallande radionuklider finns i ett prov och dessa har energier som inte är tillräckligt skilda från varandra, dels då prover inte är tillräckligt tunna, vilket resulterar i att alfapartiklarna förlorar olika mycket energi under sin passage i provet. Vidare kan energiförluster för alfapartiklarna förekomma om vakuum i mätkammaren inte är tillräckligt bra, eftersom alfapartiklarna även här kommer att förlora energi på vägen till detektorn.

Exempel då spektrumdekonvulering kan vara nödvändigt är vid a) mätning av ^{244}Cm och ^{241}Am , vilka är svåra att separera kemiskt, b) mätning av uran där exempelvis ^{234}U kan interferera med toppar från ^{235}U , c) bestämning av kvoten $^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$, vilket med tillräckligt god upplösning kan göras först efter dekonvulering [Marzo 2016, LaMont 1998]. En lösning på detta problem är att anpassa en funktion som beskriver toppar i alfaspektra till uppmätta data. Därefter kan toppareor beräknas genom integrering/summering av de dekonvulerade topparna.

Målsättningen med detta arbete var att använda en modell, som beskriver toppar i alfaspektrometri och som kan tillämpas för dekonvulering av uppmätta spektrala data.

2 Teori

Ett flertal olika funktioner för att anpassa toppar i alfasppektrum har presenterats i litteraturen. Den enklaste toppformen är en Gauss-funktion, vilken vanligen tillämpas i toppanpassningar i gammasppektrometri. Dock förekommer oftast svansning på lågenergisidan av en alfapopp, vilket gör att Gauss-funktioner inte ger en tillräckligt god anpassning. En lösning är att lägga till n antal exponentialfunktioner som då enbart gäller på lågenergisidan av en topp. För tunna prover räcker inte en exponentialfunktion, utan man kan behöva minst två för att tillräckligt väl kunna beskriva toppformen [Marzo 2016]. En funktion som visat sig kunna beskriva toppar i alfasppektra är [Bortels och Collears, 1987]

$$f(E) = \sum \frac{A_i}{2} \left\{ \frac{1-\eta}{\tau_1} e^{\left(\frac{E-E_{ai}}{\tau_1} + \frac{\sigma^2}{2\tau_1^2}\right)} \cdot \text{ERFC} \left[\frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{E-E_{ai}}{\sigma} + \frac{\sigma}{\tau_1} \right) \right] + \frac{\eta}{\tau_2} e^{\left(\frac{E-E_{ai}}{\tau_2} + \frac{\sigma^2}{2\tau_2^2}\right)} \cdot \text{ERFC} \left[\frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{E-E_{ai}}{\sigma} + \frac{\sigma}{\tau_2} \right) \right] \right\} + \text{BAKGRUND} \quad (1)$$

där σ , τ_1 , τ_2 , η är parametrar som styr toppformen, och som är samma för alla toppar i ett enskilt alfasppektrum. Enskilda toppar karakteriseras också av parametrarna A_i och E_{ai} , där A_i beskriver amplituden och E_{ai} är energin för den emitterade alfapartiklen i . Även om man kan lägga till fler komponenter för att beskriva svansningen av en topp har enbart två använts här. Pommé och Caro Marroyo [Pommé och Caro Marroyo 2015] tillämpade upp till 14 komponenter för att beskriva svansning på båda sidor av en alfapopp. I deras fall gällde det dock alfasppektra av oerhört god kvalitet och där syftet var att bestämma fysikaliska referensdata för alfasonderfall. Utifrån mätdata anpassades parametrarna σ , τ_1 , τ_2 , η , A_i och E_{ai} genom minimering av

$$\chi^2 = \sum \frac{[f(E_i) - N_i]^2}{\sigma_i^2} \quad (2)$$

där $f(E_i)$ är funktionsvärdet i varje mätpunkt, N_i är mätvärdet och σ_i är osäkerheten i det enskilda mätvärdet. Minimering genomfördes med funktionen Solver i Microsoft Excel. Ett VBA-script minimerade felkvadratsumman i ett antal steg: först med avseende på σ , τ_1 , τ_2 , η , A_i och bakgrunden; därefter inkluderades även E_{ai} . Denna sekvens grundade sig i att anpassningen riskerade att urarta om alla parametrar fick variera fritt direkt. I bilaga 1 ges ett exempel på ett script i Excel som genomför toppanpassning för dekonvulering av ^{239}Pu och ^{240}Pu .

3 Material och metod

3.1 $^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$

Dekonvulering av ^{239}Pu och ^{240}Pu tillämpades på IRMM-081 (JRC Geel, Belgien), som är ett material med en isotopandel ^{239}Pu på ca. 95 %. Vid mättillfället (maj 2018) var aktivitetskvoten $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ $0,17334 \pm 0,00044$. De alfaenergier som användes vid dekonvuleringen var för ^{239}Pu 5105,81 keV, 5143,82 keV samt 5156,59 keV (alfaenergier för ^{240}Pu se nedan). Dessa svarar för 99,8 % av alfaemissionen från ^{239}Pu . Vid mätningen användes ca. 100 Bq $^{239+240}\text{Pu}$.

3.2 ^{240}Pu

^{240}Pu sönderfaller genom alfaemission, med i huvudsak antingen en alfapartikel som har energin 5168,13 keV eller med en som har energin 5123,13 keV. Sannolikheterna för dessa emissioner är 72,74 % respektive 27,16 %. I metrologiska sammanhang används alfaspektrometri för att bestämma fysikaliska data för alfasönderfallande radionuklider. Ett sätt att verifiera att dekonvuleringsmetoden är tillräckligt bra är att jämföra, i det här fallet, uppmätta sannolikheter med data från referensmätningar. I denna mätning användes ca. 100 Bq av IRMM-083 (JRC Geel, Belgien) som är anrikad med avseende på ^{240}Pu (98,97 at.-%). Av de alfasönderfallande plutoniumisotoperna i IRMM-083 svarar ^{240}Pu för 99,82 % av alfaaktiviteten och ^{239}Pu för 0,17 %.

3.3 ^{232}U

^{232}U emitterar i sitt sönderfall i huvudsak antingen en alfapartikel med energin 5320,24 keV eller en med energin 5263,48 keV. Sannolikheten för emission av dessa två alfapartiklar är 69,1 % respektive 30,6 %. Dekonvulering av ^{232}U genomfördes eftersom det vid FOI genom åren observerats att de relativa höjderna för toppar från de två emitterade alfapartiklarna inte överensstämmer med fysikaliska data. Teoretiskt ska kvoten vara $69,1/30,6=2,26$, men vid mätningar har denna kvot alltid varit signifikant större. En förklaring skulle kunna vara koincidenser mellan alfapartiklar och konversionselektroner [Siiskonen och Pöllänen 2005]. Genom att mäta på två olika avstånd (nära samt långt ifrån detektorn) skulle denna hypotes kunna testas. Ca. 4 Bq ^{232}U användes i mätningen (NIST SRM 4324A, NIST USA).

3.4 Alfaenergier för de studerade radionukliderna

I tabell 1 redovisas de alfaenergier som användes som startenergier vid dekonvuleringar samt sannolikheter för emission av de olika alfapartiklarna.

Tabell 1. Energier (E_α) och sannolikheter (p_α) för alfapartikelemission för de studerade radionukliderna [DDEP]. Siffrorna inom parentes anger osäkerheten i fysikaliska data.

Radionuklid	E_α (keV)	p_α (%)
^{239}Pu	5105,81(21)	11,87(3)
	5143,82(21)	17,14(4)
	5156,59(14)	70,79(10)
^{240}Pu	5123,6(2)	27,16(19)
	5168,13(15)	72,74(18)
^{232}U	5263,48(9)	30,6(6)
	5320,24(9)	69,1(6)

Här är osäkerheter angivna med $k=1$, och refererar till de motsvarande sista siffrorna för mätvärdet.

3.5 Experimentellt

Fastfasextraktion genomfördes på lösningarna av plutonium och uran för att separera bort dotterradionuklider [Jonsson *et al.* 2014]. Därefter indunstades lösningarna till torrhet varefter proverna löstes upp med 5 ml 15 vikts-% Na_2SO_4 (Merck, Tyskland), 2.5 ml 5 vikts% NaHSO_4 (Merck, Tyskland) och 2 ml Milli-Q-vatten under värmning på värmeplatta vid 150 °C i 10 minuter. Lösningen överfördes sedan till en elektrodeponeringscell. Bägaren sköljdes tre gånger med 1 ml Milli-Q-vatten, som också överfördes till elektrodeponeringscellen. 1 ml $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ (Merck, Tyskland) (20 g/l) tillsattes och provet elektrodeponerades på en stålplanschett i 90 minuter vid en strömstyrka på 0,75 A. Ungefär 1 minut före elektrodeponeringen stoppades tillsattes 1 ml 25 % KOH (Merck, Tyskland). Efter deponeringen sköljdes stålplanschetten med Milli-Q-vatten och fick torka innan mätning.

Mätningar genomfördes med en Octete (Ortec, TN, USA) utrustad med PIPS-detektor (Ortec, TN, USA) med en aktiv area på 300 mm². För att erhålla så högupplösta spektrum som möjligt genomfördes mätningarna i vakuumkammare ($p=2$ mbar). Mätningar på ^{232}U genomfördes på två olika avstånd för att studera koincidenssummationer: (10±2) mm samt (40±2) mm från detektorn. Alla andra mätningar genomfördes på det större avståndet. Antalet kanaler och förstärkning ställdes in så att spektra med ca. 2 keV/kanal erhöles.

3.6 Mätosäkerhet

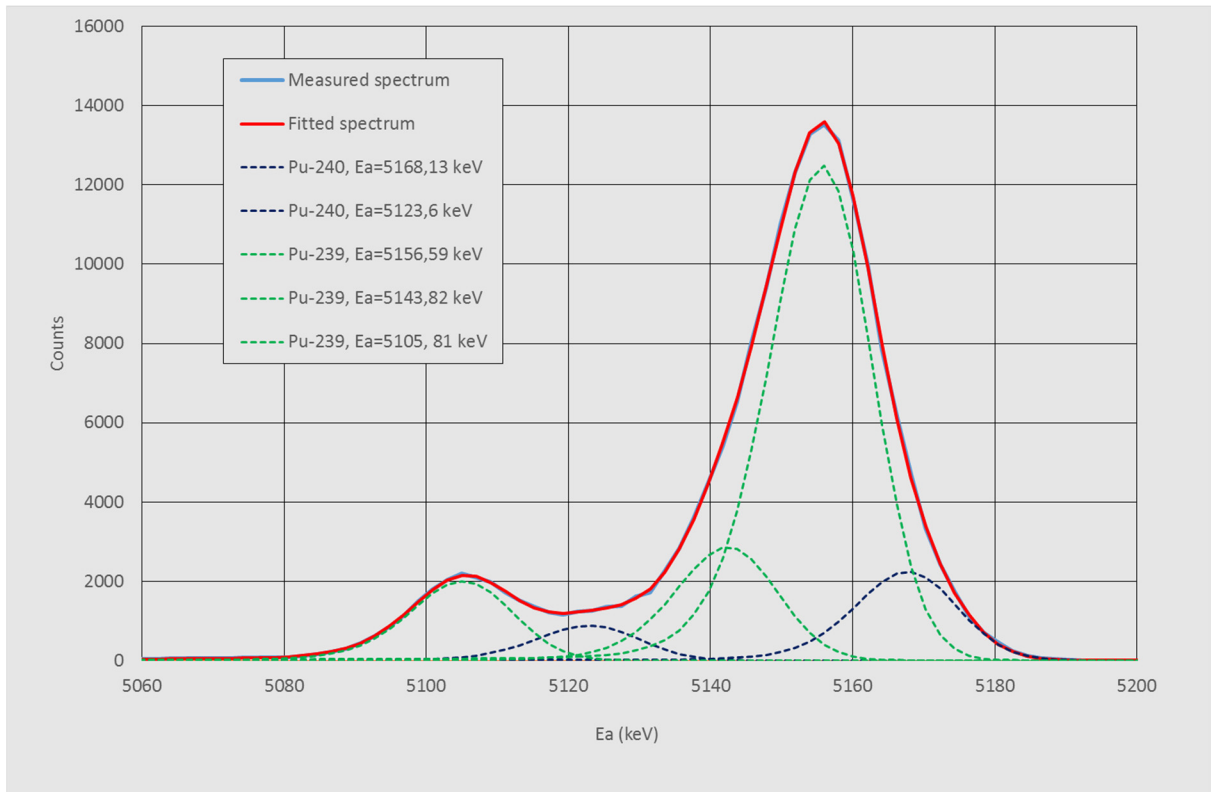
Osäkerheter i uppmätta aktivitetskvoter beräknades enligt Pommé 2015 [Pommé 2015], där hänsyn tas till att toppareorna är korrelerade om topparna inte är helt baslinjeupplösta. Mätosäkerheten beror då inte enbart på antalet händelser i toppar från en radionuklids alfapartikelemission, utan även på

antalet händelser från en annan radionuklids alfapartikelemission under en topp. Bidrag till den sammanlagda osäkerheten från vald funktion har inte skattats. Andra osäkerhetskällor som inte tagits med är bidrag från anpassningen.

4 Resultat och diskussion

4.1 Plutonium ($^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$)

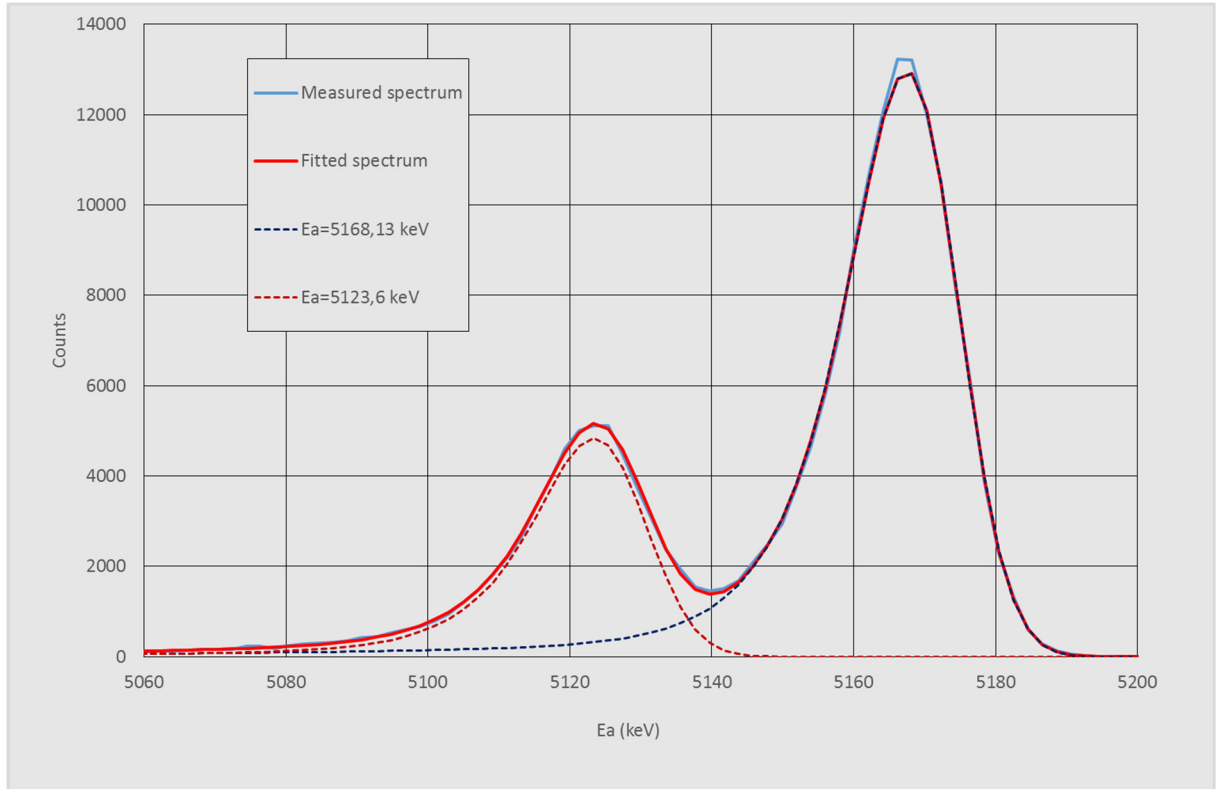
Plutoniummätningar med alfaspektrometri på omgivningsprover är sällan upplösta med avseende på ^{239}Pu och ^{240}Pu , utan resultat presenteras som summan av de två isotoperna $^{239+240}\text{Pu}$ [Manjón *et al.* 1995]. Detta beror på de låga förekommande nivåerna av plutonium i omgivningen i kombination med den begränsade upplösning man kan erhålla med alfaspektrometri. Vid högre aktiviteter, vilket ger god räknestatistik under överskådlig mättid, av plutonium och då man lyckats erhålla god upplösning är det dock möjligt att dekonvulera ^{239}Pu och ^{240}Pu [Sibbens och Pommé 2004; Marzo 2016; Amoudry och Burger 1984]. LaMont *et al.* [LaMont *et al.* 1998] visade att det var möjligt att spektralt lösa upp ^{239}Pu och ^{240}Pu på simulerade prover med aktiviteter mellan 3-7 Bq. I figur 1 visas dekonvulering av ^{239}Pu och ^{240}Pu för IRMM-081. Den uppmätta aktivitetsknoten var $0,1797 \pm 0,0052$ ($k=2$), jämfört med det certifierade värdet på $0,17334 \pm 0,00044$ ($k=2$). (Det certifierade värdet räknades om från isotopkvot till aktivitetsknot samt halveringstidskorrigerades från referensdatumet 1992-12-02.) Det uppmätta värdet avviker statistiskt något från det certifierade, vilket innebär att mätosäkerheten är något underskattad. En mätosäkerhet på 0,0064 istället för 0,0052 för aktivitetsknoten hade gjort att värdena skulle vara konsistenta på 95 % konfidensnivå. Nu är de konsistenta på 97 % konfidensnivå, vilket motsvarar en täckningsfaktor $k=2.43$. Ett osäkerhetsbidrag som inte tagits med och som kan bidra till en underskattad mätosäkerhet är, som tidigare nämnts, bidrag från den använda funktionen. Andra bidrag kan komma från minimeringen av felkvadratsumman. Oavsett får precisionen i resultatet anses var tillräckligt bra. Det kan nämnas att alla alfautbyten för ^{239}Pu och ^{240}Pu efter dekonvulering överensstämde med fysikaliska data inom ca. 4 %.



Figur 1. Alfaspektrum för $^{240+239}\text{Pu}$ (IRMM-081) mätt på stort avstånd från detektorn. Det uppmätta spektrumet döljs i grafen av det anpassade.

4.2 ^{240}Pu

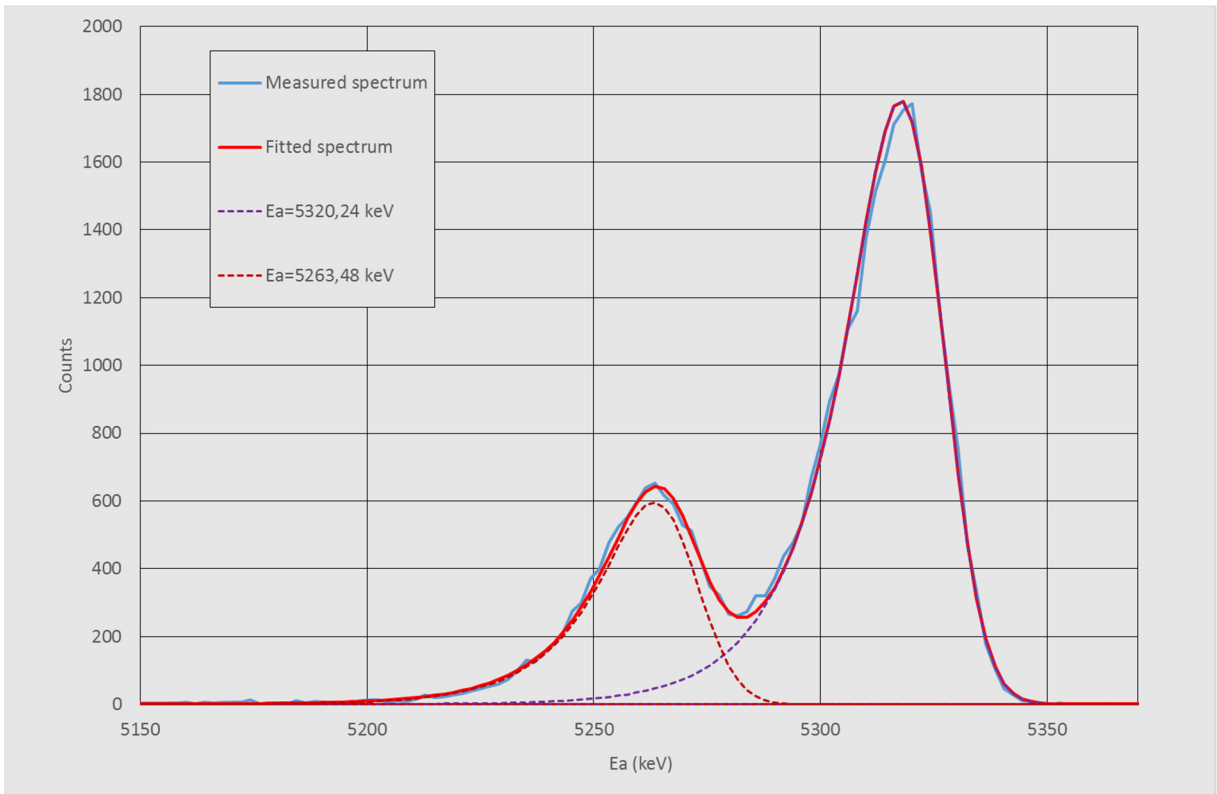
I figur 2 visas en anpassning av alfaspektrum för ^{240}Pu . Den uppmätta kvoten för toppareorna från de två alfapartiklarna blev $2,68 \pm 0,03$ ($k=2$), vilket ska jämföras med ett värde på $2,658 \pm 0,015$ uppmätt i en enskild studie av Pommé och Caro Marrayo [Pommé och Caro Marroyo 2015]. På 95 %-konfidensnivån är dessa värden överensstämmande.



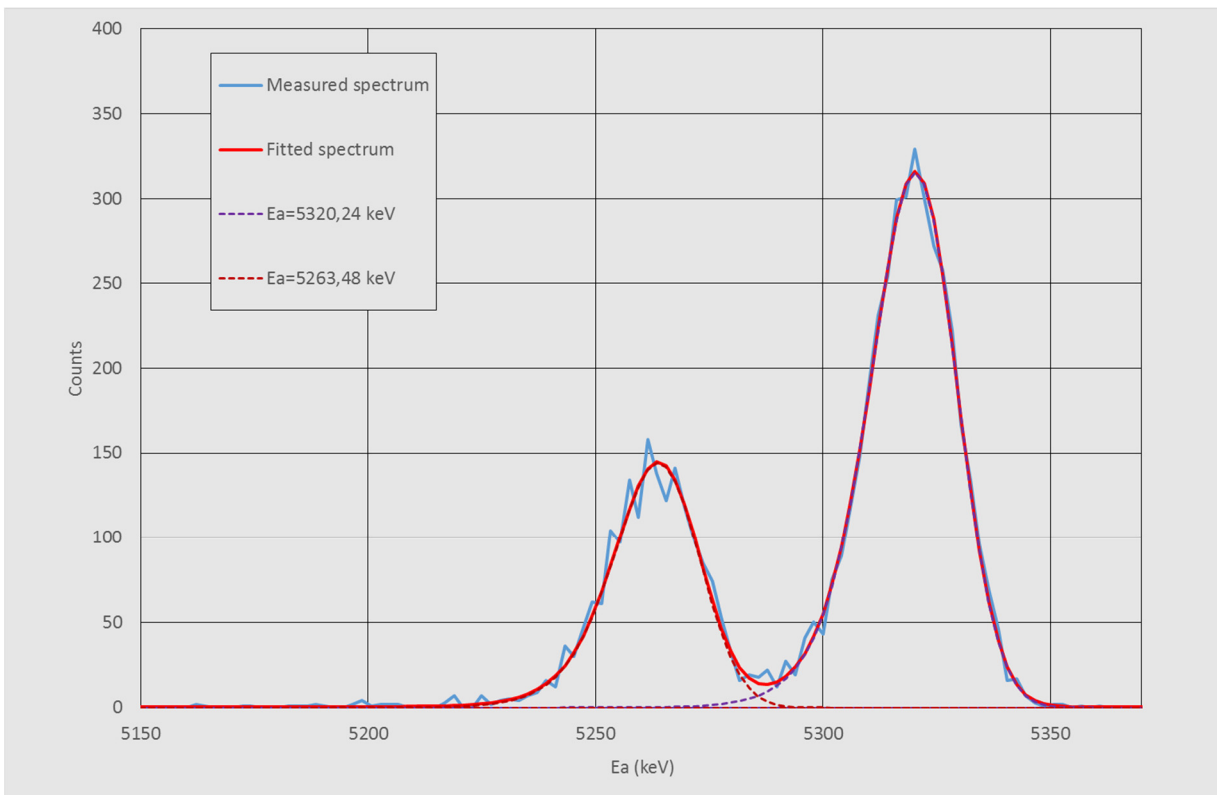
Figur 2. Alfasppektrum för ^{240}Pu (IRMM-083) mätt på stort avstånd från detektorn.

4.3 ^{232}U

I figur 3 visas anpassningen för ett alfasppektrum från ^{232}U då provet mäts nära detektorn. Kvoten mellan areorna för de två alfatopparna blev $2,99 \pm 0,10$ ($k=2$) vilket ska jämföras med den teoretiska kvoten på $2,258 \pm 0,097$ ($k=2$) [DDEP]. Avvikelsen mellan det uppmätta och det teoretiska värdet var i det här fallet ca. 25 %, vilket kan förklaras med att alfapartikeln med energin 5263,48 keV interagerar inom detektorsystemets tidsupplösning med en konversionselektron och då ger bidrag i den högre toppen [Siiskonen och Pöllänen 2005]. Om däremot provet mäts på ett större avstånd minskar sannolikheten för att alfapartikeln och en konversionselektron samtidigt växelverkar i detektorn (analogt med exv. γ - γ -koincidenser i gammadetektometri). Ett spektrum från en sådan mätning visas i figur 4. I denna mätning blev kvoten mellan toppareorna $2,19 \pm 0,13$ ($k=2$), en skillnad på ca. 3 % mot accepterade fysikaliska data [DDEP].



Figur 3. Alfaspektrum för ^{232}U (NIST SRM 4325A) mätt nära detektorn.



Figur 4. Alfaspektrum för ^{232}U (NIST SRM 4324A) mätt på stort avstånd från detektorn.

Det är alltså högst sannolikt att avvikelser i de relativa topphöjderna som tidigare observerats för de två emitterade alfapartiklarna från ^{232}U kan förklaras av koincidenser mellan en alfapartikel och en konversionselektron. Det bör i detta sammanhang påpekas att i motsats till koincidenser i gammaspektrometri, får man inga förluster av händelser i alfaspektrometri eftersom energin på konversionselektronen är så liten, vilket innebär att händelsen fortfarande hamnar i regionen som man analyserar exv. i en isotoputspädningsanalys. I fallet gammaspektrometri får koincidenser till följd att händelsen kan hamna långt ifrån den analyserade toppen, vilket resulterar i s.k. summationsförluster. Den sämre baslinjeupplösningen i figur 3 är till delar en följd av händelser från koincidenser.

5 Slutsats

I detta arbete har en metod för dekonvulering av alfaspetra testats. Dekonvulering av ^{239}Pu och ^{240}Pu för ett uppmätt spektrum med en aktivitetskvot $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ på $0,17334 \pm 0,00044$ ($k=2$) resulterade i en aktivitetskvot på $0,1797 \pm 0,0052$ ($k=2$), vilket är överensstämmande på 97 % konfidensnivå. Dekonvulering av de två huvudtopparna för ^{240}Pu i ett material anrikat med avseende på ^{240}Pu , resulterade i alfautbyten som var konsistenta med tidigare uppmätt data från referensmätningar. Vidare visades att vid mätning av ^{232}U nära detektorn erhålls koincidenssummationer (α +konversionselektroner). Vid mätning på ett större avstånd överensstämde mätresultatet med fysikaliska data.

Förslag på fortsatt arbete

Detta arbete förslås kunna fortsätta med att studera fler fall då dekonvulering kan vara nödvändigt exv. IDAS (*isotope dilution alpha spectrometry*) då toppar från prov och spik inte är baslinjeupplösta. Ett intressant fall är då man har tjocka prover, exv. i *in situ* alfaspktrometri som gör att svansningen blir betydligt mer svårartad än i det här arbetet. Vidare skulle ett fortsatt arbete kunna inbegripa skapandet av användbara verktyg (*programvara*) för dekonvulering.

6 Referenser

- Amoudry, F., Burger, P., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 223, 360, 1984
- Bortels, G., Collears, P., International Journal of Radiation Applications and Instrumentation Part A Applied Radiation and Isotopes, 38, 831, 1987
- Decay Data Evaluation Project, DDEP:
http://www.nucleide.org/DDEP_WG/DDEPdata_by_A.htm (data hämtat augusti 2018)
- Jonsson, S., Holmgren, S., Lagerkvist, P., Vesterlund, A., Tovedal, A., Ramebäck, H., FOI-R-3906-SE, Juni 2014
- LaMont, S.P., Glover, S.E., Filby, R.H., Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 234, 195, 1998
- Manjón, G., Garcia-León, M., Ballestra, S., López, J.J., Journal of Environmental Radioactivity, 28, 171, 1995
- Marzo, G., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A832, 191, 2016
- Pommé, S., Caro Marroyo, B., Applied Radiation and Isotopes, 96, 148, 2015
- Pommé, S., Metrologia, 52, 146, 2015
- Sibbens, G., Pommé, S., Applied Radiation and Isotopes, 60, 155, 2004
- Siiskonen, T., Pöllänen, R., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A550, 425, 2005

Bilaga 1: Kortfattad beskrivning av beräkningsalgoritm i Excel för dekonvulering av alfasppektrum

För varje energi skapades ett ark som beskriver varje enskild topp som ska ingå i dekonvuleringen. Amplitud och energi är unikt för varje topp, medan toppformsparametrar (upplösningen σ och svansningsparametrarna τ_i , och η i Ekv. 1) är gemensamma för alla toppar. Alla toppar som funktion av energi summerades ihop och den viktade och kvadrerade avvikelserna mot uppmätta värden beräknades i varje datapunkt (Ekv. 2). Därefter minimerades felkvadratsumman (Ekv. 2) med funktionen Solver i Excel genom att variera amplituder, toppformsparametrar, bakgrund samt energier. Antalet händelser i de enskilda topparna summerades slutligen ihop för att erhålla toppareor.

Exempel på ett script i Visual Basic för minimering av felkvadratsumman vid dekonvulering av ^{239}Pu och ^{240}Pu :

' Macro5 Macro

Sheets("Sum").Select *'Arket där minimering av felkvadratsumman genomförs.*

Range("B15").Value = 4750 *'Startenergi (E_{low}) i keV*
för energiområdet som ska dekonvuleras.

Range("C15").Value = 5240 *'Stoppenergi (E_{high}) i keV*
för energiområdet som ska dekonvuleras. Ett logiskt uttryck användes som satte enskilda bidrag till felkvadratsumman till noll om energierna låg utanför energiintervallet. Om data låg innanför intervallet beräknades bidraget till felkvadratsumman. Det logiska uttrycket i Excel var:
=IF(AND(E>E_{low};E<E_{high}; Beräknat felkvadratsummebidrag; 0)

SolverOk SetCell:="\$G\$41", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0,
ByChange:="\$I\$19:\$I\$23;\$I\$31:\$I\$37", *'Anrop av Solver. Cell G41 innehåller felkvadratsumman. I första steget varieras*

amplituder (cellerna I19-I23) och parametrar som bestämmer toppformer (cellerna I31-I37). Detta upprepas fyra gånger.

Engine:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"

*SolverOk SetCell:="\$G\$41", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0,
ByChange:="\$I\$19:\$I\$23;\$I\$31:\$I\$37", _*

Engine:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"

SolverSolve Userfinish:=True

*SolverOk SetCell:="\$G\$41", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0,
ByChange:="\$I\$19:\$I\$23;\$I\$31:\$I\$37", _*

Engine:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"

*SolverOk SetCell:="\$G\$41", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0,
ByChange:="\$I\$19:\$I\$23;\$I\$31:\$I\$37", _*

Engine:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"

SolverSolve Userfinish:=True

*SolverOk SetCell:="\$G\$41", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0,
ByChange:="\$I\$19:\$I\$23;\$I\$31:\$I\$37;\$I\$5:\$I\$9", _*

'Här tas

även energierna med i minimeringen (cellerna I5-I9). Även detta steg upprepas några gånger.

Engine:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"

*SolverOk SetCell:="\$G\$41", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0,
ByChange:="\$I\$19:\$I\$23;\$I\$31:\$I\$37;\$I\$5:\$I\$9", _*

Engine:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"

SolverSolve Userfinish:=True

*SolverOk SetCell:="\$G\$41", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0,
ByChange:="\$I\$19:\$I\$23;\$I\$31:\$I\$37;\$I\$5:\$I\$9", _*

Engine:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"

*SolverOk SetCell:="\$G\$41", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0,
ByChange:="\$I\$19:\$I\$23;\$I\$31:\$I\$37;\$I\$5:\$I\$9", _*

Engine:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"

SolverSolve Userfinish:=True

Sheets("START").Select

End Sub

Om flera spektrala regioner, som är baslinjeupplösta, förekommer i ett spektrum kan ovanstående script ingå (kopieras) efter att man modifierat start- och stoppenenergi, samt ändrat cellreferenser för amplituder och energier för de toppar som ska ingå i de olika regionerna. Observera att toppformsparametrarna ska var samma för alla toppar. Om exempelvis ^{238}Pu ska ingå i dekonvuleringen kan scriptet upprepas mellan energierna 5200 keV och 5540 keV beroende på spektral kvalitet. Det bör då räcka med att variera amplituder och energier för topparna från ^{238}Pu .

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00
Fax: 08-55 50 31 00

www.foi.se