

Espectrometria gamma amb detector de HPGe per a la detecció a baixes energies

MEMORIA

Autor: Anna Camp Brunés
Director: Arturo Vargas Drechsler
Convocatòria: Gener 2012



**Màster Interuniversitari UB-UPC
d'Enginyeria en Energia**

Màster Interuniversitari UB-UPC d'Enginyeria en Energia

Sol·licitud d'acceptació de presentació del Projecte Final de Màster i sol·licitud de defensa pública.

Alumne: Anna Camp Brunés

DNI: 47814588 - A

Títol: Espectrometria gamma amb detector de HPGe per a la detecció a baixes energies

Director: Arturo Vargas Drechsler

Acceptació de la presentació del projecte:

Confirmo l'acceptació de la presentació del Projecte Final de Màster.

Per a que consti,

Vargas Drechsler, Arturo

Cognoms, nom (director del Projecte)

Sol·licito:

La defensa pública del meu Projecte Final de Màster.

Per a que consti,

Camp Brunés, Anna

Cognoms, nom (Alumne)

Barcelona, 13 de gener de 2012

Resum

La determinació de l'activitat gamma en mostres radioactives per part dels detectors HPGe es realitza a partir de les corbes d'eficiència en energia, determinades prèviament a partir de fonts patró. Aquest patrons, que tenen activitats conegudes d'una sèrie de radioisòtops permeten ajustar la corba que s'utilitzarà a posteriori, per conèixer l'eficiència de qualssevol radioisòtop en tot el rang energètic. A baixes energies però, degut a l'atenuació de les gammes en el material, les corbes d'ajust no serveixen i és necessari tenir en els patrons mostres del radioisòtop d'interès. Degut a la diversitat de matrius de mostres que arriben al laboratori, tenir patrons per totes elles és inviable, de manera que en el present projecte s'establirà una metodologia alternativa.

RESUM



Índex

1) Introducció

1.1. Antecedents i motivació	3
1.2. Objectius.	5
1.3. Abast	6
1.4. Resum	6

2) Conceptes bàsics

2.1. Detectors de semiconductor	8
2.1.1. La física dels semiconductors.	8
2.1.2. Tipus de semiconductors	11
2.1.3. La unió P-N	12
2.2. La detecció gamma	16
2.2.1. Caracterització dels detectors HPGe	19
2.2.1.1. La capa morta	21
2.2.1.2. La finestra del detector	22
2.3. Desintegracions gamma i de raigs-X	22
2.4. Mecanismes d'interacció de la radiació gamma.	26
2.4.1. Absorció fotoelèctrica	27
2.4.2. Efecte Compton	29
2.4.3. Producció de parells	30
2.5. Els coeficients d'atenuació	31
2.6. L'efecte dels pics suma	34
2.7. El <i>pile-up</i>	34
2.7.1. La zona multicompton	35
2.8. Simulació Montecarlo-PENELOPE.	37

3) Metodologia

3.1. Introducció	40
3.2. Caracterització geomètrica del detector	41
3.3. Càlcul d'eficiències per a fonts puntuals	48

3.3.1. Obtenció de l'eficiència experimental.	48
3.3.2. Tractament de les dades experimentals	49
3.3.3. Eficiència de la simulació en PENELOPE/penEasy	49
3.3.4. Convolució dels espectres simulats per PENELOPE/penEasy	51
3.4. Càlcul d'eficiències per a fonts extenses	53
3.4.1. Tractament de dades del PENELOPE/PenEasy	54
3.5. Incorporació dels raigs-X (PENELOPE/PenEasy-eXtended)	55
3.6. Protocol d'implementació del programa	
PENELOPE/penEasy-eXtended	60
4) Resultats i discussions	
4.1. Introducció	68
4.2. Determinació de la corba FWHM	69
4.3. Resultats amb fonts puntuals	70
4.4. Resultats amb matriu d'aigua	79
4.5. Resultats amb matriu de sòls	84
4.5.1. Caracterització d'un sòl	85
5) Conclusions i treballs futurs.	104
6) Agraïments	106
7) Referències	107
8) Annexos	
8.1. Annex 1: PenEasy.	109
8.2. Annex2 : Detall de la programació en PENELOPE/penEasy eXtended de la desintegració de l'Am-241	120
8.3. Annex 3: Funcionament de tables.exe	134
8.4. Annex 4: Creació de nous materials amb material.exe	136
8.5. Annex 5: Genie 2000	139

1. INTRODUCCIÓ

En el laboratori d'Anàlisi de Radioactivitat Ambiental (LARA) s'analitzen mostres d'aigua, sòls, filtres d'aire, llet, teixits animals i vegetació d'una dieta tipus per tal de mesurar-ne el contingut radioactiu. Aquestes mostres s'analitzen en el marc de programes de vigilància ambiental amb l'objectiu de conèixer els nivells radioactius que permetin conèixer en tot moment que els nivells radiològics a l'ambient i la cadena tròfica no superin els límits de referència que estableix el Consell de Seguretat Nuclear. El laboratori està capacitat per analitzar la radiació alfa, beta i gamma; concretament per al tercer tipus, que és en el que se centrarà el treball, es disposa de tres cristalls de germani *High-Purity Germanium* (HPGe).

L'objectiu principal del següent estudi és aconseguir analitzar amb més detall el comportament de gammes de baixes energies fent ús del codi de simulació PENELOPE [7], que a partir del mètode Montecarlo permet simular les deteccions que tenen lloc de forma experimental al laboratori.

1.1. Antecedents i motivació:

El LARA està situat a les instal·lacions de l'Institut de Tècniques Energètiques (INTE) a l'edifici de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers Industrials de Barcelona (ETSEIB) de l'UPC. El laboratori està acreditat per la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC), segons la norma ISO17025, per a assaigs de radioactivitat en aigües i d'altres matrius ambientals.

La col·laboració entre el LARA i altres grups d'investigació, com l'International Committee for Radionuclide Metrology (ICRM), permet la intercomparació dels seus resultats per tal de posar-los en comú i compartir avenços. En aquestes intercomparacions es realitzen mesures per una mateixa mostra i se n'extreu el valor de l'activitat dels diferents radionúclids, aquests valors d'activitat són els que es compararan amb els que hagin extret els altres grups.

Els detectors HPGe s'utilitzen en la detecció gamma i poden detectar, en el seu rang més baix, fins a energies d'entre 10-40 keV en funció del model. Per tal de determinar l'activitat d'una mostra els laboratoris fan ús de les corbes d'eficiència en energia, prèviament calculades per aquella matriu i que permeten establir a partir del número de comptes detectat, l'activitat present dels diferents radioisòtops. És important doncs, caracteritzar aquesta corba d'eficiències per cada matriu. Aquest procés es realitza a partir de fonts patró amb activitats conegudes d'una sèrie de

1. INTRODUCCIÓ

radioisòtops que permeten, fent el procediment invers al que es farà amb les mostres desconegudes, trobar les eficiències a diferents energies partint d'una activitat ja determinada.

Mitjançant la simulació es pot determinar l'eficiència en energia per un determinat radionúclid que presenti desintegració en cascada; per aquest tipus d'isòtops, de forma experimental només es pot determinar l'eficiència per al radionúclid concret, però l'existència de pics suma provoca que el resultat no sigui aplicable de forma general a aquella energia. En aquesta línia, un estudi realitzat anteriorment en el projecte de final de màster [5] va implementar una ampliació al programa (PENELOPE/PenEasy-Cascade) per tal de treure els factors de correcció que cal aplicar als nuclis que pateixen aquesta desintegració en cascada. És a dir, que tenen més d'una gamma amb intensitats elevades i que provoquen que el número de comptes detectat en els fòtocs sigui inferior al que correspondria en aquella energia, ja que és probable que dues gammes es detectin en el mateix moment produint-se pics l'energia dels quals és la suma corresponent d'aquestes gammes, tal com es pot observar a la figura 1.1.

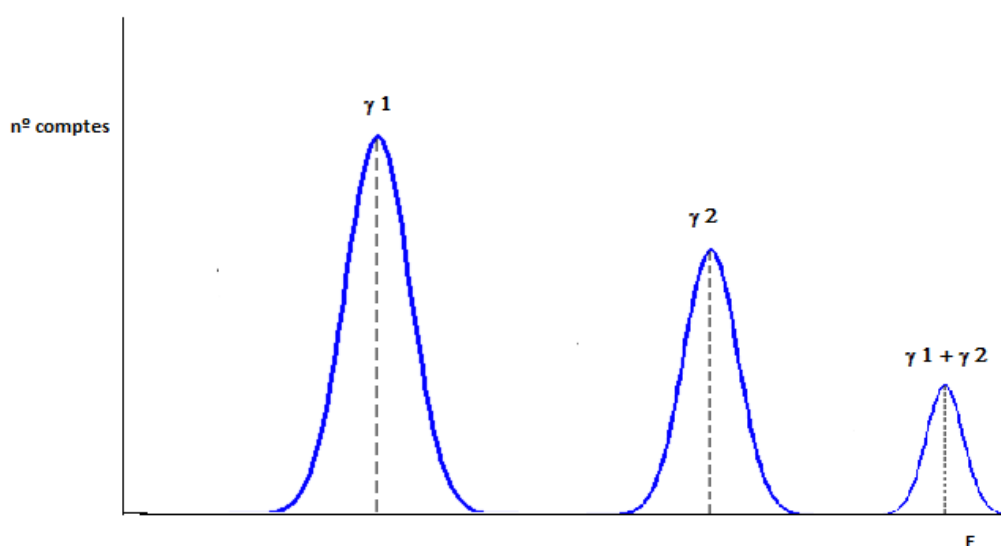


Figura 1.1: Esquema de l'efecte que es produeix en la suma de pics per desintegració en cascada

Com a conseqüència d'aquestes comptes de menys, l'eficiència obtinguda en energia serà menor que la que correspondria. Aplicant els factors de correcció es pot determinar l'eficiència en energia a partir de l'eficiència d'un radionúclid que presenti desintegració en cascada. Els resultats trobats utilitzant el programa de simulació van ser validats i acceptats a partir de les intercomparacions amb d'altres grups com l'ICRM.

Una dificultat és que el número de radionúclids que contenen els patrons és determinat, tot i així es pot traçar una corba que determini, a altes energies, l'eficiència de qualssevol isòtop que arribi en aquell rang. A baixes energies però, per sota d'uns 60 keV, l'autoabsorció que pateixen

1. INTRODUCCIÓ

les gammes en el material exigeixen tenir mostres del radionúclid d'interès en el patró de calibratge de manera que se'n determini l'eficiència exactament i no es pugui fer ús dels resultats proporcionats per la corba ajustada a partir de radioisòtops d'energies superiors.

Aquest procediment exigiria tenir en els patrons de totes les matrius mostres d'aquests nuclis menys energètics, com és el cas del Pb-210. Però les matrius són molt diverses i, en el cas dels sòls per exemple, varien les seves composicions d'una a altra mostra, fent que sigui molt complex tenir aquests patrons en tots els casos. En aquest projecte doncs, es pretén establir una metodologia alternativa per tal de determinar aquesta corba d'eficiències a baixes energies sense necessitat de tenir, tots els radionúclids en tots els patrons i en totes les mostres possibles. Això es realitzarà a partir de l'ús del programa PENELOPE [7] que pot simular les interaccions d'electrons, positrons i fotons en diferents medis i materials, i així permet estudiar el comportament que tindran aquests radionúclids en diferents situacions. A partir del disseny d'una correcta geometria que representi l'experiment real, i després de validar els resultats simulats amb els radioisòtops que sí que es troben en els patrons, es poden fer estudis d'eficiència per a tot tipus de nuclis radioactius i determinar així la resposta que ha de presentar el detector.

El procediment es basarà en determinar el comportament a partir d'un altre nucli que presenti pics en la zona d'interès. L'Am-241 és un nucli que mostra en el seu espectre pics gamma i de raigs X molt abundants i inferiors al seu fòtòpic de 59,6 keV, és per això que es pretén extreure a partir del seu anàlisi, el comportament d'altres nuclis que presentin fòtòpics en aquest rang. El primer pas es desenvolupar un programa capaç de reproduir completament l'espectre de l'Am-241, la qual cosa implica implementar els raigs X a PENELOPE/penEasy. A continuació la simulació d'aquest isòtop en el material de la matriu que s'estigui estudiant, proporcionarà l'eficiència d'aquests pics menys energètics, com per exemple el Pb-210, i per tant es podrà traçar la corba d'eficiències en el rang de baixes energies, malgrat no es disposi en el patró d'una mostra del Pb-210.

1.2. Objectius:

Per tant els objectius del següent treball són,

- 1) Obtenció d'una geometria precisa del detector amb què es treballarà que permeti reproduir l'experiència real en la simulació Montecarlo.
- 2) Modificar el programa base PENELOPE/PenEasy per tal d'incorporar la simulació de raigs X.
- 3) Validar el mètode desenvolupat amb les mostres patró disponibles en el laboratori.
- 4) Obtindre un mètode que permeti determinar les corbes d'eficiència a baixes energies.
- 5) Determinar un procediment que permeti determinar a baixes energies, les activitats en mostres desconegudes.

1.3. Abast:

La part que té una aplicació pràctica més directa d'aquest projecte és la determinació de la corba d'eficiències per baixes energies en matrius per a les quals no es té un patró amb tots els radionúclids que després arriben en mostres, ja que permetria que es poguessin certificar radionúclids amb gammes poc energètiques. Per això que s'establirà un protocol de treball per poder trobar aquestes eficiències en diferents matrius, a partir de l'estudi del comportament d'aquestes de les partícules gamma en diferents materials i en diferents geometries.

Un pas següent, que no està a l'abast d'aquest projecte, seria establir una completa base de dades amb les geometries més comunes que rep el LARA i amb materials diversos, de tal manera que es pogués accedir de forma ràpida a l'eficiència requerida per cada radionúclid. Degut a què cada nucli es comporta diferent en cada material i que aquests són diversos i de composició química desconeguda, caldria tenir una base força àmplia i molt ben estructurada. La intenció del treball és deixar establertes les bases de treball.

Un altre punt que si es desenvoluparà en aquest projecte és la implementació dels raigs-X en el programa. Es mostraran alguns exemples i s'establirà el protocol de treball, de totes maneres tal i com s'observarà es tracta d'una aplicació complexa de manera que cal veure en quins casos resulta convenient la seva aplicació. El cas de l'Am-241 que és amb el que es treballa en el present estudi, és un dels que resultaria convenient pel seu elevat nombre d'emissions en raigs X.

1.4. Resum :

El següent projecte s'estructura en quatre grans blocs: conceptes bàsics, metodologia i resultats i conclusions.

En el primer bloc es fa una introducció a la teoria de funcionament dels detectors HPGe, tant pel que fa al seu disseny com per la física de semiconductors en què es basen. Un cop tractada la forma com detecten la radiació, s'introdueixen conceptes que s'aniran desenvolupant en punts posteriors, l'efecte i origen del pic suma, l'efecte del *pile-up* i les seves conseqüències en la detecció i l'origen i afectació dels raigs X en les desexcitacions dels nuclis, com a via alternativa als fòtons gamma. Finalment es fa una breu introducció al codi PENELOPE/PenEasy, que és amb el que es realitzen les simulacions i estudis.

En el bloc de metodologia s'explica el procediment de treball que s'ha seguit. Primerament cal definir correctament la geometria del nostre detector en el codi de simulació, comprovar-la i analitzar la forma en què s'han de tractar les dades, tant experimentals com simulades. En el punt

1. INTRODUCCIÓ

de fonts extenses s'observa la importància d'una correcta definició dels materials i es plantegen els problemes que hi haurà en matrius de composició desconeguda. Pel que fa a la incorporació dels raigs-X, s'analitzen les probabilitats que cal tenir en compte i la forma d'interpretar-les a partir de les taules de valors experimentals que s'han utilitzat en aquest treball, les del LNHB/CEA [1].

En el capítol de resultats i conclusions es presenten els resultats obtinguts amb fonts patró disponibles en el laboratori i s'estableix el procediment per tal de determinar, a partir de l'espectre d'Am-241 caracteritzat a partir de PENELOPE/penEasy-eXtended, la corba d'eficiències a baixes energies en matrius diverses. Concretament s'analitza el cas per a una matriu de la qual se'n desconeix la composició i, per tant, se n'ha d'aproximar el comportament d'atenuació mitjançant la simulació.