

LA CAMBRA GAMMA

per

ANTONI LLORET I ORRIOLS

Membre de la Secció de Física de la SCCFQM i
del Laboratori de Física Nuclear d'Altes Energies
de l'École Polytechnique de Palaiseau (França)

Introducció

Avui dia, una de les tendències dels Laboratoris estatals francesos de Recerca Fonamental és la de preocupar-se pel desenvolupament i les aplicacions dels coneixements obtinguts. Així s'esdevé en el nostre Laboratori de Física Nuclear de les Altes Energies de l'École Polytechnique de Palaiseau (França) on són practicades tres activitats de «diversificació»:

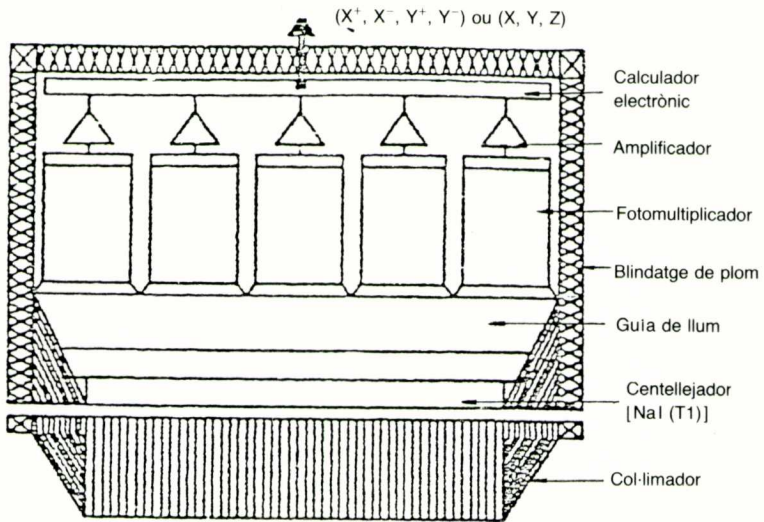
- 1) Síntesi de capes primes per a l'energètica i la microelectrònica
- 2) Concepció de circuits integrats (VLSI) i
- 3) Perfeccionament de la *cambrà gamma* per a la diagnòsi mèdica.

Es tracta de tres temes ben diferenciats dels de la Recerca Experimental de les Altes Energies, que s'ocupa d'explorar l'Univers subatòmic, en els seus aspectes nuclear, nucleònic i subnucleònic. Malgrat tot, hi ha nombrosos punts comuns i, sobretot, una mateixa pràctica de treball o «saber fer». En efecte, la síntesi de materials en capes primes pot ésser assolida a partir de plasmes de deposició, és a dir d'estats de la matèria constituïts per tot un seguit d'objectes subatòmics, atòmics i moleculars en interacció; els problemes relatius a la concepció dels circuits integrats formen part de les exigències de les experiències més avançades de les Altes Energies, i, finalment, en l'aplicació de la *cambrà gamma* (anomenada també *cambrà de centelleig*) a la Medicina hom no fa altra cosa sinó adaptar-hi la tecnologia de la detecció nuclear.

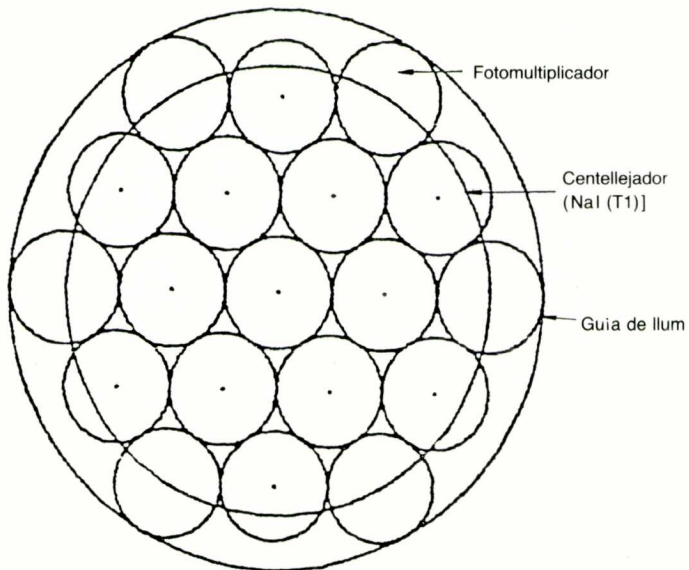
En aquest article exposarem:

1. El principi de la *cambrà gamma*
2. Els problemes que planteja la seva adaptació al camp de la Medicina, així com el seu perfeccionament
3. Les solucions proposades.

El treball científic i tècnic ha estat dut a terme en el marc d'una col·laboració, en la qual, a més de l'École Polytechnique, participen el Laboratori LAL (Orsay), l'Hospital Joliot (Orsay), l'Hospital Bordeaux Haut-Lévêque i la Universitat Bordeaux II, i ha merescut el primer premi del «Concurs Innovacions i Inven-



Sistema de detecció d'una cambra gamma.



Disposició dels fotomultiplicadors en el cap de detecció d'una cambra gamma.

Figura 1

cions» del 1982 patrocinat per l'Associació d'Enginyers dels Centres Hospitalaris públics, de França.

El principi de la cambra gamma

Es tracta d'un detector nuclear per al diagnòstic mèdic. El pacient absorbeix una certa substància radioactiva que emet radiacions gamma. L'indicador radioactiu més usual és el tecneci 99-m. Aquesta substància emet gammes de 140 KeV i té un període de sis hores. Les seves propietats físiques en fan una de les millors substàncies pel al marcatge «in vivo». La *cambra gamma* detecta els gammes emesos i reproduïx una imatge bidimensional de la distribució de la radioactivitat fixada en l'òrgan que hom examina. La qualitat d'aquesta representació depèn essencialment de la linealitat de restitució de la imatge, de la uniformitat de la resposta en el camp tractat i de les resolucions espacial, energètica i temporal. La *cambra gamma* clàssica no dona per ella sola prou satisfacció respecte a aquests paràmetres, indispensables per a descobrir petites anomalies sense introduir paràsits que poden simular efectes inexistents. És, doncs, per aquesta raó que aquest aparell necessita un «dispositiu de correcció».

La cambra (fig. 1) és constituïda per:

- un cristall centellejador de NaI (Tl) col·locat darrera un sistema de col·limadors
- un sistema per a localitzar els centelleigs, format per fotomultiplicadors i un calculador electrònic.

Els col·limadors (fig. 1) tenen com a missió proporcionar feixos de gammes provinents de l'òrgan examinat que siguin estrets i paral·lels.

La detecció de les radiacions gamma per un centellejador és un procés que té lloc en tres etapes:

1. El fotó incident interacciona amb el cristall de centelleig i produeix fotons lluminosos.
2. Aquests produeixen electrons en interaccionar amb el fotocàtode d'un tub fotomultiplicador (FM).
3. El nombre d'aquests electrons es multiplica fins a formar impulsions elèctriques d'intensitat suficient.

En les cambres actuals el centellejador és un cristall de NaI (Tl) de gran diàmetre, òpticament acoblat als fotocàtodes mitjançant una guia de llum. La geometria d'aquesta guia lluminosa té molta importància ja que és responsable del grau de distorsió no lineal de la imatge. El centelleig en un punt del cristall produeix

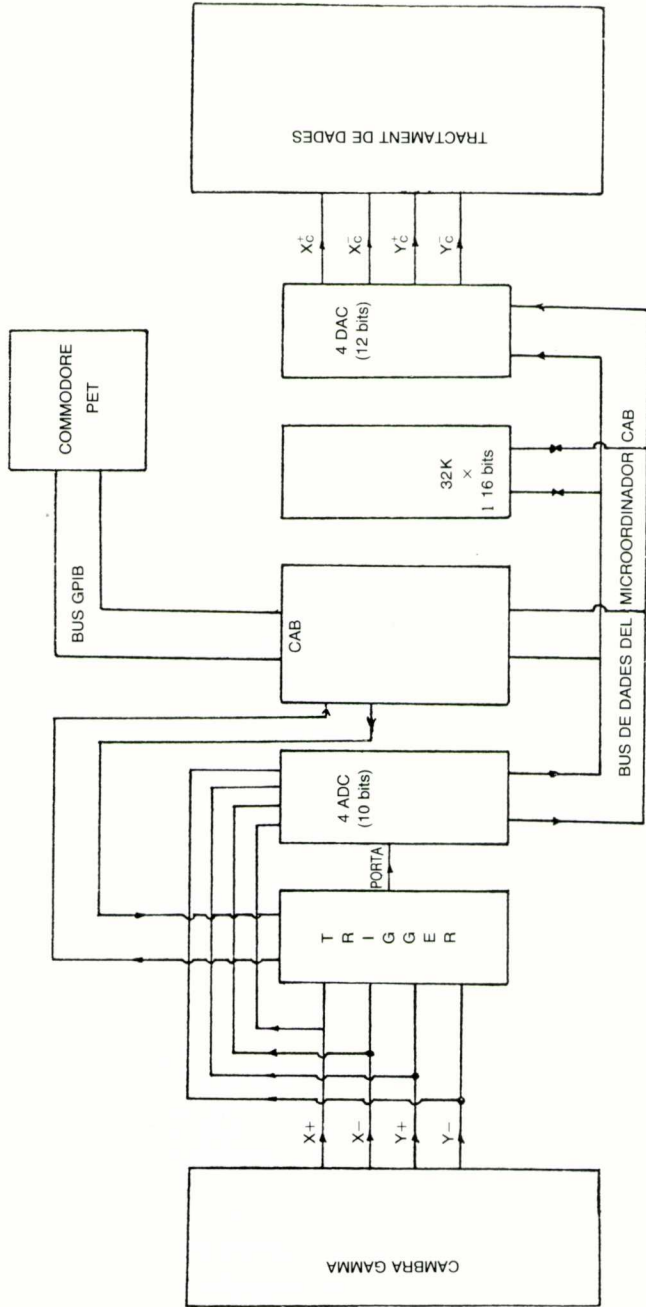


Figura 2

una resposta en cada fotomultiplicador. Com més lluny es troba el FM, més feble és la seva impulsió elèctrica de sortida. Aquest principi permet un tractament electrònic que proporciona les coordenades del punt del centelleig. D'altra banda, la suma dels senyals provinents de tots els centellejadors és proporcional a l'energia total absorbida pel cristall. Aquestes dades obtingudes en forma de senyals analògiques electròniques poden ésser tractades electrònicament de manera que reconstrueixin la imatge de l'òrgan examinat.

Limitacions de la cambra gamma

La interpretació clínica de les imatges de les cambres de centelleig emprades en medicina nuclear és fonamentada en la diferenciació de les regions de les imatges que presenten diferents concentracions radioactives. Aquesta necessitat exigeix que la cambra proporcioni una bona uniformitat de resposta en el camp per tal de no fer aparèixer anomalies que no existeixen en l'òrgan que hom explora. Malgrat els progressos d'aquests últims anys, no ha estat possible fins ara d'aportar milloraments ni en les distorsions lineals ni en els defectes d'uniformitat de resposta. En efecte, alguns factors de millorament de la linealitat i la uniformitat de resposta són contradictoris amb un augment del poder de resolució espacial, de manera que el que hom guanya d'un costat ho perd de l'altre. La solució a aquesta important dificultat ha estat trobada aplicant el «saber fer» de la tecnologia de detecció de la Física Experimental de les Altes Energies. Així, ha estat desenvolupat un «corrector d'uniformitat» que permet una correcció de finestra espectroscòpica (energia) i de les distorsions espacials (posició) dels senyals en un temps de l'ordre d'alguns microsegons.

El corrector d'uniformitat

Es tracta d'intercalar un aparell d'utilització universal entre una *cambra gamma* comercial i el sistema de tractament de dades associat, que corregeixi en temps real els defectes de linealitat i d'uniformitat sense amb això perdre resolució espacial.

Els senyals provinents de la cambra són digitalitzats per uns ADC (convertidors analògic-digital) ràpids i tractats en temps real per un microordinador. Les dades, un cop corregides, són convertides en analògiques per uns DAC (convertidors digital-analògic) per tal que puguin ésser tractades pel sistema de tractament associat a la cambra.

El corrector d'uniformitat (fig. 2) és doncs format per:

1. Un «trigger» de llindar que selecciona els senyals per sobre del soroll de fons, comanda els ADC i posa en marxa el microordinador per a la lectura.

2. 4 vies d'ADC ràpides de 10 bits que transformen els senyals analògics donats per la cambra en senyals digitals que són enviats al microordinador.
3. Un microordinador CAB («Camac Booster») que tracta les dades en línia amb un temps de cicle de 170 nanosegons.
4. Una memòria de 32K paraules de 16 bits associada al microordinador per a emmagatzemar histogrames i els coeficients de correcció.
5. 4 vies DAC que converteixen les dades gràfiques tractades pel microordinador.
6. Un calculador (tipus Commodore PET) que gestiona entre altres funcions les entrades i sortides del CAB.

El cor d'aquest aparell és naturalment el microordinador CAB, dispositiu desenvolupat en el nostre laboratori per tal de satisfer les necessitats de les experiències de les Altes Energies. En efecte, en la detecció de partícules en les experiències d'avui dia, cal poder tractar un gran nombre d'informacions que apareixen en temps molt breus. El CAB és doncs un microordinador perfectament adaptat per a tractar les nombroses dades que proporciona una *cambra gamma* en intervals de temps molt petits. El CAB es presenta en la forma d'un mòdul CAMAC de 4 unitats i és configurat segons les unitats següents:

- controlador de xassís CAMAS microprogramable
- controlador de branca CAMAC microprogramable
- interfície GPIB/CAMAC microprogramable.

Aquestes unitats tenen en comú:

- un processador bipolar amb un cicle efectiu de 170 nanosegons i diferents mòduls «hardware» especialitzats i directament accessibles
- en opció, un accés directe al «bus» del microprocessador que permet l'adquisició de dades a velocitats més grans que les autoritzades pel CAMAC
- el logicial.

Els ADC que digitalitzen els senyals analògics provinents de la cambra han d'ésser suficientment ràpids: menys d'1 microsegon. Els ADC utilitzats són del tipus FLASH-ADC (TDC 1014J). Hi ha un inconvenient respecte a la precisió d'aquests ADC, i és que tenen únicament 6 bits, cosa insuficient, ja que per a les correccions geomètriques hom en necessita 10. Com que el període de conversió dels FLASH-ADC és de 30 nanosegons i els senyals provinents de la cambra duren 1 microsegon, el problema pot ésser resolt acumulant diverses digitalitzacions successives d'un mateix senyal.

Amb aquests aparells, dels quals acabem de donar una descripció molt gene-

ral, és possible de restituir la imatge donada per la cambra de centelleig aportant-hi tota mena de correccions. Cal tanmateix disposar d'un programa que apliqui uns bons mètodes correctius. Pel que fa a les variacions espacials de l'energia que són responsables de la degradació de la uniformitat de resposta de les cambres gamma i de la qualitat de les imatges, hom pot imaginar dos mètodes de correcció. Un d'ells consisteix a compensar el senyal d'energia respecte a la finestra espectromètrica, desplaçant aquesta finestra en funció de la posició del centelleig de manera que quedi ben centrada en el pic d'absorció total. En l'altre mètode es tracta d'obtenir la mateixa compensació mantenint la finestra fixa i desplaçant els espectres en l'escala de les energies fins que el pic fotoelèctric aparegui ben centrat en la finestra. Aquest segon mètode ofereix més avantatges, essencialment perquè utilitza dues vegades menys de memòria en l'emmagatzemament dels coeficients de correcció. Les distorsions geomètriques són errors sistemàtics originats per les variacions intempestives dels guanys dels fotomultiplicadors o del circuit electrònic de posicionament. Això té com a conseqüència una localització deficient dels esdeveniments detectats, de manera que la posició mesurada no coincideix amb la real. Aquestes distorsions geomètriques poden ésser corregides en línia durant l'acumulació de dades o naturalment també en diferit. El problema essencial és el de conèixer amb precisió els desplaçaments, cosa que pot ésser assolida:

- escorbant el camp de la cambra amb una font puntual,
- emprant una xarxa regular de fonts puntuals, o bé
- utilitzant «un fantasma» de línies paral·leles en lloc de fonts puntuals.

Els desplaçaments així mesurats són introduïts en el programa en forma d'una matriu, i cada esdeveniment pot aleshores ésser col·locat en la seva veritable posició.

L'aparell de correcció ha estat provat satisfactòriament en una *cambra gamma* de tipus ANGER (PHO-GAMMA-III Nuclear Chicago) i ha entrat en servei en centres hospitalaris.

L'experiència assolida en aquest domini ha permès tanmateix d'iniciar un nou pas cap al millorament del detector pròpiament dit. El projecte, que es troba en curs de realització, consisteix a substituir el cristall de centelleig detector per una cambra de centelleig proporcional en un gas (Xe a 20 kg de pressió). Ha estat demostrat que la resolució en aquestes cambres pot ésser molt interessant, ja que hom pot assolir un 5 % per a l'energia i 3 mm en el cas d'una radiació incident de 122 keV.