

## ESPERIENZA 5

### Parte 5.1 Decadimento $\gamma$ (indicativamente 3h)

#### Scopi dell'esperienza:

- Osservare sperimentalmente un'emissione radioattiva ( $\gamma$ ) e trattarne statisticamente la legge di decadimento esponenziale
- Stimare il tempo di dimezzamento  $\tau$  di tale decadimento
- Misurare il fondo radioattivo in laboratorio e prenderlo in considerazione nel fit del decadimento  $\gamma$  di cui sopra

#### Materiali a disposizione:

- 1 contatore geiger della PASCO
- Isogenerator della PASCO
- Schermi in piombo per le radiazioni ionizzanti
- Software di acquisizione con interfacciamento a PC (Datastudio).

#### Svolgimento dell'esperienza

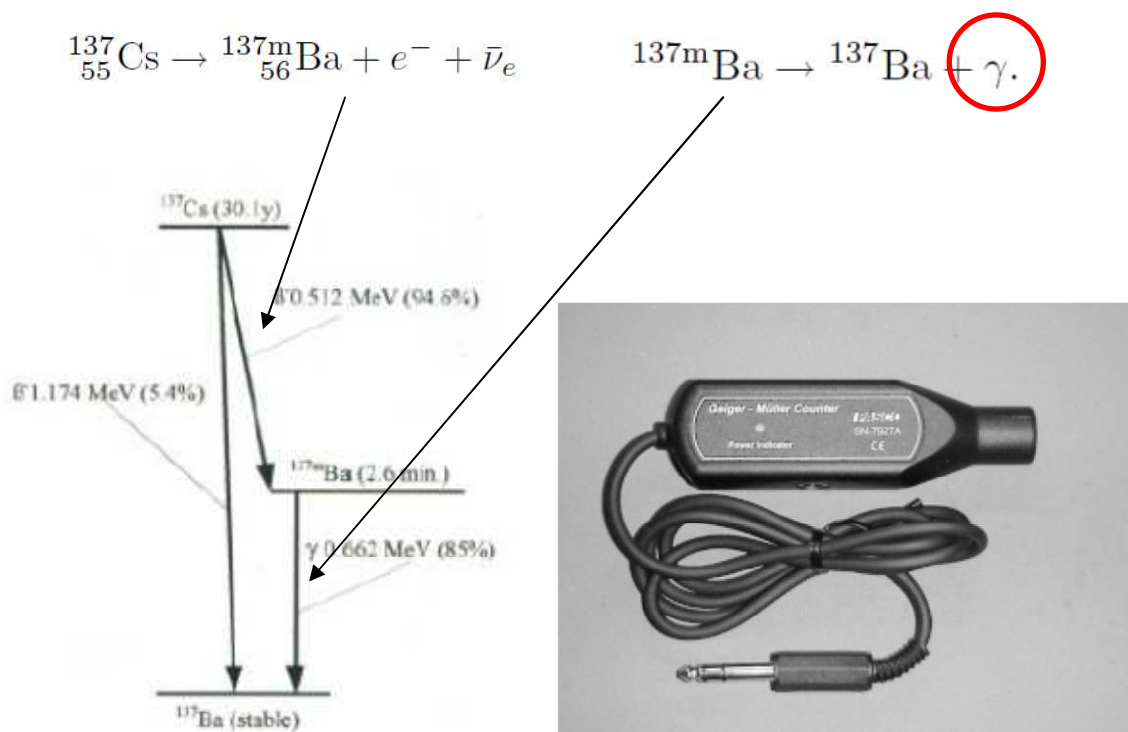


Figura 1 Schema di decadimento del generatore di isotopi Cs/Ba $^{137\text{m}}$  (sinistra). Contatore Geiger a destra. In alto lo schema di decadimento dal Cs al Bario eccitato e poi dal Bario eccitato al Bario stabile. Durante l'esperienza lasciate montato il tappo protettivo.

In Figura 1 è riportato lo schema di decadimento del  $\text{Cs}^{137}$  (tempo di dimezzamento circa 30 anni) in  $\text{Ba}^{137\text{m}}$  il quale decade con un tempo di dimezzamento di circa 2.55 minuti. In collaborazione con gli esercitatori si estrarranno poche gocce di una soluzione contenente il bario radioattivo per la misura del suo decadimento a  $\text{Ba}^{137}$  stabile attraverso emissione di radiazione  $\gamma$  (~662 KeV). In virtù del breve tempo di dimezzamento di tale specie eccitata il tempo intercorrente fra “l'estrazione” del Bario e la misura con Geiger dovrà essere minimizzato (il kit della PASCO è riportato in Figura 2). Una buona cosa per iniziare l'esperienza sarà quella di misurare, col contatore Geiger messo nella posizione in cui poi si farà la misura vera e propria, il fondo naturale rilevato in laboratorio (pochi conteggi al secondo).

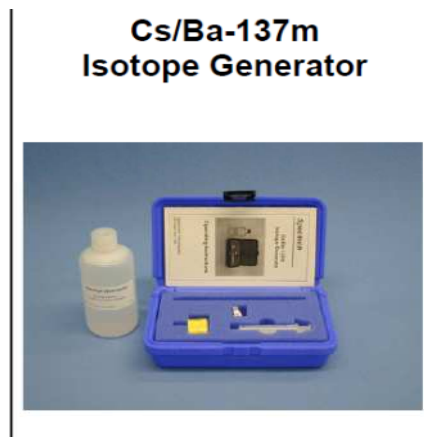


Figura 2.

Qui sarà lasciato allo sperimentatore decidere quanto a lungo misurare tale fondo (si utilizzi comunque un tempo  $> 3$  minuti). Sui dati veri e propri si verificherà poi –con opportuni metodi statistici- che i conteggi siano costanti nel tempo e se ne determinerà opportunamente il valor medio dei conteggi e la loro deviazione standard dal valor medio.

Stesso tipo di misura verrà rifatta in presenza degli schermi in piombo che saranno poi utilizzati nella misura vera e propria per proteggere gli operatori dalla –pur minima- esposizione a radiazioni ionizzanti.

Quando verrà fatta la misura vera e propria, operando con la tempistica di cui sopra, potrete misurare dei “conteggi”  $\otimes$  al geiger che ad ogni tempo generico  $t$  varranno:

$$R(t) = e^{-\lambda t} R_0.$$

Dove  $R_0$  sono il numero di conteggio ad un generico istante iniziale  $t_0$ .  $\lambda$  è la costante di decadimento del Bario-137 eccitato e il tempo di dimezzamento sarà

$$\tau = \frac{\ln(2)}{\lambda}$$

Un esempio di decadimento che potrete ottenere è riportato in Figura 3.

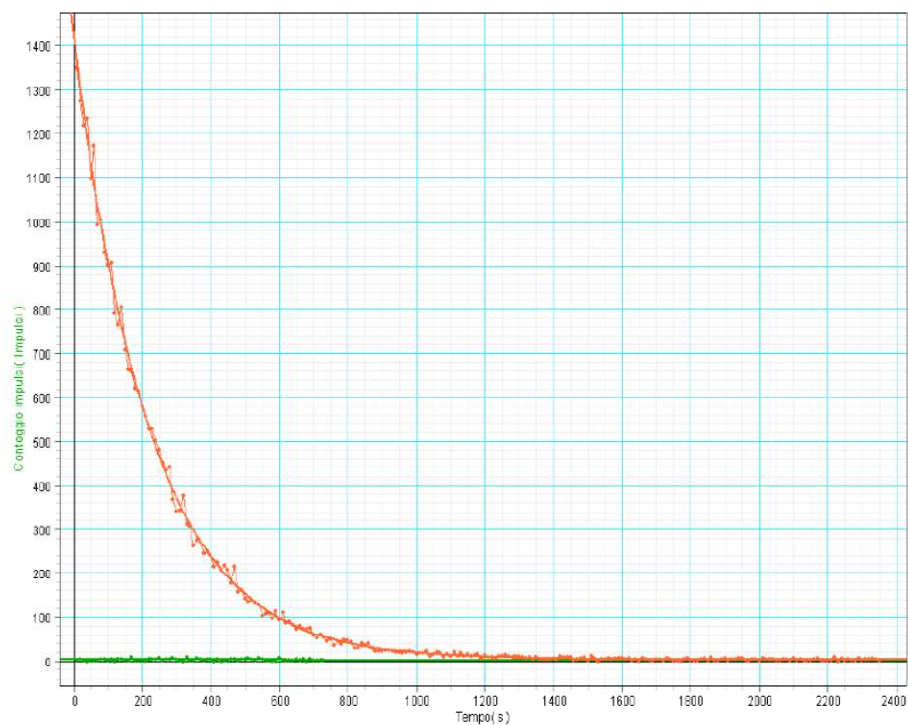


Figura 3.

### Note pratiche:

- Per l'estrazione del Bario dal kit a disposizione si tenga conto che si deve fare in tempi molto ridotti e che la goccia di liquido radioattivo v'è misurata al più presto pena perdere la parte iniziale del decadimento (che nel fit è molto importante).

### Obiettivi dell'esperienza 2

- Misura del decadimento  $\gamma$  del  $\text{Ba}^{137\text{m}}$
- Verifica dell'esponenzialità di tale legge
- Misura dei conteggi di fondo in laboratorio in differenti condizioni

### Un'unità didattica sul decadimento radioattivo

L. M. Gratton, S. Oss

*Dipartimento di Fisica, Università di Trento  
Via Sommarive 14, 38050 Povo (Trento) Italy*

F. Operetto

*Dipartimento di Fisica, Università di Trento  
Via Sommarive 14, 38050 Povo (Trento) Italy  
e INFN, Via Sommarive 14, 38050 Povo (Trento) Italy*

**E. Problemi di sicurezza: convinciamoci che è un esperimento innocuo!** – Alcuni studenti hanno manifestato preoccupazioni relative alla sicurezza della misura proposta. Vale pertanto la pena di affrontare seppur brevemente il problema.

Possiamo innanzitutto definire l'attività della sorgente che dobbiamo misurare come il numero di decadimenti per secondo: l'unità di misura è il becquerel (1 Bq è definito come 1 decadimento al secondo). È ancora molto in uso come unità di misura dell'attività anche il curie (1 Ci =  $3,7 \cdot 10^{10}$  Bq).

Le radiazioni (alfa, beta, gamma o anche X) che trasportano abbastanza energia da poter provocare la perdita di uno o più elettroni atomici nelle molecole che compongono tessuti organici, con effetti biologici che possono essere potenzialmente dannosi, sono dette *ionizzanti*.

La quantità misurata in dosimetria è la "dose assorbita"  $D$  che si misura in gray (Gy). Un gray corrisponde all'assorbimento di un joule in un kg di materia (1 Gy = 1 J/kg). È ancora d'uso comune come unità di misura il rad (1 Gy = 100 rad).

La dose assorbita non è per sua natura idonea a tener conto delle diversità degli effetti indotti a parità di energia assorbita e quindi a predire l'entità degli effetti dannosi. Infatti il rischio derivante dall'esposizione non dipende solo dalla dose assorbita, ma è strettamente legato anche al tipo di radiazione incidente e alla radiosensibilità dei vari organi.

Per tener conto della diversa pericolosità delle differenti tipologie di radiazioni incidenti, si moltiplica la dose assorbita per un "peso"  $w_R$ , detto "fattore di ponderazione" che tiene conto della pericolosità della radiazione. Nel nostro caso (radiazione gamma)  $w_R = 1$ . Il prodotto della dose assorbita in tessuto per il fattore di ponderazione prende il nome di dose equivalente  $H$  (sievert).  $H = w_R D$  <sup>(14)</sup>. In passato la dose equivalente si misurava in rem (1 Sv = 100 rem).

Si stima che in un anno la dose media efficace assorbita da una persona a causa della radioattività naturale (raggi cosmici, radiazione gamma terrestre, radon, ecc.) sia compresa tra 1 e 10 mSv <sup>(15)</sup>. Una singola radiografia intraorale completa dei denti comporta un'esposizione fino a 0,015 mSv <sup>(16)</sup>.

<sup>(14)</sup> A rigore, per tener conto della diversa radiosensibilità dei diversi organi e tessuti, si introduce anche la dose equivalente efficace  $E$ , somma delle dosi equivalenti nei diversi organi o tessuti  $H_T$ , ciascuna moltiplicata per un fattore di ponderazione  $w_T$ , che tiene conto appunto della diversa radiosensibilità dei diversi organi o tessuti.

<sup>(15)</sup> Si veda, ad esempio, [www.unisi.it/creditimedicina04/settembre\\_lezioni/pinto\\_radioprotezione.pdf](http://www.unisi.it/creditimedicina04/settembre_lezioni/pinto_radioprotezione.pdf).

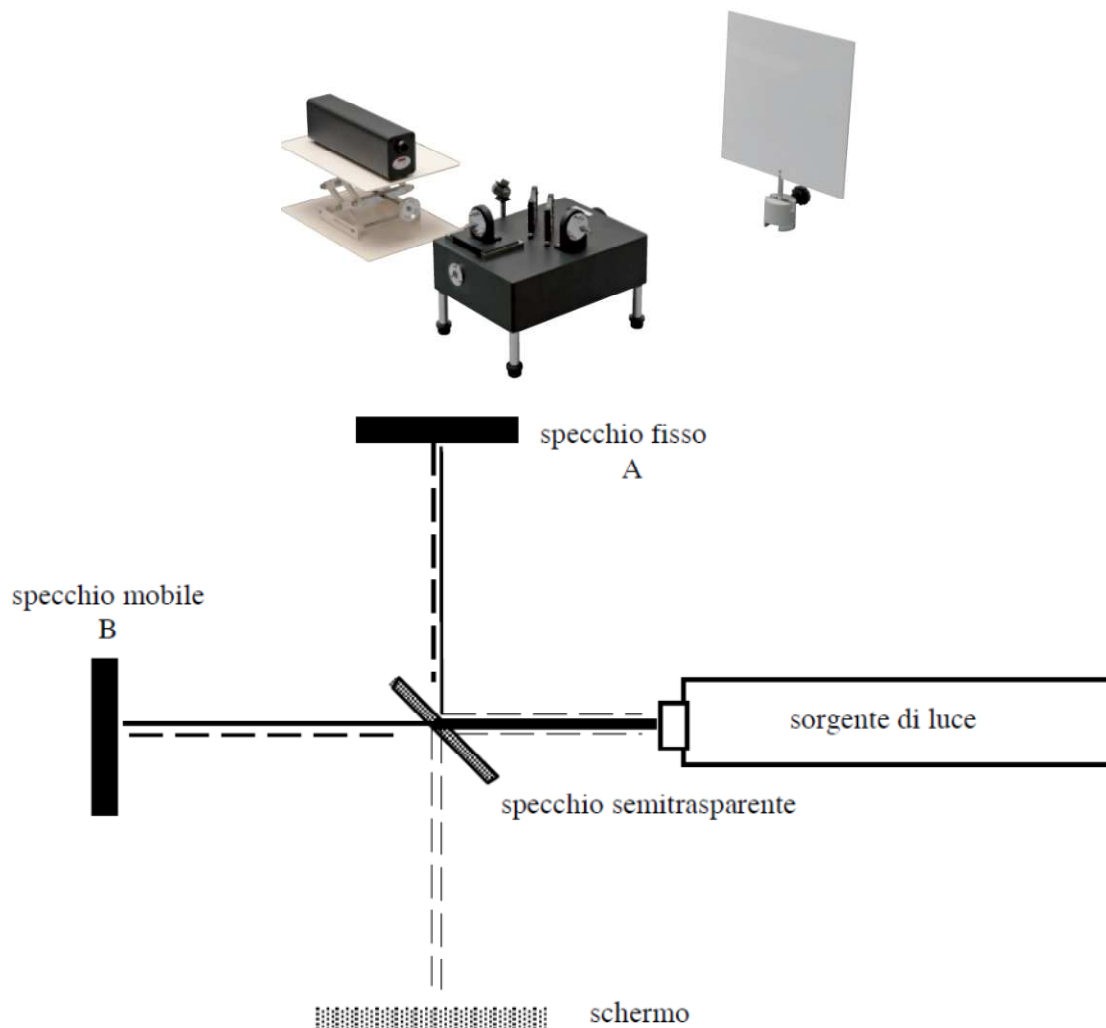
<sup>(16)</sup> Si veda, ad esempio, la tabella in [www.hps.org/publicinformation/ate/faqs/dentalpatientissuesq&a.html](http://www.hps.org/publicinformation/ate/faqs/dentalpatientissuesq&a.html).

Un calcolo (approssimato per eccesso) della dose equivalente che si assorbirebbe maneggiando direttamente l'isogeneratore è di circa 0,005 mSv/h. Ne consegue che se maneggiassimo ininterrottamente l'isogeneratore per un'ora (e non per i pochi minuti necessari a preparare la soluzione) assorbiremmo una dose equivalente pari a terzo di quella assorbita con una radiografia ai denti.

Per quanto detto le schermature di piombo ben visibili in fig. 6 sono del tutto superflue, ma sono state aggiunte per tranquillizzare ulteriormente gli studenti.

## Parte 5.2 Misura della lunghezza d'onda di una sorgente monocromatica (indicativamente 1h)

Uno degli esempi classici di interferometria è costituita dall'interferometro di Michelson nel quale un fascio collimato di luce monocromatica viene diviso, per mezzo di uno specchio semi-riflettente in due fasci i quali vengono fatti poi interferire su uno schermo per mezzo di due specchi totalmente riflettenti. Vedi schema sotto.



La luce composta da un'onda monocromatica interferirà sullo schermo dell'interferometro a seconda del ritardo relativo fra le due onde che vengono trasmesse e riflesse dal beamsplitter. In particolare la figura di interferenza visualizzata a schermo dipenderà dalla differenza di cammino ottico fra il percorso laser-specchio mobile B-schermo e laser-specchio fisso A-schermo (sotto le ipotesi che l'indice di rifrazione dell'aria possa essere assunto pari a 1 e che lo spessore ottico del compensatore sia trascurabile).

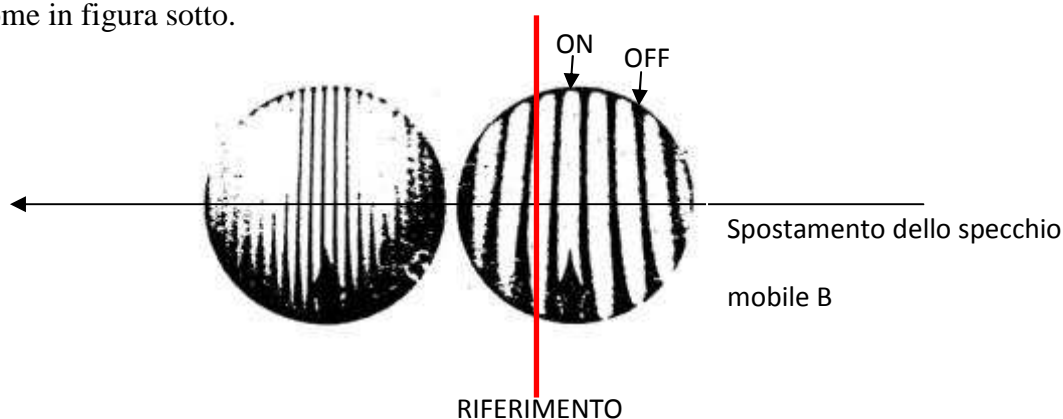
Idealmente con interferometro perfettamente allineato si visualizzerà uno spot che si accende e si spegne mentre lo specchio mobile si muove. Tali "ON" "OFF" di luce sono correlati secondo la relazione

$$N_{frange} \times \lambda = 2D$$

Dove  $N_{frange}$  sono le frange contate a schermo,  $\lambda$  la lunghezza d'onda del laser da stimare e  $D$  lo spostamento relativo dello specchio mobile lungo il proprio asse misurato rispetto ad un riferimento arbitrario.

Dove per frangia intendiamo un ciclo completo di passaggio a schermo di ON-OFF e ancora ON. In altre parole la distanza fra due massimi di interferenza.

Nella pratica di laboratorio si verificherà che è invece molto più facile allinearsi in una condizione in cui invece di un singolo massimo (ON)-minimo (OFF) se ne vedono una serie, tipicamente, come in figura sotto.



Tale evenienza è dovuta ad una non perfetta sovrapposizione spaziale (coalescenza) dei fasci provenienti rispettivamente dallo specchio A e B. In tale condizione comunque il conteggio di frange consisterà nello spostamento di uno dei massimi individuati nella figura di interferenza al variare della posizione dello specchio B rispetto ad un riferimento.

*In questa esperienza dimostrativa (fatta con l'assistenza dell'esercitatore) avrete l'obiettivo di stimare opportunamente la lunghezza d'onda di un laser ad elio-neon (He-Ne) attraverso una semplice misura di interferometria Michelson.*

**OBIETTIVO OBBLIGATORIO:** Si richiede la discussione del risultato ottenuto in termini di compatibilità con la lunghezza d'onda nominale di tale laser che è fornita essere pari a 632.8 nm (potete considerare per gli scopi di questa esperienza tale lunghezza d'onda nominale come senza barra d'errore o meglio con barra d'errore molto più piccola di quella che otterrete sperimentalmente). **Fornire un piccolo report scritto (~un foglio) e consegnarlo insieme alla relazione sul decadimento radioattivo.**

**OBIETTIVO OPZIONALE:** se l'indice di rifrazione dell'aria, nelle condizioni tipiche di temperatura, umidità, pressione, etc è fornita pari a 1.0003 di quanto cambierebbe la lunghezza d'onda da voi stimata per il laser ad HeNe?

**NOTE PRATICHE:** come vedrete con questo esperimento riusciremo a visualizzare a schermo una quantità che varia sensibilmente con spostamenti dei componenti ottici pari a qualche centinaia di nanometri (a spanne centinaia di raggi atomici) quindi ogni vibrazione del pavimento o dell'aria, non controllata, faranno vibrare la misura rendendola inefficace.