



A.A.
2008-2009

Programma di incentivazione delle Lauree Scientifiche

LABORATORIO DI FISICA

**UTILIZZO DI UNA CAMERA A NEBBIA
PER LA VISUALIZZAZIONE DI
RADIAZIONE BETA E DI RAGGI COSMICI**

**UNIVERSITÀ DI PERUGIA
DIPARTIMENTO DI FISICA**



INDICE

	<i>Pag.</i>
<i>Introduzione</i>	<i>2</i>
<i>1 Cenni sulla radioattività e sui raggi cosmici</i>	<i>4</i>
<i>1.1 La scoperta della radioattività</i>	<i>4</i>
<i>1.2 I vari tipi di radioattività</i>	<i>6</i>
<i>1.3 La vita media degli elementi radioattivi</i>	<i>8</i>
<i>1.4 Cosa sono i raggi cosmici</i>	<i>11</i>
<i>1.5 La produzione dei raggi cosmici</i>	<i>13</i>
<i>1.6 Gli sciame e i raggi cosmici "secondari"</i>	<i>14</i>
<i>2 La camera a nebbia</i>	<i>16</i>
<i>2.1 Che cos'è la camera a nebbia</i>	<i>16</i>
<i>2.2 La ionizzazione</i>	<i>18</i>
<i>2.3 La sorgente radioattiva di ⁹⁰Sr</i>	<i>19</i>
<i>2.4 Descrizione dello strumento</i>	<i>20</i>
<i>2.5 Istruzioni per l'uso</i>	<i>21</i>

INTRODUZIONE

In questa esperienza di Laboratorio useremo una sorgente radioattiva e uno strumento chiamato *camera a nebbia*, che permette di visualizzare sia le radiazioni prodotte dalla sorgente, sia la radiazione presente dovunque, sulla terra e nello spazio, i *raggi cosmici*. Avremo quindi la possibilità di osservare particelle subatomiche, oggetto di studio da parte della Fisica Nucleare.

La radioattività non è stata quindi inventata dall'uomo, anzi, al contrario, l'uomo è esposto alla radioattività fin dal momento della sua apparizione sulla Terra. La radioattività è antica quanto l'Universo ed è presente ovunque: nelle Stelle, nella Terra e nei nostri stessi corpi. Gli isotopi radioattivi possono avere origine naturale o artificiale, tuttavia non bisogna pensare che la radioattività naturale e quella artificiale siano fenomeni diversi, in quanto il processo fisico alla base è lo stesso per entrambe. I radioisotopi naturali hanno avuto origine al centro delle stelle, tramite reazioni nucleari o durante le esplosioni di Supernovae. Alcuni di questi nuclei, come il potassio-40 (^{40}K), il torio-232 (^{232}Th) e l'uranio-235/238 (^{235}U / ^{238}U) sono attivi ancora oggi, in quanto il loro tempo di dimezzamento è di vari miliardi di anni. La misura dell'abbondanza residua di questi isotopi sulla Terra permette di risalire all'età del nostro pianeta, che è calcolata in 4.5 miliardi di anni.

Altri nuclei radioattivi si sono formati in seguito alle interazioni dei raggi cosmici con alcuni elementi. Si parla allora di nuclei di origine cosmogenica. Alcuni esempi sono il carbonio-14 (^{14}C), prodotto dall'interazione dei raggi cosmici con l'azoto dell'atmosfera, il berillio-10 (^{10}Be) e il cobalto-58 (^{58}Co), che si sviluppa in qualsiasi pezzo di rame esposto ai raggi cosmici. I nuclei radioattivi artificiali sono stati creati in laboratorio o nei reattori nucleari.

I *raggi cosmici* sono anch'essi oggetto di questa esperienza; consistono in un flusso continuo di particelle che colpiscono la terra, provenendo da sorgenti più o meno distanti dell'Universo. Per avere una idea di quanto sia intenso questo flusso sulla Terra, basti pensare che aprendo il palmo di una mano in posizione orizzontale, su di esso cadono dell'ordine di varie decine di raggi cosmici al minuto. Su un aereo che viaggia a 10000 metri di quota il flusso è molto maggiore, come vedremo in seguito. Lo spettro di energia dei raggi cosmici arriva a valori elevatissimi, che nessun acceleratore di particelle, presente o ipotizzabile ai nostri giorni, potrebbe raggiungere.

Di questo bombardamento non abbiamo modo di accorgerci, se non utilizzando opportuni strumenti e, per questo motivo, la scoperta dei raggi comici è piuttosto recente. Dopo la scoperta della radioattività (H. Becquerel, 1896) si pensava che la ionizzazione dell'aria fosse causata dalla radioattività naturale a terra o da gas radioattivi (isotopi del radon) da essa prodotta. Nel 1912 Domenico Pacini misurò contemporaneamente la variazione di ionizzazione sul mare e su un lago e concluse che almeno una parte doveva essere dovuta a cause diverse dalla radioattività. Nello stesso anno, il coraggioso Victor Hess decise di tentare un esperimento per risolvere la questione ancora aperta. Egli caricò su un pallone aerostatico un dispositivo per misurare le particelle cariche, detto elettroscopio a foglie, e intraprese un viaggio fino all'altezza di 5300 metri. Riuscì quindi a dimostrare come la quantità di particelle cariche (e quindi di radiazione) aumentava con l'altitudine. Questo significava che la radiazione sconosciuta non aveva origine terrestre (come la radioattività naturale) ma proveniva dallo spazio esterno, Approfittò poi di un'eclisse totale di sole per ripetere la misura e concludere che la sorgente della radiazione non poteva essere il sole; suggerì quindi l'esistenza di una radiazione molto penetrante di origine extra atmosferica, da cui il nome di Raggi Cosmici. La scoperta, poi, che l'intensità della radiazione dipende dalla latitudine implica che le particelle che la costituiscono siano elettricamente cariche e vengano pertanto deflesse dal campo magnetico terrestre. Hess ricevette il premio Nobel per la sua scoperta nel 1936. Dal suo primo esperimento ad oggi i raggi cosmici sono stati intensamente studiati e adesso sappiamo molte cose sul loro conto.

In questo esperimento utilizzeremo per la rivelazione della radioattività e l'osservazione dei raggi cosmici una *camera a nebbia*, cioè uno dei primi rivelatori di particelle usati per visualizzare il passaggio delle particelle attraverso la materia ed estrarre informazioni sulla loro natura. Iniziamo questa nota con qualche cenno sul fenomeno della radioattività e sui raggi cosmici, come introduzione alla descrizione dello strumento e alla spiegazione delle modalità da seguire per il suo uso.

1.1 La scoperta della radioattività

L'inizio dell'era della Fisica Moderna si fa spesso risalire alla scoperta dei raggi X da parte di Wilhelm Conrad Röntgen nel 1895. L'anno successivo Antoine Henri Becquerel, durante uno studio sulle relazioni intercorrenti tra fosforescenza e Raggi X, scoprì la radioattività naturale dell'uranio.

Gli esperimenti di Becquerel consistevano nell'esporre alla luce del sole una sostanza fosforescente disposta su un involucro di carta opaco in cui vi era una lastra fotografica destinata a rivelare l'emissione non luminosa della sostanza. La scelta cadde sul solfato di uranio che sviluppava una fosforescenza molto viva. Gli esperimenti mostravano che la lastra fotografica veniva impressionata dopo una debita illuminazione, che confermava l'ipotesi di Becquerel. Ben presto però Becquerel osservò un fenomeno del tutto nuovo e inatteso: dopo aver lasciato per caso una lastra chiusa in un cassetto, si accorse che questa veniva impressionata anche al buio. Becquerel ipotizzò che la sostanza continuava a emettere radiazioni derivate dall'illuminazione anche dopo che non veniva più esposta ai raggi del sole. Dopo ripetuti esperimenti con materiali diversi, si accorse che le radiazioni non dipendevano dalla fosforescenza della sostanza, nè dal fatto che essa fosse stata precedentemente esposta alla luce, ma solamente dal materiale: l'uranio.

La scoperta della radioattività aprì un nuovo filone di ricerca, orientata a determinare l'eventuale presenza in natura di altri elementi che presentassero la stessa proprietà dell'uranio e soprattutto la natura di ciò che veniva emesso.

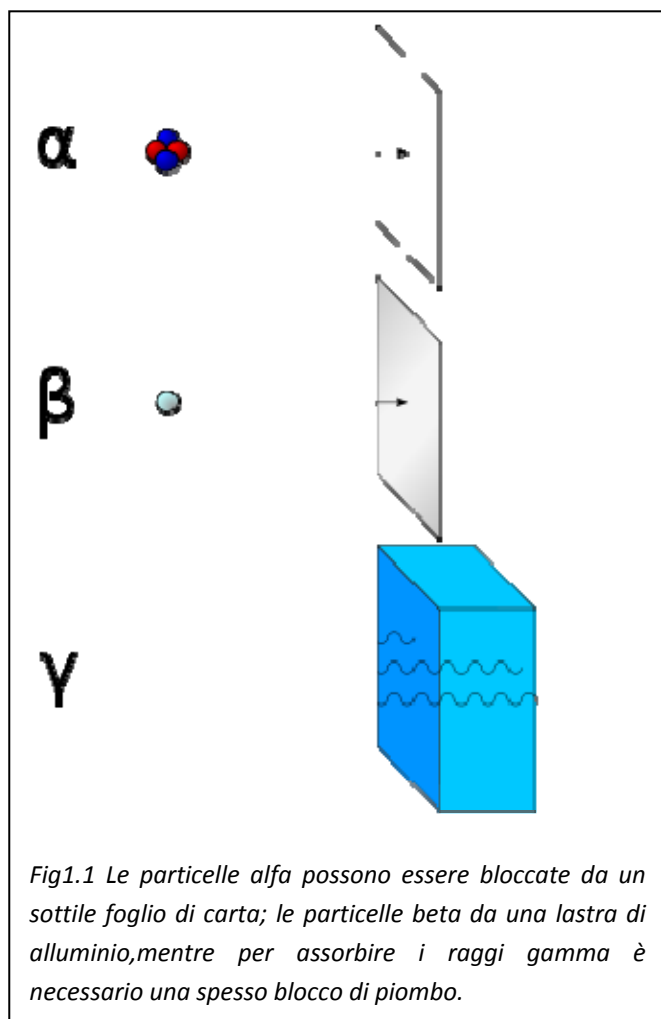
A Parigi Maria Skłodowska iniziò a misurare la radiazione dell'uranio mediante la piezoelettricità, scoperta dal marito Pierre Curie in collaborazione con il fratello Jacques, facendo ionizzare l'aria tra due elettrodi e provocando il passaggio di una piccola corrente di cui misurava l'intensità in rapporto alla pressione su un cristallo, necessaria a produrre un'altra corrente tale da bilanciare la prima. Tale sistema funzionò ed il marito Pierre abbandonò il suo lavoro per affiancare Maria Skłodowska in tali ricerche. Fu Maria Skłodowska a proporre il termine *radioattività* per indicare la capacità dell'uranio di produrre radiazioni e dimostrò la presenza di tale fenomeno anche in un altro elemento: il torio. Con il marito Pierre, saggiando il contenuto di uranio della pechblenda (forma colloidale del minerale detto uraninite) al fine di raffinare tale elemento, rilevò che alcuni campioni erano più radioattivi di quanto lo sarebbero

stati se costituiti di uranio puro, e ciò implicava che nella pechblenda fossero presenti elementi in quantità minime non rilevate dalla normale analisi chimica e che la loro radioattività fosse molto alta.

Il passo successivo fu quello di esaminare tonnellate di pechblenda (delle miniere di Joachimstal in Cecoslovacchia) che vennero stipate in una baracca nella quale era stata installata un'officina e, nel 1898, isolò una piccola quantità di polvere nera avente radioattività pari a circa 400 volte quella di un'analogia quantità di uranio. In tale polvere era contenuto un nuovo elemento dalle caratteristiche simili al tellurio (sotto il quale venne successivamente sistemato nella tavola periodica) che fu chiamato polonio in onore del suo paese natale, la Polonia. L'ulteriore lavoro conseguente al rilievo che quest'ultimo elemento, il polonio, non potesse giustificare gli alti livelli di radioattività rilevati, la condusse, sempre nel 1898, alla scoperta di un elemento ancor più radioattivo del polonio, avente proprietà simili al bario (sotto il quale venne successivamente sistemato nella tavola periodica) e dal quale fu separato mediante cristallizzazioni frazionate, che fu chiamato radio per la sua intensa radioattività. Il resoconto di tale lavoro divenne nel 1903 la tesi di dottorato di Maria Skłodowska, meglio nota come *Madame Curie*.

1.2 I vari tipi di radioattività

Il decadimento radioattivo è il processo in cui un atomo instabile perde energia, emettendo particelle e radiazioni; questo decadimento, o perdita di energia, comporta la trasformazione dell'atomo originario (detto il nuclide padre) in un atomo diverso (detto il nuclide figlio). Per esempio un atomo di carbonio-14 (il "*padre*") emette radiazione e si trasforma in azoto-14 (il "*figlio*"). Questo è un processo casuale a livello atomico, ed è impossibile predire quando un certo atomo di carbonio decadrà; dato però un gran numero di atomi, si può predire la velocità di decadimento *media*.



Ben presto si scoprì che la radioattività è di diversi tipi; l'applicazione di un campo magnetico permette di individuare l'eventuale carica elettrica della radiazione emessa. La forza di Lorentz, che agisce sulle cariche in moto, fa deviare in direzione opposta le cariche negative e quelle positive, mentre le particelle neutre proseguono indisturbate.

Gli esperimenti permisero di scoprire 3 tipi diversi di raggi che, per mancanza di termini appropriati, vennero chiamati con le prime tre lettere dell'alfabeto greco: alfa, beta e gamma, termini ancora in uso ai nostri giorni. La diversa natura dei tre tipi di radioattività è evidente anche nell'assorbimento da parte della materia, come mostrato in Fig. 1.1.

I raggi *alfa* hanno carica positiva, i raggi *beta* carica negativa, i raggi *gamma* sono elettricamente neutri. Il raggio di

curvatura della traiettoria in campo magnetico permette di avere informazioni sulla massa, e risultò subito che i raggi alfa sono molto più massivi degli altri. Esperimenti in cui i raggi alfa venivano fatti passare attraverso una sottilissima finestra di vetro e introdotti in un tubo a

“discarica” per studiare lo spettro di emissione risultante, dimostrarono che le particelle alfa sono nuclei di elio (He). Ulteriori studi dimostrarono che i raggi beta hanno le stesse proprietà dei raggi catodici: in entrambi i casi si tratta di elettroni. I raggi gamma si dimostrarono invece molto simili ai raggi X sono cioè radiazione elettromagnetica di alta energia. Questi tre tipi di radioattività sono i più comuni, ma non i soli: poco tempo dopo la scoperta del neutrone (1932), Enrico Fermi scoprì che alcune sostanze radioattive emettono neutroni, altre radiazioni esistenti in natura sono quelle dei protoni e dei positroni, particelle queste ultime, del tutto uguali agli elettroni, ma con carica elettrica positiva.

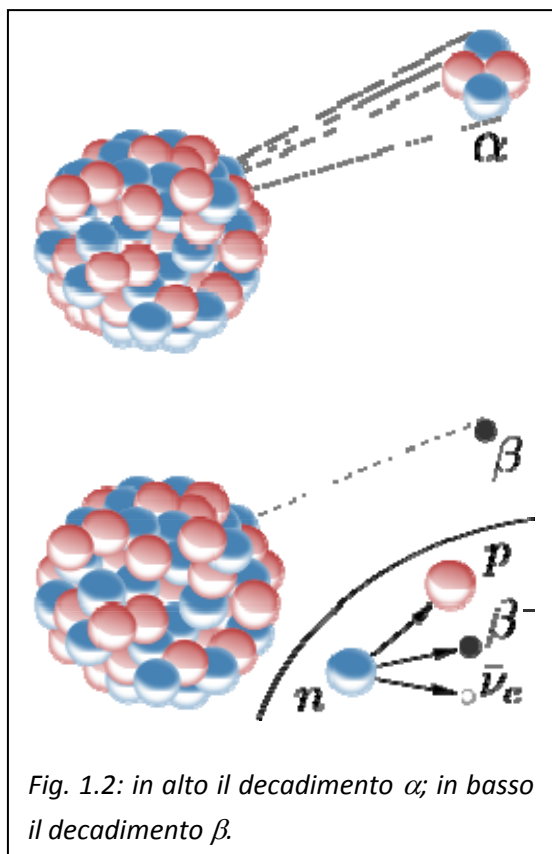


Fig. 1.2: in alto il decadimento α ; in basso il decadimento β .

Il nuclide figlio di un decadimento può a sua volta essere instabile (radioattivo). e decadere a sua volta; lo stesso può succedere per il secondo decadimento e così via. Si ha allora quello che si chiama un decadimento *a catena*, che si ferma allorché si arriva ad un nucleo stabile. Per esempio l'Uranio 238 ha una lunga catena di decadimento, che passa attraverso molti radionuclidi (torio, bismuto, polonio, ecc) fino ad arrivare al piombo-206 che è stabile. Il nuclide figlio può avere, a seconda della particella emessa nel processo, numero atomico Z e/o numero di neutroni N diversa dal padre. La figura 1.2 mostra il processo dell'emissione di un raggio alfa, in cui il nucleo perde due protoni e due neutroni, diventando un nucleo $Z-2$ e $N-2$, e di un raggio beta, in cui un neutrone (carica zero) decade in un protone (carica $+e$), un elettrone (carica $-e$) ed una particella neutra di massa zero, il neutrino (la cui esistenza fu scoperta proprio in questo processo). L'elettrone e

il neutrino vengono espulsi dal nucleo, il protone lo fa diventare un nuclide con numero Z aumentato di 1, mentre N diminuisce di uno (la massa atomica A resta tuttavia invariata).

1.3 La vita media degli elementi radioattivi

Per caratterizzare la velocità di decadimento, o attività, di una sostanza radioattiva, vengono usate diverse quantità, alcune costanti, altre variabili funzione del tempo; quantità costanti:

- ✓ **Tempo di dimezzamento** — simbolo $t_{1/2}$ — il tempo necessario all'attività di una data quantità di sostanza radioattiva per decadere alla metà del suo valore originario
- ✓ **Vita media** — simbolo τ — il tempo necessario all'attività di una data quantità di sostanza radioattiva per decadere di un fattore **e** rispetto al suo valore originario
- ✓ **Costante di decadimento** — simbolo λ — l'inverso della vita media.

Va notato che, sebbene queste siano costanti, sono associate a comportamenti casuali della popolazione di atomi; di conseguenza le predizioni fatte in base a questi numeri sono meno accurate man mano che si tratta con un numero più piccolo di atomi.

Quantità variabili nel tempo:

- ✓ **Attività totale** — simbolo A — numero di decadimenti al secondo
- ✓ **Numero di particelle** — simbolo N — numero totale di particelle presenti nel campione.
- ✓ **Attività specifica** — simbolo S_A — numero di decadimenti al secondo per unità di massa o di volume del campione.

Come accennato in precedenza, il decadimento di un nucleo instabile è completamente casuale e, dato un istante qualunque, la probabilità che decada è la stessa. Dato quindi un campione di un dato radioisotopo, il numero di decadimenti dN atteso in un intervallo di tempo infinitesimo dt è proporzionale al numero di atomi presenti N ; se chiamiamo λ la costante di proporzionalità, possiamo scrivere (trattandosi di una diminuzione, dN è negativo):

$$\frac{dN}{dt} = - \lambda \cdot N \quad \text{da cui si deduce:} \quad \left(-\frac{dN}{N} \right) = \lambda \cdot dt$$

La soluzione di questa equazione differenziale è data dalla funzione esponenziale:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 e^{-t/\tau}.$$

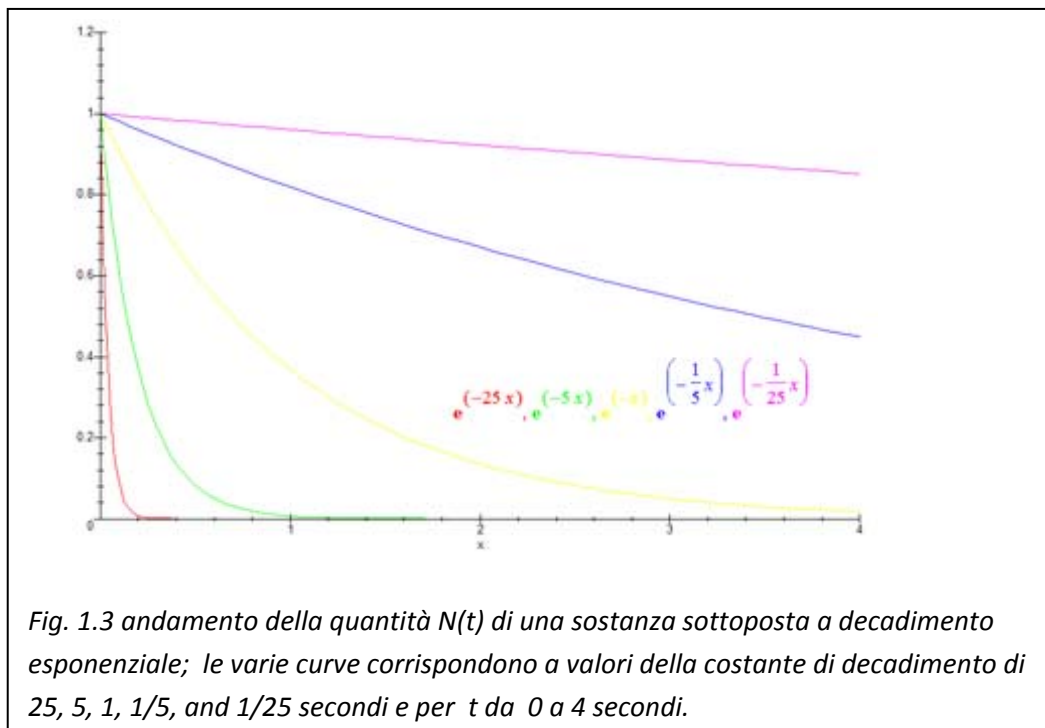
dove N_0 è il valore di N al tempo iniziale ($t = 0$). La costante $\tau = 1/\lambda$, è il tempo caratteristico del decadimento e varia da sostanza a sostanza di molti ordini di grandezza; ha le dimensioni fisiche di un tempo e si chiama anche vita media. In Fig. 1.3 sono raffigurati l'andamento nel tempo, per i primi 4 secondi, di sostanze con λ che va da $1/25$ a 25 sec^{-1} . La Fig. 1.4 rappresenta invece con un codice di colori che va da grigio = 1 sec a rosso = 10^{20} secondi (3000 miliardi di anni), le vite medie di radionuclidi (rappresentati con il numero di neutroni in ordinate e il numero di protoni in ascisse).

L'intervallo dei valori misurati per la vita media è estremamente vasto: va da 10^{-23} sec per i radionuclide più instabili a 10^{19} anni per radionuclidi quasi stabili, come per esempio il ^{209}Bi .

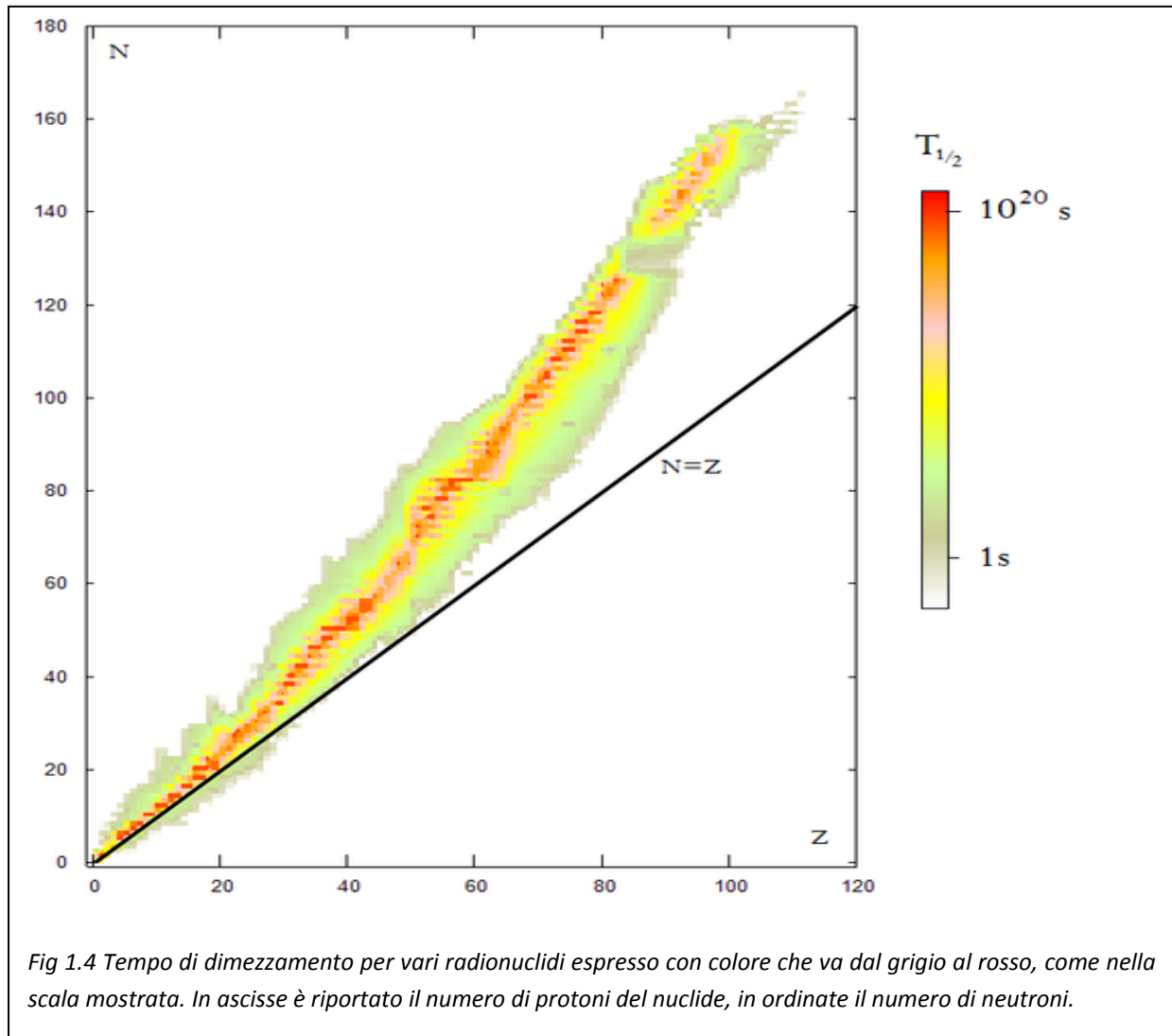
Le relazioni matematiche tra queste quantità sono le seguenti:

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} = \tau \ln(2) \quad A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

$$S_A a_0 = -\left. \frac{dN}{dt} \right|_{t=0} = \lambda N_0$$



Dove a_0 è la quantità iniziale di sostanza radioattiva , sostanza cioè che ha la stessa frazione di particelle instabili del tempo della sua formazione originaria.



1.4 Cosa sono i raggi cosmici

I Raggi Cosmici sono particelle e nuclei atomici di alta energia che, muovendosi quasi alla velocità della luce, colpiscono la terra da ogni direzione. Come dice il nome stesso, provengono dal Cosmo, cioè dallo spazio che ci circonda. La loro origine è sia galattica che extragalattica.

I raggi cosmici sono costituiti principalmente da protoni (87%) e da particelle alfa (12%), ma contengono anche piccole percentuali di elementi pesanti. Per comodità gli astronomi dividono gli elementi chimici in leggeri (litio, berillio e boro), medi (carbonio, azoto, ossigeno e fluoro) e pesanti (tutti gli altri elementi).

Gli elementi leggeri, che costituiscono lo 0,25% dei raggi cosmici, rappresentano solo 1 miliardesimo di tutta la materia dell'universo; si ritiene pertanto che la loro presenza nei raggi cosmici sia il risultato della frammentazione di elementi pesanti entrati in collisione con protoni, nel corso del loro viaggio attraverso lo spazio interstellare. Dalle abbondanze degli elementi leggeri nei raggi cosmici si può dedurre che questi ultimi devono passare attraverso una quantità di materia equivalente a uno strato d'acqua spesso circa 4 cm.

Gli elementi di massa media sono dieci volte più abbondanti (e quelli pesanti cento volte) che nella materia normale, e ciò suggerisce che almeno le fasi iniziali dell'accelerazione fino all'energia osservata avvengano in regioni ricche di elementi pesanti.

I tre parametri principali che caratterizzano le particelle dei raggi cosmici sono la carica elettrica, la massa a riposo e l'energia; quest'ultima dipende dalla massa e dalla velocità. Tutti i metodi di rivelazione dei raggi cosmici forniscono informazioni circa i precisi legami di queste tre grandezze. Ad esempio, la traccia lasciata da un raggio cosmico in un'emulsione fotografica dipende dalla carica e dalla velocità, e può essere confrontata con il valore dell'energia ottenuto per mezzo di uno spettrometro a ionizzazione. I rivelatori per raggi cosmici sono collocati su palloni o sonde posti al di fuori dell'atmosfera; in corrispondenza di un valore fissato della carica e della massa, essi permettono di calcolare il numero di particelle caratterizzate da un determinato valore dell'energia.

L'energia dei raggi cosmici viene misurata in gigaelettronvolt (cioè miliardi di elettronvolt, GeV) per protone o neutrone nel nucleo atomico considerato. La distribuzione di energia dei protoni mostra un picco al valore 0,3 GeV, che corrisponde a due terzi della velocità della luce; tale distribuzione cala a energie maggiori, benché studiando le cascate di particelle secondarie

create quando i raggi cosmici collidono con i nuclei dell'atmosfera siano state rivelate indirettamente particelle di energia fino a 10^{11} GeV, energia di 10 milioni di volte superiore a quella con cui i protoni verranno accelerati dalla più grande e potente macchina mai costruita dall'uomo, il LHC (*Large Hadron Collider*) al CERN di Ginevra.

In media, l'energia immagazzinata nei raggi cosmici della nostra galassia, la Via Lattea, è dell'ordine di 1 elettronvolt per centimetro cubo.

Anche un campo magnetico molto debole può deviare i raggi cosmici dal loro cammino rettilineo; ad esempio, un campo di 3×10^{-6} G (che si pensa essere quello presente nello spazio interstellare), è sufficiente per indurre un protone di 1 GeV a "spiraleggiare" su un'orbita di raggio uguale a 10^6 anni luce (10 milioni di km) e una particella di 10^{11} GeV a compiere una traiettoria avente un raggio di 10^5 anni luce, cioè delle dimensioni approssimative della nostra galassia. Il campo magnetico interstellare impedisce quindi ai raggi cosmici di giungere sulla Terra in linea retta, e ciò rende difficile la localizzazione della sorgente; essi sembrano essere distribuiti in modo isotropo, qualunque valore di energia si consideri.

Negli anni Cinquanta del Novecento fu scoperta l'emissione radio proveniente dal piano della Via Lattea; essa fu interpretata come radiazione di sincrotrone causata da elettroni energetici che si muovono lungo una spirale a causa del campo magnetico interstellare. L'intensità della componente di elettroni dei raggi cosmici, circa l'1% di quella dovuta ai protoni di uguale energia, si accorda con il valore dell'emissione radio calcolato, in generale, per lo spazio interstellare.

1.5 La produzione dei raggi cosmici

La sorgente dei raggi cosmici non è ancora certa. Nelle fasi attive il Sole emette raggi cosmici di bassa energia, ma questi eventi sono di gran lunga troppo poco frequenti per spiegare la gran quantità di raggi cosmici rivelati. Neppure le altre stelle simili al Sole sono sorgenti di energia sufficiente.

Le esplosioni di supernovae sono responsabili almeno dell'accelerazione iniziale di una frazione significativa di raggi cosmici; inoltre, i resti di tali esplosioni sono intense sorgenti radio. La frequenza calcolata di esplosioni di supernovae e le osservazioni con i telescopi indicano che queste sorgenti potrebbero fornire sufficiente energia per bilanciare quella persa dai raggi cosmici della nostra galassia, che è di circa 10^{34} joule per secondo. Si ritiene che le supernovae siano il luogo di formazione dei nuclei degli elementi pesanti; se fossero anche la sorgente dei raggi cosmici sarebbe facilmente spiegata l'alta percentuale di questi elementi in essi contenuta. L'ulteriore accelerazione potrebbe prodursi nello spazio interstellare come risultato delle onde di shock che si propagano in quelle regioni.

Altre teorie, comunque, suggeriscono che i raggi cosmici potrebbero provenire dalle binarie X come Cygnus X-3, cioè da sistemi in cui una stella normale perde massa a favore di un compagno, che può essere una stella di neutroni o un buco nero.

Gli studi radioastronomici mostrano che anche le altre galassie contengono elettroni di alta energia. I nuclei di alcune galassie, inoltre, sono molto più luminosi della Via Lattea, in particolare nella gamma delle radioonde, e ciò indica che vi sono localizzate sorgenti di particelle energetiche. Il meccanismo fisico che produce tali particelle non è tuttavia noto.

1.6 Gli sciame e i Raggi Cosmici Secondari

Quando i Raggi Cosmici entrano nell'atmosfera terrestre collidono con i nuclei di cui essa è composta. In queste collisioni viene prodotto un gran numero di particelle che a loro volta interagiscono o decadono creandone delle altre. Il risultato è quello che viene chiamato sciame (in inglese "shower") e che vediamo rappresentato in Fig. 1.5. Nell'interazione con i nuclei dell'atmosfera vengono prodotte anche particelle instabili non presenti nella materia ordinaria, e che decadono in tempi molto brevi, al massimo frazioni di microsecondi, in particelle più leggere. Alla superficie terrestre possiamo osservare solo le particelle stabili, come protoni, elettroni, neutrini (di cui abbiamo già parlato come prodotto dei decadimenti radioattivi) oppure con vita media relativamente lunga come i muoni (del tutto simili agli elettroni ma con massa circa 200 volte maggiore). Gli sciame che arrivano fino alla superficie terrestre vengono chiamati raggi cosmici *secondari*, per distinguerli da quelli primari che hanno colpito l'atmosfera.

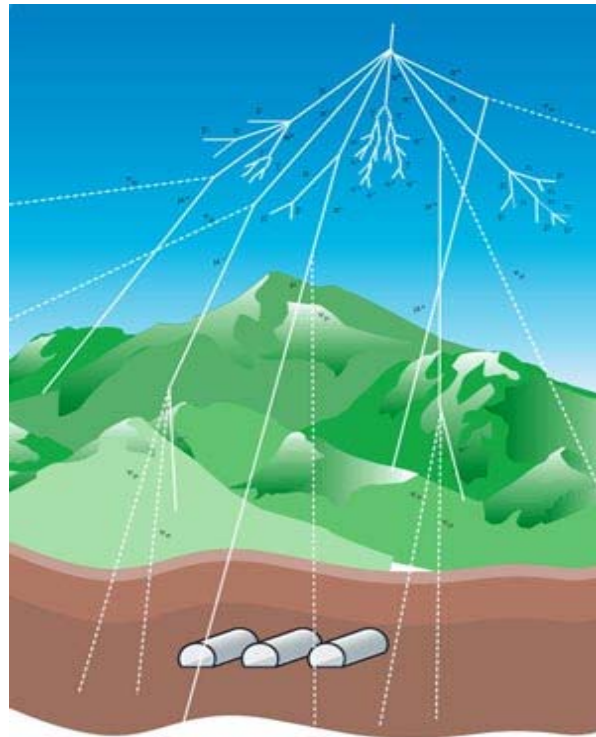


Figura 1.5: Sciame di particelle creato dall'interazione di un raggio cosmico con l'atmosfera.

Se vogliamo rivelare i raggi cosmici primari, dobbiamo usare esperimenti posti su satelliti in orbita, che riescono a "catturare" i raggi cosmici prima che essi interagiscano con l'atmosfera.

Negli anni 30 e 40, esperimenti in raggi cosmici hanno evidenziato per la prima volta l'esistenza di particelle che non appartengono alla materia ordinaria (atomi), e anche *antiparticelle*, uguali in tutto e per tutto, tranne per avere carica elettrica opposta. Furono scoperti in questo modo il positrone (antiparticella dell'elettrone, il pione una particella importante per lo studio della forza che tiene uniti protoni e neutroni nel nucleo, il muone, copia dell'elettrone con massa circa 200 volte maggiore. È nata così la branca più moderna della Fisica, quella appunto delle Particelle Elementari.

Per studiarle in modo più sistematico sono state poi costruiti gli acceleratori, in cui per esempio un fascio di protoni viene accelerato a grande energia e fatto collidere contro una targhetta oppure un altro fascio, riproducendo i processi dell'urto dei protoni dei raggi cosmici con l'atmosfera. In questo modo queste interazioni possono essere riprodotte in grande quantità, in condizioni controllate in laboratorio, e studiate in modo più sistematico, con apposite attrezzature. L'acceleratore più grande mai costruito, il *Large Hadron Collider*, o LHC, sta per entrare in funzione nel Laboratorio CERN a Ginevra: in esso fasci di protoni di energia di 14×10^{12} eV circolanti in direzione opposta si scontrano, creando collisioni che vengono studiate dai rivelatori posti intorno al punto di interazione.

2.1 Cosa è la camera a nebbia

La *camera a nebbia* viene anche chiamata *camera di Wilson*, dal nome del fisico scozzese Charles T. R. Wilson (1869-1959) che ne fu l'inventore. Wilson cominciò con l'occuparsi di meteorologia e dello studio delle nuvole; cercò poi di riprodurre il fenomeno della formazione delle nuvole in laboratorio, facendo espandere aria umida in un contenitore sigillato. In seguito si interessò alla creazione di una scia di goccioline lungo il percorso degli ioni, infatti scoprì che gli ioni potevano comportarsi come centri di formazione di goccioline d'acqua. Nella sua prima camera un contenitore ermetico era sigillato e ripieno di vapore d'acqua saturo; un diaframma veniva usato per espandere l'aria dentro la camera (espansione adiabatica). Una rapida espansione raffredda l'aria e il vapor d'acqua inizia a condensare. Quando una particella ionizzante attraversa la camera, il vapore si condensa sugli ioni che si formano lungo il percorso della particella, e una scia è visibile nella nuvola di vapore (in inglese lo strumento si chiama *cloud chamber* cioè *camera a nuvola*) costituendo una *traccia* della particella. Per questa invenzione, che costituisce il primo rivelatore di tracce di particelle cariche, Wilson ottenne il premio Nobel nel 1927.

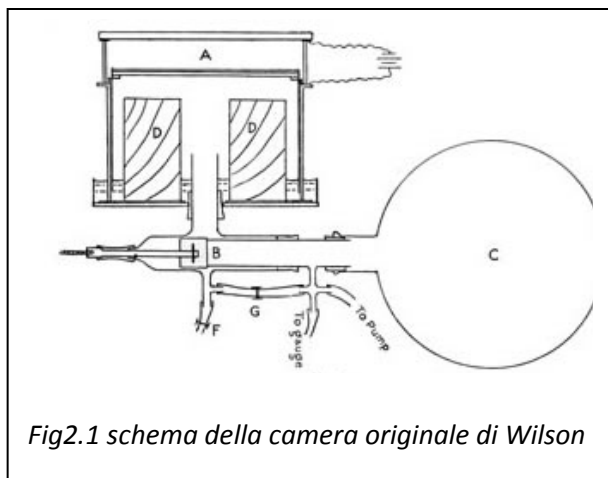


Fig2.1 schema della camera originale di Wilson

Un diagramma della camera di Wilson è riportato in Fig. 2.1: si tratta essenzialmente di un cilindro la cui base inferiore è costituita da un pistone, collegato ad un dispositivo per regolare la pressione; la base superiore è trasparente, in modo da poter osservare le tracce.

La camera opportunamente illuminata può essere fotografata, e la traccia delle particelle è visualizzata dall'insieme delle gocce. Un esempio è mostrato in fig. 2.2 La tipica

risoluzione spaziale è di $500\ \mu\text{m}$. Dalla densità di goccioline si può anche ricavare una stima dell'energia persa per ionizzazione per unità di percorso. e questo aiuta ad identificare il tipo di particella che ha attraversato la camera: i nuclei di elio lasciano una traccia larga e diritta, gli elettroni una più sottile e con varie deflessioni. Se si applica un campo magnetico le particelle di

carica opposta curvano in direzione opposta, in seguito alla forza di Lorentz, e questo permette di riconoscere la carica.

Questo tipo di camera è anche detto pulsata perché il funzionamento non è continuo (il pistone, riportato nella posizione iniziale, viene bruscamente abbassato per creare l'espansione e l'operazione va ripetuta ciclicamente).

Una variante della camera di Wilson è la camera a nebbia a diffusione, tipologia che useremo nell'esperienza; lo schema è riportato nella fig.2.3: un cilindro ha le due basi tenute a temperatura molto diversa (di solito quella inferiore viene raffreddata con ghiaccio secco) ed è riempito di un gas costituito da aria satura con un vapore, di solito alcool; questa miscela aria-vapore si raffredda durante la diffusione verso il basso, e diventa super-satura. Se si mantiene la saturazione del gas continuando, per esempio, a fornire vapore con un cuscinetto imbevuto di alcool nella parte superiore della camera, l'operazione diventa praticamente continua.

Il limite delle camere a nebbia, per cui divennero presto strumenti obsoleti, è la bassa densità del gas che, come vedremo nel prossimo paragrafo, limita il numero degli ioni che si formano.



2.2 Foto di tracce in una camera a nebbia.

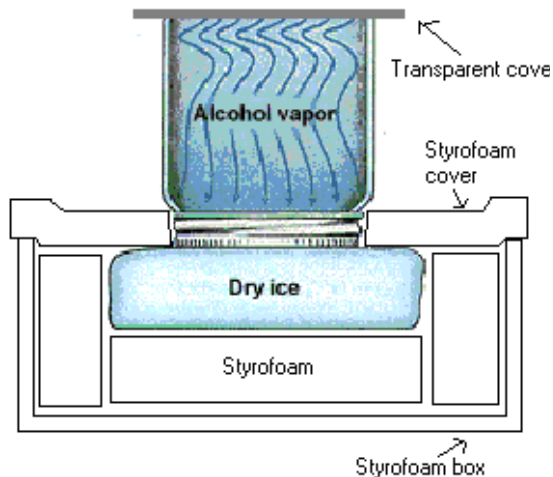


Fig. 2.3 Schema di una camera a nebbia a diffusione

2.2 La ionizzazione

Ricordiamo che tutti gli atomi e le molecole sono elettricamente neutri, in quanto hanno un ugual numero di protoni ed elettroni. La *ionizzazione* è il processo fisico della conversione di un atomo o una molecola in uno ione (avente carica elettrica), per la rimozione, o l'aggiunta, di particelle cariche: elettroni o altri ioni.

Gli urti di una particella appartenente alla radiazione da rivelare con il gas della camera possono essere elastici o anelastici; ricordiamo che:

- **urto elastico**, quando tra le particelle si ha soltanto uno scambio di energia cinetica di traslazione senza alcuna variazione dell'energia interna e quindi della struttura atomica e molecolare;
- **urto anelastico**, quando tra le particelle si hanno scambi di energia tali da modificare l'energia interna o la natura della particella. Sono gli urti anelastici che portano ad eccitazione o ionizzazione e che sono quelli interessanti nel nostro caso

Una particella che attraversa la materia può perdere energia per ionizzazione: in seguito agli urti anelastici con le molecole della materia (il gas della camera a nebbia, nel nostro caso); un elettrone del gas può ricevere abbastanza energia da staccarsi dall'atomo, lasciandolo quindi carico elettricamente (con carica positiva, in quanto il numero dei protoni eccede quello degli elettroni). L'energia potenziale necessaria perché ciò avvenga, si chiama energia di ionizzazione.

La perdita di energia per ionizzazione dipende dai parametri della particella incidente e da quelli del materiale attraversato; la particella incidente ed è stata esaurientemente studiata per i vari tipi di particelle e di materiale attraversato.

2.3 La sorgente radioattiva

Lo **Stronzio-90** (^{90}Sr) è un isotopo radioattivo dello stronzio, con un tempo di dimezzamento di circa 29 anni ; emette radiazione β con energia degli elettroni emessi di 546 KeV e decade in Ittrio-90 , che ha sua volta è un isotopo radioattivo, emette β con una tempo di dimezzamento di 64 ore e decade in un elettrone di energia 2.28 MeV e zirconio-90 che è stabile. Gli isotopi ^{90}Sr e ^{90}Y sono delle sorgenti β praticamente pure; l'emissione γ è praticamente trascurabile.

Lo stronzio-90 è un risultato della fissione nucleare: è presente in quantità notevoli in combustibile nucleare spento e nelle scorie radioattive dei reattori nucleari; dal punto di vista biochimico si comporta in modo analogo al calcio, e quindi se ingerito tende a depositarsi nelle ossa, è quindi importante maneggiare con cura le sorgenti.

La sorgente utilizzata nell'esperimento (Fig. 2.4)viene inserita in contenitore come quelli in figura 2.5 che vengono fissati nel tappo della camera.



Fig. 2.4 La sorgente radioattiva di ^{90}Sr



Fig2.5 Contenitori per la sorgente

2.4 Descrizione dello strumento

Il fondo della camera è raffreddato ad almeno circa -35°C . L'alcool che si trova nella camera si diffonde nel rivestimento interno dove evapora nella zona più calda e si diffonde verso il basso. Il vapore dell'alcool viene raffreddato vicino al fondo della camera e diventa super-saturo.

Questa regione super-satura è altamente instabile. Quanto la sorgente radioattiva emette particelle energetiche α (alfa) o β (beta), vengono prodotti ioni che fungono da nuclei di condensazione per il vapore. Queste goccioline hanno l'aspetto di tracce grazie all'intensa illuminazione trasversale.

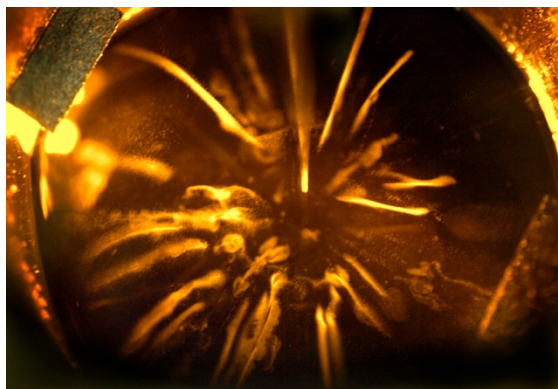


2.1 La camera a nebbia utilizzata per l'esperimento

Le particelle α e le altre particelle cariche pesanti producono tracce diritte e dense, mentre le particelle β producono tracce molto deboli e in genere contorte. Inoltre i raggi γ (gamma) interagiscono con le molecole del gas e producono foto-elettroni energetici. Ulteriori ioni vengono prodotti dalla radiazione di fondo (presente nell'ambiente ed estranea alla nostra sorgente) e possono interferire con l'immagine delle tracce delle particelle prodotte dalla sorgente. Un potenziale di ~ 800 Volts, se connesso con il sostegno di ottone della sorgente crea un campo elettrico ripulente tra il sostegno stesso e la base, eliminando

questi ioni di fondo.

Dopo circa 15 minuti dall'accensione la camera è pronta a mostrare immagini come quella della figura:



2.5 Istruzioni per l'uso

Operazioni da fare per mettere in funzione la camera:

- Regolare il fodero della camera, se necessario, in modo che tocchi il fondo e tutti gli LED siano visibili. Versare 30-40ml di alcool etilico, metilico o isopropilico nella camera (purezza raccomandata di almeno il 90%) . La pipetta può essere utilizzata per inumidire il rivestimento delle pareti per accelerare il processo di assorbimento. Quando il rivestimento è completamente saturato, ci dovrebbero essere circa 2 mm di alcool sul fondo della camera.
- Posizionare il contenitore con la sorgente nel foro della finestra trasparente Muovere il tubo in su o giù, in modo che la cruna dell'ago sia circa 1.5-2 cm al di sopra della superficie dell'alcool.
- Connettere i due tubi di gomma alla camera a nebbia, e seguire uno dei due metodi seguenti:
 - o Uso di acqua ghiacciata (metodo migliore): connettere un tubo alla pompa e posarlo sul fondo di un contenitore di ghiaccio (non incluso nella strumentazione); il secondo tubo deve essere infilato nel contenitore per il drenaggio. Aggiungere acqua sufficiente a coprire l'ingresso della pompa. Scuotere la pompa su e giù nell'acqua ed espellere tutta l'aria dalla ventola. Riempire il secchio del ghiaccio con circa un chilogrammo di ghiaccio per ogni ora di operazione. Connettere la pompa alla tensione elettrica. Se l'acqua non comincia a fluire bisogna ripetere le operazioni precedenti oppure aspirare dal tubo di drenaggio.
 - o Uso di acqua fredda corrente: se l'acqua del rubinetto ha temperatura di non più di 10°C connettere un tubo al rubinetto e lasciare l'altro tubo a drenare nel lavandino o in uno scarico. Aprire il flusso dell'acqua a circa 0.5-1 litro al minute. Più l'acqua è fredda, migliore sarà il funzionamento!.

Attenzione!

La camera a nebbia può restare danneggiata permanentemente se non è raffreddata a sufficienza da un flusso costante di acqua fredda. Se, per un motivo qualunque la circolazione dell'acqua si dovesse fermare o ;a temperatura dell'acqua arrivasse sopra 40°C, disconnettere immediatamente la camera dalla tensione.

- Connettere l'alimentatore a 12 V alla camera a nebbia e poi connettere l'alimentatore alla rete.

Le luci LED nella camera dovrebbero accendersi e dovrebbe iniziare il raffreddamento. Dopo circa 15-30 minuti le prime tracce dovrebbero comparire. Si osservano più facilmente le tracce se si abbassano le luci dell'ambiente o se si eliminano lampade che illuminino la camera dall'alto.

- Ad operazione completata, disconnettere l'alimentatore di 12V dalla rete. Per impedire all'acqua di chiacciarsi e danneggiare lo scambiatore di calore, continuare a far circolare l'acqua nella camera per 5 minuti, oppure scaricare immediatamente l'acqua dallo scambiatore di calore.