

Esperienza n° 11

Particelle alfa e strumenti di rivelazione

L'importanza dello studio del nucleo atomico

Sin dall'antichità l'uomo ha cercato di capire quale potesse essere la struttura principale su cui si fondava tutta la materia conosciuta.

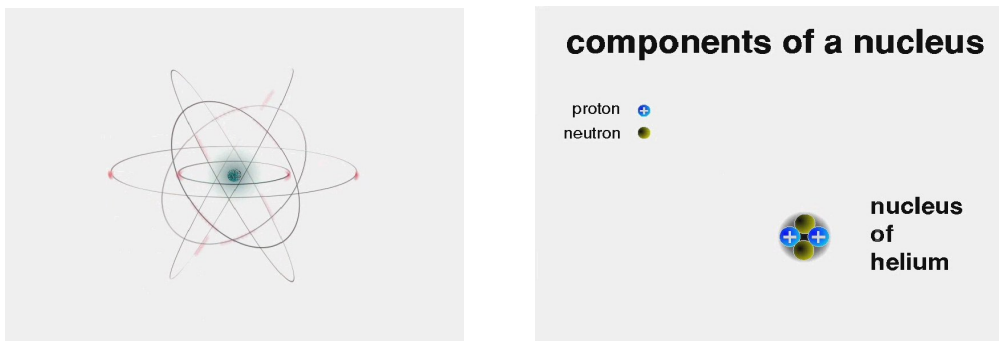


fig. 1 Figura a sinistra: modello planetario dell'atomo: al centro c'è il nucleo (sole) e gli elettroni (pianeti) orbitano attorno ad esso. Figura a destra: componenti del nucleo atomico: il nucleo è formato da protoni e neutroni, in figura è rappresentato un nucleo di elio (${}^4_2\text{He}$).

Già Democrito di Abdera (470 a.C.) nell'antica società Ellenica ipotizzò che la materia fosse costituita nel suo intimo da *átomos*, ossia particelle indivisibili, ingenerabili ed incorruttibili, dunque eterne, e dotate della proprietà di spostarsi nel vuoto. Grazie alla lunga e difficile battaglia che la scienza ha dovuto condurre nell'arco della storia contro tutte le varie forme di oscurantismi medioevali per l'affermazione definitiva delle sue scoperte e del suo sapere, oggi l'uomo ha appreso che la materia è fatta di atomi, che questi obbediscono a delle ben determinate leggi fisiche conosciute. Come schematizzato in fig. 1, l'atomo è costituito da particelle ancora più piccole: il nucleo e gli elettroni che vi orbitano intorno e a sua volta il nucleo, a differenza degli elettroni, è anch'esso costituito da particelle più piccole chiamate *protoni e neutroni*; questi ultimi sono formati da *quark*, particelle prive di struttura interna e considerate *particelle elementari*.

Ancora oggi studiare sperimentalmente le leggi della fisica nucleare è estremamente importante non solo per migliorare la conoscenza dei fenomeni fisici e per gli sviluppi tecnologici necessari per gli esperimenti, ma anche per lo sviluppo di molte scienze applicate, quali per esempio le ormai famose nano-tecnologie, o nel campo della medicina per la cura dei tumori.

Uno dei principali campi d'indagine in fisica nucleare è l'attività di ricerca attraverso lo studio delle collisioni atomiche dette "*urti tra ioni pesanti*". Per far ciò si utilizzano delle macchine che vengono comunemente dette *acceleratori di particelle*, le quali servono, appunto, per mettere in moto fasci di atomi di un ben determinato elemento, portarli ad una velocità fissata (il valore della velocità viene scelto a seconda dell'esperimento che si vuol condurre) e poi fatti collidere contro un bersaglio fisso

costituito da altri tipi di un altro elemento. Per esempio è possibile far scontrare nuclei (ioni) di Nichel 58 contro nuclei (ioni) di Calcio 48 e poi rivelare i diversi tipi di elementi che si sono formati a seguito di questa “violenta” collisione, quali per esempio le particelle *alfa* (vedi fig. 2).

A seconda della violenza della collisione il nucleo atomico si divide in “pezzi” che sono detti *frammenti*. I *frammenti* hanno le stesse caratteristiche di nuclei atomici più o meno pesanti. I nuclei in generale si comportano come liquidi: se infatti viene fornita loro energia “evaporano” particelle leggere. Se al nucleo viene fornita una quantità di energia elevata è possibile che il nucleo si rompa nei suoi componenti (neutroni e protoni) che si comportano come un gas.

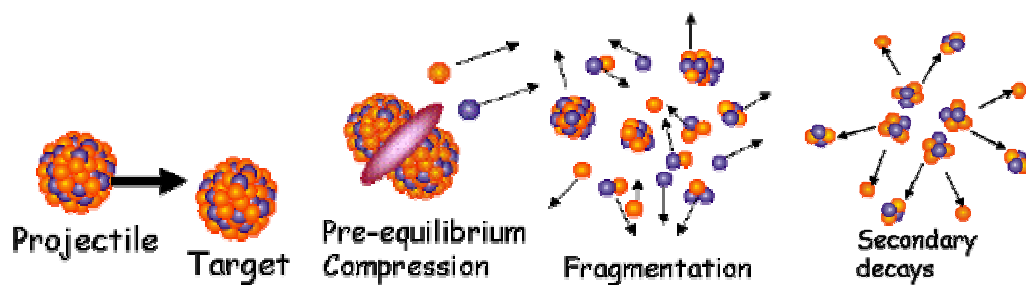


fig. 2 Schema di un urto tra ioni pesanti quando si verifica il fenomeno della “ frammentazione” della materia nucleare.

All’aumentare quindi dell’energia si può passare da un comportamento di tipo liquido ad uno di tipo gas, attraverso una regione energetica di presenza di *frammenti* del nucleo e particelle leggere che corrisponde ad una coesistenza fra liquido e gas.

Il comportamento dei nuclei può essere quindi simile a quello dell’acqua.

Questo è estremamente importante perché nella materia nucleare possono verificarsi determinati comportamenti che da un certo punto di vista sono comparabili ai fenomeni che avvengono nella materia ordinaria.

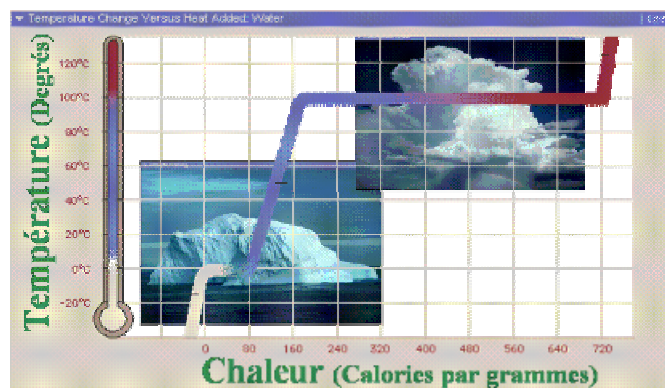


fig. 3 Diagramma della temperatura in funzione del calore fornito in un sistema liquido-gas macroscopico quando, quest’ultimo subisce una transizione di fase. E’ possibile vedere il “Plateau” di temperatura.

Per capire meglio si consideri un liquido “macroscopico”, per esempio un recipiente pieno d’acqua; quando questo viene riscaldato la sua temperatura aumenta fino a che il sistema non arriva in uno stato di ebollizione. Allora l’aumento della temperatura si

arresta ad un certo valore e tutto il calore che gli viene fornito in più servirà per trasformare tutta l'acqua in vapore (vedi fig. 3). Quando avviene questo fenomeno si dice che il sistema subisce una *transizione di fase* (senza questa proprietà il “*bagno maria*” non avrebbe luogo!!). *Ma cosa succede se si fornisce energia allo stato della materia nucleare che viene considerato liquido?*

La risposta viene proprio fornita dagli studi sperimentali e teorici che vengono condotti dai fisici con gli *acceleratori di particelle di ioni pesanti*.

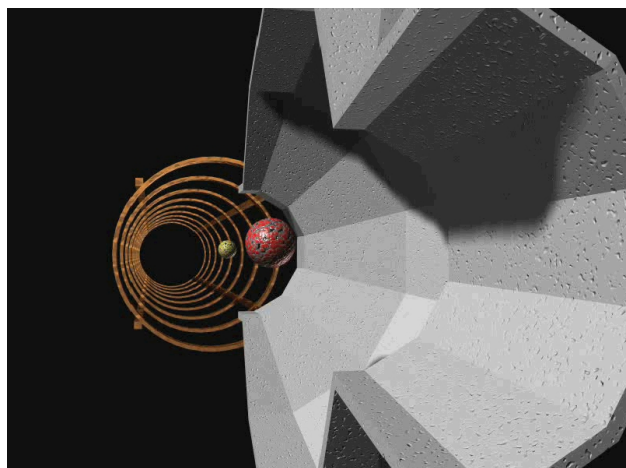


fig. 4 Rappresentazione di un nucleo atomico in movimento (sfera gialla) che sta per collidere con un altro fermo (sfera rossa). I due nuclei si trovano dentro un acceleratore di particelle.

Si immagini di considerare l'istante in cui i nuclei in movimento dentro l'acceleratore di particelle, arrivati ad urtare gli atomi del bersaglio, “*fondono*” con quest'ultimi (vedi fig. 4 e 5).

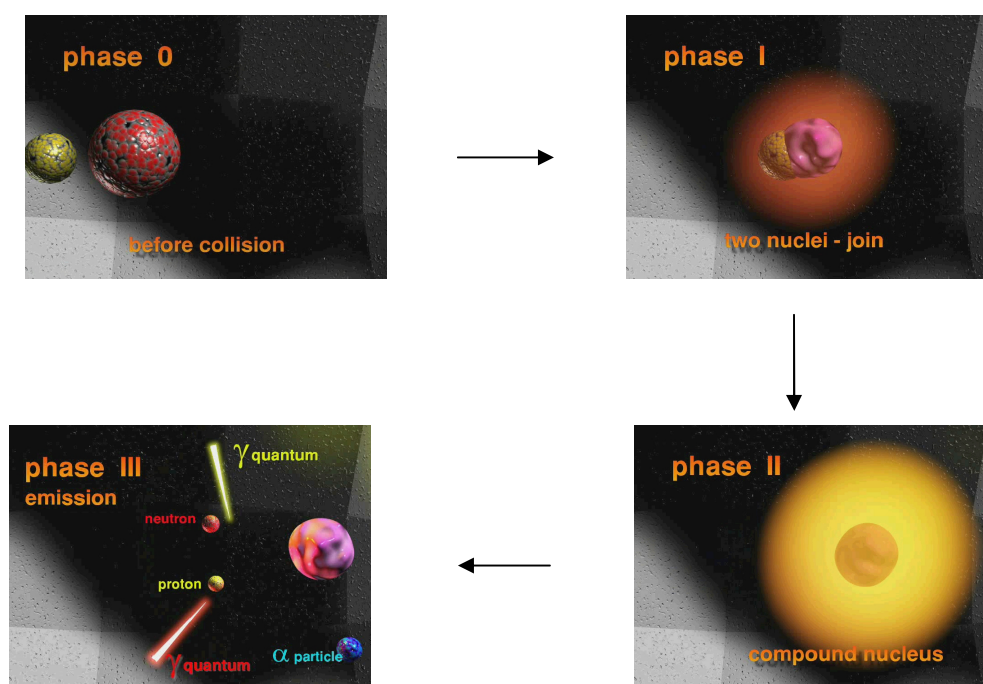


fig. 5 Figure rappresentative delle quattro principali fasi di una collisione nucleare.

Da questo istante in poi il nucleo formatosi diviene caldo ed eccitato (come l'acqua che sta per bollire) e proprio in questa situazione particolare che avviene una transizione di fase dallo stato liquido allo stato gassoso della materia nucleare. A differenza però dell'acqua nell'esempio precedente, la materia nucleare presenta dei fenomeni sorprendenti: in una situazione di transizione di fase di questo tipo, più viene fornita energia e più il sistema si raffredda. In fisica quando un sistema presenta questa fenomenologia si dice che ha una CAPACITA' TERMICA NEGATIVA.

Risultati di questo tipo sono stati ottenuti per la prima volta al mondo dal gruppo di Fisica Nucleare del Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna.

Gli esperimenti sono fatti con apparati sperimentali costituiti da diverse centinaia di rivelatori del tipo di quelli mostrati in fig. 6. Le misure sperimentali vengono svolte in laboratori italiani e stranieri, mentre nel laboratorio in sede si conducono prove di elettronica dei rivelatori che saranno poi utilizzati negli esperimenti. In questa prova di laboratorio sarà utilizzata una sorgente di particelle alfa ed un rivelatore al silicio dello stesso tipo di quelli utilizzati presso il Laboratorio Nazionale di Legnaro (PD) dell'INFN.

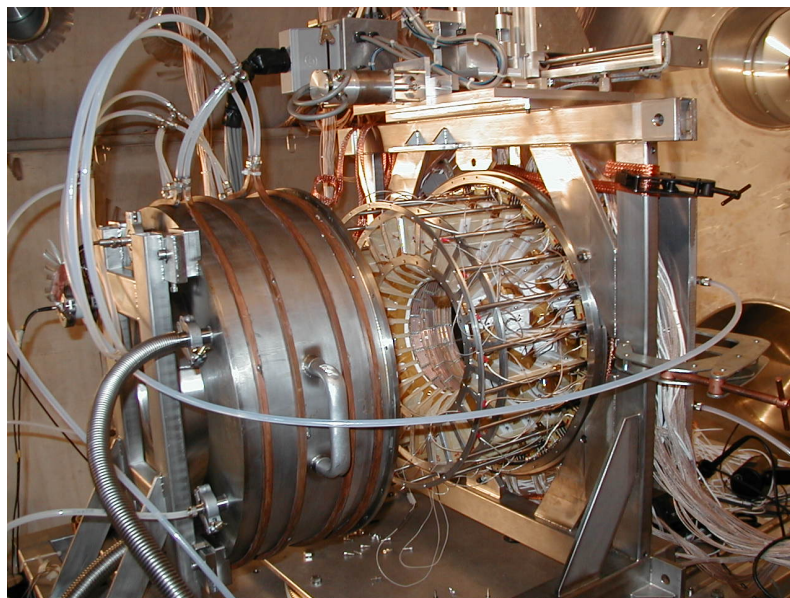


fig. 6 Fotografia dell'apparato sperimentale G.A.R.F.I.E.L.D. situato presso i Laboratori di Fisica Nucleare di Legnaro (PD).

Che cos'è la radioattività e che cosa sono le particelle alfa?

Come già detto un nucleo atomico è un oggetto molto piccolo e denso, esso è composto da due oggetti chiamati nucleoni: il protone e il neutrone. Il protone ha una carica elettrica positiva uguale in valore assoluto alla carica dell'elettrone (l'elettrone ruota attorno al nucleo atomico), e una massa di circa 1840 volte maggiore di quella dell'elettrone. I neutroni hanno una massa maggiore dello 0.1% circa di quella dei protoni, essi sono elettricamente neutri. Un nucleo è identificato dal suo numero atomico Z e dal suo numero di massa A . Z è il *numero di protoni* ed A è il numero

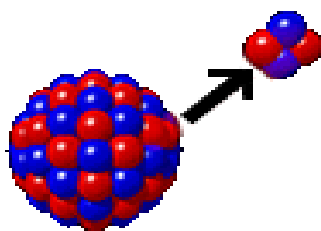
totale di nucleoni per cui il *numero di neutroni* N è pari ad $A-Z$. La notazione comune per i nuclei è del tipo ${}^{238}_{92}\text{U}$. Questo nucleo ha 238 nucleoni, dei quali 92 sono protoni e $238-92=146$ sono neutroni. U è il simbolo chimico del novantaduesimo elemento, l'uranio. Le specie nucleari, o *nuclidi*, che hanno lo stesso numero atomico ma diverso numero di neutroni vengono chiamati *isotopi*.

La *radioattività* fu scoperta da Antoine Henri Becquerel (1852-1908). Egli fece incidentalmente la prima osservazione di un fenomeno prettamente nucleare nel 1896, 15 anni prima che Rutherford deducesse l'esistenza del nucleo. Becquerel notò che i composti dell'uranio producono raggi invisibili o *radiazioni* che possono attraversare un contenitore opaco ed impressionare una emulsione fotografica.

In breve tempo furono messe in evidenza alcune importanti proprietà delle radiazioni emesse e furono scoperte molte altre specie nucleari che presentavano il fenomeno della radioattività. Fu scoperto che il fascio di radiazioni emesse si divideva in tre componenti denominate *alfa* (α), *beta* (β) e *gamma* (γ), ciascuno con proprietà fisiche diverse.

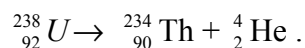
Le radiazioni β consistono in elettroni, mentre le radiazioni γ possono essere considerate come emissioni di sola energia.

Le *particelle alfa* sono cariche positivamente ed hanno un percorso molto breve nella materia; oggi è noto che si tratta di nuclei di elio (${}^4_2\text{He}$).



Decadimento alfa

Nel decadimento *alfa* un nucleo di ${}^4_2\text{He}$ viene emesso dal nucleo della specie nucleare in considerazione. Nel 1903 Rutherford e Soddy dimostrarono che, quando un nucleo di uranio emette una particella *alfa*, si trasforma in un nucleo di Torio (${}^{234}_{90}\text{Th}$). In simboli,



In tal modo, nei *processi di decadimento alfa* ha luogo una trasmutazione degli elementi. Questa trasformazione non può essere indotta con metodi chimici, con o senza incantesimi medioevali. Simili trasmutazioni hanno luogo anche nel *decadimento β* , ma non nel *decadimento γ* .

Riassumendo...

...la radioattività è un fenomeno fisico strettamente legato al nucleo atomico.

La radioattività naturale si manifesta attraverso tre tipi di fenomeni fisici chiamati: *decadimento alfa*, *decadimento beta*, e *decadimento gamma*, i primi due (α e β) sono accompagnati sempre da una trasformazione del nucleo (padre) in un altro nucleo (figlio) più leggero, quest'ultimo molto spesso è ancora radioattivo e decade in un altro nucleo ancora più leggero, questo processo genera una catena di decadimenti. Un esempio è la catena del ${}^{238}_{92}\text{U}$ che porta al ${}^{206}_{82}\text{Pb}$, elemento stabile non radioattivo.

Come si rivelano le particelle alfa.

Il primo scopo di questa prova di laboratorio è la misura sperimentale dell'energia delle particelle alfa prodotte da una sorgente di Americio (${}^{241}_{95}\text{Am}$). La reazione quindi che verrà studiata è ${}^{241}_{95}\text{Am} \rightarrow {}^{237}_{93}\text{Np} + {}^4_2\text{He}$.

L'apparato sperimentale è composto da una "camera a vuoto" nella quale vengono posti sorgente e rivelatore al Silicio suddiviso in 4 parti ciascuno di dimensioni $50 \times 12,5 \text{ mm}^2$ (vedi fig. 7).

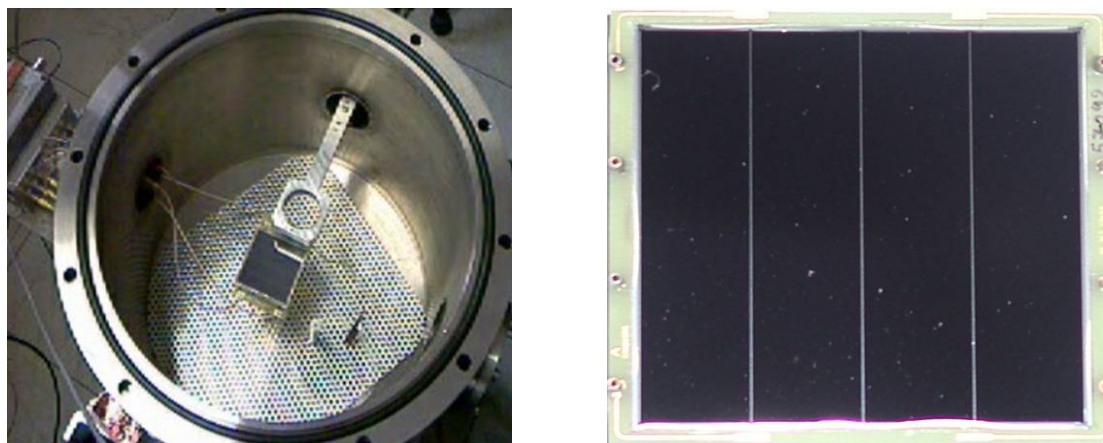


fig. 7 La foto a sinistra mostra la camera a vuoto con dentro il rivelatore al silicio e il supporto in metallo dove viene posizionata la sorgente di Americio; la foto a destra è l'ingrandimento del rivelatore, è possibile vedere chiaramente la separazione dei quattro settori detti "strip".

Il silicio è un materiale cristallino semiconduttore presente in natura in grande quantità. Opportunamente trattato il silicio, attraverso le sue particolari capacità di conduzione dei segnali elettrici, risulta essere un ottimo materiale per la rivelazione di particelle.

Ogni qual volta una particella alfa, per esempio, attraversa il rivelatore al silicio, genera un impulso elettrico che viene successivamente amplificato e tradotto in un segnale digitale (adatto per l'analisi dati tramite i computer).

L'interazione delle particelle alfa con i nuclei del rivelatore è tale che parte dell'energia della particella incidente viene utilizzata per liberare elettroni dai nuclei di silicio (processo di ionizzazione).

Gli elettroni poi, sottoposti ad una forza dovuta al campo elettrico, arrivano all'elettrodo positivo del rivelatore.

Un vantaggio dei rivelatori al silicio è che sono dispositivi lineari, cioè il segnale raccolto è direttamente proporzionale all'energia E della particella secondo la relazione:

$$V = \frac{n}{wC} E .$$

Da questa uguaglianza è facile capire come conoscendo il segnale elettrico prodotto si possa risalire allo spettro energetico della particella incidente, i valori n , w , C sono in linea di principio costanti e dipendono dalle caratteristiche del rivelatore. In realtà ogni particella alfa perde energia in modo leggermente diverso l'una dall'altra.

Il rivelatore quindi non misura sempre lo stesso segnale per la stessa energia di particelle alfa. Quello che si ottiene è una distribuzione di tipo gaussiano la cui larghezza indica la precisione del rivelatore nella determinazione dell'energia della particelle alfa (risoluzione del rivelatore).

Nella fig. 8 è rappresentato lo schema a blocchi di tutto l'apparato sperimentale utilizzato per la rivelazione del fascio di particelle alfa. Esso consiste in una camera a vuoto contenente sia la sorgente radioattiva di $^{241}_{95}\text{Am}$ sia il rivelatore al Silicio, ciascun settore (strip) è collegato ad un preamplificatore di carica posto il più vicino possibile al rivelatore per evitare perdite di energia dovute a cablaggi e connessioni in generale. Il preamplificatore trasforma la carica raccolta, cioè il numero di elettroni che vengono creati, in un segnale elettrico di ampiezza proporzionale alla carica stessa. Il voltaggio di polarizzazione serve per garantire al rivelatore di lavorare nelle condizioni ottimali, quelle indicate dalla casa costruttrice.

L'amplificatore, infine, completa la formazione del segnale elettrico in maniera tale da essere il più possibile compatibile con il sistema di acquisizione dati che a sua volta trasforma il segnale analogico in digitale, cioè viene generato un numero (canale) direttamente proporzionale all'altezza del segnale (vedi fig. 9). Il numero così prodotto arriva al computer, pronto per poter essere analizzato. I numeri così ottenuti vengono poi trattati con software opportuni per determinare le caratteristiche delle particelle rivelate.

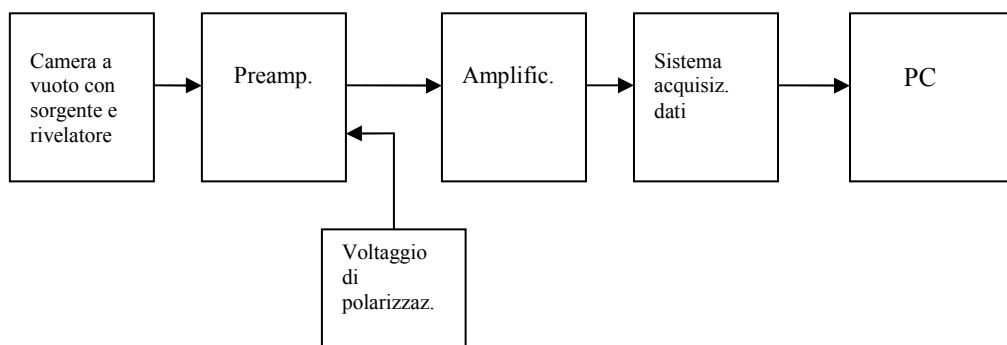


fig. 8 Schema a blocchi dell'apparato strumentale utilizzato per la rivelazione di particelle alfa.

Come mostrato in fig. 7 il sistema costituito da sorgente e rivelatore è posto in una camera a vuoto. Questo è necessario per evitare che le particelle alfa emesse dalla sorgente perdono energia in aria (per gli urti con le molecole d'aria) prima di arrivare al rivelatore.

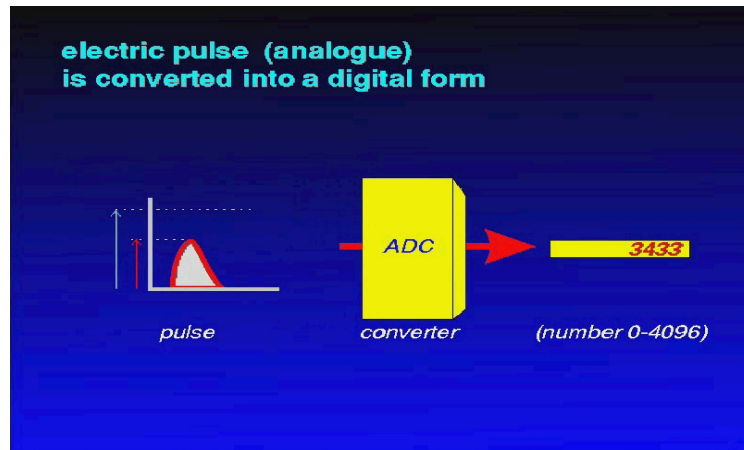


fig. 9 Nella figura è rappresentato lo schema di come un impulso elettrico analogico viene convertito in digitale.

Schema delle operazioni che saranno effettuate in laboratorio.*

- 1) Esame degli elementi necessari per effettuare le misure in laboratorio:
 - a) camera a vuoto,
 - b) supporti per sorgente e rivelatore,
 - c) meccanismo per i diversi posizionamenti della sorgente,
 - d) rivelatori e collegamenti elettrici,
 - e) collimatori per la sorgente,
 - f) elettronica e sistema di acquisizione per raccogliere i dati delle prove (vedi fig. 8).
- 2) Operazione di svuotamento della camera a vuoto contenente sorgente e rivelatore tramite una pompa rotativa ed una turbo-molecolare.
- 3) Osservazione, tramite l'utilizzo dell'oscilloscopio, dei segnali uscenti dai preamplificatori e dagli amplificatori.
- 4) Misura della distribuzione dell'energia delle particelle alfa emesse dalla sorgente e determinazione della risoluzione del rivelatore.
- 5) Misura della dipendenza dalla distanza fra sorgente e rivelatore del numero di particelle alfa rivelate in un tempo prefissato.
- 6) Misura delle dimensioni delle "strip" del silicio tramite rivelazione di particelle alfa.

*** Per motivi di sicurezza solo il docente ed il supervisore dell'esperimento utilizzeranno la sorgente alfa.**