

FISICA APPLICATA

05/04/2009

Equivalenza energia-massa:

$$E = mc^2$$

c = velocità o.e.m. nel vuoto
 $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

TABELLA di CONVERSIONE kg - J - eV

massa espressa in kg $\equiv \frac{1}{c^2}$ volte l'energia espressa in J
 $[1 \text{ J} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m}^2 / 1 \text{ s}^2]$

energia espressa in eV $\equiv 1,6 \cdot 10^{-19}$ volte l'energia espr. in J

Atomo: p^+ , n^0 , e^-

Unità di massa atomica: $1 \text{ u.m.a.} \equiv 1,6605 \cdot 10^{-24} \text{ g}$
 $\equiv 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

	CARICA	MASSA	MASSA
elettrone	$-1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	$9,109390 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$	$5,485799 \cdot 10^{-4} \text{ u.m.a.}$
protone	$+1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	$1,672623 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	$1,007276 \text{ u.m.a.}$
neutrone	0 C	$1,674929 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	$1,008665 \text{ u.m.a.}$

RADIOATTIVITA'

N = numero di nuclei integri λ = costante di disintegrazione
 R = attività

$$R(t) = \lambda N(t)$$

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

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

T = tempo di dimezzamento: $N_0 \xrightarrow{T} N_0/2 \Rightarrow \lambda = \ln 2 / T$

τ = vita media: $N_0 \xrightarrow{\tau} N_0/e \Rightarrow \lambda = 1/\tau$

UNITA' DI MISURA PER R:

- Bequerel (**Bq**): num. di disintegrazioni in 1 secondo
- Curie (**Ci**): num. di disintegrazioni in 1 secondo in 1g di ^{226}Ra
 $1 \text{ Ci} \approx 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$

Tipi di decadimento radioattivo

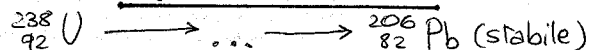
- α $^A_Z X \xrightarrow{\alpha} ^{A-4}_{Z-2} Y + ^4_2 \text{He} + E$
- β^- $^A_Z X \xrightarrow{\beta^-} ^A_{Z+1} Y + e^- + \bar{\nu}_e + E$
- β^+ $^A_Z X \xrightarrow{\beta^+} ^A_{Z-1} Y + e^+ + \nu_e + E$
- γ $^A_Z X \text{ eccitato} \xrightarrow{\gamma} ^A_Z X + \gamma + E$

L'energia liberata proviene dal defetto di massa che si crea durante il decadimento.

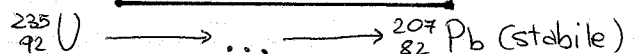
Famiglie radioattive naturali

Ogni famiglia contiene il capostipite e tutti gli elementi "figli", a catena.

URANIO - RADIO



URANIO - ATTINIO



TORIO



DECADIMENTI RADIOATTIVI

- α ${}^A_Z X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} Y + {}^4_2 \text{He} + E$
- β^- ${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z+1} Y + e^- + \bar{\nu}_e + E$
- β^+ ${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z-1} Y + e^+ + \nu_e + E$
- γ ${}^A_Z X \text{ eccitato} \rightarrow {}^A_Z X + \gamma + E$
- cattura elettronica ${}^A_Z X + e^- \rightarrow {}^A_{Z-1} Y + \nu_e + E$

Conversione $J \leftrightarrow eV$

$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ $1 \text{ J} = 6,25 \cdot 10^{18} \text{ eV}$

$1 \mu\text{eV} = 10^{-6} \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-25} \text{ J}$

$1 \text{ meV} = 10^{-3} \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-22} \text{ J}$

$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

$1 \text{ KeV} = 10^3 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-16} \text{ J}$

$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$

$1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-10} \text{ J}$

$1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-7} \text{ J}$

effetto fotoelettrico

un fotone urta un e^- , che viene emesso con energia

$$T = h\nu - E$$

($E = eU$ del livello elettronico)

Effetto Compton

$$h\nu \gg E$$

È energia persa in un mezzo
 $-\frac{dE}{dx} = \rho \frac{N_A}{A} z^2 \frac{e^4}{4\pi\epsilon_0^2} \frac{1}{mv^2} \ln \left(\frac{b_{\text{max}}}{b_{\text{min}}} \right)$

ATTENUAZIONE O.E.M.

- In un mezzo:

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x}$$

(μ dipende dal materiale e dall'energia dell'O.E.M.)
- Nello spazio vuoto, in funzione della distanza dalla sorgente:

$$I(r) = \frac{P_m}{4\pi r^2}$$

(Intensità = potenza per unità di superficie. L'onda si propaga sfericamente.)

DOSE ASSORBITA $\left(\frac{[E]}{[m]} \right)$

- Dose assorbita (D) \rightarrow si misura in:
 - rad: $1 \text{ rad} = 100 \text{ erg} / 1 \text{ g}$
 - Gy (gray): $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$
- Dose equivalente (H o DB cioè dose biologica efficace):

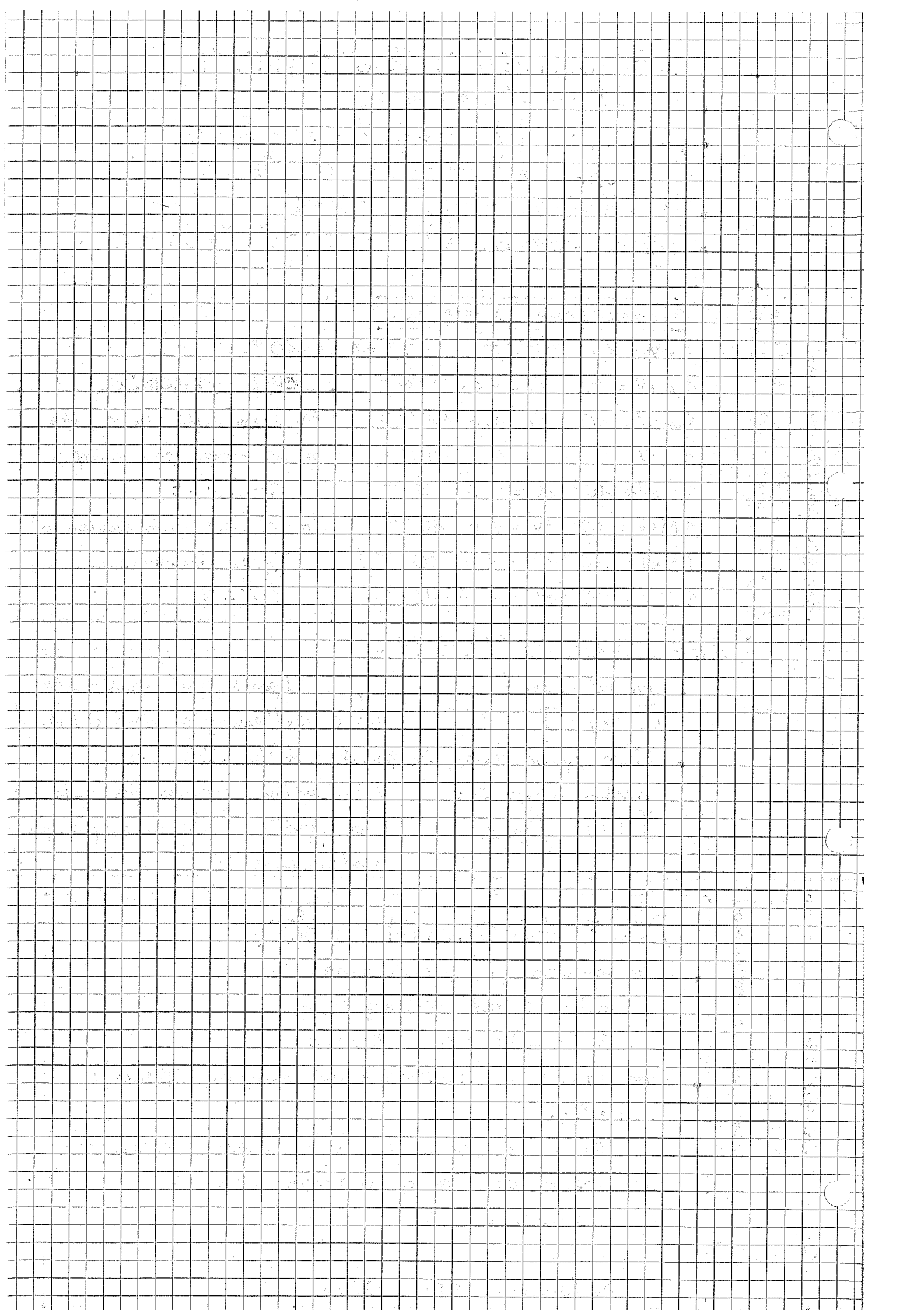
$$H = Q \cdot D$$

Q, detto anche EBR o FEB, è un fattore moltiplicativo che dipende dal tipo di particella incidente.

Q si misura in:

- rem
- Sv (sievert): $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$

Q	1
	5
RADIACIONE	x, γ , β
	neutroni lenti, protoni, deuteroni, neutroni veloci
	20



TUBO A RAGGI X

- Una differenza di potenziale di TOT Volt, mantenuta tra catodo ed anodo, accelera un fascio di elettroni fino a TOT elettronvolt.
- Il fascio di elettroni emette, passando dal catodo all'anodo, radiazione di frenamento.
- Gli elettroni incidenti sul bersaglio (anodo) eccitano gli elettroni del materiale di cui è formato, che passano all'orbitale superiore, e ricadendo emettono radiazione (raggi X caratteristici).
- Massima energia, massima frequenza, minima lunghezza d'onda in uscita:
 $E_{\text{MAX}} = e \cdot V_{\text{MAX}} = h \cdot \nu_{\text{MAX}} = \frac{h \cdot c}{\lambda_{\text{MIN}}} \Rightarrow \lambda_{\text{MIN}} = \frac{h \cdot c}{e \cdot V_{\text{MAX}}}$
- Costante di Planck: $h = 6,6260775 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 4,125 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$
- Assorbimento dei raggi X: $I(x) = I_0 e^{-\mu x}$
 $I(x)$ = intensità residua dopo un tratto x
 I_0 = intensità iniziale
 μ = coefficiente di assorbimento / di attenuazione lineare

Rate di segnali CASUALI per "telescopi di rivelatori" in coincidenza:

- 2 rivelatori $\rightarrow R_{1,2} = 2 R_1 R_2 \Delta t$
- 3 rivelatori $\rightarrow R_{1,2,3} = 3 R_1 R_2 R_3 (\Delta t)^2$

QUANTITA' DI MATERIA

- Numero di atomi in 1g di materiale: $n = \frac{N_A}{A}$
 N_A = numero di Avogadro = $6,022 \cdot 10^{23}$
 A = numero di massa = $Z + N$
- Densità di massa: $\rho = \frac{M}{V}$
- Numero di atomi per unità di volume: $n^\circ \text{ atomi} = \rho \cdot \frac{N_A}{A} = \frac{M}{V} \cdot \frac{1}{M_A}$
 M_A = massa atomica

- Perdita di energia in un materiale per radiazioni di particelle pesanti: $[d\epsilon/dx]/\rho \propto (z/A)(q^2/v^2)$
- Range: distanza media percorsa in un materiale da una radiazione di un dato tipo e di una data energia. (Solo particelle cariche)
- Range medio: spessore necessario per dimezzare l'intensità dell'onda

- **Sezione d'urto:** probabilità di interazione di una particella del fascio con il bersaglio.

- Radiazione indirettamente ionizzante:

Numero di particelle residue dopo aver attraversato Δx :

$$N = N_0 e^{-\sigma \rho \frac{N_A}{A} \Delta x}$$

Cammino libero medio: $\lambda = (\sigma \rho \frac{N_A}{A})^{-1} = \mu^{-1} \Rightarrow N = N_0 e^{-\frac{x}{\lambda}} = N_0 e^{-\mu x}$

λ ha le dimensioni di una lunghezza.

Tipi di interazione per particelle neutre:

Neutroni

cattura neutronica

urto elastico

urto anelastico

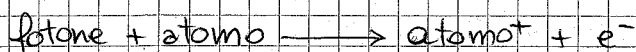
Fotoni

effetto fotoelettrico

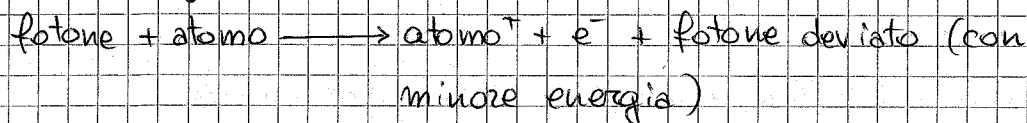
effetto Compton

produzione di coppie

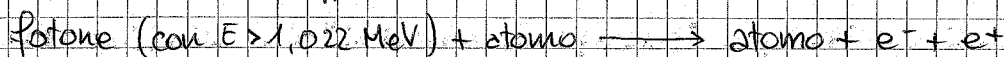
- **Effetto fotoelettrico:**



- **Scattering Compton:**



- **Produzione di coppie:**



- Un fascio monocromatico di fotoni, di solito, non perde energia attraversando un materiale, bensì si attenua in intensità.

- **Coefficiente di attenuazione di massa relativo ad un dato materiale** = μ / ρ .

- **Strato equivalente** = $X_{1/2} =$ spessore dopo il quale $I = I_0 / 2$.

$$X_{1/2} = \ln 2 / \mu$$

- **Sezione d'urto per fotoni e neutroni:** $\sigma = \sigma_{\text{photo}} + \sigma_{\text{Compton}} + \sigma_{\text{pair}}$

$$\mu = \rho \frac{N_A}{A} \sigma \Rightarrow \mu = \mu_{\text{photo}} + \mu_{\text{Compton}} + \mu_{\text{pair}}$$

Effetto fotoelettrico

È più probabile per mezzi ad alto Z e per fotoni a bassa energia:

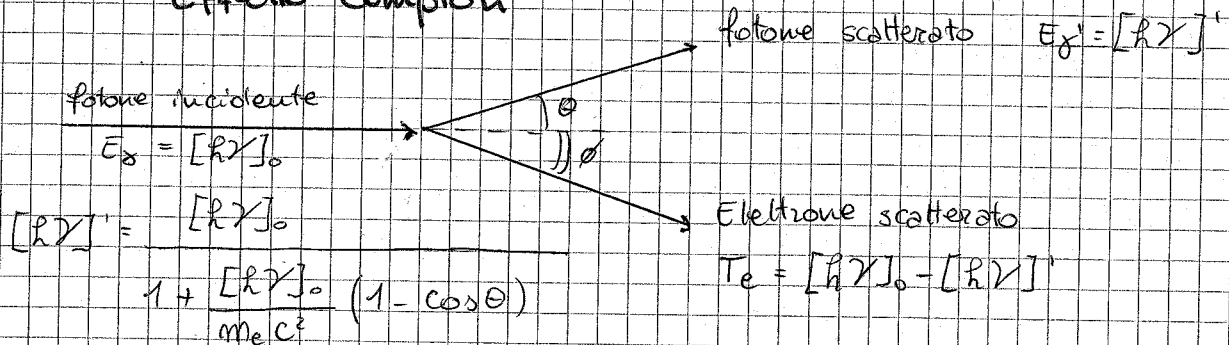
$$\sigma_{\text{photo}} \propto Z^{4.5} / E_{\gamma}^3$$

L'energia dell'elettrone emesso è: $T_e = h\nu - E_{\text{legame}}$.

Il processo avviene solo se $h\nu > E_{\text{legame}}$.

La lacuna determina spostamento di altri elettroni, con emissione di raggi X caratteristici.

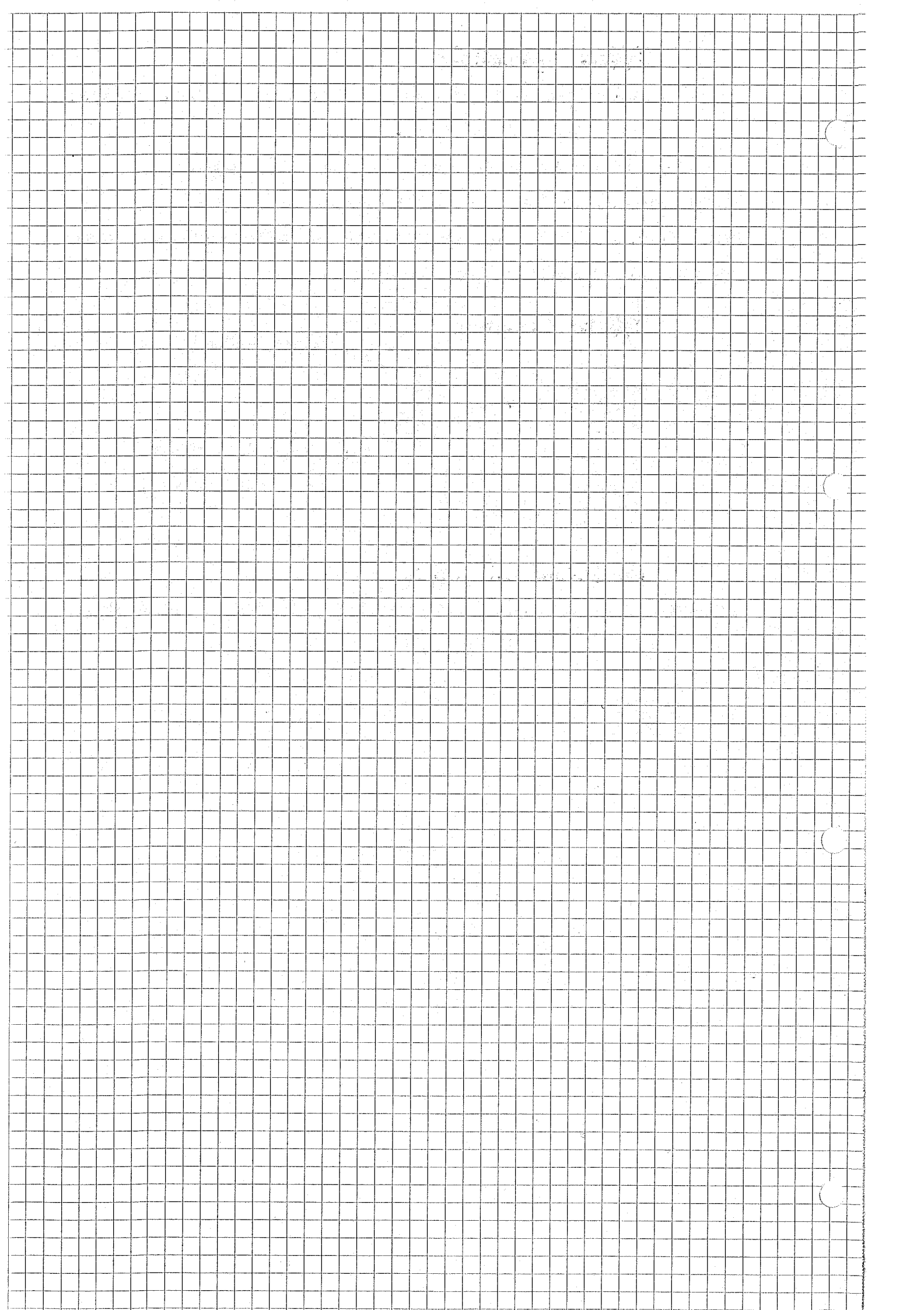
Effetto Compton



Produzione di Coppie

Avviene solo se $h\nu > 2m_e = 2 \cdot 0,511 \text{ MeV} = 1,022 \text{ MeV}$.

$$\sigma_{\text{pair}} \propto Z^2 \cdot f(E_{\gamma})$$



- classificazione onde per frequenza - lunghezza d'onda
- rivelatore raggi cosmici (contatore e scintillazione) con discriminatore ecc.
- fotorepliche (grafico) (curve derivati fotocatodi) (efficienza di risp. in fz. delle lung. d'onda)
- eu. di legame per nucleone
- fissione a catena ^{235}U
- bomba atomica
- fusione deuterio
- ITER

SI units.

unit	symbol	derivation	base units	quantity
ampere	A	--	A	electric current
becquerel	Bq	1/s	s ⁻¹	activity
candela	cd	--	cd	luminous intensity
coulomb	C	A s	A s	charge
farad	F	A s/V	kg ⁻¹ m ⁻² s ⁴ A ²	capacitance
gray	Gy	J/kg	m ² s ⁻²	absorbed dose
henry	H	V s/A	kg m ² s ⁻² A ⁻²	inductance
hertz	Hz	1/s	s ⁻¹	frequency
joule	J	N m	kg m ² s ⁻²	energy
kelvin	K	--	K	temperature
kilogram	kg	--	kg	mass
lumen	lm	cd sr	cd sr	luminous flux
lux	lx	lm/m ²	cd sr m ⁻²	illumination
metre	m	--	m	length
mole	mol	--	mol	amount of substance
newton	N	kg m/s ²	kg m s ⁻²	force
ohm	Ω	V/A	kg m ² s ⁻³ A ⁻²	resistance
pascal	Pa	N/m ²	kg m ⁻¹ s ⁻²	pressure
radian	rad	--	rad	plane angle
second	s	--	s	time
siemens	S	1/Ω	kg ⁻¹ m ⁻² s ³ A ²	electric conductance
sievert	Sv	J/kg	m ² s ⁻²	dose equivalent
steradian	sr	--	sr	solid angle
tesla	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹	magnetic flux density
volt	V	W/A	kg m ² s ⁻³ A ⁻¹	voltage
watt	W	J/s	kg m ² s ⁻³	power
weber	Wb	V s	kg m ² s ⁻² A ⁻¹	magnetic flux

Non-SI unit approved for use with SI.

unit	symbol	value in SI units
minute	min	60 s
hour	h	60 min = 3600 s
day	d	24 h = 86 400 s
degree	°	(<i>pi</i> /180) rad
arcminute	', arcmin	(1/60) deg = (<i>pi</i> /10 800) rad
arcsecond	", arcsec	(1/60)' = (<i>pi</i> /648 000) rad
litre	l, L	1 dm ³ = 10 ⁻³ m ³
tonne	t	10 ³ kg
electronvolt	eV	(1.602 177 33 +- 0.000 000 49) x 10 ⁻¹⁹ J

unified atomic mass unit	u	$(1.660\,540\,2 \pm 0.000\,001\,0) \times 10^{-27} \text{ kg}$
nautical mile	--	1852 m
knot	--	1 nautical mile per hour = $(1852/3600) \text{ m/s}$
angstrom	Å	10^{-10} m
are	a	$1 \text{ dam}^2 = 10^2 \text{ m}^2$
hectare	ha	10^4 m^2
barn	b	10^{-28} m^2
bar	bar	10^5 Pa
gal	Gal	10^{-2} m/s^2
curie	Ci	$3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$
roentgen	R	$2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$
rad	rd, rad	10^{-2} Gy
rem	rem	10^{-2} Sv

Legend.

unit

The name of the unit.

If this field is empty, then the unit has no special name in the SI standard. It must be represented as a composition of its more fundamental units.

symbol

The symbol for this unit.

If this field is empty, then the unit has no special name in the SI standard. It must be represented as a composition of its more fundamental units.

derivation

The most commonly-used composition of more fundamental units that is described as composing the unit.

If this field is empty, then the unit is either elementary or supplemental.

base units

The composition of base units that comprise the unit in question. This is a polynomial-like combination of the eight elementary and supplementary units: kg, m, s, A, K, rad, cd, and sr. These are always put in the form

$$\text{kg}^a \text{ m}^b \text{ s}^c \text{ A}^d \text{ K}^e \text{ rad}^f \text{ cd}^g \text{ sr}^h$$

If any of these a through h are zero, then the term is 1 and not shown.

If this field is empty, then the unit is either elementary or supplemental.

quantity

The name of the quantity the unit measures.

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. This is essential for ensuring the integrity of the financial statements and for providing a clear audit trail. The records should be kept up-to-date and should be accessible to all relevant parties.

2. The second part of the document outlines the procedures for handling discrepancies. It is important to identify any errors as soon as possible and to investigate the cause of the discrepancy. Once the cause has been identified, the appropriate corrective action should be taken to prevent the error from recurring.

3. The third part of the document discusses the importance of regular communication between the accounting department and other departments. This is essential for ensuring that all transactions are recorded accurately and that any discrepancies are identified and resolved as soon as possible.

4. The fourth part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions.

4. The fourth part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. This is essential for ensuring the integrity of the financial statements and for providing a clear audit trail. The records should be kept up-to-date and should be accessible to all relevant parties.

5. The fifth part of the document outlines the procedures for handling discrepancies. It is important to identify any errors as soon as possible and to investigate the cause of the discrepancy. Once the cause has been identified, the appropriate corrective action should be taken to prevent the error from recurring.

6. The sixth part of the document discusses the importance of regular communication between the accounting department and other departments. This is essential for ensuring that all transactions are recorded accurately and that any discrepancies are identified and resolved as soon as possible.

7. The seventh part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. This is essential for ensuring the integrity of the financial statements and for providing a clear audit trail. The records should be kept up-to-date and should be accessible to all relevant parties.

8. The eighth part of the document outlines the procedures for handling discrepancies. It is important to identify any errors as soon as possible and to investigate the cause of the discrepancy. Once the cause has been identified, the appropriate corrective action should be taken to prevent the error from recurring.

9. The ninth part of the document discusses the importance of regular communication between the accounting department and other departments. This is essential for ensuring that all transactions are recorded accurately and that any discrepancies are identified and resolved as soon as possible.

FISICA APPLICATA

02-03-2009

- Programma -

• Concetti fondamentali

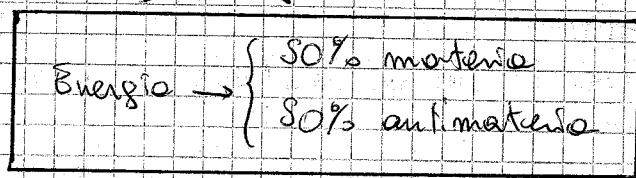
Relatività ristretta: costanza di c ; relatività della
mossa; massa a riposo e massa relativistica.

Eq. di Einstein ...

Fissione nucleare \rightarrow sciogliere elementi pesanti

Fusione \rightarrow fondere elementi leggeri

~~Energia \leftrightarrow Materia~~



Teoria 1

Big bang \rightarrow materia e anti- si separano
(piccola % di residui)

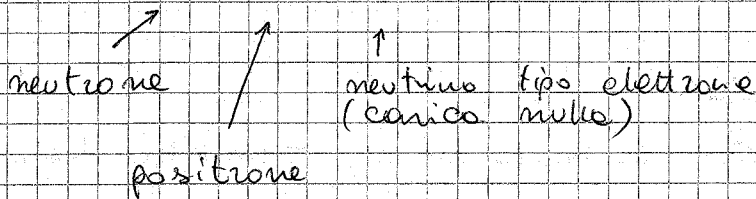
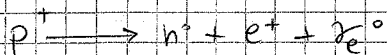
Teoria 2

Piccola asimmetria di comportamento tra
materia e anti-; antimateria decade
un po' in materia \rightarrow quasi tutta via via
è stata trasformata in materia
[VERIFICHE SPERIMENTALI]

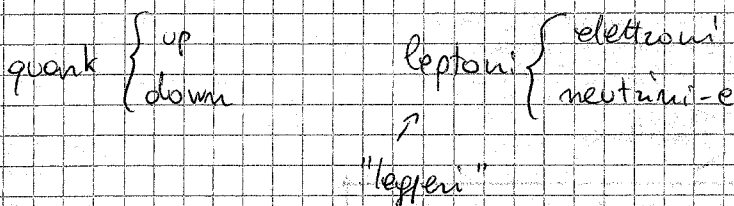
Effetto Čerenkov: se una particella attraversa un
mezzo a velocità più alta di quella della luce
in quel mezzo, essa stessa emette luce.

Si pensa che le particelle elementari abbiano una
stabilità solo nel lungo periodo: dopo un tempo
abbastanza lungo decadono.

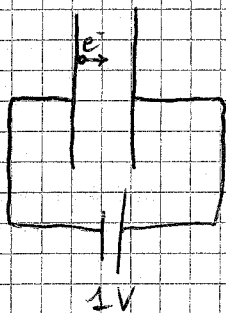
Decadimento protone:



Non si riesce a produrre un elettrone senza anche produrre un neutrino - elettrone.



Questi sono i costituenti della materia a basse energie.



1 eV è l'en. dell'elettrone quando arriva alla piastra positiva.

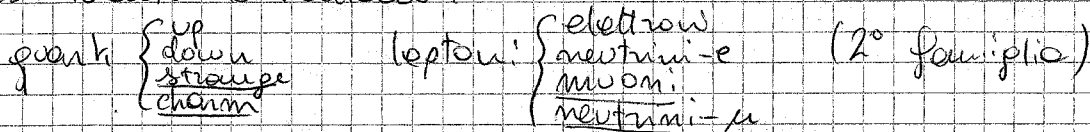
keV	10^3 eV
MeV	10^6 eV
GeV	10^9 eV
TeV	10^{12} eV

Se si misura la MASSA delle particelle in eV:

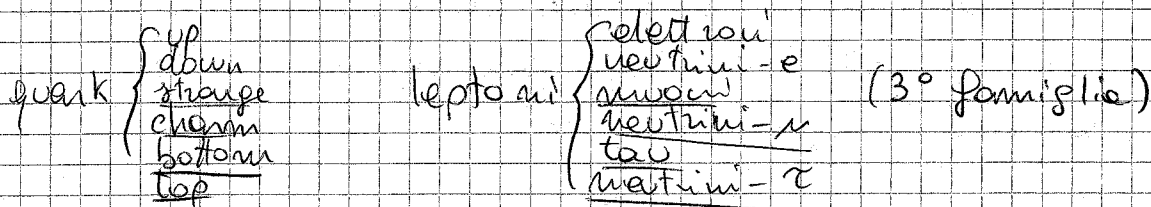
$$p \sim 1 \text{ GeV}$$

$$e^- \sim \frac{1}{2} \text{ MeV}$$

Le reazioni chimiche agiscono sull'ordine del keV se si considerano sist. ad energia maggiore i costituenti diventano:



En. max che si riesce a raggiungere ($\sim \text{TeV}$):



τ > neutrone > elettrone (come massa)

Pone che tutto la materia dell'universo, esistente o producibile, a qualsiasi energia, è costituito da queste 3 famiglie di particelle STABILI. (le 2° e le 3° decadono nelle 1°)

03/03/2009

Queste elencate sono famiglie di ~~px~~ costituenti della MATERIA, non dell'anti-materia.

FORZE \Leftrightarrow ATOMI A DISTANZA

Lo scambio di particelle ^{*} è responsabile della forza. Qualsiasi tipo di forza ^{*} è attrattiva o repulsiva

* "particella portatrice di forza"

→ tale particella si chiama BOSONE.

La forza d'attrito è una forza elettromagnetica

FORZE ELEMENTARI

- forza elettromagnetica Agisce tra cariche elettriche. Tiene insieme atomi e molecole e permette le reazioni chimiche.

Il bosone di questa forza è il FOTONE.

- forza debole Decadimento neutroni e particelle. Causa l'instabilità della materia. Il bosone di questa forza è:

$\begin{cases} W^+ \\ W^- \\ Z^0 \end{cases}$ a seconda del tipo di interazione.

Il fotone ha massa 0, mentre questi sono dell'ordine di $\sim 80 - 90 \text{ GeV}$

(molto più di un protone)

Queste due interazioni sono esprimibili come aspetti diversi di un'unica formula

→ forza elettrodebole

- Interazione forte tiene uniti i protoni e i neutroni dei nuclei (forza nucleare).
 È maggiore della forza elettrostatica di repulsione agente tra i protoni.

La forza elettrostatica va inversamente alla distanza, ma anche la forza forte: agisce solo su particelle vicinissime e prevale sull'altra int. forte

Bosone: gluone [colla nucleare] (massa 0)

- forza gravitazionale

Bosone = Gravitone. Questa è l'unica particella di cui non si sa molto e non si hanno prove sperimentali. Si suppone abbia massa nulla.

Rispetto alle altre, la gravità è debolissima, per questo è difficile individuare il gravitone.

BOSONE	FORZA	INTENSITA'	DISTANZA
g	int. forte	1	10^{-15} m
γ	elettromagnetica	1/100	∞ <small>dim. protone</small>
w^+, w^-, z^0	int. debole	1/100000	10^{-18} m
\tilde{g}	f. gravitazionale	1/10 ³⁸	∞

La f. grav. si sente molto a distanza perché, nonostante di sia grandissimo, anche le masse sono molto grandi.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

$E = h\nu \Rightarrow$ il fotone ha frequenza diversa a seconda dell'energia che trasporta.

Esistono 8 tipi diversi di gluoni:

(CROMODINAMICA QUANTISTICA)

ma hanno tutti massa 0. Pos. cambiare

il numero quantico.

La MASSA è una caratteristica intrinseca della MATERIA. Di più non si sa.

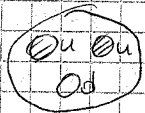
$$F_c = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

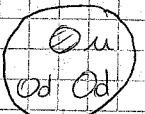
Cosa è q ? Non si sa definire.

Dal punto di vista intrinseco non si conoscono massa e carica.

Per ogni particella ^{quark, leptoni} esiste una antiparticella. Solo i bosoni restano costanti: tutte le forze a prescindere che interagiscono materia, antimateria o entrambe, sono della stessa forma.

I quark hanno carica, ma a differenza dei leptoni si manifesta in modo obliquo.

p^+ 
 $q_p = +1$

n^0 

$q_u = +\frac{2}{3}$
 $q_d = -\frac{1}{3}$

 $\left\{ \begin{array}{l} 2q_u + 1q_d = 1 \\ 2q_d + 1q_u = 0 \end{array} \right.$

↳ questo è vero sempre.

⇒ cariche frazionarie risp all'elettrone

Mesoni = particelle costituite da 2 quark.
(due di tipo diverso)

astronomia - studio degli astri (moto)

astrofisica - processi all'interno di un corpo celeste

fisica astroparticellare - particelle che vengono dagli astri (fotoni, neutroni, protoni)

10-03-2009

Tentativo di grande unificazione: unificare tutte le forze in termini di una sola.

Massa: si sa definire in modo operativo ma non se ne conosce l'origine.

Evidenze sperimentali che i neutrini hanno massa piccolissima ma non nulla.

Perché ogni tanto scriviamo "cupi" di raggi?

Che cosa è la gravità? Nella teoria di Einstein è una deformazione del continuum spazio-tempo, ma va verificato.

Nell'universo la materia che emette segnali percepibili da persone e strumenti non è tutta, esiste anche la materia oscura. Raggi γ = radiazioni elettromagnetiche con energie più alta delle radiazioni più comuni; raggi β \Rightarrow range di energie ancora superiore. Esistono corpi celesti che emettono solo neutrini \rightarrow esperimenti sottomarini per rilevarli.

Ci sono corpi celesti che emettono anche gravitoni (onde gravitazionali). Esperimenti a scopo osservativo: dimostrare l'esistenza dei gravitoni aiuterebbe la teoria di Einstein. La materia oscura non emette nulla, o almeno nulla che noi possiamo osservare. $E = mc^2 \Rightarrow$ esiste anche energia oscura. L'insieme di materia oscura ed energia oscura occupa circa il 95% dell'energia/massa totale esistente.

Si è stimato osservando incongruenze nelle orbite previste dalla teoria della gravitazione universale (osservazione sperimentale).

C'è chi dice che esistono dei macho (corpi celesti molto massivi che non emettono nulla), e c'è chi parla di

W.i.m.p.s. [weakly interactive massive...] \Rightarrow la massa oscura è data da piccole particelle che interagiscono debolmente e sono diffuse in tutto l'universo.

Le piccole evidenze sperimentali aderiscono pendono verso la teoria dei wimps. Se, ad esempio, i neutrini avessero massa, potrebbero essere dei wimps e si sarebbe spiegata gran parte della materia oscura. Ovviamente esistono anche altre teorie.

Problema della massa \Rightarrow è stato costruito l'LHC (Large Hadron Collider). Adroni si chiamano le particelle che interagiscono forte (protoni nell'LHC). Con questo si cerca di verificare il modello del campo di Higgs.

Campo di Higgs Particella di massa m acquista nel campo gravitazionale la proprietà $P = mg$.

Se esiste nel vuoto il campo di Higgs, quando una particella entra nello spazio vuoto il campo di Higgs le si concentra attorno e ne impedisce l'avanzamento ed il corpo acquista le proprietà massa.

1° caso - bosone = gravitone

2° caso - bosone = bosone di Higgs

Questa teoria prevede che la massa non sia intrinseca alle particelle \Rightarrow massa apparente.

Collisione tra particelle produce energia che crea massa apparente nel campo di Higgs

\Rightarrow ricerca dei bosoni di Higgs facendo accelerare protoni a 7 TeV e facendoli scontrare frontalmente.

In questo caso bosone significa solo che la particella obbedisce alla statistica di Bose (spin intero).

Fermione \rightarrow statistica di Fermi (spin semi-intero). In realtà il fotone è un bosone.

LHC → costituito da grossi magneti superconduttori.

Superconduttore: materiale che, se tenuto a 3-4 gradi kelvin, produce pochissimo effetto Joule ⇒ facendo passare corrente si genera un grandissimo campo magnetico. Lavorano con elio liquido.

Scattering elastico → uno $\frac{1}{2}$ dei 2 protoni torna se stesso -

Scattering anelastico → si producono altri tipi di energia/materia.

Si accelerano sia nuclei d'idrogeno che nuclei di piombo, dove ogni protone ha 7 TeV. Collidendo Pb-Pb si raggiunge un'energia 100 volte superiore a quella di $H^+ - H^+$ e si va vicino all'energia del big-bang.

Esperimento totem: total elastic measurement
⇒ si misurano le probabilità d'interazione totale protone-protone e quelle d'interazione elastica (protone e protone tornano protone e protone).

Con l'esperimento Pb-Pb si cerca di riprodurre lo stato della materia subito dopo il big bang: quark e gluoni liberi ovvero Quark Gluon Plasma. Per il futuro l'idea è di far collidere particelle elementari (senza struttura interna: i protoni invece sono complessi). In futuro si pensa di fare collisioni "pulite" fra e^+ ed e^- ⇒ conosco lo stato iniziale perfettamente e lo stato finale non è inquinato ⇒ progetto ILC (International Linear Collider) Lineare per non perdere energia curvando. (o sinotrone)
L'energia persa in radiazione sinotrone è inversamente proporzionale alla massa
⇒ sarebbe un grande spreco per curvare particelle piccole come gli elettroni.

ILC \rightarrow tutte le nazioni collaborano ad un solo stesso esperimento. È la prima volta che la macchina è di proprietà mondiale.

Fisica astroparticellare = studio delle particelle che provengono dagli astri. Studio sperimentale, al contrario dell'astrofisica che è mediamente teorico.
solari: arrivano come tali da un astro (es. Sole)

Neutrini $\left\{ \begin{array}{l} \text{atmosferici: arriva un raggio cosmico primario,} \\ \text{reagisce con l'atmosfera e producono anche neutrini.} \end{array} \right.$

Nel Gran Sasso si studiano i μ atmosferici

I neutrini μ solari che arrivano dal Sole sono circa la metà di quelli previsti \Rightarrow oscillazione
neutrinoica: i neutrini di qualche tipo si trasformano, viaggiando, in neutrini di un altro tipo, poi tornano quelli di prima, eccetera. (Teoria di Pontecorvo) \Rightarrow CNES Cern neutrino to Gran Sasso.
Partono 10¹¹ neutrini di un tipo e ne arrivano un po' meno. Oscillazione del neutrino μ in neutrino τ . Questa oscillazione avviene solo se i neutrini hanno massa \Rightarrow misura della massa dei neutrini.

Le particelle a bassa energia che si propagano nell'universo vengono deviate dai campi gravitazionali e magnetici dei corpi celesti. Solo le particelle scaziate non risentono dei campi magnetici e possono essere usate per localizzare la sorgente.

Anche i raggi gamma: ma questi interagiscono con tutto ciò che trovano e vengono assorbiti: possiamo vederne solo se sono di qualche TeV.

Ad ogni modo, sono disturbati dalla nostra atmosfera, e possiamo studiarne "solo" gli effetti: $\gamma \rightarrow e^+, e^-, \gamma$ che "piovono" sulla terra.

La mappatura celeste con i raggi γ è stata fatta da un satellite fuori dall'atmosfera terrestre. I neutrini interagiscono poco e quindi giungono direttamente, ma per lo stesso motivo sono difficili da individuare.

Telescopi marini a neutrini. Effetto Cherenkov \Rightarrow se una particella carica viaggia in un mezzo trasparente ad una velocità superiore a quella della luce in quel mezzo, emette luce sotto forma del cono di luce di Cherenkov, di angolo noto data l'energia.

Antimateria

Big bang \rightarrow 50% materia 50% anti-

oggi \rightarrow solo materia

- Ricerca di antimateria nel cosmo
 - Esperimenti per spiegare la scomparsa dell'antimateria
- Nell'LHC si cerca anche di misurare l'asimmetria nel decadimento di materia e antimateria, come anche a Frascati.

\Rightarrow L'antimateria non si comporta esattamente come la materia: per una piccola parte decade in materia \Rightarrow in 45 miliardi di anni è decaduta in materia praticamente tutta.

I Raggi Gamma sono essenzialmente luce ad altissima energia. Esperimento MAGIC: rivelatore di raggi γ che vengono dall'universo e nell'atmosfera creano uno sciame magnetico. Gli esperimenti sui coni di luce Cherenkov lavorano solo nelle notti senza luna e senza vento.

95% materia oscura \rightarrow 70% materia + 25% energia

16/03/2009

Gravitoni ~ portatori di forza gravitazionale.

Dualismo onda-corpuscolo \Rightarrow gravitoni = onde gravitazionali.

Dualismo proposto da Einstein con l'effetto fotoelettrico.

Relazione di Planck: $E = h \nu = \frac{1}{2} m v^2$ Frequenza ν quantità di moto $\cdot v$

Einstein prevede l'esistenza di onde gravitazionali che trasportano energia su grandi distanze. Le onde gravitazionali sono generate da masse in rapido movimento.

Con l'interferometro Virgo si cerca di rilevare onde gravitazionali.

17/03/2009

Bombardare scorie radioattive (prodotte da fissioni nucleari) con delle particelle produce elementi meno radioattivi.

Il bombardamento con particelle è utilizzato anche per sterilizzare confezioni destinate all'alimentazione.

Tattare le patate con fasci di neutroni evita l'uso iper di solanina.

Acceleratori di particelle nel mondo \rightarrow 15000 circa.

Solo 140 sono utilizzati per la ricerca particellare.

Lunghezza d'onda (luce): $\lambda = c T = c / \nu$

$E = h \nu \Rightarrow E \propto 1/\lambda$

Infrarosso ~ radiazione termica (quella del sole che scalda la terra).

L'occhio umano è un rivelatore per il visibile, come le CCD (anche se queste vedono anche un po' di UV).

L'emulsione fotografica rileva dal visibile ai raggi X compresi.

Per rilevare onde a basse frequenze (microonde, radio) si usano antenne (circuiti risonanti): le onde fanno oscillare cariche elettriche dentro l'antenna e questo si può trasformare in segnale elettrico.

Alcuni materiali sono in grado di essere impressionati dai raggi γ : ad esempio, lo ioduro di sodio (ad alta densità). Interagendo con il raggio γ , lo ioduro di sodio emette luce, che è vista da un fotomoltiplicatore.

accoppiato al cristallo. Misurando la quantità di luce emessa dallo ioduro si misura l'energia persa dal raggio nel materiale.

Un altro materiale di questo tipo è il vetrioplombato (CRISTALLO). Con 20-30% di piombo il materiale è ancora trasparente, ma esaurisce l'energia dei raggi γ che lo attraversano. (sempre effetto Cerenkov)

I fotoni sono NEUTRI: le particelle "generate" dalla loro interazione fanno luce, reazioni, ecc.

24.03.2009

I raggi X si producono con anodo e catodo in un'ampolla di vetro vuota. Grande ΔV tra anodo e catodo \Rightarrow elettroni passano da catodo ad anodo \Rightarrow anodo libera energia sotto forma di raggi X e torna al suo stato di quiete. Entrando nel catodo gli elettroni perdono energia, emettendo fotoni \Rightarrow altri raggi X.

$$E_{\text{max}} = eU_{\text{max}} = h\nu_{\text{max}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{min}}} \Rightarrow \lambda_{\text{min}} = \frac{hc}{eU} \quad h, c, e \text{ costanti.}$$

L'assorbimento dei raggi X non è lineare con lo spessore del materiale, ma esponenziale $I = I_0 e^{-\mu x}$, I intensità dei raggi X, μ coeff. di assorbimento.

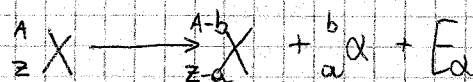
Atomi \rightarrow n° di massa $\equiv A = Z + N$

Elementi chimici = atomi con diverso Z

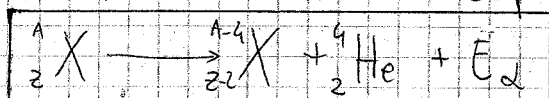
Elementi fisici = atomi con diverso A

30.03.2009

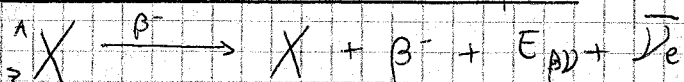
Decadimento radioattivo α :



L'elemento α si è scoperto essere un nucleo di elio:



Decadimento radioattivo β :



Si è scoperto β^- essere un elettrone. $\bar{\nu}_e$ è un antineutrino

L'ultimo tipo di ultravioletti sono i raggi X. $E = h\nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$

Si possono creare ultravioletti con le lampade artificiali.

Gli UV sono assorbiti da: O_3 , inquinazione dei raggi, nuclei, inquinamento (anche questo assorbe i raggi), vetro opaco, alcuni centimetri di acqua.

Anche se non opaco il vetro assorbe molto i raggi UV. Il quarzo lascia passare completamente i raggi.

I raggi γ naturalmente nascono come decadimento dei nuclei, artificialmente con gli acceleratori di particelle. Il π^0 è una particella che ha vita breve ($\sim 10^{-8}$ s) ma quando muore si divide in due raggi γ .

Lunedì mattina non c'è lezione.

24 marzo 2009

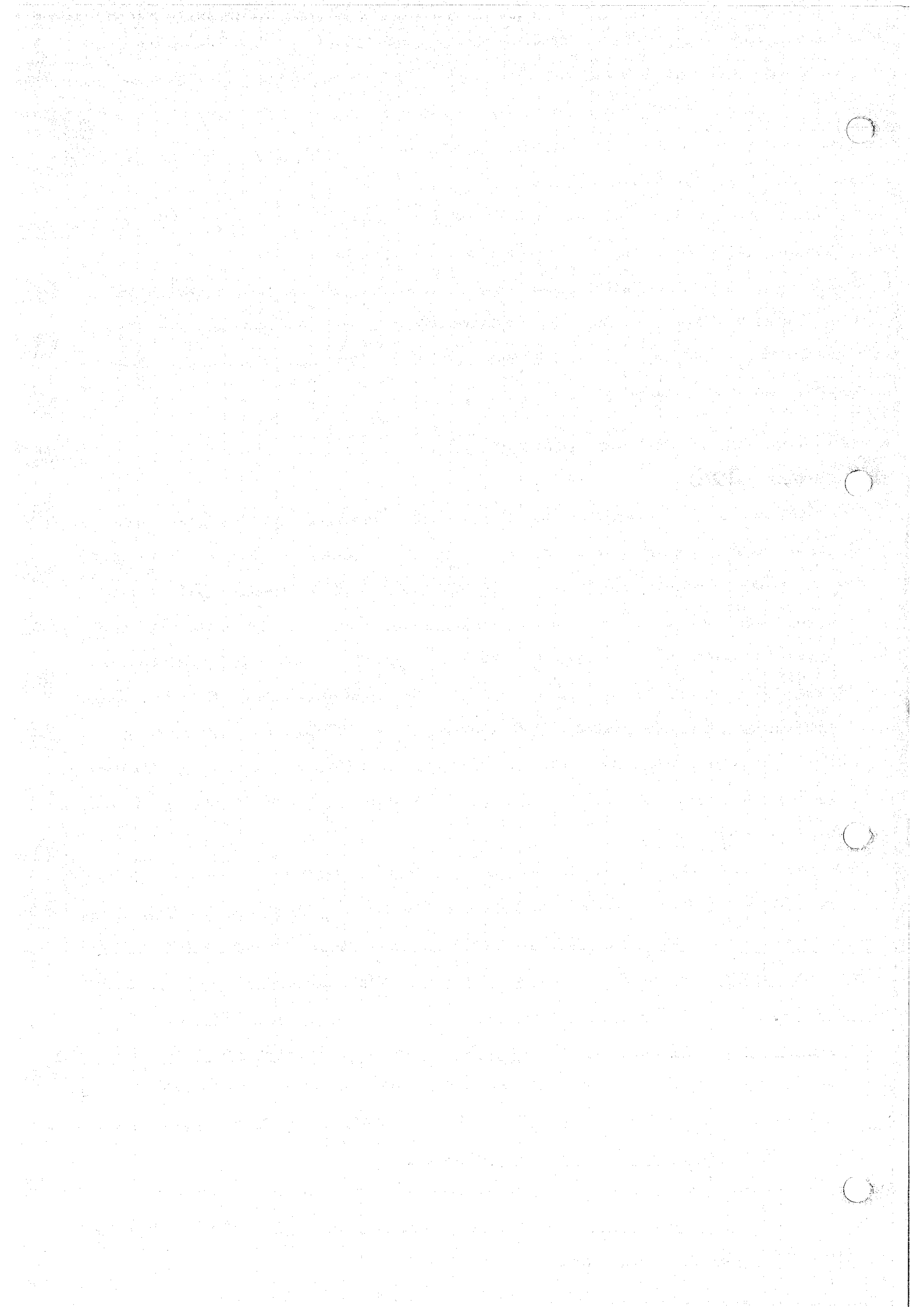
Se la frequenza è piccola, lo è anche l'energia trasportata, questo è il caso delle onde radio, i raggi X hanno invece maggiore energia. Per crearli c'è un tubo di vetro all'interno del quale un anodo è tenuto a potenziale positivo e un catodo negativo tramite un alimentatore, allora passa corrente attraverso un filamento, e ci sarà dispersione di energia per effetto Joule. La differenza di potenziale applicata è di migliaia di Volt.

Un elettrone allora acquista molta energia cinetica e vanno a battere sull'anodo, da qui poi si originano radiazioni elettromagnetiche, che sono i raggi X.

Quello che succede è che l'energia degli elettroni viene assorbita da alcuni atomi dell'anodo; in realtà l'energia è assorbita proprio da uno degli elettroni che si eccitano \Rightarrow vanno su un'altra orbitale e nel tornare nello stato fondamentale emette radiazione; se l'energia acquistata è \sim ev. dei raggi X \Rightarrow la radiazione emessa sarà proprio della frequenza dei raggi X.

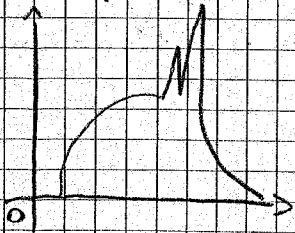
Gli elettroni però prima di arrivare all'anodo passano dal catodo, allora si rallentano e facendo questo emette fotoni, cioè energia o radiazione per frenamento.

Quindi i fenomeni sono 2: rallentamento a causa dell'urto con il catodo, i raggi X emessi per frenamento in generale possono essere di tutte le energie.



Nel momento in cui però un elettrone trova il suo stato fondamentale la frequenza è determinata, non si esce in genere le tutte le frequenze.

Lo spettro delle frequenze che si aspettano è continuo con un picco ad un certo punto.



Li sono due picchi perché può occorrere due più di un orbitale a uguale energia.

Questo grafico è caratteristico perché i picchi dipendono dal materiale di cui è fatto l'anodo, perché ogni elemento ha i suoi picchi. Lo spettro continuo invece è uguale per ogni elemento, perché la radiazione emessa va da un valore ad un altro.

Per far acquistare ad un elettrone un'energia di 1eV, ha bisogno del potenziale di 1V, allora per avere $E = 100 \text{ KeV}$ si ha bisogno di una tensione di 100.000V.

Le strutture allora non sono piccole solo per la radiazione emessa ma anche per il fatto che si lavora in alta tensione.

In generale: $E = eV$ ($E = q \cdot V$) dove "e" è la carica dell'elettrone.

ci potremo chiedere: qual è la lunghezza d'onda minima a cui viene emesso un raggio X?

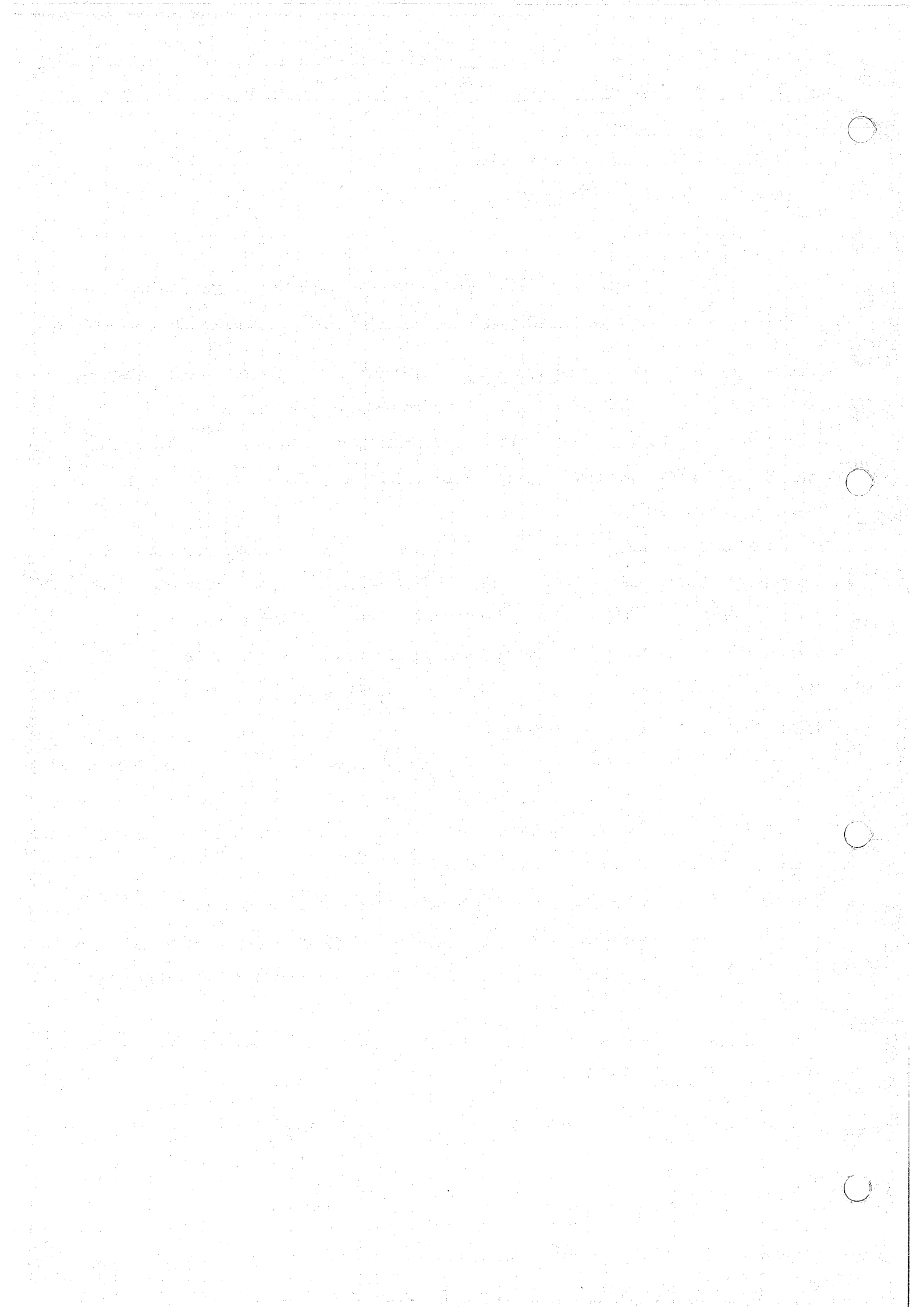
Nel grafico, in ascissa, è rappresentata l'energia dei fotoni, se ci volessimo mettere le lunghezze d'onda sarebbe con la freccia al contrario, a sinistra ci sono λ grandi e verso destra λ piccole.

è minimo allora l'asse per E massima. Nel caso in esame $E_{\text{max}} = 100 \text{ KeV}$.

$$E = eV = h\nu_{\text{max}} \quad eV = h\nu_{\text{max}} \quad \text{ma } \lambda = \frac{c}{\nu}$$

$$\Rightarrow eV = h \frac{c}{\lambda_{\text{min}}} \quad e \quad \left| \lambda_{\text{min}} = \frac{hc}{eV} \right|$$

Questa è la lunghezza d'onda minima dei raggi X ottenibili dall'apparecchio con $\Delta V = 10.000 \text{ V}$.



Aumentando il potenziale aumenta la lunghezza d'onda minima ottenibile.

Questo meccanismo serve anche per fare l'analisi degli elementi.

Mandando un fascio di raggi x (γ) attraverso un materiale, si aumentano di $\ln I_0$ di questo ne avremo meno. Lo spettro di assorbimento è esponenziale con lo spessore.

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

INTENSITA' RESIDUA

I_0 intensità iniziale.

μ è un coefficiente di attenuazione o di assorbimento.

$$\text{per } x = \frac{1}{\mu} \Rightarrow I = \frac{I_0}{e}$$

μ è lo spessore per il quale dopo uno spessore di $\frac{1}{\mu}$ l'intensità si è ridotta di $\frac{1}{e} I_0$. Il fatto che i raggi x vengono assorbiti fa sì che si possano utilizzare. Per esempio in tessuti organici è fatto di materiali con diversa densità \Rightarrow avranno diversi gradi di assorbimento.

Per esempio: ossa, muscoli, grassi hanno tutti diversi coefficienti di assorbimento. Fare una radiografia vuol dire prendere un tubo a raggi x , farlo passare attraverso una fenditura per una struttura biologica e una pellicola fotografica. Essendo il tessuto biologico disomogeneo allora sulla pellicola avremo diverse intensità di "colori" in base alla densità.

I raggi x non sono usati solo in medicina, ma anche nell'industria, se si devono fare lastre omogenee, allora con le radiografie si scoprono eventuali difetti, come ad esempio forellini.

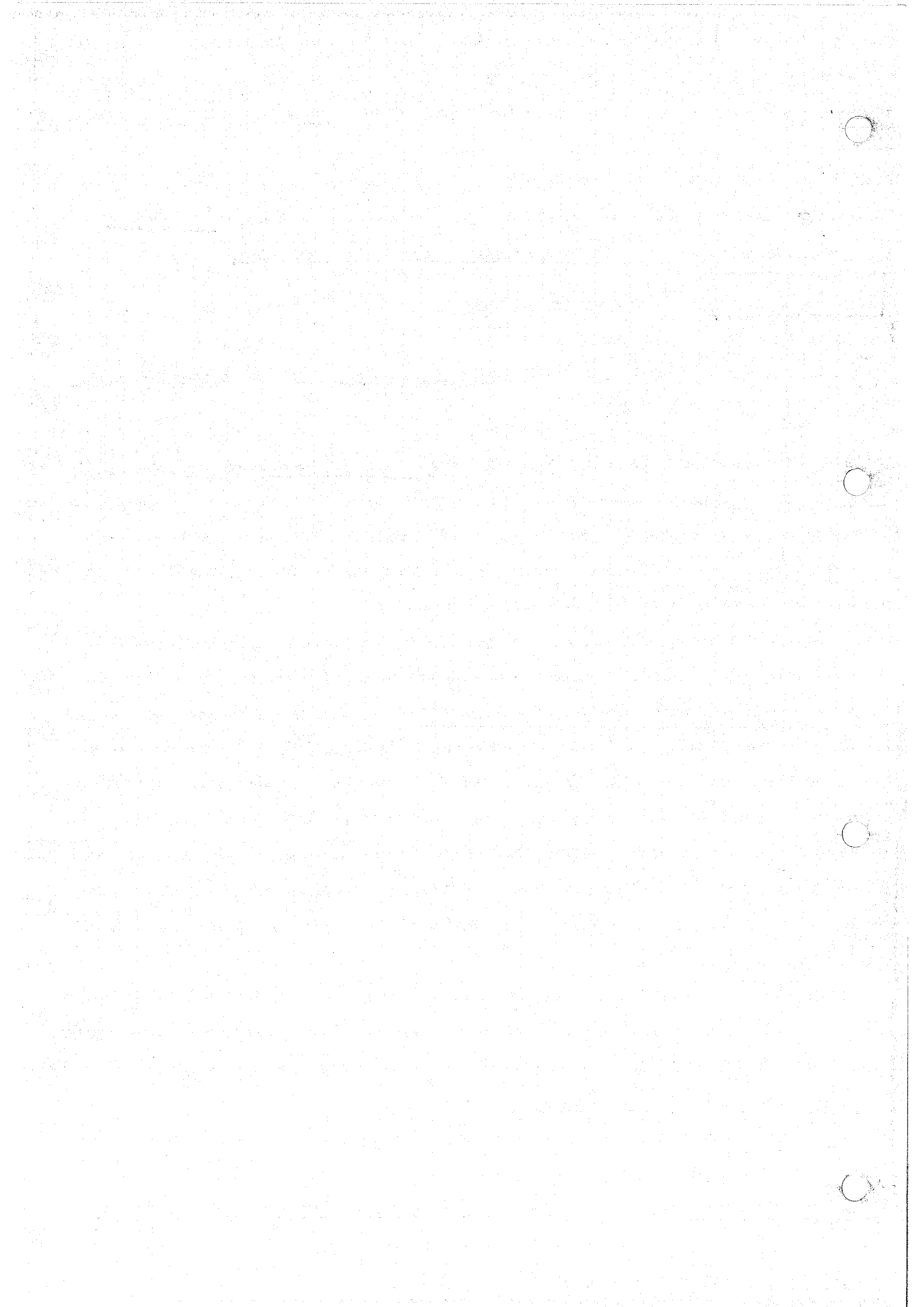
Se facessimo incidere i raggi su uno schermo fluorescente allora potremmo guardare direttamente l'immagine senza fare una foto. Oggi poi si può anche digitalizzare l'immagine.

I parametri per la radiografia:

Potenziale - necessario per avere raggi di una certa energia.

Intensità di corrente - numero di elettroni che vengono emessi per generare il fascio.

Tempo di esposizione - $\frac{1}{60}$ " (tempi brevi).



Metà un tessuto biologico è esposto a radiazione meglio è, per questo è un bene che la cella sia impressionata in così poco tempo.

Il modello dell'atomo come un nucleo e degli elettroni che girano intorno funziona.

$$R_{\text{nucleo}} = 10^{-15} \text{ m}$$

$$R_{\text{atomo}} = 10^{-10} \text{ m} = 1 \text{ \AA}$$

Li abbiamo ricordato comunque che preso un atomo, la metà sta nel nucleo, perché gli elettroni stanno a distanze enormi dal nucleo.

In un atomo ci stanno Z protoni con $m = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

$$q = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

N neutroni con $m = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Z elettroni con $m = 9.07 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

A - numero di massa: $A = Z + N$

Se prendiamo un nucleo generico questo viene indicato con ${}^A_Z X$, allora l'elemento è ben specificato.

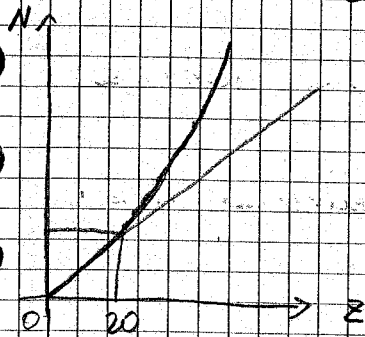
$$m_{\text{prot}} = 1841 \cdot m_{\text{elet}}$$

Gli elementi naturali (dall'idrogeno all'uranio) vanno da $Z=1$ a $Z=92$. Gli elementi fini invece sono definiti dal numero A , perché possiamo avere atomi con ugual numero di protoni, ma diverso numero di neutroni.

L'elemento con $Z=43$ e quelli con $Z > 92$ non esistono in natura, sono creati artificialmente.

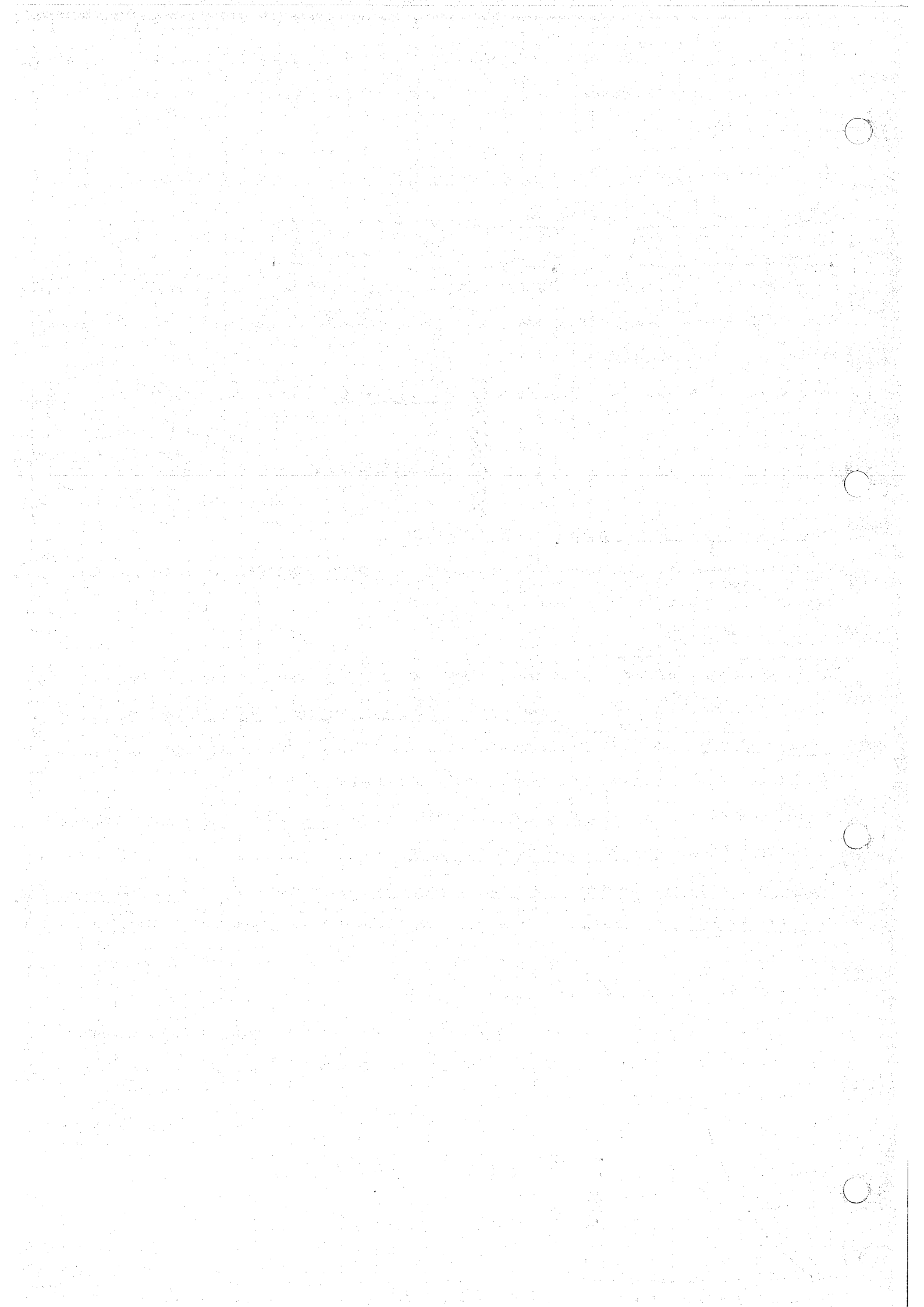
Isotopi (= stesso posto), quindi ugual numero Z , ma diverso N e di conseguenza A , esempio: carbonio-12, carbonio-14; dal punto di vista chimico hanno lo stesso comportamento, ma il nucleo di uno è più pesante.

Gli isotopi possono essere: stabili, radioattivi, naturali e artificiali. Ci sono degli isotopi che Z in natura, ma li sappiamo fare in laboratorio.



Per $Z \leq 20$: $N \approx Z$

Per $Z > 20$: $N > Z$



Si parla di nuclei leggeri con $Z \leq 20$, e pesanti per $Z > 20$.
 I protoni nel nucleo risentono della forza di attrazione g_{2p} attrattiva, e di repulsione elettrostatica.

$$F_g = 2 \cdot 10^{-36} \text{ N}$$

$$F_{RE} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{r^2} = 230 \text{ N}$$

$$F_e \gg F_g$$

↓
 i protoni si dovrebbero respingere

Tuttavia nel nucleo si instaura un altro tipo di forza attrattiva: quella nucleare forte, che si instaura ad una distanza di circa 10^{-16} m.

Si osserva che quando ci sono troppi o pochi neutroni il nucleo non è stabile.

${}^3\text{H}$ = trizio instabile

${}^2\text{He}$ non esiste; ${}^3\text{He}$ è instabile

Il caso dei nuclei instabili perché c'è la forza debole.

Esistono nuclei che sono instabili, che noi chiamiamo radioattivi: la forza debole in qualche modo vince quella forte e fa sì che il nucleo decada.

ENERGIA DI LEGAME

Concetto fondamentale per i processi di fissione e fusione nucleare.

Prendi il deuterio: un isotopo $m_p + m_n + m_e = 1876.12 \text{ MeV}/c^2$

un isotopo \neq un isotopo - La differenza di massa è l'energia che si è liberata quando si sono messi insieme il protone e il neutrone.

La manca di massa, è interpretata come una manca di energia che è proprio l'energia di legame.

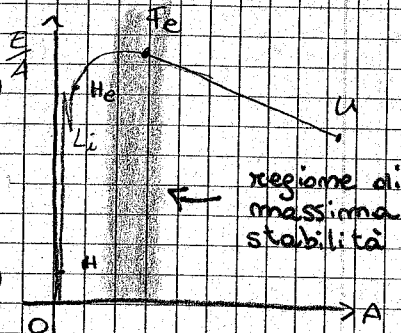
Per rompere quel legame allora c'è bisogno di fornire quell'energia perché alla fine le masse del protone e del neutrone non possono essere diverse da quelle calcolate singolarmente.

Più protoni e neutroni si mettono insieme, più si crea un difetto di massa e quindi si fornisce sempre più energia per rompere i legami.

L'energia totale di legame cresce con A ma l'energia media per nucleone $\left(\frac{E_0}{A}\right)$ questa da vari valori. Otteniamo un grafico del tipo:

Handwritten text at the top of the page, possibly a title or header.





Fino al ferro l'energia di legame è crescente \Rightarrow maggior difetto di massa. Se prendiamo un elemento con grande A, e se spaccassimo il nucleo in due nuclei più piccoli dove quindi l'energia di legame è più alta.

L'energia di legame è una mancanza di massa. Se facciamo un bilancio energetico nel passaggio da un nucleo grande a due più piccoli, abbiamo un'energia di legame più grande \Rightarrow massa minore \Rightarrow energia che si è liberata all'esterno \rightarrow nella zona successiva al ferro. Si parla sempre di $\frac{E_e}{A} = \frac{B}{A}$ (vedi sotto). Il viceversa possiamo farlo partendo da nuclei leggeri e formando due uno più pesante (e maggiore energia di legame) e quindi di produzione di energia esterna \rightarrow zona precedente al ferro.

Energia nucleare per nucleone: $E_n = \frac{B}{A}$, da un certo punto in poi E_n rimane costante $E_n \approx 8 \text{ MeV}$, ed è l'energia che si deve fornire per strappare ad un atomo un nucleone.

B - energia totale di legame.

Il Ferro che sta sul massimo vuol dire che è quello più stabile, nella fusione si deve stare attenti a creare elementi più pesanti del ferro, altrimenti non si avrebbe produzione di energia.

I tipi di radioattività sono 3 o 4: decadimento α , decadimento β , decadimento γ . In realtà poi ci sono 2 decadimenti β : β^+ e β^- .

30 marzo 2009

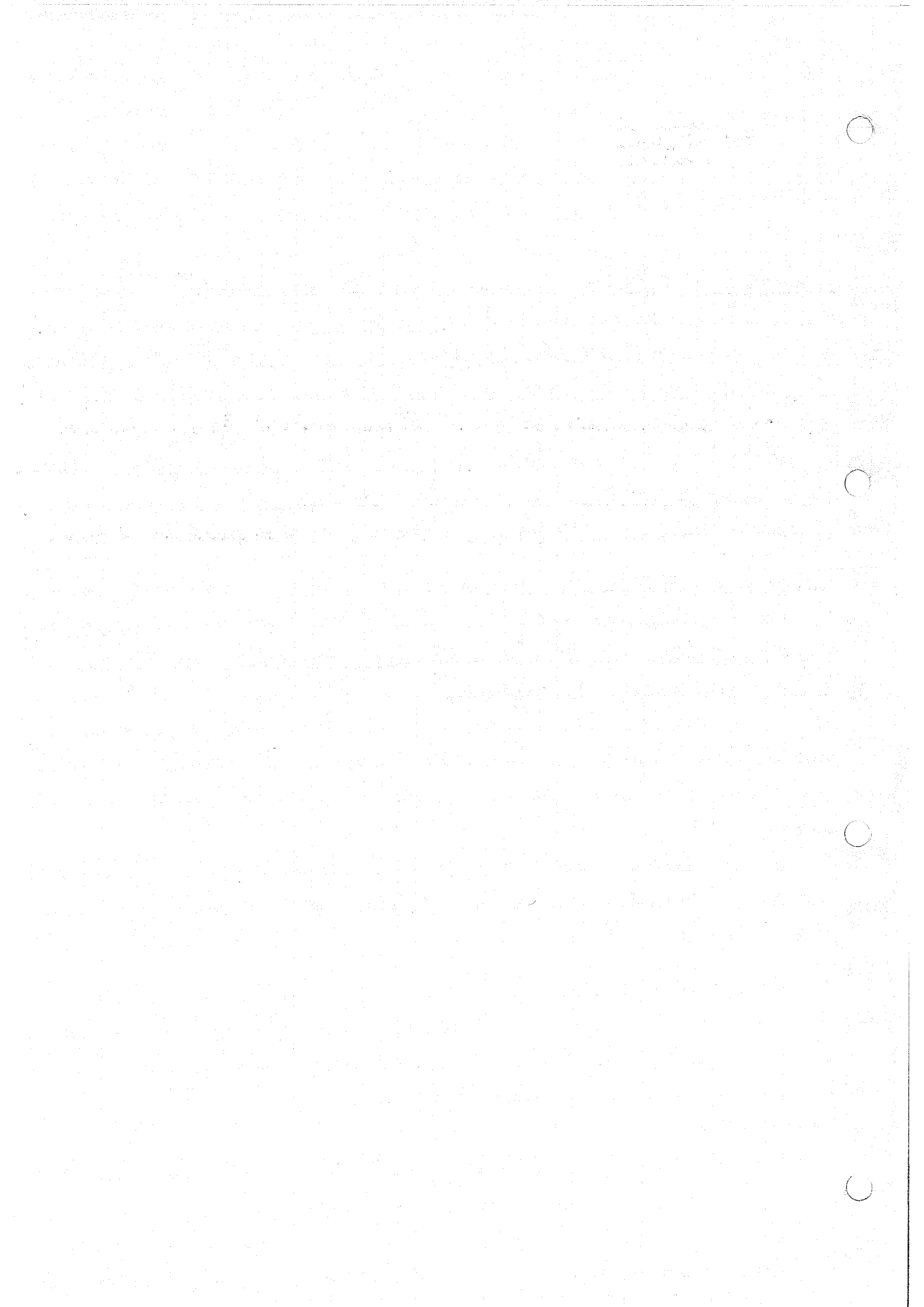
Avendo visto che ci sono 4 tipi di decadimento, questi ci sono quando un elemento si trasforma in qualche altro, normalmente gli elementi vanno verso un numero A minore.

DECADIMENTO α :

${}^A_Z X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} X + \alpha + E_\alpha$ decadere α , vuol dire emettere una particella, in realtà viene emessa anche energia.

Abbiamo poi capito che $\alpha = {}^4_2 \text{He}$ cioè un nucleo di Helio.

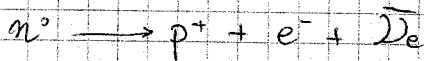
In totale l'elemento X si è liberato di 4 nucleoni, di cui 2



dell'elettrone.

Da dove viene l'elettrone se si parla di decadimenti nucleari?

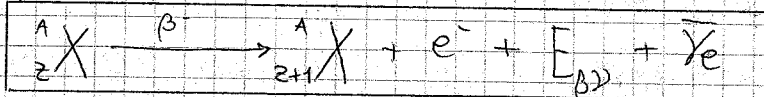
Un neutrone n^0 subisce un decadimento di questo tipo:



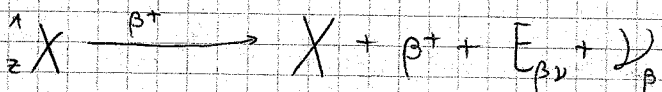
- Se viene prodotto un elettrone, viene prodotto anche un antineutrino dell'elettrone
- Se viene prodotto un positrone, viene prodotto anche un neutrino dell'elettrone
- Idem per il μ .

\Leftrightarrow la carica leptonica si CONSERVA \Rightarrow i leptoni si producono sempre in coppia. (carica leptonica \equiv num. quantico).

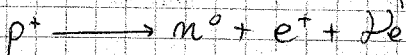
Nella relazione di decadimento considerata prima, quindi, si ha:



- Esiste anche il decadimento β^+ :



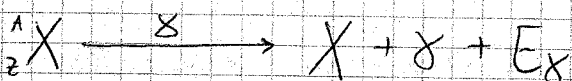
ovvero: β^+ è un positrone e $\nu_p \equiv \nu_e$. Succede che:



Quindi la relazione diventa:

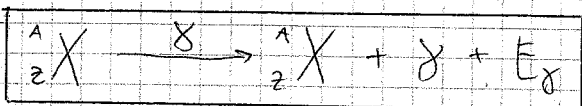


- Decadimento γ :



γ è una radiazione elettromagnetica.

Cosa è successo nel nucleo? Supponiamo che un nucleo decada α o β . Può succedere che il nucleo prodotto non sia nella sua configurazione minima di energia, ovvero sia eccitato. Questo si libera dell'energia in eccesso liberando un raggio γ , ma il suo num. atomico ed il suo num. di massa NON variano:



Solo nel 5% dei casi si ha puro decadimento α o β ; nel 95% dei casi c'è anche emissione γ .

Il decadimento γ può succedere anche non in seguito ad un decadimento α o β .

$$E_{\gamma} \equiv h\nu \quad (\gamma \equiv \text{onda e.m.})$$

Non si può dire, a priori, se un nucleo è in grado di decadere α , decadere β , o decadere in entrambi i modi. Si possono fare solo ragionamenti statistici.

$$N \text{ nuclei} \quad \Delta t := \tau$$

$$N \xrightarrow{\tau} N_{\tau} < N$$

$$\Delta N = N_{\tau} - N < 0$$

$(-\Delta N)$ = n° di nuclei che sono decaduti durante il tempo τ .

$$-\Delta N \propto N$$

$$-\Delta N \propto \tau = \Delta t$$

$$\Rightarrow \boxed{-\Delta N = \lambda N \Delta t} \quad (\lambda \text{ costante di proporzionalità})$$

$\Delta t \rightarrow dt$ (intervalli infinitesimi)

$\Rightarrow -dN = \lambda N dt$ (equazione differenziale a variabili separabili:)

$$-\frac{dN}{N} = \lambda dt \quad \text{Integro:}$$

$$-\int_{N_0}^{N_t} \frac{dN}{N} = \lambda \int_0^t dt \quad \Rightarrow \quad -\ln \frac{N_t}{N_0} = \lambda t \quad \Rightarrow \quad \frac{N_t}{N_0} = e^{-\lambda t} \quad \Rightarrow$$

$$\boxed{N_t = N_0 e^{-\lambda t}}$$

Andamento del numero di nuclei in un campione radioattivo

(Legge del decadimento radioattivo)

Possiamo anche scrivere:

$$\boxed{-\frac{\Delta N}{\Delta t} = \lambda N}$$

$\frac{\Delta N}{\Delta t} \equiv$ velocità di decadimento

$-\frac{\Delta N}{\Delta t} \equiv A \equiv R$ \downarrow attività \rightarrow "rate" L'attività di un campione radioattivo nell'istante iniziale dipende

linearmente da N . Negli istanti successivi: $N = N(t) = \frac{A_t}{\lambda}$

$$A_t = R_t \equiv -\frac{dN}{dt} = \lambda N_t$$

$$\lambda N_t = N_0 \lambda e^{-\lambda t} \quad \Rightarrow \quad \boxed{R_t = R_0 e^{-\lambda t}}$$

\Rightarrow Anche l'attività ha andamento esponenziale. È più facile misurare l'attività che contare il numero di nuclei. (Rivelatore Geiger).

Come è λ ?

Definiamo un certo numero di nuclei N_0 . Vedo in

quanto tempo si dimezza: $N_0 \xrightarrow{T} \frac{N_0}{2}$

$T \equiv$ tempo di dimezzamento. Dipende fortemente dal tipo di nucleo che decade. Ogni specie radioattiva ha il suo T .

Valuto l'equazione di decadimento (valuta t) in $t = T$:

$$t = T \Rightarrow N_T = N_0 e^{-\lambda T} \Rightarrow \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T} \Rightarrow e^{-\lambda T} = \frac{1}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow -\lambda T = \ln \frac{1}{2} = \ln 1 - \ln 2 \Rightarrow \ln 2 = \lambda T$$

$\Rightarrow \lambda = \frac{\ln 2}{T}$ T è MISURABILE $\Rightarrow \lambda$ è ben definito ed è diverso \forall specie radioattiva. $\ln 2 = 0,693$

Si definisce anche la VITA MEDIA di un campione radioattivo:

$$N_0 \xrightarrow{\tau} \frac{N_0}{e}$$

$$t = \tau \Rightarrow N_\tau = N_0 e^{-\lambda \tau} = \frac{N_0}{e} \Rightarrow \lambda \tau = +1 \Rightarrow \boxed{\lambda = \frac{1}{\tau}} = \frac{\ln 2}{T}$$

$$\Rightarrow T = \ln 2 \tau$$

($\tau > T$), ($\ln 2 < 1$)

$$N_0 \xrightarrow{nT} \frac{N_0}{2^n} = \text{numero atomi residui all'istante } nT$$

31.03.2009

Unità di misura attività radioattiva.

$$[\lambda] = \text{costante di disintegrazione} = [\text{s}]^{-1}$$

$$[\tau] = [\text{s}] = \text{vita media}$$

$$[T] = \text{tempo di dimezzamento} = [\text{s}]$$

$$[R] = \text{attività} = [\text{Bq}] = \text{Bequerel} = \frac{\text{disintegrazione}}{\text{secondo}}$$

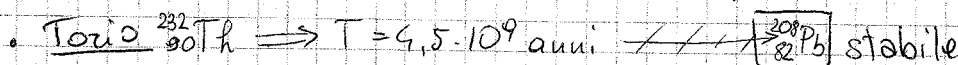
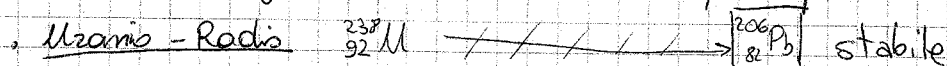
$$= [\text{Ci}] = \text{Curie} = \text{attività di } 1 \text{ g di radio } 226 = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

$$\ln R = \ln R_0 - \lambda t = \ln R_0 - t/\tau$$

$\ln R_0 - \lambda t$ è una retta il cui coeff. angolare è $-\lambda$.

Gli elementi radioattivi sono raggruppati in famiglie.

Gli elementi delle famiglie sono, radioattivamente, nuclei uno figlio dell'altro. I "cospiratori" sono:



Datazione al carbonio 14: $t = \frac{T}{\ln 2} \ln \frac{R_0}{R_t}$

Carbonio 14 \equiv Radiocarbonio

Carbonio 14 \rightarrow datazione fino a circa 50k anni fa ($T = 5760$ anni)

ESERCIZI \longrightarrow

- Vita media di un radionuclide tale che

$$t = 155 \text{ ore} \rightarrow R_t = 20\% R_0 \quad \tau = 1/\lambda \quad R_t = R_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\ln R_t \leq \ln R_0 \quad \therefore -\frac{t}{\tau} \quad \ln \frac{R_t}{R_0} = -\frac{t}{\tau}$$

$$\tau \ln \frac{1}{5} = -t$$

$$\tau = -t \cdot \frac{1}{\ln \frac{1}{5}} = 96,3 \text{ ore} \quad (\text{circa 4 giorni})$$

- Isotopo ^{24}Na $\rightarrow T = 15 \text{ ore}$

attività = 100 volte limite accettabile (R_0)

quanto t occorre per rientrare in R_0 ?

$$R_t = 100 R_0$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T}$$

$$R_t = \frac{1}{100} R_0 \quad R_t = R_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow \frac{1}{100} R_0 = R_0 e^{-\lambda t}$$

$$\ln \frac{1}{100} = -\lambda t \quad t = \ln \frac{1}{100} \cdot \left(-\frac{1}{\lambda}\right) =$$

$$= \ln \frac{1}{100} \cdot \left(-\frac{T}{\ln 2}\right) \approx 100 \text{ ore} \quad (99,7 \text{ ore})$$

- Radio ^{226}Ra $T = 1622 \text{ anni}$

$$\lambda = ? \quad \tau = ?$$

Ci in dis/sec?

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = 0,00043 \text{ anni}^{-1} = 13560,5 \text{ s}^{-1}$$

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = 2340 \text{ anni} = 7,4 \cdot 10^{10} \text{ s}$$

$$R = \lambda N = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ dis/sec}$$

$$1 \text{ gr di Radio} \Rightarrow 226 \text{ gr} = 1 \text{ mol} = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ atomi}$$

$$N_0 = \frac{6,022 \cdot 10^{23}}{226} = 2,66 \cdot 10^{21}$$

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$t = 1 \text{ s} \Rightarrow N_t = N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow$$

$$\text{dis/sec} = N_0 - N_0 e^{-\lambda}$$

$$\boxed{\text{Becquerel} = \frac{N_0}{\tau}} = 3,66 \cdot 10^{10} \text{ s}^{-1}$$

A sua volta il Radio decade ${}_{88}^{226}\text{Ra} \rightarrow {}_{88}^{226}\text{Ra}$ che è un decadimento β^- , e dopo un altro β^- ${}_{88}^{226}\text{Ra} \rightarrow {}_{90}^{226}\text{Th}$ e questo è un altro isotopo del torio che poi decade α in un isotopo del Ra dando che con α diventa Radon...

Dopo un certo numero di passaggi, decade in qualcosa che è stabile: ${}_{82}^{206}\text{Pb}$.

Quindi: preso un campione di Thorio, dopo molto tempo otteniamo un campione di piombo, alcuni elementi che incontriamo durante il decadimento sono proprio di transizione, nel senso che durano pochi anni.

Uranio - ottavo

L'ottavo diventa torio - Francio - Radon... con una serie di decadimenti, alla fine otteniamo ancora piombo.

Uranio

Inizia con l'uranio - 238 e alla fine si arriva a piombo - 206 ($Z=82$) stabile.

Abbiamo quindi visto 3 famiglie che alla fine diventano tutte piombo stabile.

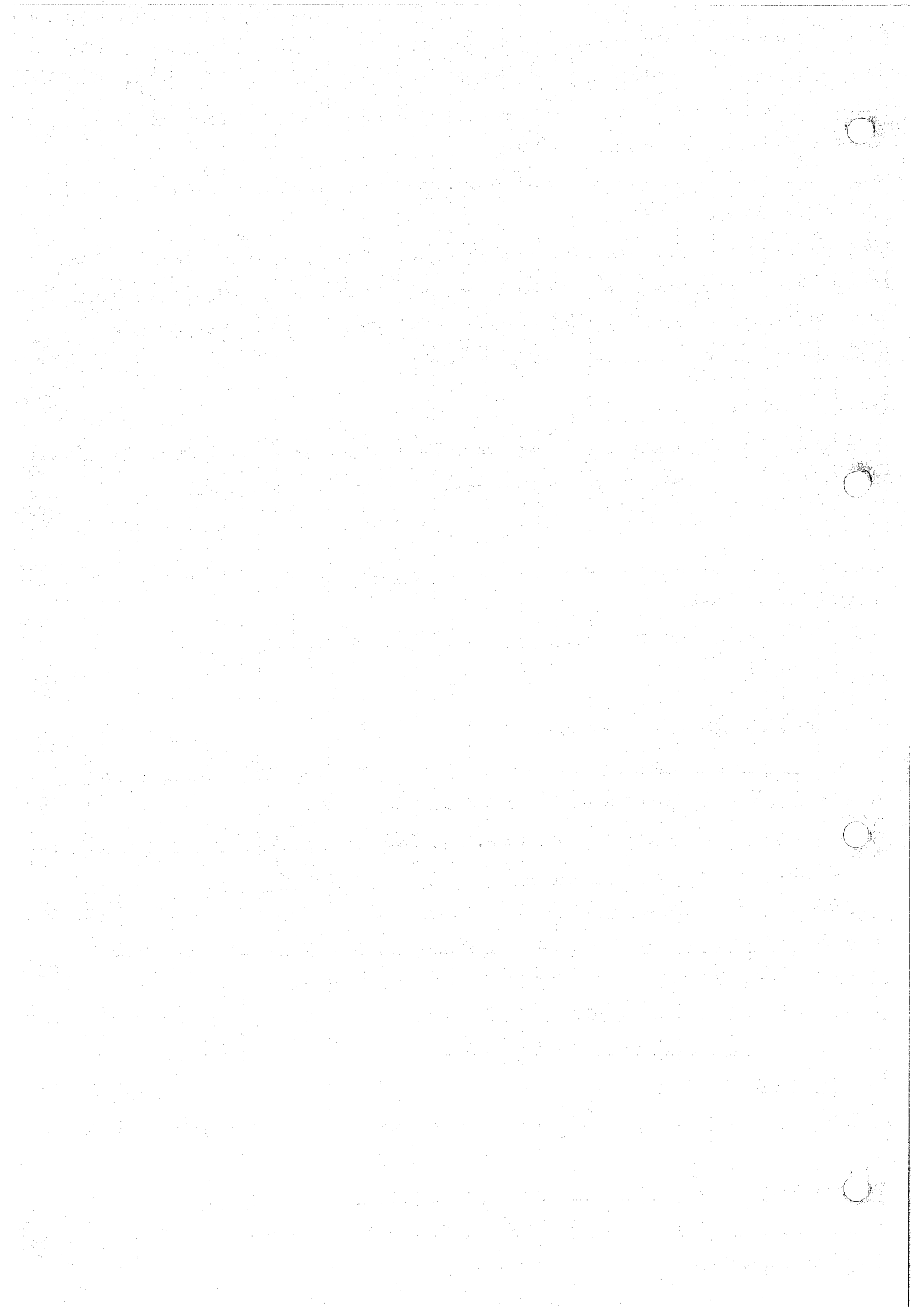
CONTATORE GEIGER-MULLER

È un cilindro metallico al cui interno c'è un filo con contatto con il cilindro per mezzo di isolatori. Tra il filo e il cilindro si crea una differenza di potenziale ($\sim 1000\text{V}$) All'interno del cilindro c'è del gas. Il segno V_+ è sul filo, V_- è sul cilindro.

Supponiamo che una particella si muova, può accadere che questa urta il gas e lo ionizza \Rightarrow l'elettrone comincerà a muoversi verso il filo perché è positivo e lo percorrerà.

Se poi la particella urta più di una molecola di gas allora creiamo molti elettroni che percorrono il filo, una questa è una corrente, anche se più precisamente è un impulso perché il tempo è breve ($\sim 10^{-6}\text{s}$), otteniamo quindi un impulso di corrente.

Tutte le volte che passa una particella ho un impulso e posso collegarlo ad un contatore che scatta di 1 ogni volta che sente un impulso.



Il concetto è semplice concettualmente, una fase non facile da costruire, (per l'elevata differenza di potenziale, per il fatto di saldare insieme metallo e un materiale non isolante).

Questo oggetto permette di usare la legge dell'attività radioattiva e misurarla direttamente.

I decadimenti radioattivi vengono usati per fare datazioni di oggetti.

DATAZIONE

Supponiamo di avere un frammento di legno.

Come si fa a capire la sua età?

Sappiamo che \exists C-12, ma c'è anche un suo isotopo radioattivo: C-14 che ha $T_{1/2} = 5760$ anni.

Da un punto di vista chimico questi due elementi sono indistinguibili, e nell'atmosfera sono presenti entrambi.

Supponiamo che il rapporto $\frac{^{14}\text{C}}{^{12}\text{C}}$ sia sempre lo stesso, anche perché la nostra atmosfera non è che ha cambiato composizione una volta morto, un pezzo di legno o animale non assorbe più ^{14}C dall'atmosfera.

La quantità di C-14 è in equilibrio con gli esseri viventi.

Ma se abbiamo un pezzo di legno morto questo non è più in equilibrio $\frac{\text{C-12}}{\text{C-14}}$ cambia col tempo, perché il C-14 decade.

Andando a capire qual è la radioattività residua si può datare il pezzo di legno.

$R_t = R_0 \cdot e^{-\lambda t}$ di questa conosciamo λ , di sicuro si vuole conoscere t .

R_t è l'attività del pezzo di legno nel momento in cui lo si misura. R_t si conosce quindi tramite un contatore Geiger.

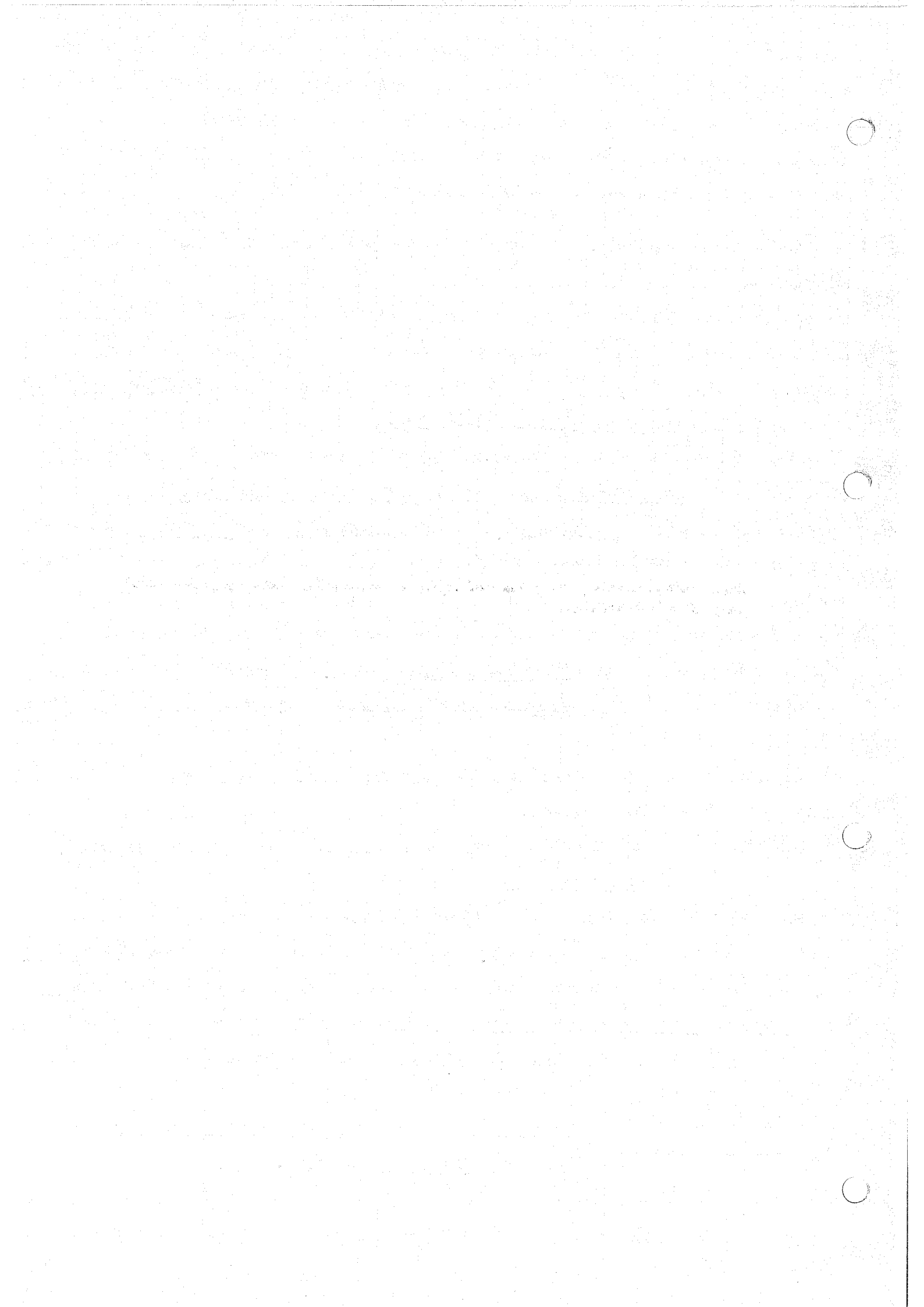
R_0 è l'attività iniziale, che però non la conosciamo. Se non è cambiato il rapporto allora R_0 è la stessa radioattività di un albero vivo oggi e della stessa specie.

Allora ci possiamo chiedere t :

$$t = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln\left(\frac{R_0}{R_t}\right)$$

tempo trascorso da quando quel pezzo di legno è stato tagliato.

Possiamo andare indietro all'incirca di $5 \times 6T$, dipende poi anche dalla sensibilità del Geiger (quelli migliori arrivano anche a 10T).



ESERCIZI FISICA APPLICATA

- vita media di un radionuclide tale che dopo 155 ore l'attività è il 20% di quella iniziale.

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

$$20\% R_0 = R_0 e^{-\lambda 155}$$

$$\frac{1}{5} = e^{-\lambda 155} \quad \ln \frac{1}{5} = -\lambda 155 \quad -\lambda = \ln \frac{1}{5} / 155$$

$$\lambda = \ln 5 / 155 \quad \tau = 155 / \ln 5 = 96,3 \text{ ore}$$

$$R = N \lambda$$

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

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

- isotopo ^{24}Na ha un $T = 15$ ore

Se l'attività supera di 100 volte il limite accettabile, quanto tempo occorre per rientrare nei limiti?

$$R(t) = \frac{1}{100} R_0 \quad \frac{1}{100} R_0 = R_0 e^{-\lambda t} \quad \lambda = \ln 2 / T$$

$$\lambda = \ln 2 / 15 = 0,046 \quad \frac{1}{100} = e^{-\lambda t} \quad \ln \frac{1}{100} = -\lambda t$$

$$t = \ln \frac{1}{100} / -0,046 = 99,7 \text{ ore}$$

- il radio ^{226}Ra ha un $T = 1622$ anni. Stabilire:

- la costante di disintegrazione λ

- la vita media τ

- l'attività espressa in Ci (disintegrazioni al secondo)

$$\lambda = \ln 2 / T \quad T = 1622 \text{ anni} = 5,12 \cdot 10^{10} \text{ secondi}$$

$$\lambda = 1,35 \cdot 10^{-11} \quad \tau = 1 / \lambda = 7,41 \cdot 10^{10} \text{ secondi}$$

disintegrazioni in un secondo = $N_0 - N(1s) = N_0 - N_0 e^{-\lambda \cdot 1s}$

$$N_0 = 6,022 \cdot 10^{23} / 226 = 2,7 \cdot 10^{21} \text{ (atomi in } 1 \text{ g di } ^{226}\text{Ra)}$$

$$N_0 - N_0 e^{-\lambda} = \text{disint. in un secondo} = N_0 - N_0 \cdot e^{-\lambda}$$

$$\lambda = 1 / \tau = \ln 2 / T$$

1 Bq = 1 disint. in 1 sec.

$$t = \tau \Rightarrow N(t) = \frac{1}{e} N_0 \quad \text{disint. in } \tau = N_0 - \frac{1}{e} N_0 \quad \text{Bq} = \frac{N_0 - \frac{1}{e} N_0}{\tau}$$

1 Curie = 1 Ci = numero di disintegrazioni in 1 g di ^{226}Ra in 1 secondo

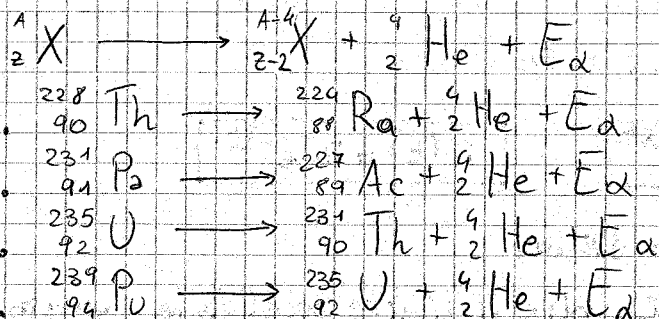
$$1 \text{ Ci} = N_0 - N(t) \quad t = 1s \quad 1 \text{ Ci} = N_0 (1 - e^{-\lambda}) =$$

$$= N_0 (1 - 2,6 \cdot 10^{-12}) = N_0 - 6,99949 \cdot 10^{10}$$

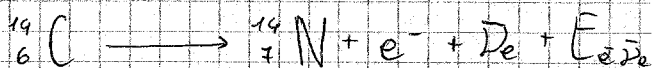
- Per ciascuno di questi nuclei si produce un decadimento α :

- ${}^{228}_{90}\text{Th}$
- ${}^{231}_{91}\text{Pa}$
- ${}^{235}_{92}\text{U}$
- ${}^{239}_{94}\text{Pu}$

Scrivere l'equazione di decadimento α per ognuno di questi.



- Il ${}^{14}_6\text{C}$ diventa ${}^{14}_7\text{N}$ decadendo β^- . Scrivere il processo, poi determinare l'energia liberata (in MeV).



elettrone	$-1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	$9,109390 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$	$5,485799 \cdot 10^{-4} \text{ uma}$
protone	$+1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	$1,672623 \cdot 10^{-27}$	$1,007276 \text{ uma}$
neutrone	0 C	$1,674929 \cdot 10^{-27}$	$1,008665 \text{ uma}$

$$1 \text{ uma} = 1,6605 \cdot 10^{-24} \text{ g} = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J} \quad 1 \text{ J} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m}^2 / 1 \text{ s}^2$$

$$c = 300.000 \text{ km/s} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$



$$10,0356 \cdot 10^{-27} \text{ kg} + 13,3994 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \longrightarrow 23,4325 \cdot 10^{-27} + 0,0009109 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$= 23,435 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \longrightarrow = 23,4334 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\text{difetto di massa} = 0,0025 \text{ kg} \cdot 10^{-27}$$

$$0,0144 \cdot 10^{-16} \text{ J} = 1,6 \cdot 0,0144 \cdot 10^{-3} \text{ eV} = 0,02304 \cdot 10^{-3} \text{ eV}$$

$$= 0,00002304 \text{ eV}$$

$$0,0025 \text{ kg} \cdot 10^{-27} \cdot 9 \cdot 10^{16} \text{ m}^2 / \text{s}^2 = 2,25 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

$$\frac{2,25 \cdot 10^{-3}}{1,60 \cdot 10^{-19}} = 1,406 \cdot 10^{16} \text{ eV} = 1,4 \text{ MeV}$$

- Il T per il decadimento α dell' $^{238}_{92}\text{U}$ è $4,47 \cdot 10^9$ anni.

Si determini l'età di una roccia che contiene il 60% di atomi rispetto alla quantità iniziale di questo elemento.

$$N(t) = 60\% N_0 \quad N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad \lambda = \ln 2 / T$$

$$60\% N_0 = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{T} t} \quad \frac{3}{5} = e^{-\frac{\ln 2}{T} t} \quad \ln \frac{3}{5} = \left(-\frac{\ln 2}{T}\right) t$$

$$t = \ln \frac{3}{5} / \left(-\frac{\ln 2}{T}\right) = -0,512 / \left(-0,693 / 4,47 \cdot 10^9\right) \text{ anni}$$

$$= 3,3 \cdot 10^9 \text{ anni}$$

- Un osso ha un'attività riferita a un grammo di Carbonio 14 che è il 21% di quello che era presente nell'animale vivo.

Quanto tempo fa è morto?

$$R(t) = 21\% R_0 \quad R(t) = R_0 e^{-\lambda t} \quad \frac{21}{100} R_0 = R_0 e^{-\lambda t}$$

$$\ln \frac{21}{100} = -\lambda t \quad R(t) = N(t) \cdot \lambda$$

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad N_0 = 6,022 \cdot 10^{23} / 14 = 0,43 \cdot 10^{23} \text{ nuclei in } 1 \text{ g}$$

$$N(t) = R(t) / \lambda = \frac{21}{100} R_0 / \lambda = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$\ln \left(\frac{21}{100} R_0\right) - \ln \lambda = \ln N_0 + (-\lambda t)$$

$$\ln \left(\frac{21}{100}\right) = -\lambda t$$

$$\ln \left(\frac{21}{100} R_0\right) - \ln \lambda = \ln N_0 + \ln \left(\frac{21}{100}\right)$$

$$\ln \left(\frac{21}{100}\right) + \ln R_0 - \ln \lambda = \ln N_0 + \ln \left(\frac{21}{100}\right)$$

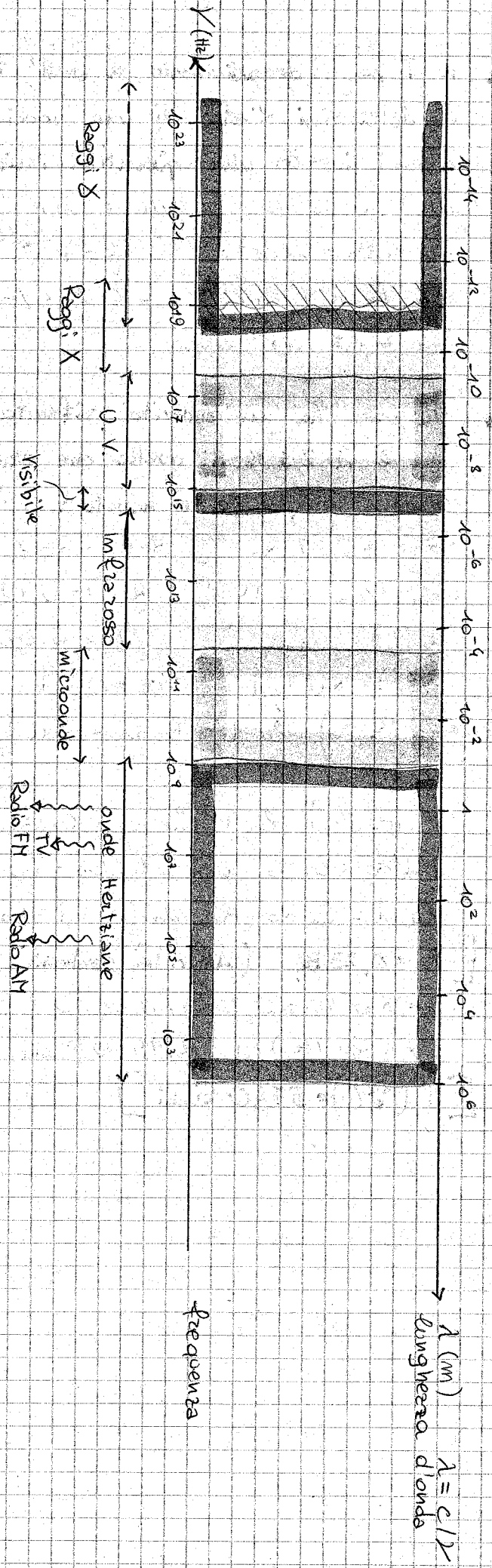
$$\ln \lambda = \ln R_0 - \ln N_0 \quad \lambda = R_0 / N_0$$

$$\left[R_0 = 0,23 \text{ Bq (Attività carbonio } ^{14}\text{C)} \right]$$

$$\lambda = R_0 / N_0 = 0,23 \text{ Bq} / 0,43 \cdot 10^{23} = 0,53 \cdot 10^{-23} \text{ s}^{-1}$$

$$t = -\ln \left(\frac{21}{100}\right) / \lambda = 2,94 \cdot 10^{23} \text{ sec}$$

$$\left[T(^{14}\text{C}) = 5730 \text{ anni} \right]$$



SPETTRO O.E.M.

Costante di Planck $h = 6,6260775 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} = 4,125 \cdot 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$

$$E = h\nu$$

$$10 \text{ m}\cdot\text{s} = 931,5 \cdot 10^6 \text{ eV}$$

Preso 1 gr di Radio si deve capire qual è quella che decade.

L'attività: $-\frac{dN}{dt}$ (velocità di decadimento)

$R_t = -\lambda N$ Si deve anche sapere N : n° di nuclei in un grammo di Radio.

$6,22 \cdot 10^{23}$ particelle in 226 gr di Radio.

Mole: n° atomico espresso in grammi

$$\frac{6,02 \cdot 10^{23}}{226} = 2,68 \cdot 10^{21} \text{ nucleide in un grammo}$$

$$R_t = -\lambda N = 2,68 \cdot 10^{21} \cdot (7,3 \cdot 10^{10})^{-1} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

Provare ad applicare questo ad un altro elemento.

Riguardarsi come quelle cose dei quark e le formule emesse.

Esercizi di preparazione

1. ${}^4_2\text{He}$ ha massa $6,6447 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$

Trovare: difetto di massa

energia di legame

$$\text{massa protone: } 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$$

$$\text{massa neutrone: } 1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$$

$$M = (2 \cdot 1,6726 + 2 \cdot 1,6749) \cdot 10^{-27} = 6,695 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$$

$$\Delta m = 0,05 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$$

$$E_u \text{ di legame: } E = \Delta m \cdot c^2 = 4,5 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

$$\bullet 1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\bullet 1 \text{ u} = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$$

2. ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + E_\alpha + \alpha$

Trovare: E_α

α è un nucleo di Helio.

$$m_\alpha = 6,6447 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$$

$$m_U = (92(1,6726) + 146(1,6749)) \cdot 10^{-27} = 398,4146 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$$

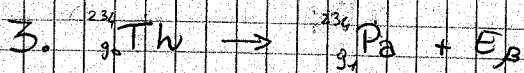
$$m_{Th} = (144 \cdot 1,6749 + 90 \cdot 1,6726) \cdot 10^{-27} = 391,7196 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$$

$$\Delta m = 0,05 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$$

$$E_u \text{ di } \alpha = \Delta m \cdot c^2 = 4,5 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$



1. $m = 931,5 \text{ MeV}$



$$m_{\text{Th}} = 144(1,6749) + 90(1,6726) \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 391,7196 \cdot 10^{-27}$$

$$m_{\text{Pa}} = 143(1,6749) + 91(1,6726) \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 391,7173 \cdot 10^{-27}$$

$$m_e = 9,1093 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\Delta m = 0,0023 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$E_{\beta} = \Delta m \cdot c^2 = 2,07 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

• $1 \text{ eV} = \frac{1 \text{ e}}{1.6}$

4. ${}_{79}^{192}\text{Au} \quad d = 10^{-15} \text{ cm}$

$$F = \frac{e^+ \cdot e^+}{4\pi\epsilon_0 \cdot 10^{-30}} =$$

5. Trovare densità del nucleo

$\bigcirc \quad V = \frac{4}{3}\pi r^3 \quad \rho = \frac{m}{V}$

$$\rho = \frac{1,6726 \cdot 10^{-27}}{\frac{4}{3}\pi \cdot 10^{-45}} = 4,09 \cdot 10^{17}$$

6. ${}_{8}^{16}\text{O}$ Trovare E_m in MeV

$$m = 15,99 \text{ uoli}$$

$$\Delta m = (16 - 15,99) \cdot 931,5 =$$

$$8 \cdot 1,6749 + 8 \cdot 1,6726 = 26,78 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$15,99 \cdot 1,6605 \cdot 10^{-27} = 26,55 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\Delta m = 0,22 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\Delta m_m = 0,22 / 1,6605 = 0,13$$

$$0,13 \cdot 931,5 = 128 \text{ MeV}$$

7. ${}_{7}^{14}\text{N} = 14,003 \text{ u}$

$$m = 1,008 \text{ u}$$

$${}_{7}^{13}\text{N} = 13,005 \text{ u}$$

$${}_{6}^{13}\text{C} = 13,003 \text{ u}$$

$$\Delta m = 14,003 - (13,005 + 1,008) = 0,01 \text{ u}$$

$$E = m \cdot 931,5 = 9,3 \text{ MeV}$$



$$p = 1,007$$

$$\Delta m = 0,007 \text{ u}$$

$$E_c = 0,007 \cdot 931,5 = 0,5$$

8. Trovare λ del $^{26}_{88}\text{Re}$ $E = 0,186 \text{ MeV}$

$$E = h\nu \quad \nu = \frac{c}{\lambda} \quad \text{dove } \lambda \nu = c$$

$$E = h \frac{c}{\lambda} \quad \lambda = \frac{hc}{E}$$

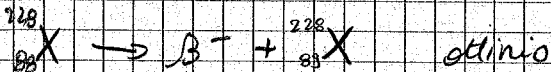
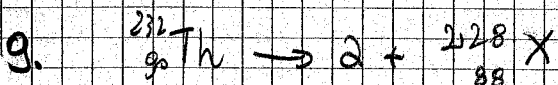
$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

$$\lambda = 4,06 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

$$0,186 \text{ MeV} = 2,9 \cdot 10^{-14} \text{ J}$$

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\lambda = 0,6 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$



10. $^{24}_{11}\text{Na}$ emette γ $E_\gamma = 0,423 \text{ MeV}$

Trovare v con cui si muove Na

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} \quad E = F \cdot s \quad \Delta p \Delta v = E$$

$$m \Delta v = E \Rightarrow v = \sqrt{\frac{E}{m}}$$

$$E = 0,423 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} = 6,76 \text{ J}$$

11. $^{221}_{86}\text{Rn}$ si produce con un decadimento α del Radio

$t=0$: $3 \cdot 10^7$ atomi di Radio

$T_{Rn} = 3,83$ giorni

Quanti atomi ci sono dopo 31 g?

Dopo nT ci sono $\frac{N_0}{2^n}$ atomi $\Rightarrow 31/3,83 = 8$

$$\frac{N_t}{2^8} = \frac{3 \cdot 10^7}{2^8} = 1,17 \cdot 10^5 \text{ atomi residui}$$

12. $t=0$ $3 \cdot 10^7$ atomi di Rn

$$T = 3,83 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s}$$

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad \lambda = \frac{\ln 2}{T} = 2,09 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$$

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$31 \text{ g} = 31 \cdot 24 \cdot 3600 = 2,6 \cdot 10^6 \text{ s}$$

$$N_t = 3 \cdot 10^7 \cdot e^{-2,09 \times 2,6} = 1,1 \cdot 10^5 \text{ atomi residui}$$

Trovare l'attività a $t=0$ e $t=31 \text{ g}$.



$$R_t = R_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad \text{se } t=0$$

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N \quad \lambda = \frac{\ln 2}{3,83 \text{ g}} = 0,181 \text{ g}^{-1}$$

A tempo $t=0$: $A = 0,181 \cdot N_0 = 5,43 \cdot 10^6$ disintegrazioni
(Portatore $g \rightarrow s$) giorno

$$t = 37 \text{ g} \quad \Delta t = 2,67 \cdot 10^6 \text{ s}$$

$$\Delta N = 3 \cdot 10^7 - 1,1 \cdot 10^5 = 2,9 \cdot 10^7 \text{ atomi}$$

$$A = \lambda N = 1,1 \cdot 10^5 \cdot 2,09 \cdot 10^{-6} = 0,23 \text{ Bq}$$

Torquando a $t=0$

$$\lambda = 2,09 \cdot 10^{-6} \quad A = 2,09 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^8 = 62 \text{ Bq}$$

13. ^{14}C $A = 0,18 \text{ Bq}$ di grammo di C, ora

Trovare l'età.

$$A = -\frac{\Delta N}{\Delta t} = \lambda N$$

$$T_c = 5730 \text{ anni}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{5730 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600} = 3,8 \cdot 10^{-12}$$

$$A_t = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad \frac{0,03 \cdot 10^{23}}{14} = 4,3 \cdot 10^{22} \text{ molecole in un grammo di carbonio}$$

$$t = \frac{T}{\ln 2} = 2,14 \cdot 10^{11}$$

$$\frac{A_t}{A_0} = e^{-\lambda t} \Rightarrow \ln\left(\frac{A_t}{A_0}\right) = -\lambda t \Rightarrow t = -\frac{\ln\left(\frac{A_t}{A_0}\right)}{\lambda}$$

14. 0,5 gr. di $^{60}_{27}\text{Co}$ $T = 5,27$ anni

Trovare R_0 del Cobalto.

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} \quad R_0 = N_0 \lambda$$

$$N_0 = \frac{0,5 \cdot 10^{23}}{60} \cdot 0,5 = 5 \cdot 10^{21} \text{ atomi}$$

$$R_0 = \frac{\ln 2}{T} \cdot N = 2,08 \cdot 10^{13} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ C} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

$$R_0 = 502,1 \text{ C}$$

15. $^{90}_{38}\text{Sr}$ $T_{Sr} = 28,5 \text{ a}$ $^{134}_{55}\text{Cs}$ $T_{Cs} = 2,06 \text{ a}$

$$\frac{Sr}{Cs} = 7,8 \cdot 10^{-3}$$

Trovare rapporto 15 anni dopo

$$Sr: N_t = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} \quad N_0 = \frac{6,02 \cdot 10^{23}}{90}$$



$$\begin{cases} S_{rt} = S_{r0} e^{-\lambda t} \\ C_{st} = C_{s0} e^{-\lambda t} \end{cases}$$

$$\frac{S_{rt}}{C_{st}} = \frac{S_{r0}}{C_{s0}} \cdot e^{-\lambda t + \lambda t} \quad \lambda = \frac{\ln 2}{T}$$

$$\frac{S_r}{C_s} = 7,8 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-15 \left(\frac{\ln 2}{20,5} + \frac{\ln 2}{2,06} \right)} = 0,84$$

28. $R_0 = 398 \frac{\text{dis}}{\text{min}}$ $R_2 = 285 \frac{\text{dis}}{\text{min}}$ dopo 2 giorni

Trovare R dopo 4 giorni

$$R_t = R_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

2 g. $285 = 398 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ $\ln\left(\frac{R_t}{R_0}\right) = -\lambda t$ $\lambda = \frac{\ln\left(\frac{R_t}{R_0}\right)}{t}$

$$\lambda = 0,166 \quad R_t = R_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

Dopo 4 giorni = $R_t = 398 \cdot e^{-0,166 \cdot 4} = 204 \frac{\text{dis}}{\text{min}}$

29. $T_{\text{neutrone}} = 10,4 \text{ min}$

Fascio neutroni = 5 eV

Trovare cammino dei neutroni fatto prima che N_t sia ridotto del 25% rispetto a R_0

$$5 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 5 \text{ J} = 8 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$$\frac{N_t}{N_0} = e^{-\lambda t}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T}$$

$$N_t = \frac{75}{100} N_0 = \frac{3}{4} N_0$$

$$\ln\left(\frac{3}{4}\right) = -\lambda t = -\frac{\ln 2}{T} \cdot t$$

$$t = \frac{-\ln\left(\frac{3}{4}\right) \cdot T}{\ln 2} = 258,9 \text{ s}$$

30. $R_0 = 4 \cdot 10^4 \text{ Bq}$ attività di un campione

Trovare: gr dell'elemento se questo è: 1) Ra, 2) U

Ra - ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ $T = 1,6 \cdot 10^3 \text{ a}$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T}$$

$$R_0 = \lambda N$$

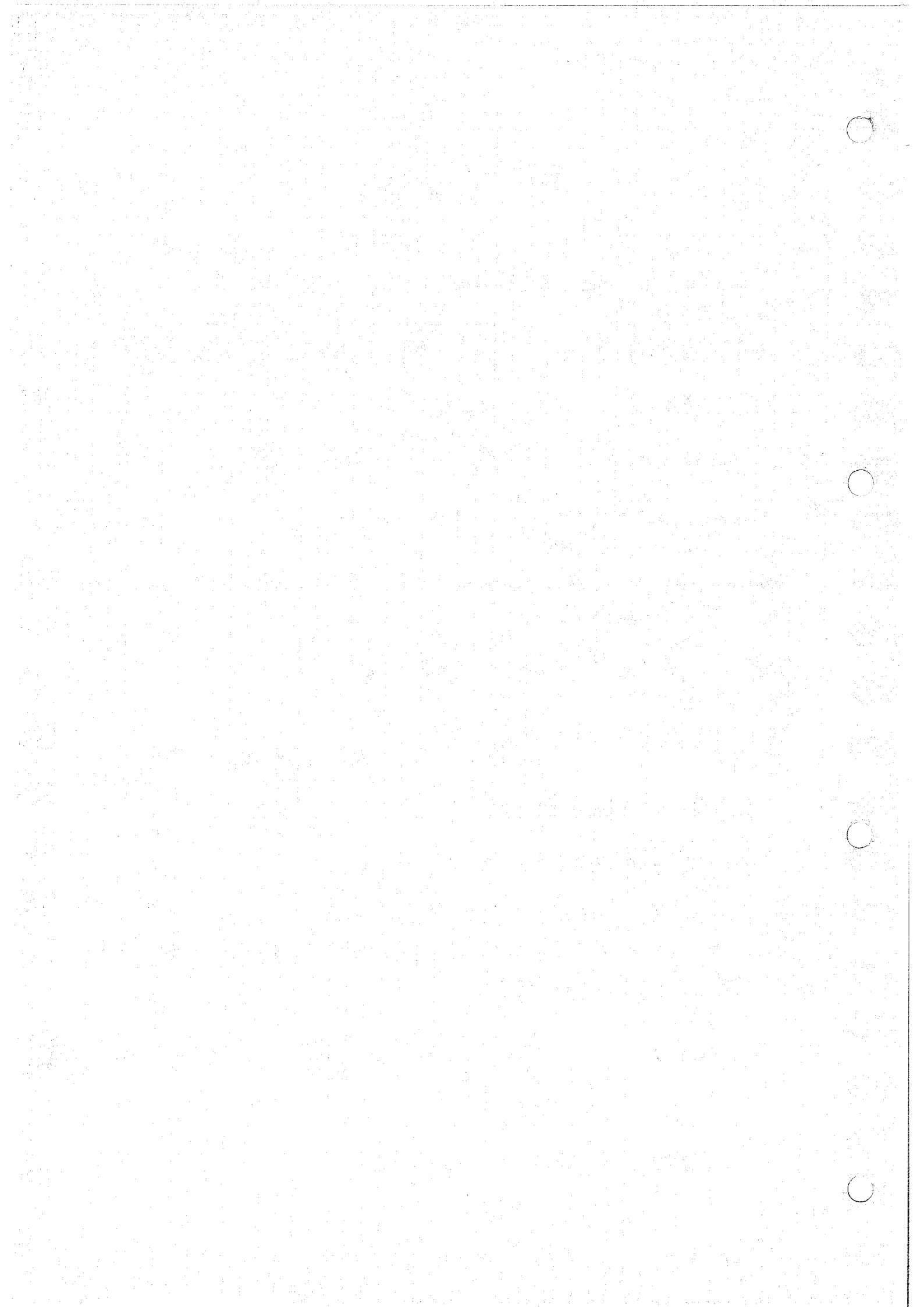
$$N = \frac{R_0}{\lambda} = \frac{4 \cdot 10^4}{\frac{\ln 2}{1,6 \cdot 10^3}} \cdot T = \frac{4 \cdot 10^4}{\ln 2} \cdot (1,6 \cdot 10^3 \cdot 365 \cdot 3600 \cdot 24) = 2,9 \cdot 10^{15}$$

$$\frac{226 \cdot 2,9 \cdot 10^{15}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 1,08 \cdot 10^{-6} \text{ gr}$$

U - ${}^{238}_{92}\text{U}$ $T = 4,47 \cdot 10^9 \text{ a}$

$$R_0 = \lambda N$$

$$N = \frac{R_0}{\lambda} = \frac{4 \cdot 10^4}{\frac{\ln 2}{4,47 \cdot 10^9}} \cdot (4,47 \cdot 10^9 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600) = 8 \cdot 10^{21}$$



$$\frac{238}{92} \cdot 10^{-8} = 3,16 \text{ gr}$$

$$31. \quad {}_{92}^{238}\text{U} \quad 4,47 \cdot 10^9 \text{ a} = T$$

Trovare l'età di una roccia che ha 60% di U residuo.

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$$N_t = \frac{60}{100} N_0 = \frac{3}{5} N_0$$

$$\frac{3}{5} N_0 = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$$\boxed{\lambda = \frac{\ln 2}{T}}$$

$$\ln\left(\frac{3}{5}\right) = -\lambda t \quad t = \frac{\ln\left(\frac{3}{5}\right)}{\ln 2} \cdot T$$

$$t = \frac{\ln\left(\frac{3}{5}\right)}{\ln 2} \cdot (4,47 \cdot 10^9 \times 365 \times 24 \times 3600) = 1,03 \cdot 10^{17} \text{ s} \approx 3,3 \cdot 10^9 \text{ anni}$$

$$32. \quad R_t = 21,5 R_0 \quad {}_{6}^{14}\text{C}$$

Trovare l'età del manufatto.

$$\frac{21,5}{100} R_0 = R_0 e^{-\lambda t}$$

$$\ln\left(\frac{21,5}{100}\right) = -\lambda t$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{\ln 2}{5730}$$

$$t = \frac{\ln\left(\frac{21,5}{100}\right)}{\ln 2} \cdot 5730 = 12.901 \text{ anni}$$

$$33. \quad N_0 = 4,6 \cdot 10^{15}$$

$$N_t = 8,14 \cdot 10^{14}$$

$$t = 20 \text{ g.}$$

Trovare T

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T}$$

$$\ln\left(\frac{N_t}{N_0}\right) = -\lambda t$$

$$\ln\left(\frac{N_t}{N_0}\right) = -\frac{\ln 2}{T} \cdot t$$

$$T = \frac{-\ln 2 \cdot t}{\ln\left(\frac{N_t}{N_0}\right)} = 8 \text{ giorni}$$

$$34. \quad R_0 = 1,00 \cdot 10^{-6} \text{ gr}$$

$$T = 1,6 \cdot 10^3 \text{ a}$$

Quanti grammi scamparono in 50a?

$$n \text{ particelle: } \frac{0,02 \cdot 10^{23} \cdot 10^{-6}}{226} = 2,66 \cdot 10^{15}$$

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T} \cdot t} = 2,60 \cdot 10^{15}$$

$$6,02 \cdot 10^{23} : 226 = 2,60 \cdot 10^{15} = x$$

$$R_0 \text{ residuo} = 9,7 \cdot 10^{-7}$$

$$\boxed{W = 4,125 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}}$$

Compito

$${}_{29}^{64}\text{Cu} \quad T = 13,86 \text{ h} \quad \text{Trovare } \lambda$$

$$T = 13,86 \text{ h} = 49.896 \text{ s}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = 1,39 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$$

$$R_t = R_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t}$$



$$\frac{6,02 \cdot 10^{23} \cdot 6}{64} = 5,82 \cdot 10^{22} \text{ particelle}$$

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$\lambda_{in h} = \frac{\ln 2}{13,86} = 0,05$$

Nel campione di ^{64}Cu sarà rimasto la metà della quantità presente inizialmente dell'elemento.

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$N_0 = \frac{6,02 \cdot 10^{23} \cdot 3}{64} = 2,82 \cdot 10^{22}$ n° particelle nel momento in cui si fa partire il tempo per contare 2 ore.

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T} \cdot t}$$

$$t = 2h = 7200 \text{ s}$$

$$N_t = 2,55 \cdot 10^{22}$$

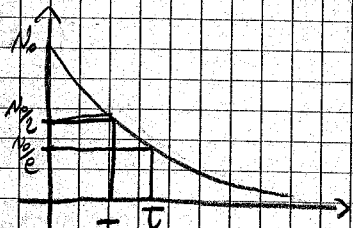
$$6,02 \cdot 10^{23} : 64 = 2,55 \cdot 10^{22} = x$$

$$x = 2,71 \text{ gr}$$

$$3 - 2,71 = 0,29 \text{ gr} \text{ quantità decadute in 2 ore}$$

Esercizio 4 -

$$t=0 \quad N_0 = 1000 \text{ nuclei}$$



$$T = \ln 2 \cdot \tau$$

$$\begin{cases} N_t = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \\ N'_t = N_0 \cdot e^{-\ln 2 \cdot \frac{t}{T}} \end{cases}$$

$$(N'_t - N_t) = N_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2 \cdot t}{T}} - N_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$t = T - T = T - \tau \ln 2 = T(1 - \ln 2)$$

$$N_t = N_0 \cdot e^{-(1 - \ln 2)}$$

Dopo un tempo T sono decaduti: $\frac{N_0}{2} = 500$ nuclei

Dopo un tempo T sono decaduti: $\frac{N_0}{e} = 367 \pm 1$ nuclei

Nel tempo che intercorre tra $T_{1/2}$ e T decadono ≈ 133 nuclei.

Esercizio 5 -

$$E = mc^2$$

$$E = h\nu = eV \text{ uov}$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{c}{\nu}$$

$$h \frac{E}{\lambda} = eV$$

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{J \cdot s \cdot m}{s \cdot eV}$$

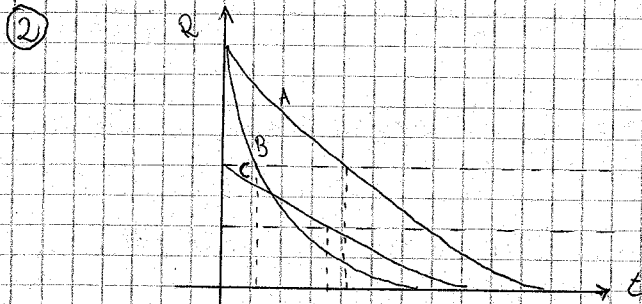


[CORREZIONE COMPITO]

07/04/2009

① $R_0' = 2R_0$ $\lambda' = \lambda$

(Raddoppiando la massa di un campione radioattivo di z come variano l'attività e la costante di disintegrazione)



$T_A > T_C > T_B$

$\lambda_B > \lambda_C > \lambda_A$

Ma T_A e T_C sono quasi uguali,

a causa di errori di misura potrebbero anche scambiarsi.

(Ordinare le sostanze A, B e C per valori decrescenti di T e λ)

③ $^{69}\text{Cu} \rightarrow T = 13,86 \text{ h}$ Quanto vale λ ? Che porzione, in g, di un campione da 6 g decadrà in un intervallo di tempo di 2 ore, a partire da 13,86 h dall'inizio?

• $\lambda = 0,05 \text{ h}^{-1}$

• $0,285 \text{ g} = 285 \text{ mg}$

La formula $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ vale anche per le masse: $m(t) = m_0 e^{-\lambda t}$

Questa relazione vale per ogni tipo di quantità che sia proporzionale al numero di nuclei.

④ $N_0 = 1000$ Quanti nuclei decadono tra T e $2T$?

• 132 circa.

⑤ ^{43}Mo bombardato da elettroni di 35 keV

a) lunghezza d'onda minima dei raggi X prodotti?

b) sapendo che le λ caratteristiche del ^{43}Mo sono

$\lambda_{K\beta} = 63 \text{ pm}$ e $\lambda_{K\alpha} = 71 \text{ pm}$, è possibile osservare raggi X caratteristici? Se sì, a quali energie?

a) $\lambda_0 = 3,55 \cdot 10^{-11} \text{ m}$

b) Sì. $E_{K\beta} = 19 \text{ keV}$, $E_{K\alpha} = 17,3 \text{ keV}$.

1° prova $\rightarrow 29$

Altre 2 prova, poi si fa la media.

EEE → Extreme Energy Events

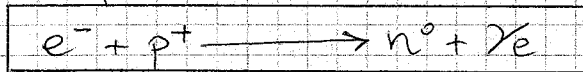
GPS → Global Positioning System

Tracciando raggi cosmici in molti posti diversi si riesce a capire la direzione del raggio che ha generato lo sciame.

Esiste un altro tipo di processo di decadimento nucleare:

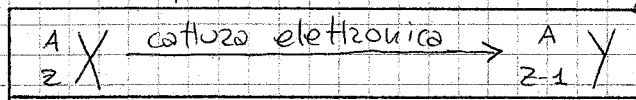
la CATTURA ELETTRONICA.

Può avvenire che il nucleo di un atomo catturi uno degli elettroni che gli orbitano attorno. Nel momento in cui lo incorpora avviene una reazione nucleare del tipo:

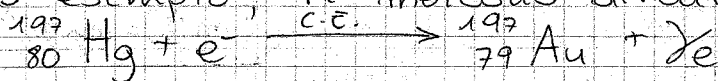


(il numero leptonico si conserva)

Quindi, considerando il nucleo, si ha:



Ad esempio, il mercurio diventa oro:



In realtà ${}_{80}^{197}\text{Hg}$ è un isotopo instabile del mercurio

⇒ si trasforma in oro stabile.

La Fissione Nucleare è un processo di radioattività indotta. Si tratta di prendere un nucleo con molti nucleoni ed indurlo a scindersi in due parti.

Nuclei pesanti: $Z > 92$

bombardamento con neutroni → si spaccano emettendo altri neutroni → reazioni a catena.

Il neutrone "sparato" viene incorporato nel nucleo, ma lo rende così instabile che questo si spacca emettendo 2-3 dei suoi neutroni. I due nuclei che si sono formati possono non avere le stesse dimensioni.

${}_{92}^{235}\text{U}$ ⇒ en. di legame 7,6 MeV / nucleone $A=235$

8,5 MeV per nucleone $A \approx 120$

Diff. di en. di legame = 0,9 MeV

L'en. di legame è intesa come negativa

Nel passaggio dal nucleo grande ai nuclei piccoli viene EMESSA un'energia pari a 0,9 MeV per ogni nucleone.

$$(0,9 \cdot 235) \text{ MeV} \approx 200 \text{ MeV}$$

⇒ una SINGOLA fissione del nucleo di uranio ^{235}U libera 200 MeV circa. La combustione di un atomo di carbonio è 4 eV...

Il rapporto di rendimento è che la fissione produce 50 milioni di volte più energia di una qualsiasi combustione quotidianamente utilizzata.

1 kg di ^{235}U equivale a 50 milioni di kg di ^{12}C , come rendimento.

facciamo un ragionamento più preciso: parlando di massa non si conserva il rapporto di

50 M, ma va diviso per $235/12 \approx 20$

$$\Rightarrow 50 \text{ M} / 20 \Rightarrow 1 \text{ kg di } ^{235}\text{U} \approx 2,5 \text{ M kg } ^{12}\text{C}$$

Una reazione chimica più complicata, più esoenergica, produce comunque "solo" circa 20 eV.

1g di ^{235}U produce 30000 kWh di energia (circa il consumo di una famiglia per 5 anni).

prof → 3398625775

14/04/2009

Presso un campione di uranio (essenzialmente ^{238}U), i chimici hanno misurato in un campione di roccia il rapporto tra la quantità di piombo e quella di uranio:

$$x = \frac{N_{\text{Pb}}}{N_{\text{U}}} = 0,85 \quad \text{Che età ha la roccia?}$$

Dobbiamo conoscere il t di dimezzamento dell'uranio:

$$T_0 = 4,5 \cdot 10^9 \text{ anni.}$$

Se x volesse 0,5 la roccia avrebbe 4,5 miliardi di anni?

No, se il rapporto fosse 1, APPROSSIMATIVAMENTE avrebbe 4,5 miliardi di anni, perché l'uranio non si trasforma SUBITO in Pb. Ma la vita media degli elementi intermedi è trascurabile.

Torniamo a $x = 0,85$.

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t} \quad N_U = N_0 e^{-\lambda t} \quad N_0 \cong N_U + N_{\text{Pb}}$$

$$N_U = (N_U + N_{\text{Pb}}) e^{-\lambda t} \quad (\text{APPROSSIMAZIONE})$$

$$\text{Divido per } N_U: \quad \frac{N_0}{N_U} = 1 + \frac{N_{\text{Pb}}}{N_U} = 1 + x = 1,85$$

$$\Rightarrow \frac{N_0}{N_U} = e^{-\lambda t} = 1,85 \quad \Rightarrow t \cong 4 \cdot 10^9 \text{ anni} < T_0$$

Questo è il metodo di datazione con l'uranio.

Le proporzioni si possono fare solo se la relazione tra le variabili è lineare.

$t \cong 4 \cdot 10^9$ anni è anche una stima dell'età della Terra, a meno che non trovi campioni con età maggiore.

C'è un altro modo per misurare l'età della Terra?

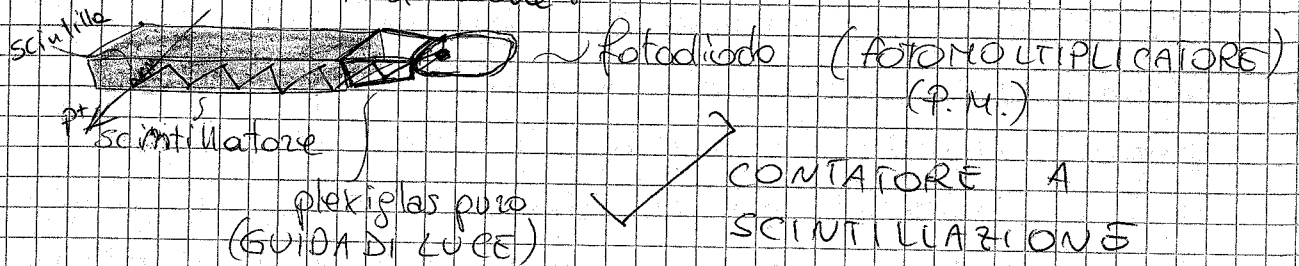
Si studia la temperatura ai vari livelli della Terra, si cerca di capire in che modo diminuisce \rightarrow posso capire quanto ci ha messo a raffreddarsi. Ma è un metodo impreciso.

COUNTATORE A SCIINTILLAZIONE

(misura radiazioni)

- plexiglas (PMMA = polimetilmetacrilato)
 - naftalina
- } SCINTILLATORE

Lastra di plexiglas con l'1% di naftalina
⇒ se una particella carica attraversa la lastra incontrando la naftalina viene emessa luce di scintillazione.



Lo scintillatore è ricoperto di alluminio e carta nera.

Grazie alla riflessione tutta la luce resta all'interno del countatore.

In realtà non basta il fotodiodo, che ha bisogno di molta luce per funzionare. Serve uno strumento più sensibile.

Bisogna "moltiplicare" quel singolo portatore di carica che esce dal diodo ⇒ fotomoltiplicatore

Grazie ad un sistema di catodo - ^{vedi DIODO} vari diodi - anodo, tenuti a potenziali diversi, si producono 10^6 volte gli elettroni "prodotti" dallo scintillatore.

Il segnale in uscita è dell'ordine di pochi nanosecondi. Infatti il tempo in cui un atomo si eccita, emette luce, e torna allo stato normale, è molto breve. Il countatore geiger ha una risposta, invece, di microsecondi.

Attraverso un amplificatore si trasforma l'impulso breve e debole uscito dal moltiplicatore in qualcosa di leggibile dal countatore.

(Una CORRENTE.)

Il fotocatodo, che con l'effetto fotoelettrico trasforma la luce in elettroni, è sensibile alla luce verde. La naftalina però emette luce violetta
 \Rightarrow allo scintillatore si aggiunge lo shifter BBO, una sostanza che assorbe UV ed emette verde.

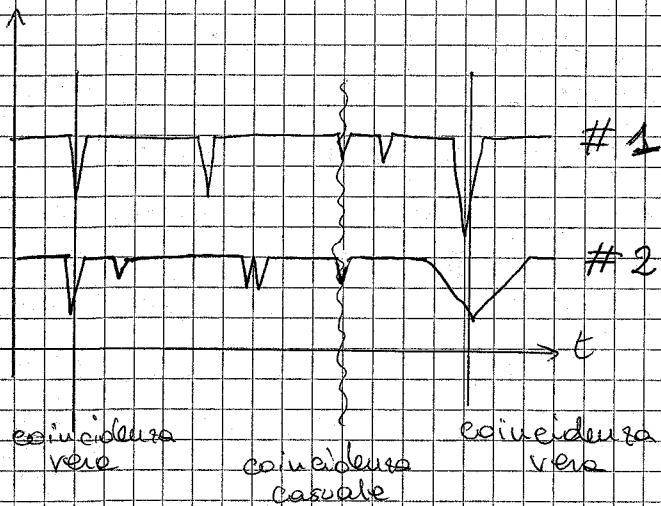
Esistono molti tipi di scintillatore, ma questo è il più semplice ed economico.

C'è sempre un rumore termico di fondo.

Normalmente, ma non sempre, la particella carica emette un segnale più alto del rumore di fondo \Rightarrow si usa un discriminatore che ignora la corrente oscura proveniente dal moltiplicatore.

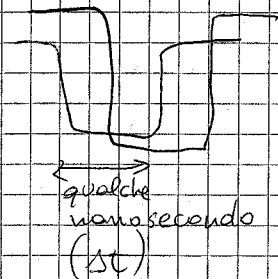
Ma non è sufficiente: si usa accoppiare più di un rivelatore per vedere se tutti danno lo stesso output (COINCIDENZA). Questo sistema viene chiamato telescopio di rivelatori.

Esempio di coincidenza



R_1, R_2 num. di segnali al secondo dei rivelatori 1 e 2
 Δt finestra temporale osservata

$$R_{c1,2} \approx 2 R_1 R_2 \Delta t \quad (\text{rate di segnali casuali})$$



questi sono due segnali in COINCIDENZA

(la formula è approssimata)

Supponiamo $R_1 \approx R_2 \approx 10^6$ segnali/secondo

$$\Delta t = 10 \text{ ns}$$

$$\Rightarrow R_{c1,2} = 20 \cdot 10^3 \text{ segnali/secondo}$$

Come si fa a ridurre il rate di coincidenze casuali? \Rightarrow diminuire Δt .

Oppure si aumenta il num. di contatori.

$$R_{c1,2,3} = 3 R_1 R_2 R_3 (\Delta t)^2$$

Supponiamo $R_1 \approx R_2 \approx R_3 \approx 10^6$ sep/s $\Delta t = 10 \text{ ns}$

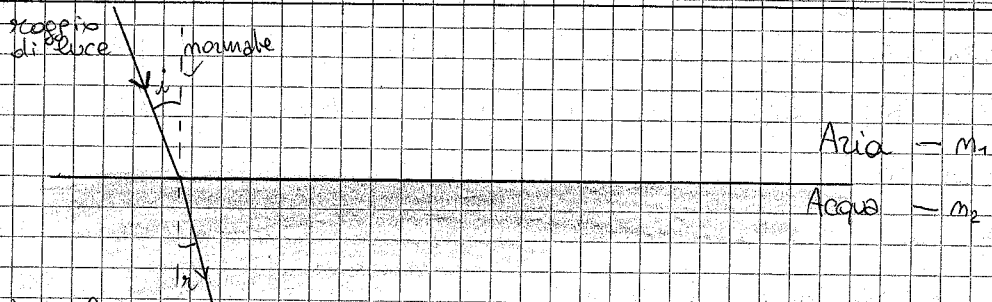
$$\Rightarrow R_{c1,2,3} = 300 \text{ sep/sec}$$

- L'uranio 235 è fissile, il 238 no. Il ^{238}U può essere trasformato in plutonio 239 , fissile.

20/04/2009

Subito dopo il rivelatore Geiger è nato il contatore a scintillazione. È usato per misure di radioattività, per rilevare i raggi cosmici, o comunque per ogni particella carica.

RIFRAZIONE

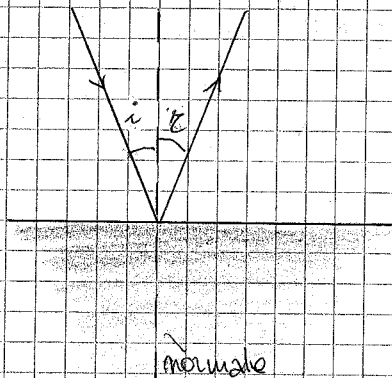


Indice di rifrazione: $n = \frac{c}{v} \rightarrow$ rel. nel vuoto
 $v \rightarrow$ rel. nel mezzo

$$n_2 = 1,5$$

$$n_1 \approx 1 \text{ (} = n_0 \text{, indice del vuoto)}$$

Se la superficie fosse riflettente:



RIFLESSIONE

$$\hat{i} = \hat{r}$$

RIFRAZIONE

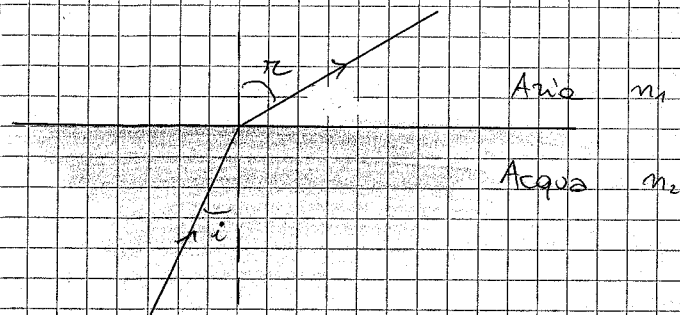
$$n_1 \sin \hat{i} = n_2 \sin \hat{r}$$

$$\Rightarrow \sin \hat{r} = \frac{n_1}{n_2} \sin \hat{i}$$

Nel nostro caso di rifrazione, $\hat{r} < \hat{i}$, e il raggio di

luce si avvicina alla normale una volta rifratto.
 \hat{i} e \hat{r} sono calcolati rispetto alla normale alla
 sup. di separazione.

Vediamo il rapporto inverso:



In questo caso, il raggio rifratto si ALLONTANA dalla normale.

Ci sarà un angolo per cui il raggio rifratto risulterà parallelo alla sup. di separazione ($\hat{r} = 90^\circ$):

$$\sin 90^\circ = \frac{n_1}{n_2} \sin \hat{i}$$

$$\Rightarrow \sin \hat{i} = \frac{n_2}{n_1}$$

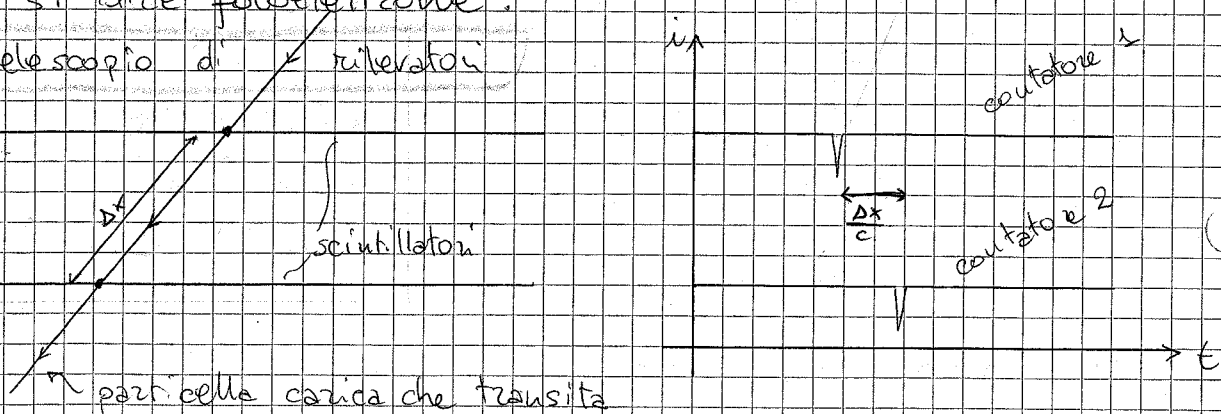
In QUESTO caso \hat{i} si dice angolo limite. (\hat{e})

Se un raggio incide una superficie con un angolo superiore all'angolo limite si ha il fenomeno della RIFLESSIONE TOTALE (diversa dalla riflessione normale).

Per la rifl. totale vale la stessa legge che vale per la riflessione (sempre se $\hat{i} > \hat{e}$), la differenza è che la superficie di separazione non è una superficie riflettente.

Un elettrone prodotto per effetto fotoelettrico da un fotone si dice fotoelettrone.

Schermo telescopio di rivelatori



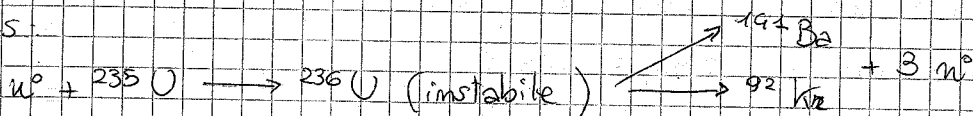
Se invece utilizzo le cosiddette delay lines, ovvero cavi (che collegano scintillatore e contatore) di lunghezza diversa, di modo che i due segnali vengano osservati in coincidenza, il telescopio di rivelatori può essere settato in modo da far passare solo segnali coincidenti (in una determinata finestra temporale).

Si dice efficienza quantica la probabilità che da un fotone venga prodotto un fotoelettrone, e dipende dal materiale di cui è costituito il fotocatodo. (a.e.)

21.04.09

È la differenza di valore dell'energia di legame per i nuclei pesanti, sebbene sia piccola, che permette di liberare energia durante la fissione nucleare.

Es.



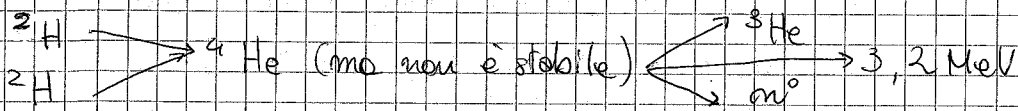
(questo è solo un esempio, il ${}^{235}\text{U}$ si può scindere in molti altri elementi. I tre neutroni innescano la reazione a catena)

Nelle reazioni a catena di fissione del ${}^{235}\text{U}$, il numero medio di neutroni emessi è circa 2,5.

FUSIONE NUCLEARE

Osservando il grafico dell'eu. di legame per numero atomico, s'intuisce che non si ha guadagno, bensì perdita d'energia, fondendo due nuclei pesanti. Questo guadagno si ha invece fondendo nuclei molto leggeri. La regione degli elementi attorno al ferro è detta di massima stabilità, dato che l'eu. di legame di quegli elementi è molto alta e quasi costante.

• Esempio di fusione:



3,2 MeV sono pochi rispetto ai 200 MeV della fissione, ma sono comunque circa 10^6 volte più vantaggiosi rispetto all'eu. liberata dalle reazioni chimiche come la combustione.

• Es: nel Sole avvengono moltissime reazioni di fusione, di vario tipo, istante per istante.

La fusione avviene a grandi temperature: l'agitazione termica avvicina i nuclei fino a piccolissime distanze (10^{-15} m), inizia ad agire l'interazione forte, e unisce i nuclei.

Ad innescare le fusioni nel Sole è l'altissima temperatura: circa 10^7 K. L'eu. cinetica acquistata dalle particelle vince la repulsione e l'avvicina. Come riprodurre questa situazione in laboratorio?

⇒ CONFINAMENTO MAGNETICO

Si costringono le particelle dentro un preciso campo magnetico, si riscaldano con un laser o comunque con energia radiante, agitazione termica in uno spazio ristretto

⇒ fusione

Il progetto mondiale ITER proporrà il primo reattore a fusione, tutt'ora in costruzione (in una zona della Francia chiamato Cadarache).

→ fonti illimitate

→ non produce gas serra

→ prodotti non radioattivi (solo neutroni da schermare)

→ processo sicuro: no catene incontrollate.

La materia prima viene immessa via via e si può interrompere senza problemi.

→ non innescata facilmente reazioni a catena

Deuterio: 33 mg per ogni litro di H_2O

I neutroni prodotti possono rendere radioattivi i "contenitori" dove avviene la reazione.

Ma esistono anche fusioni che non emettono neutroni (ma protoni)

La materia è tenuta allo stato di plasma, in laboratorio può raggiungere $2 \cdot 10^8$ K

In genere, per creare il B confinante si utilizzano solenoidi toroidali (in uno spazio vuoto).

ITER dovrebbe entrare in funzione nel 2012.

FUSIONE FREDDA

Esistono materiali, come il Nichel e il Palladio, che riescono ad assorbire idrogeno e altri elementi leggeri. Se si fa assorbire molto idrogeno ad un piccolo volume di nichel, i suoi atomi si trovano molto vicini \Rightarrow possibile fusione a temperature ambiente.

Fatti gli esperimenti, si è visto che veniva liberata energia. Ma si è capito che la quantità di energia liberata era dell'ordine delle reazioni chimiche (già con anche accendini caricati a palladio (serbatoio di idrogeno)).

Non è mai stato dimostrato che fusioni.

27/04/2009

RADIOPROTEZIONE

Non tutte le radiazioni sono dannose per l'uomo.

Ades, gli UV danneggiano la pelle e la plastica.

E le radiazioni corpuscolari (α, β, γ , raggi cosmici...)?

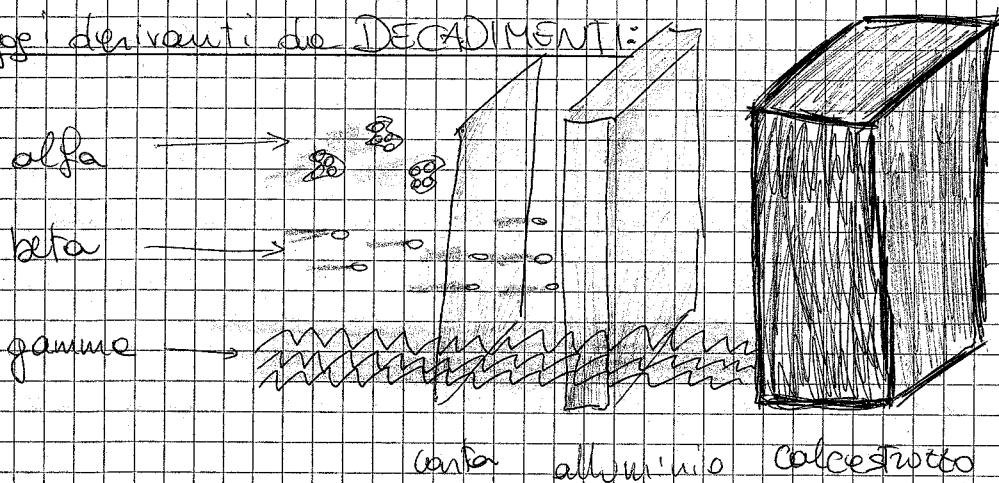
In generale, attraversando il corpo umano una radiazione cede energia alle molecole del corpo (sotto forma di calore di solito).

Tale energia può addirittura sciudere o uccidere cellule viventi.

L'altro tipo di problema è derivante dalla ionizzazione: se una particella arriva e fa "saltare" un elettrone, per es., di valenza, poi la molecola cui questo apparteneva non sta più insieme.

I danni derivati da radiazione sono sempre ridotti. Sono causati da una sovrapposizione in tempi brevi alla radiazione.

Raggi derivanti da DECADIMENTI:



carta alluminio calcestruzzo

Si vede che il potere di penetrazione cresce al decrescere della massa della particella.

Quantità di energia assorbita, per unità di massa, da un certo materiale:

$$\text{DOSE ASSORBITA (D)} = \frac{\text{quantità di energia}}{\text{unità di massa}}$$

Si misura in rad:

$$1 \text{ rad} = \frac{100 \text{ erg}}{1 \text{ g}} \quad \left([E \cdot m^{-1}] \right)$$

Il rad è l'unità di misura "storica". Con l'introduzione del S.I. è stato definito il gray:

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ gray} = 100 \text{ rad}$$

Il rad è un'unità molto grande; infatti vengono molto utilizzati sottomultipli come mrad e μrad .

Il gray è ancora più grande.

Il danno biologico della radiazione non dipende solo dalla quantità di energia assorbita (rad), ma anche dalla particella che l'ha ceduta (elettrone, γ , eccetera) -

Viene perciò definita la

DOSE EQUIVALENTE (H)

$$H = Q \cdot D$$

dove Q è un fattore moltiplicativo che dipende dal tipo di particella

C'è anche un'altra definizione, usata in biologia:

DOSE BIOLOGICA EFFICACE (DB)

$$DB = EBR \cdot D$$

EBR = fattore di efficacia biologica relativa
→ in italiano FEB

È la stessa cosa: EBR e Q sono equivalenti.

FEB	RADIAZIONI
1	raggi X, γ , β (el. di bassa energia)
5	neutroni lenti
10	protoni, deuterio, neutroni veloci
20	α

L'unità di misura "storica" di Q si chiama rem. Siccome è definita a partire dal rad, si usano i mrem e i μ rem. Possiamo al S.I. viene definito il sievert:

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ sievert} = 100 \text{ rem}$$

Gli effetti della radiazione sull'uomo si dividono in:

- immediati
 - tardivi
 - biologici
- } colpiscono l'individuo irradiato
- } colpisce la prole

Immediati: entro qualche giorno, al più qualche settimana. Crescono con la dose

Tardivi: dopo anni (es.: leucemia)

Radiazioni acute [in breve tempo (millisecondi)]

fino a 25 rad	nessun sintomo
50 rad	nausea, no appetito, malessere, riduz. precoce dei linfociti, rid. globuli bianchi (dopo 2-3 settimane)
100 rad	nausea, vomito, astenia, affaticamento, alterazione del sangue
200 rad	nausea, vomito, ustioni, inappetenza, corammente morte
400 rad	il 50% degli individui muore entro 30-60 giorni
600 rad	quasi tutti gli individui muoiono entro 30-60 gg Es: Hiroshima
> 600 rad	morte (anche improvvisa)

Orvamente bisogna stare attenti alle dose equivalenti: pochi rad di raggi α producono effetti gravi.

Quotidiane sorgenti di esposizione:

- costruzioni in tufo
 - trattamenti medici a base di radiazioni
 - raggi cosmici
 - cibi
 - cemento (calcestruzzo)
 - mattoni
 - fumo
 - viaggi in aereo: meno atmosfera che para i raggi cosmici
 - rilasci degli impianti nucleari nelle vicinanze
- * inevitabili!

(in ordine di
radioattività
decrescente)

RADIAZIONI ASSORBITE DA UN INDIVIDUO MEDIO

- 23% inaggiamento da sorgenti terrestri *
- 35% inaggiamento interno da sorgenti naturali *
- 28% medicina
- 12% raggi cosmici *
- < 2% radiazioni radoniche, cause di lavoro
- < 0,01% industria nucleare (rilasci)

Controlli dei lavoratori P.E. (professionalmente esposti):

- dosimetro (ogni mese)
- analisi del sangue (ogni 6 mesi)

In Italia, in media si assorbe circa 80 μrem da fonti naturali. (ogni anno)

In Lazio e in Campania se ne assorbe il doppio, a causa del tufo. In generale al sud se ne assorbono un centinaio.

Dosi ammissibili:

- P.E. > 18 anni \rightarrow 5 rem
- 16 < anni < 18 \rightarrow 1,5 rad
- pubblici e altri < 16 anni \rightarrow 0,5 rad

Dose generale per la popolazione: 5 rem in 30 anni

Vedi modello di Pasquill - Gifford ecc.

BOMBA H (a fusione)

Libera 4 volte l'energia di una bomba a fissione (Uranio, ecc.), che libera la stessa energia di un temporale.

Occorre scaldare l'H ad altissime temperature:

- scoppia una bomba A (atomica a fissione) \Rightarrow
- s'innesca la fusione

Una bomba H agisce su una superficie estesa per centinaia di km.

Bomba a Neutroni

Reazioni di fissione (bomba A) liberano neutroni veloci (10 volte più densi di una reazione normale).

Rivelatori di particelle

Camere a
tracce

Contatori

In continuità

A intermittenza

A ionizzazione

A radiazione

emulsione
fotografica

nebbia a
diffusione

nebbia a
espansione

a bolle

a scintille

Geiger

camera di ionizzazione

semiconduttore

a scintillazione

Cerenkov

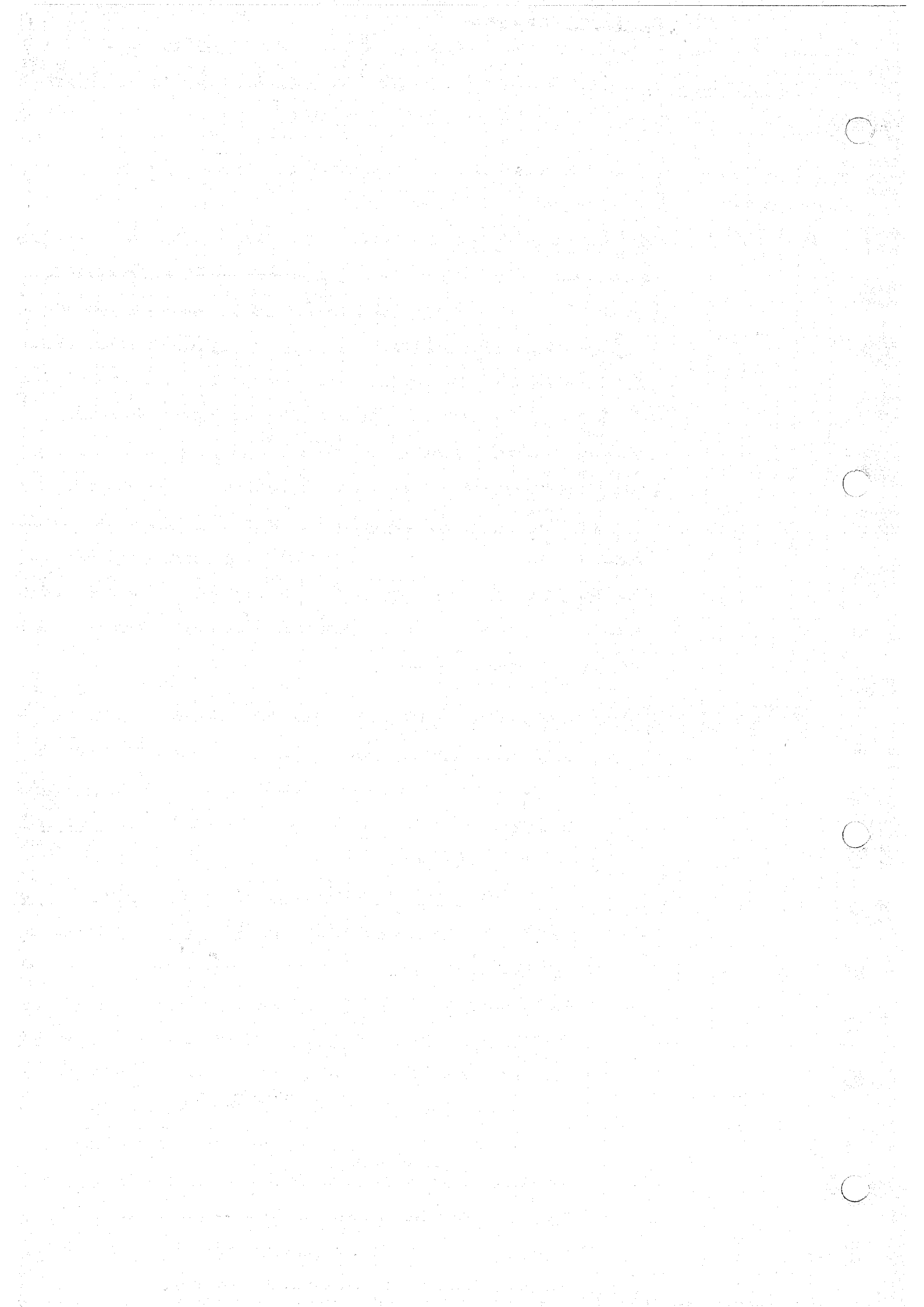
Vedi camera a bolle

→ Bomba a idrogeno
Questa bomba è formata da due parti: un serbatoio H₂ e una bomba atomica, che quando scoppia produce energia tale da poter innescare la fusione dell'idrogeno.

Li sono vari tipi di rivelatori di particelle, che si dividono in:
CONTATORI e CAMERE A TRACCE

- CONTATORI:
- A IONIZZAZIONE, come il Geiger che ha un contatore che serve a bloccare l'alta tensione (generata in corrente continua) ma fa passare il transiente e blocca la parte elettronica dai 1000-3000V. Poi ci sono le camere a ionizzazione fatte da gas; ci sono poi i contatori a semiconduttori (come il silicio).
 - A RADIAZIONE, lo scintillatore si chiamava così perché al passaggio danno luce, cioè radiazione; poi ci sono i contatori Cherenkov che sono contenitori di gas; se all'interno si passa qualcosa più veloce della luce in quel mezzo, allora produce luce.

- CAMERE A TRACCIA:
- SENSIBILI IN CONTINUITÀ, come lo sono le pellicole fotografiche che si impressionano al passaggio di una particella (con più fogli in serie si può ricostruire anche la traccia della particella).
 - SENSIBILI A INTERMITTENZA; la camera a bolle è un recipiente pieno di idrogeno liquido ($T \approx 10\text{ K}$) tenuto in ^{T, P} condizioni tali che H₂ sta per bollire, se qui si passa una particella questa fornisce energia e fa bollire il liquido localmente, se ora si fa una foto si visualizzano le ^{bollicine} particelle. La camera a bolle è immersa in un campo magnetico e quasi tutte le ^{particelle} sono deviate; le linee che vengono dal nulla sono raggi γ che poi sono diventati e^- ed e^+ , e in base alla curvatura si può calcolare anche l'energia.



Il problema di questo rivelatore era che noi ci prendiamo le fotografie, una poi di tutte queste solo poche sono buone, cioè la sua efficienza è molto bassa, in generale non si sapeva se un evento era buono, c'erano persone che dovevano scegliere e vedere che un evento era proprio quello che si cercava.

Alla fine però digitalizzando tali immagini e con opportuni programmi le foto vengono selezionate opportunamente.

28 aprile 2005

Particelle ionizzanti o decadimenti attraversando un materiale in qualche modo tendono ad interagire spesso cedendo energia. Quello che succede è ionizzare la molecola.

Staccare un H o un O da una molecola vuol dire renderla reattiva in qualche modo. Allora ci si chiede quali sono gli effetti della radiazione sui tessuti.

In generale bastano 13,5 eV per strappare un idrogeno ad una molecola; una particella da 100 KeV o qualche MeV allora può ionizzare milioni di molecole.

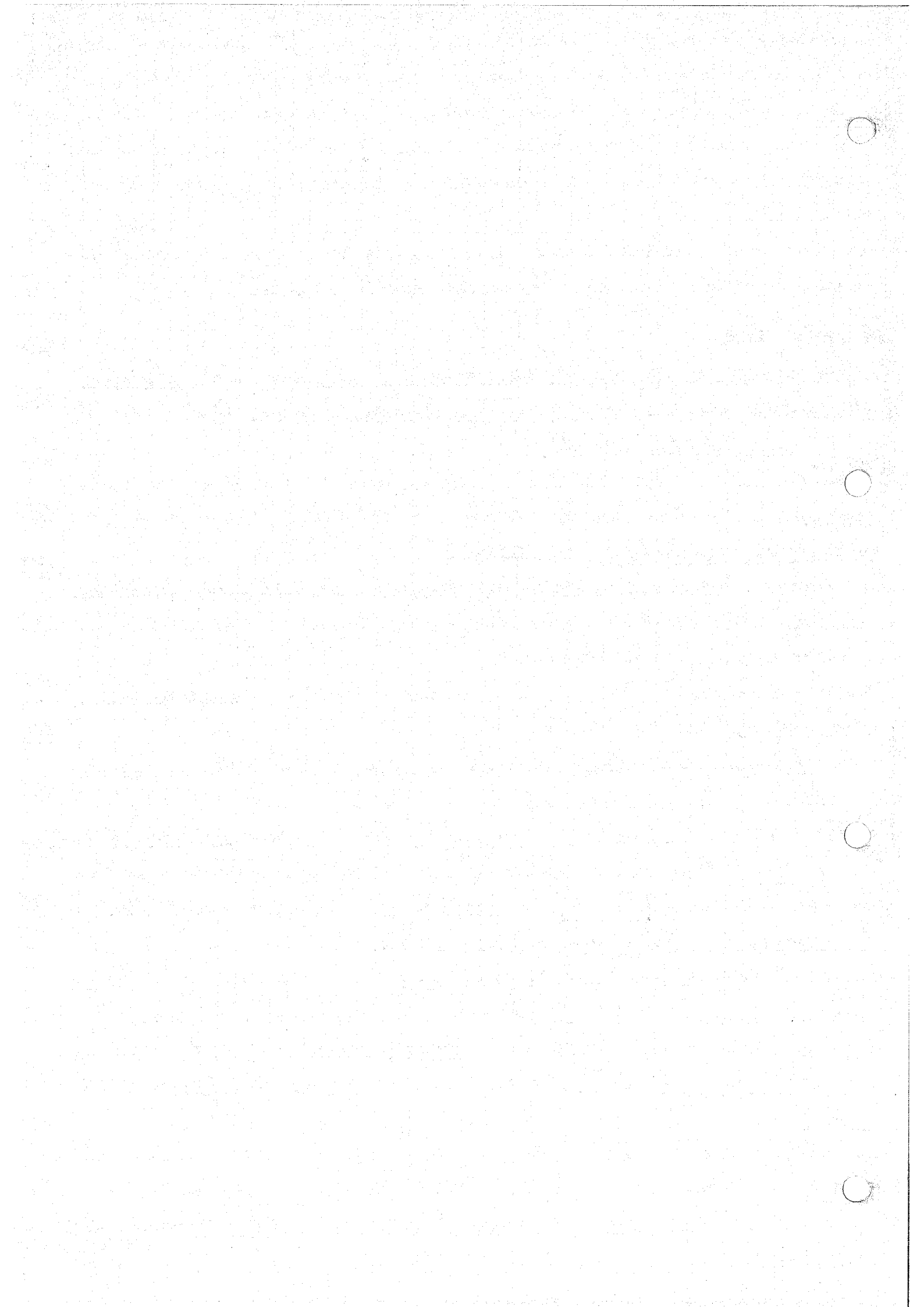
Quello che avviene dopo la ionizzazione è anche l'eccitazione di tale atomo.

Una radiazione ionizzante è qualsiasi tipo di particella in grado di ionizzare atomi o molecole.

Le particelle direttamente ionizzanti sono quelle già cariche (come: p , β^+ , β^-). Quando si indica β si parla di particelle che hanno una energia di $[0,1 \text{ MeV}]$ la cessione di energia avviene tra la particella e l'elettrone di un atomo.

Una particella indirettamente ionizzante è una particella neutra come: n , γ , x . I raggi α arrivano a centinaia di KeV; i β 0,1 MeV. Tutto quello legato a decadimenti nucleari ha energia dell'ordine di MeV, mentre quello legato all'atomo è 100 KeV.

Un fotone quando colpisce un e^- scarpone e quest'ultima viene eccitata. Il fotone si chiama anche radiazione ionizzante. Ci si aspetta che ogni tipo di radiazione sia indirettamente ionizzante.



Se l'energia fornita è superiore a 135 eV si possono verificare effetti distruttivi sui tessuti.

Le radiazioni ionizzanti: α e raggi γ e x sono anche alcune particelle corpuscolari.

Ci si propone di andare a vedere che succede con l'interazione: radiazione - materia.

Per esempio si può usare un fascio per colpire un tumore, si deve andare a vedere qual è lo spessore che di tessuto che il fascio colpisce e quindi curare il fascio in modo che si fermi al tumore e non colpisca anche tessuti sani.

Allo stesso modo ci si deve chiedere quanto si devono fare spesse le pareti di un contenitore per poter impedire a particelle di decollamento di uscire dalla sorgente.

Questa cosa si chiama RANGE ed è molto importante, per esempio in una stanza di radiologia le pareti sono rivestite.

Il range è la distanza che percorre una particella di una certa energia e in un certo materiale; inoltre tale range dipende anche dalle dimensioni (dalla massa) della particella e dal materiale che mettiamo come schermo, in particolare dalla sua densità.

$$\rho = \frac{M}{V}$$

$$\rho \frac{NA}{A} = \frac{m \text{ atomi}}{V}$$

$$\frac{NA}{A} \rho = \frac{M}{V} \cdot \frac{1}{M_A}$$

Il numero di collisioni di una particella allora dipenderà dal numero di atomi per unità di volume del materiale.

Il range sarà tanto più lungo quanto meno la particella perde E_n per unità di percorso, questo è un'altra grandezza da introdurre.

Un terzo fenomeno riguarda gli elettroni, sappiamo che c'è un fenomeno riguardante irraggiamento di fotoni da parte di una particella carica, quindi si introduce la perdita di energia per radiazione.

Per effetto fotoelettrico un fotone urta un elettrone che viene emesso con $T = h\nu - E_{pe}$ in cinetica.

E_{pe} fotone E_{pe} del livello dove si trovano e^- .

Se il fotone ha $E_{ph} \gg E_{pe}$ allora e^- come se e^- fosse fermo nell'atomo e l'elettrone viene emesso con tutta l'energia fornita: effetto Compton.



2

Un fotone che interagisce con un nucleo da origine ad una coppia e^+ e e^- . Questo fotone a grande energia continua a viaggiare verso la terra e può andare a colpire altri nuclei.

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

Legge di attenuazione dell'intensità dell'energia di un raggio o una particella.

Le interazioni più probabili sono quelle che vanno con $\frac{1}{\lambda}$ cioè quelle elettromagnetiche, non quelle nucleari perché le distanze sono \gg delle dimensioni del nucleo.

La particella oltre a perdere energia può anche cambiare direzione, in base poi alla massa: una particella può essere più o meno deflessa.

I due fenomeni che si osservano sono:

- perdita di energia (legata alle collisioni)
- Deflessione della particella dovuta all'interazione con i campi Coulombiani del nucleo.

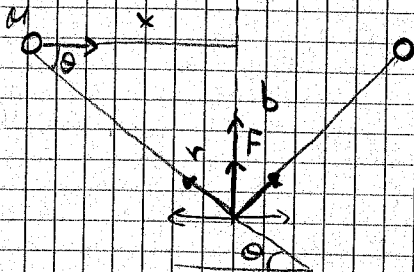
In questo secondo caso è come se la particella vedesse un corpo puntiforme con carica Ze .

Ci sono poi altri processi da processo annichire, ma sono molto più rari: se abbiamo α questa può interagire in modo forte ma l'interazione dominante è comunque quella elettromagnetica.

Si deve allora trovare una formula per capire cosa fa una particella quando vede energia per ionizzazione, e a cosa è dovuto questo trasferimento.

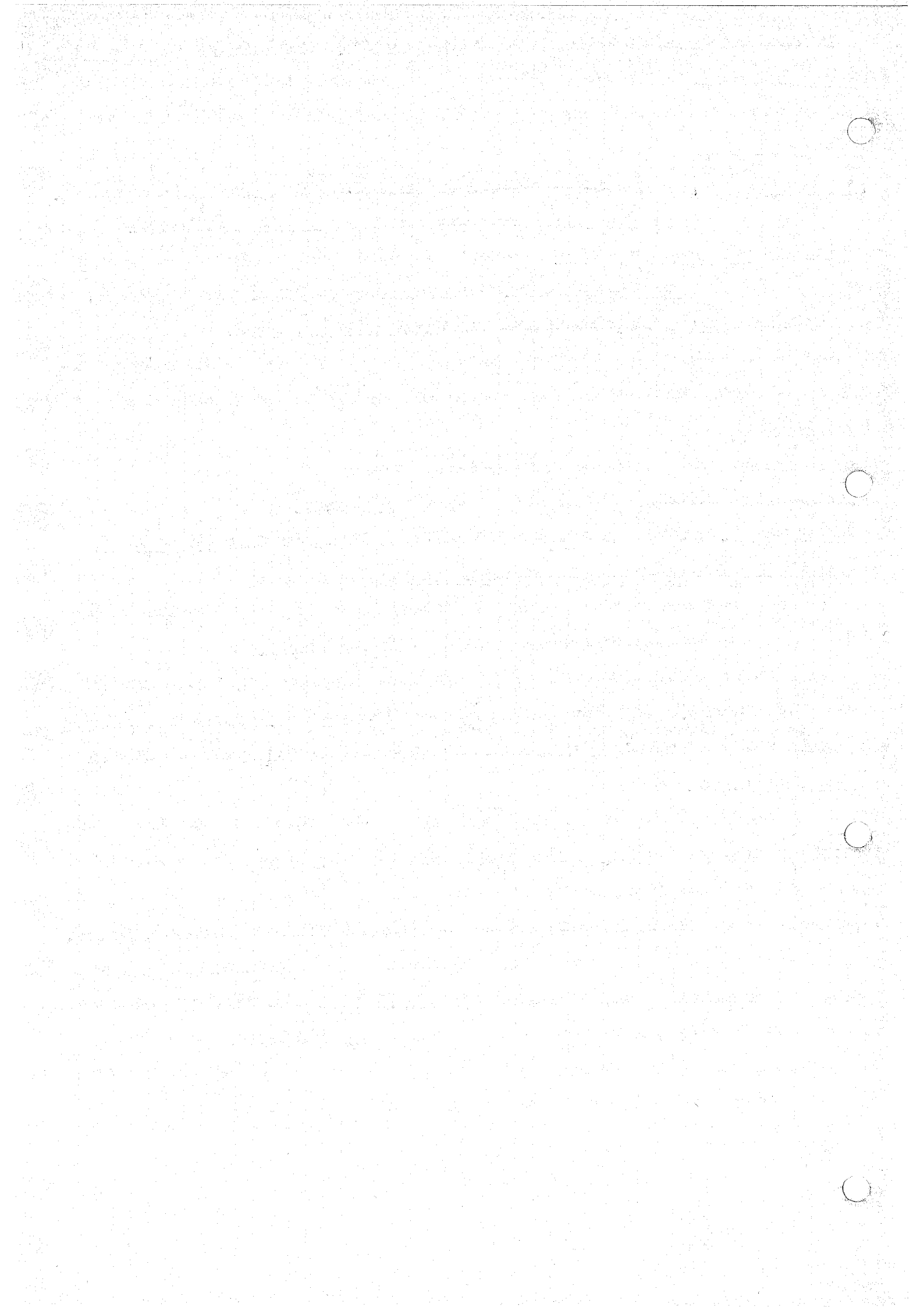
Supponiamo che la particella veda questo elettrone come Percus, quello che sappiamo è che la variazione di impulso della particella è uguale a quella che acquista l'elettrone. In generale poi nella materia ci saranno N elettroni.

La particella carica genera un campo e ci aspettiamo che la variazione di impulso avvenga solo sull'asse x :



$$b = x \tan \theta$$

$$b = r \sin \theta$$



$$F = \frac{(ze)e}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (\text{forza elettrica})$$

$$F_y = F \sin\theta \quad dt = \frac{dx}{v} \quad \operatorname{tg}\theta = \frac{b}{x}$$

Rimane da ridurre dt :

$$dt = \frac{dx}{v} = \frac{b}{v} d\left(\frac{1}{\operatorname{tg}\theta}\right) = \frac{b}{v} d(\operatorname{cotg}\theta) = \frac{b}{v} \frac{1}{\sin^2\theta} d\theta$$

Si deve anche ottenere $\frac{1}{r^2}$:

$$\frac{1}{r^2} = \frac{\sin^2\theta}{b^2}$$

Tutto ciò si fa per calcolare F_y , perché è l'unica componente della forza che rimane.

$$\Delta p_y = \int F_y dt = -\frac{ze^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{bv} \int \sin\theta d\theta = -\frac{ze^2}{4\pi\epsilon_0 bv}$$

Così abbiamo calcolato di quanto varia l'impulso, l'ipotesi era che ci fosse variazione di impulso tra elettrone e particella.

$$\Delta p_y = -\frac{ze^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{bv}$$

Allora ci chiediamo qual è l'energia che acquista l'elettrone e quale quella che perde la particella.

$$\Delta E(b) = \frac{p_e^2}{2m} = \frac{\Delta p_y^2}{2m} \propto \frac{1}{b^2}$$

Quello che si scopre è l'energia è tanto più grande quanto più è piccolo

lo il parametro d'impulso b .

Per simmetria cilindrica allora tutti gli elettroni a distanza b acquistano quell'energia.

$$dN = n_e \cdot 2\pi b \cdot db \cdot dx$$

densità di elettroni

volume del guscio

Quello che si vuole calcolare è l'energia che perde la particella attraversando un tratto dx .

n_e - numero di elettroni per unità di volume, $n_e = \rho \frac{N_A Z}{A}$

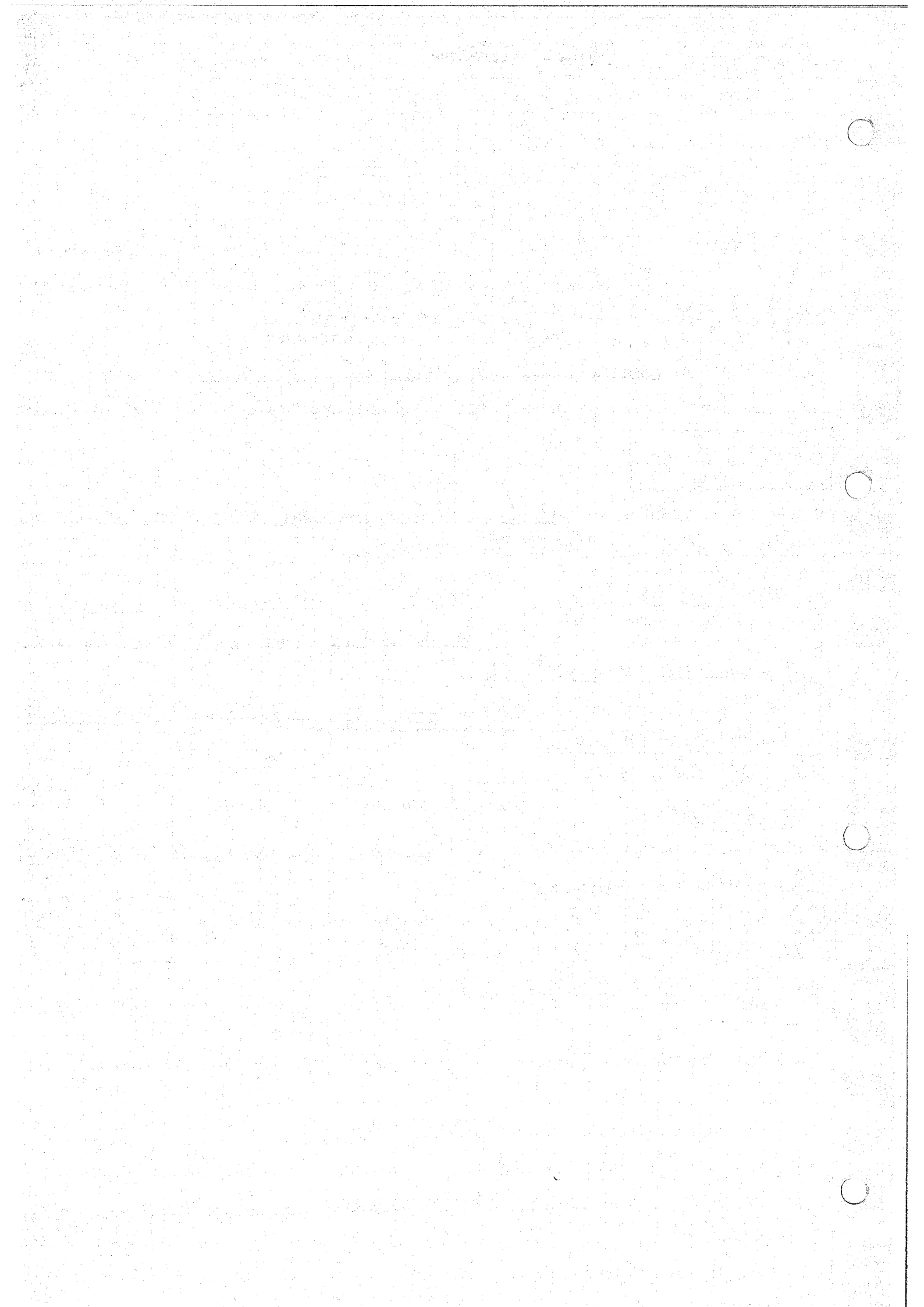
Il ΔE lo scriviamo allora moltiplicato per dN :

$$- \frac{d^2N}{dx db} = \rho \frac{N_A Z}{A} \cdot 2\pi b db dx \cdot E_u \quad \text{ceduta ad un singolo elettrone}$$

Energia persa per percorso e per intervallo di parametro d'impulso.

Se non avessimo dei limiti allora $b_{\min} = 0 \wedge b_{\max} = \infty$, ma questo non si può fare perché la formula divergerebbe, allora si deve mettere un limite ai parametri d'impulso b_{\max} e b_{\min} .

Se l'elettrone fosse in rotazione allora è difficile dirlo, allora si deve fare in modo che e^- sia visto praticamente fermo.



Allora possiamo dire: $T = \frac{b_{max}}{v} \ll T = \frac{1}{\nu_0}$

TEMPO DI COLLISIONE

Il tempo di collisione deve essere molto minore del tempo di rivoluzione dell'elettrone intorno al nucleo.

Ritroviamo: $b_{max} = \frac{v}{\nu_0}$

In generale però conosciamo una media della frequenza ν . Allora si è osservato che b_{max} non può essere ∞ , maggiore e la velocità della particella più è il contributo degli elettroni che collidono con la particella.

$\Delta p_y = -\frac{ze^2}{2\pi\epsilon_0} \frac{1}{bv} = 2mv$ ci aspettiamo che ci sia un valore massimo di questo impulso.

Δp_{max} corrisponderà allora a b_{min} , e questo è col valore classicamente, anche perché sappiamo che c'è un valore massimo che si può fornire in un urto.

Allo stesso modo c'è un'energia massima:

$$T_{max} = \frac{(\Delta p_{max})^2}{2m} = 2mv^2 = \left(\frac{ze^2}{2\pi\epsilon_0}\right)^2 \frac{1}{b_{min}^2} \frac{1}{2mv^2}$$

$\frac{1}{b_{min}}$ o T_{max}

Dalla formula si vede che l'energia dipende da z del nucleo, dalla densità degli atomi, da $\frac{1}{v^2}$ cioè dalla velocità della particella.

Alla fine la perdita di energia si può esprimere:

$$-\frac{dE}{dx} = \rho \frac{N_A}{A} z \cdot \frac{z^2 e^4}{4\pi\epsilon_0^2} \cdot \frac{1}{mv^2} \ln\left(\frac{b_{max}}{b_{min}}\right)$$

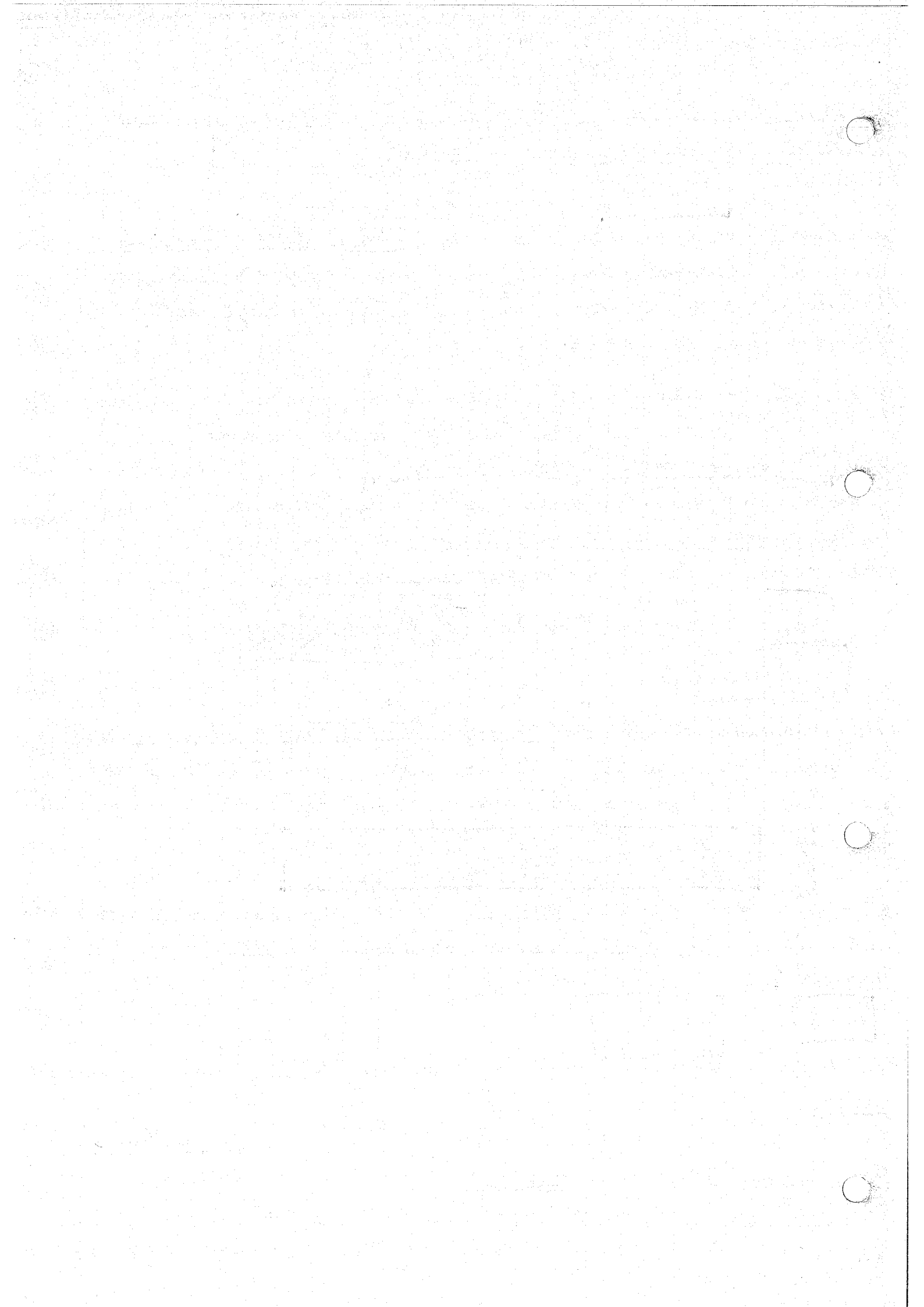
Tuttavia ci sono alcuni parametri di cui non abbiamo tenuto conto, allora da una formula classica se ne ottiene una relativistica, in funzione di β, γ :

$$\beta = \frac{v}{c}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

La nuova espressione di E è funzione di β, γ cioè di una velocità.

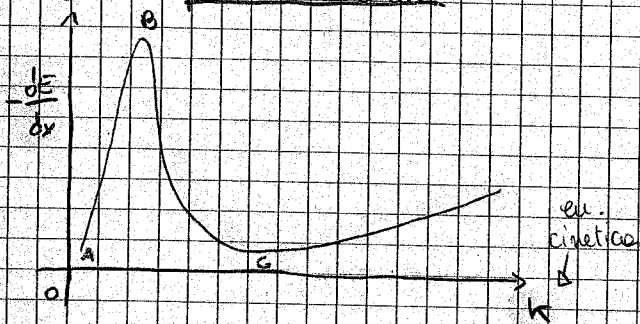
Ci sono delle correzioni, vale anche del fatto che gli elettroni non stanno fermi, ma oscillano e quindi si vede che anche per $b > b_{max}$ non è che non si osserva variazione di energia, ma ci sono fenomeni anche per valori maggiori del parametro d'urto.



$$-\frac{dE}{dx} = \rho \frac{N_A}{A} z \frac{z^2 e^4}{4\pi \epsilon_0^2} \frac{1}{2mv\beta^2 c^2} \Phi(\beta)$$

La perdita di energia per ionizzazione dipende dal numero di elettroni e da β , $\Phi(\beta)$ è funzione di β .

Una particella α ha $z=2$, una β ha $z=1$, da questo si vede che se si prende un α e un e^- con stesso $\beta (= \frac{v}{c})$ allora la particella α perde 4 volte energia più dell'elettrone, nello stesso percorso. Da questo si capisce come mai le particelle α sono più dannose.

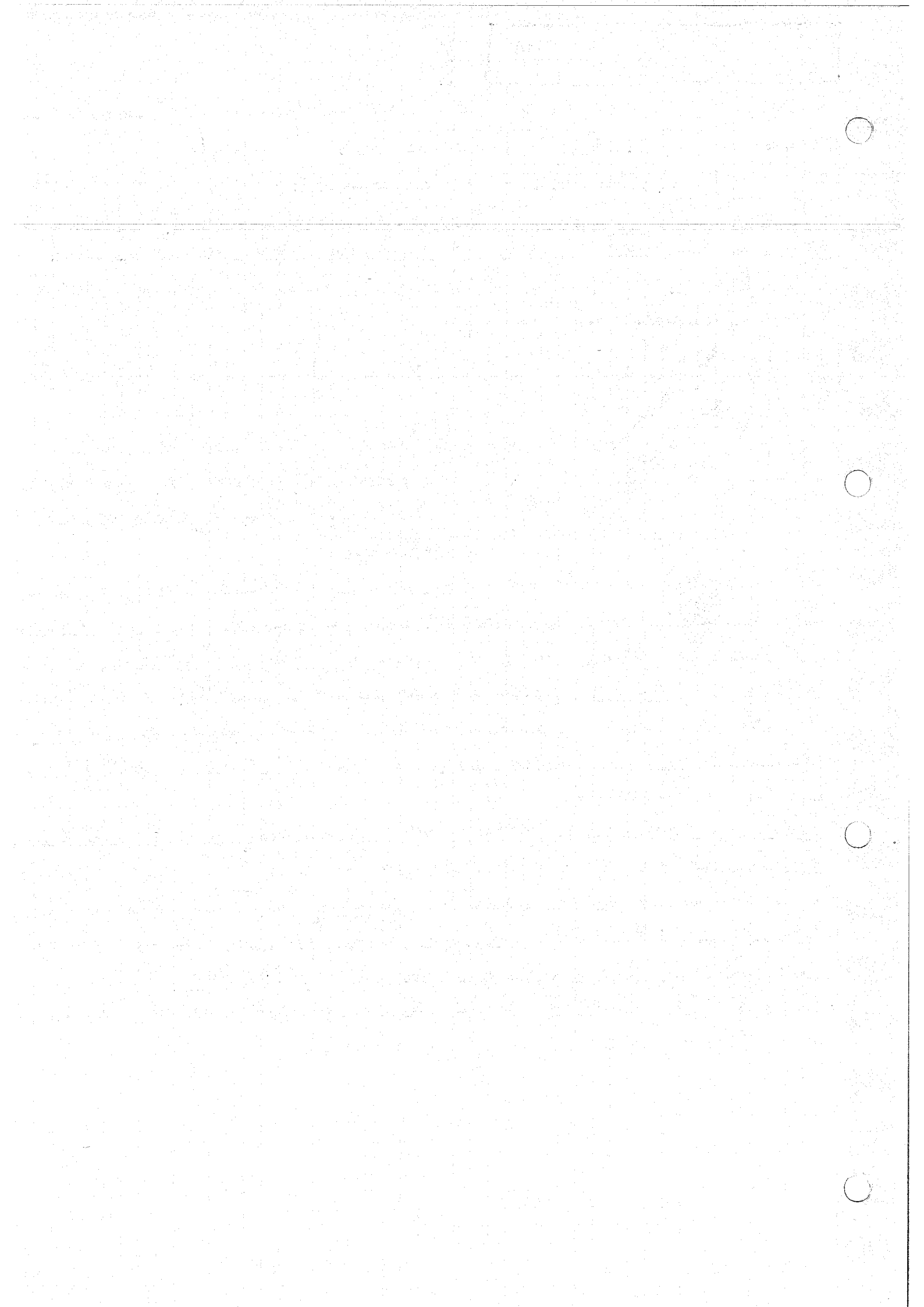


Perdita dell'energia di una particella per unità di percorso in funzione dell'energia della particella.

Del tratto AB si vede che comincia a perdere energia solo dopo un certo punto, più la velocità è piccola più è piccolo il valore di b_{max} , in questo caso si vede l'elettrone in α ionizzare e non si riesce a scambiare impulso perché non si riesce a colpirlo. Più è piccola v della particella più aumenta il tempo di interazione, e quindi non ce la facciamo a colpire l'elettrone.

Sopra un certo valore della velocità si comincia a scambiare energia, questo è il tratto BC che va con $\frac{1}{\beta^2}$; dopo il punto C comincia a salire logaritmicamente, ma così abbiamo l'effetto B e quindi ad un certo punto si ferma perché diminuisce l'impulso che scambia con gli elettroni.

C'è una distribuzione tra le cariche delle particelle che colpiscono il materiale.



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI SIENA
 Facoltà di Scienze M.F.N.
 Corso di Laurea in Fisica e Tecnologie Avanzate

Fisica Applicata

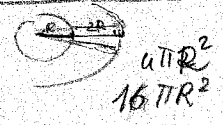
2^a Prova in itinere - 29.04.08

1 Gy = 100 rad

1. Un individuo è vicino ad una sorgente radioattiva e riceve dosi dei seguenti tipi di radiazione: raggi γ 20 mrad (EBR=10), elettroni 30 mrad (EBR=1), protoni 4 mrad (EBR=10) e neutroni lenti 5 mrad (EBR=2). Quanto vale la dose equivalente totale ricevuta da questo individuo? Quale è la radiazione che ha prodotto maggior danno? Di quanto è necessario allontanare l'individuo dalla sorgente affinché la dose equivalente si riduca di un fattore 9? Si supponga che l'emissione dalla sorgente sia isotropa.

$D = \frac{E}{m}$
 $H = D \cdot Q = \dots \text{rem}$
 raggi γ più penetranti

stessa ovunque
 radiazione
 $\sqrt{9}$
 " 3



$\delta \times K \times R^2$
 dose esposta
 maggiore

2. Quando viene bruciato 1 Kg di carbone fossile, si liberano circa 3×10^7 joule di energia. Se l'energia liberata dalla fissione dell' ^{235}U è di 200 MeV per ogni fissione, quanti Kg di carbone si debbono bruciare per produrre la stessa quantità di energia che è prodotta da un Kg di ^{235}U ?
3. Un campione radioattivo per un particolare trattamento medico deve avere un'attività di 3.94 MBq. Una settimana prima del trattamento si prepara un campione di un nuclide con un tempo di dimezzamento di 1.82×10^5 s. Quale deve essere l'attività del campione in Ci per far sì che al momento del trattamento la sua attività abbia il valore richiesto?
4. Una particolare reazione di fissione produce un'energia di 210 MeV/fissione, quante reazioni di fissione si producono se un reattore genera 130 MW di potenza?
5. Il coefficiente di attenuazione lineare di un dato materiale e per una determinata energia dei fotoni incidenti è 0.061 mm^{-1} . Se l'intensità incidente è I_0 , calcolare lo spessore di materiale necessario a ridurre l'intensità iniziale ad $I_0/3$.
6. Ad un paziente vengono iniettati per via endovenosa $5 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ di albumina marcata con ^{131}I aventi un'attività di 60000 conteggi al minuto. Dopo un tempo sufficiente affinché l'albumina si distribuisca uniformemente nel sangue (circa 15 minuti), un campione di $5 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ di sangue viene prelevato dal paziente, e per esso si misura un'attività di 82.7 conteggi al minuto. Da tale misura si può dedurre il volume sanguigno totale, V_{sangue} , del paziente? Serve sapere che il tempo di dimezzamento dello ^{131}I è di circa 15 giorni?

R. VEDI'

$1:210 = x : 130$

Simonevaia@hotmail.it

fisica applicata

Esercizi 2^a prova in itinere 2008

Dose	tipo	ESR	Dose EQ.
20 mrad	γ	10	200 mrad
30 mrad	e^-	1	30 mrad
6 mrad	p^+	10	40 mrad
5 mrad	n ^o neut.	2	10 mrad

TOT.: 280 mrad $\cong 0,3$ rad

- La radiazione che ha prodotto più danni è quella di particelle γ (dose eq. maggiore)
- Di quanto va allontanato l'individuo affinché la dose eq. totale si riduca di un fattore 9? (supporre che l'emissione della sorgente sia isotropa)

2) Combustione 1 kg carbone $\rightarrow 3 \cdot 10^7$ J liberati
 fissione di 1 nucleo di ^{235}U $\rightarrow 200$ MeV

- Quanti kg di carbone vanno bruciati per produrre la stessa en. prodotta dalla fissione di 1 kg di ^{235}U ?

~~$3 \cdot 10^7 \text{ J} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ eV}$~~

~~$1,6 \cdot 10^{-19} \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$~~

~~$1,6 \cdot 10^{-19} \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$~~

$N = 2,6 \cdot 10^{24}$

$N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ atomi in 1 mole

1 mol di $^{235}\text{U} = 0,235$ kg

1 kg $\Rightarrow 4,26$ mol $\Rightarrow N_A \cdot 4,26$ nuclei = N

fissione 1 kg $^{235}\text{U} \rightarrow 200 \cdot 10^6 \cdot N \text{ eV} = 5,13 \cdot 10^{32} \text{ eV}$

$3 \cdot 10^7 \text{ J} = 3 \cdot 10^7 \cdot 6,25 \cdot 10^{18} \text{ eV} = 1,88 \cdot 10^{26} \text{ eV}$

$\frac{5,13 \cdot 10^{32}}{1,88 \cdot 10^{26}} = 2728.000$

2,7 milioni di kg di carbone fossile

ELETRONVOLT

$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} \Rightarrow 1 \text{ J} = 6,25 \cdot 10^{18} \text{ eV}$

$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$

$1 \text{ m eV} = 10^{-3} \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-22} \text{ J}$

$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

$1 \text{ KeV} = 10^3 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-16} \text{ J}$

$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$

$1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-10} \text{ J}$

$1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-7} \text{ J}$

il max valore di energia attualmente raggiunto da elettroni accelerati è 50 GeV, mentre per protoni è 1 TeV (non raggiunti per mezzi elettrostatici)

1b) Se l'intensità dell'O.E.M. va come $\frac{1}{r^2}$

$\Rightarrow d = \sqrt{9} = 3$

$I = k \frac{1}{r^2} \leftarrow \frac{1}{9} \quad r = \sqrt{9}$

3) $R_t = 3,94 \cdot 10^6 \text{ Bq}$ $t = 1 \text{ sett.}$ $T = 1,82 \cdot 10^5 \text{ s}$

$R_0 = ?$ (in Ci)

$R_t = R_0 e^{-\lambda t}$ $\lambda = \ln 2 / T = 3,81 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$

$1 \text{ sett.} = 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 7 \text{ s} \approx 6,05 \cdot 10^5 \text{ s}$

$\ln R_t = \ln R_0 - \lambda t$ $\ln R_0 = \ln R_t + \lambda t$

$\ln R_0 = 15,19 + 2,31 = 17,5$

$R_0 = e^{17,5} = 39,8 \cdot 10^6 \text{ Bq} = 10,8 \cdot 10^{-9} \text{ Ci} \approx 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ Ci}$

5) $\mu = 0,061 \text{ mm}^{-1}$ I_0 $\frac{I_0}{3}$

$I = I_0 e^{-\mu x}$ $\frac{I_0}{3} = I_0 e^{-\mu x}$

$\ln \frac{1}{3} = -\mu x$ $x = -\frac{1}{\mu} \ln \frac{1}{3} = 18 \text{ mm}$

4) $210 \text{ MeV} = 210 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J} = 3,36 \cdot 10^{-11} \text{ J}$

$1 : 3,36 \cdot 10^{-11} = x : 130 \cdot 10^6$

$x = 130 \cdot 10^6 / 3,36 \cdot 10^{-11} \approx 3,9 \cdot 10^{18}$

6) $5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ $R_0 = 6 \cdot 10^4 \text{ dis/min} = \frac{6 \cdot 10^4}{60} \text{ Bq} = 10^3 \text{ Bq}$

$t = 15 \text{ min} = 15 \cdot 60 \text{ sec} = 900 \text{ sec}$

$V_0 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ (sangue) $\rightarrow R_{10 \text{ min}} = 82,7 \text{ dis/min} = \frac{82,7}{60} \text{ Bq} = 1,38 \text{ Bq}$

$V_{\text{sangue}} = ?$

$T = 15 \text{ g} = 15 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s} = 1296000 \text{ s}$

$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = 5,35 \cdot 10^{-7}$

$R_t = R_0 e^{-\lambda t}$ R_t è relativa a $5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ di alb. mare.

$V_{\text{sangue}} = V_{\text{tot}} - 5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 = V_{\text{tot}} - V_0$

Con R_0 e R_t vedo quanto alb. mare. c'è in V_0

$\ln R_t = \ln R_0 - \lambda t = 6,907 \Rightarrow R_t = 999,52 \text{ Bq}$

$R_t : V_0 = R_0 : V_x$ $V_x = V_0 R_0 / R_t = (V_{\text{album. in } V_0 \text{ di sangue}})$

$V_x = 6,9 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3$ (albumina marcata in V_0 di sangue)

$V_x : V_0 = V_0 : V_{\text{sangue}} \Rightarrow V_{\text{sangue}} = V_0^2 / V_x = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

~~$5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 = V_0 \rightarrow R_t$~~

~~$R_t : V_0 = R_0 : V_x$~~

ES. COMPITO:

1) 270 mrem x 3 m

2) $2,73 \text{ milioni}$ 3) $1,1 \cdot 10^{-3} \text{ Ci}$ 4) $3,9 \cdot 10^{18} \text{ reaz/s}$

5) 18 mm 6) 5 , $V_{\text{sangue}} = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ 5 l

$3 \cdot 10^{19}$ fissioni al secondo $E_n = 200 \text{ MeV}$ a fissione
 \Rightarrow ogni secondo si producono $3 \cdot 200 \cdot 10^{19} \text{ MeV} = 6 \cdot 10^{27} \text{ eV}$
 $\text{Im J} : 6 \cdot 10^{27} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 6 \cdot 1,6 \cdot 10^8 \text{ J} = 9,6 \cdot 10^8 \text{ J/s}$
 $= 9,6 \cdot 10^8 \text{ W}$

2^a prova \rightarrow 30

3^a prova 8 giugno

05/05/2008

dE/dx

• Ionizzazione specifica

• Potere frenante

$$\frac{[E]}{[L]} \quad \frac{\text{keV}}{\text{mm}} \text{ o } \frac{\text{MeV}}{\text{mm}}$$

• Perdita di energia per unità di percorso

È un fenomeno statistico: perdita di en.

diverse \forall singolo urto \Rightarrow Straggling = fluttuazioni energetiche

Elettroni: piccoli \Rightarrow grandi deviazioni!
range molto variabile

Partic. pesanti: grande massa \Rightarrow piccole dev.
range quasi costante

ρ densità del materiale attraversato

Si definisce:

$$\frac{[dE/dx]}{\rho}$$

unità che si misora principalmente in $\text{MeV} \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$

$\frac{dE}{dx} \cdot \rho$ è una misura indipendente dal mezzo:

basta cambiare ρ e si ha la perdita di En in un altro mezzo.

Per particelle PESANTI: (p, α)

$$\left(\frac{dE}{dx} \right) / \rho \propto (q^2 / v^2) (Z/A)$$

(dipende quasi solo da carica e velocità della particella incidente: $Z/A \sim 1/2$)

Es.: $\left(\frac{dE}{dx} \right)_{\alpha} \sim \left(\frac{dE}{dx} \right)_{p^+} \cdot 2 \sim \dots$

Le particelle cariche interagiscono Coulombianamente con le cariche del mezzo, perdendo rapidamente energia cinetica.

Questa perdita avviene principalmente per ionizzazione ed eccitazione del mezzo.

L'energia cinetica ceduta dalle particelle incidenti è praticamente tutta assorbita dal mezzo ad una distanza caratteristica.

$M_{particelle} \gg m_e$

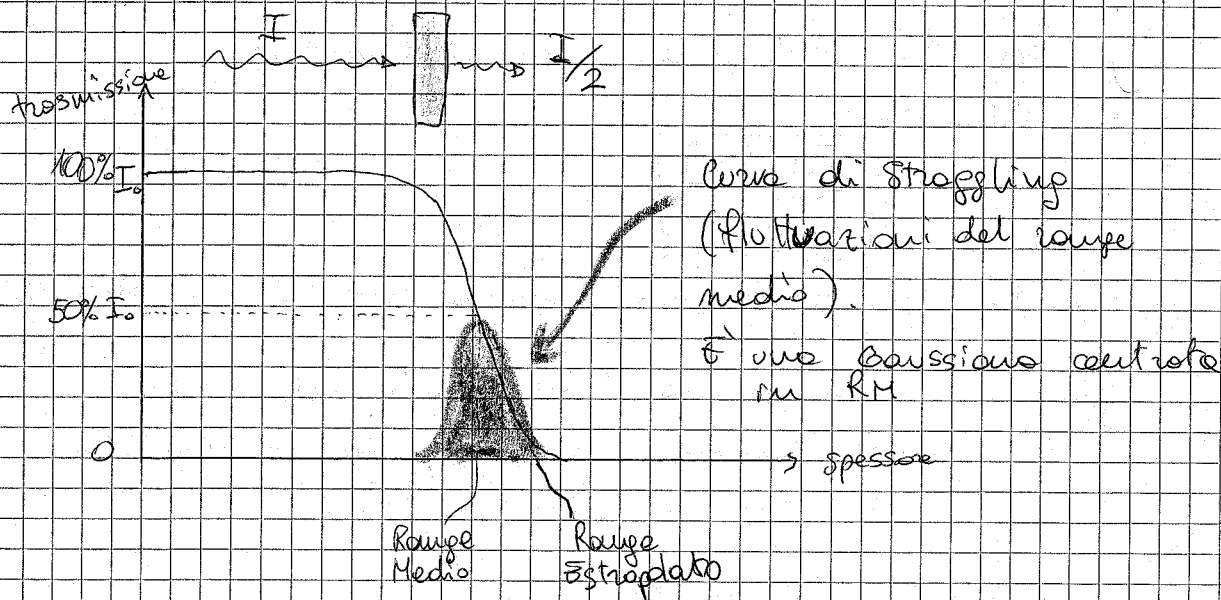
\Rightarrow quasi tutta l'En. è persa per ionizzazione (spesso via gli e⁻ del mezzo)

$E_{particelle} \gg E_{stragata}$ collisione

Occorrono moltissime collisioni perché la particella si fermi.

$$\text{range: } R = \int_0^R dx = \int_{E_0}^0 \frac{dE}{\frac{dE}{dx}}$$

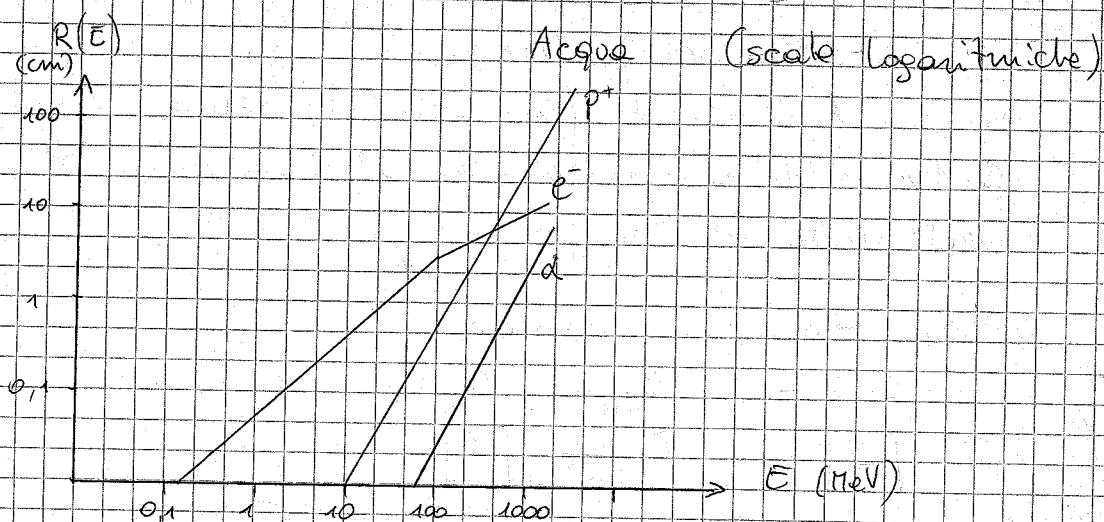
Range medio = spessore di materiale necessario per dimezzare il flusso di particelle



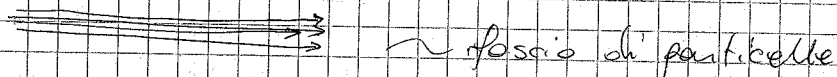
Range estrapolato = ricavato con la tangente alla curva in $50\% I_0$.
In genere $RE > RM$

Il range è tanto più alto quanto maggiore è l'energia della particella.

Per un fascio di particelle cariche di una data energia si verifica sperimentalmente che il numero di particelle trasmesse rimane pressoché costante fino a un certo spessore, dopodiché cala bruscamente.



Fascio di particelle = insieme di particelle con direzioni parallele o quasi (fascio collimato) e molto vicine.



Quando un fascio incide su un bersaglio di materiale si fanno interazioni:

- con le cariche delle particelle elettroniche e dei nuclei
- con i nucleoni

I processi che ne derivano sono suddivisi in:

- atomici (non interviene la struttura dei nuclei)
- reazioni nucleari

SEZIONE DURA = probabilità di interazione di una particella del fascio con il bersaglio

fascio monocromatico di particelle uguali che incide su un bersaglio sottile (1 sola interazione per particella, al max).

Numero di particelle che hanno interagito con il bersaglio nell'unita di tempo:

$$\propto N_{\text{bersaglio}} \phi \leftarrow \begin{array}{l} \text{flussa} \\ \text{sezione} \\ \text{attraversata} \\ \text{dell' bersaglio} \end{array} A \Delta x$$

$$\left[\frac{\text{atomi}}{\text{cm}^2} \right] \left[\frac{\text{particelle incidenti}}{\text{s} \cdot \text{cm}^2} \right] \left[\text{cm}^2 \right] \left[\text{cm} \right] \quad \text{particelle "sopraffissute"}$$

$$\rightarrow \Delta N = N(x) - N(x + \Delta x)$$

ΔN e' il num. di particelle che hanno interagito

$\phi \cdot A = n^\circ$ di particelle che attraversano l'area A nell'unita di tempo $= \int \phi$

Si puo' riscrivere come:

$$\Delta N = \sigma \cdot N_{\text{bers}} \cdot N \cdot \Delta x$$

num. interazioni $\left[\frac{1}{\text{s}} \right]$ $\left[\frac{\text{atomi}}{\text{cm}^3} \right] \left[\frac{1}{\text{s}} \right]$

La costante di proporzionalita' σ ha le dimensioni di un'area e prende il nome di Sezione d'urto.

$$N_{\text{atomi}} = \rho \frac{NA}{A} \quad n^\circ \text{ atomi per unita' di volume}$$

$$\rightarrow \frac{\Delta N}{N} = -\sigma \rho \frac{NA}{A} \Delta x$$

Si ottiene questa eq. (valida per bersagli

$$\text{SOTTILI}) : \quad \boxed{N = N_0 e^{-\sigma \rho \frac{NA}{A} x}}$$

[num. di particelle residue dopo aver attraversato x]

Pi' grande e' σ , piu' piccolo e' il num. residuo di particelle $N(x)$.

Per ricavare la formula \rightarrow stesso procedimento di quello per l'attivita' radioattiva

L'equazione e' sempre valida

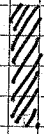
$$\sigma = \sigma(\text{tipo particella, } E, \rho)$$

Per le particelle ~~radioattive~~ ^{cariche} vale la solita legge di attenuazione.

CAMMINO LIBERO MEDIO

$$\lambda = \frac{1}{\rho \frac{N_A}{A} \sigma} = \frac{1}{\mu}$$

μ = spessore di materiale necessario per attenuare il fascio incidente di $1/e \sim 1/3$



$$N = N_0 e^{-\sigma \rho \frac{N_A}{A} x} = N_0 e^{-\frac{x}{\lambda}} = N_0 e^{-\mu x}$$

λ ha le dimensioni di una lunghezza.

11.05.2009

Più grande è σ , più grande è il numero di particelle del fascio che interagiscono con il materiale.

L'eq. precedente non vale per le particelle cariche, a meno che il materiale attraversato non sia abbastanza sottile da permettere alle particelle una sola interazione.

Neutroni e fotoni, a differenza delle particelle cariche, possono essere assorbiti in una sola collisione.

- neutrone \rightarrow forza forte da un nucleo
- fotone \rightarrow elettrone (staccato), nucleo (eccitato)

NON esistono distanze che neutroni e fotoni non possono attraversare (il range è solo per le part. cariche).

L'attenuazione di un fascio di particelle neutre ha comportamento probabilistico.

NEUTRONI

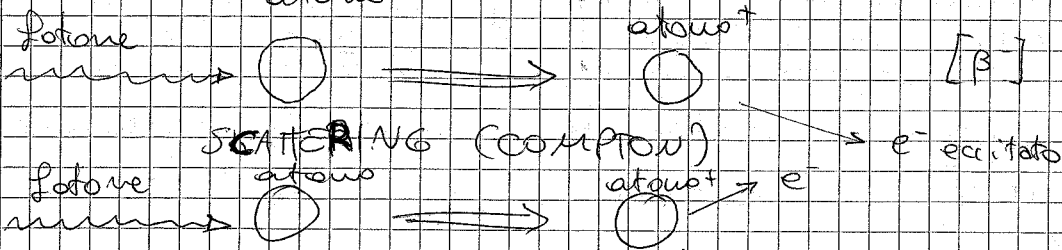
- cattura neutronica
- urto elastico
- urto anelastico

FOTONI

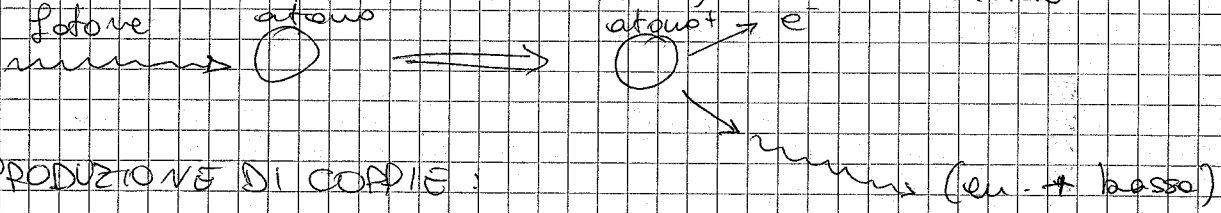
- effetto fotoelettrico
- effetto Compton
- produzione di coppie

Non subendo le interazioni elettromagnetiche, le particelle neutre non vengono rallentate.

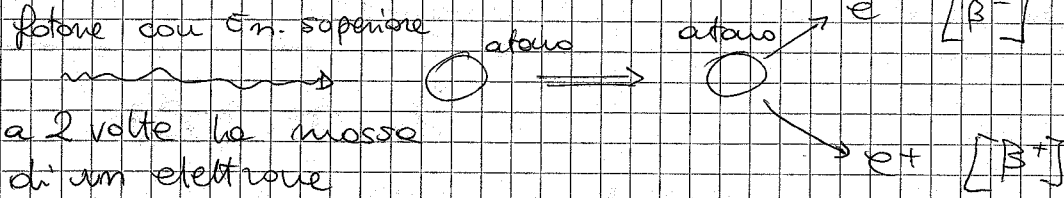
EFFETTO FOTOELETTRICO



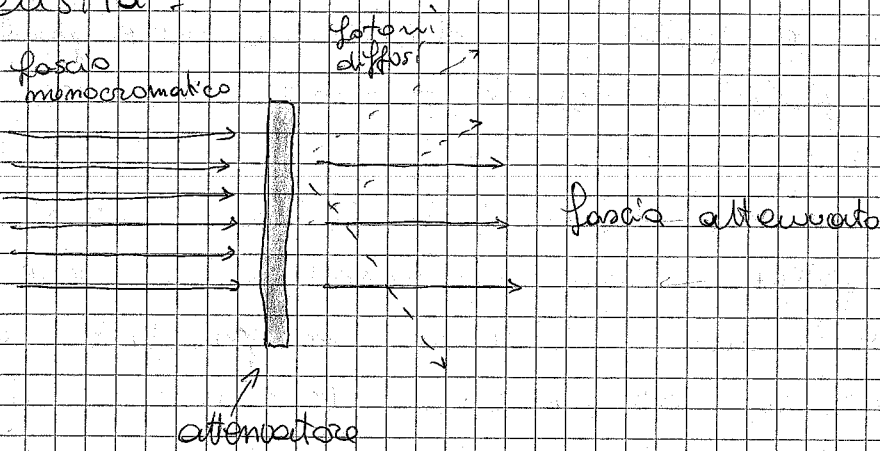
SCATTERING (COMPTON)



PRODUZIONE DI CORDIE:



Un fascio monocromatico di fotoni non viene, in genere, degradato in energia attraversando un materiale [~~tranne in~~ effetti Compton], bensì si attenua e l'intensità.



μ
 ρ

coefficiente di attenuazione di massa del materiale

[dipende quasi solo dall'eu. del fascio]

$X_{1/2}$

STRATO EQUIVALENTE

Spessore dopo il quale rimane il 50% dell'intensità del fascio

come il $T_{1/2}$ di dimezzamento

$$m(x_{1/2}) = \frac{m_0}{2} = m_0 e^{-\mu x_{1/2}}$$

$$x_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu}$$

ATTENUAZIONE

$$N(x) = N_0 e^{-\mu x}$$

• fotoni o neutroni:

$$\mu = \sigma \frac{N_A}{A} \rho$$

$$\sigma = \sigma_{\text{photo}} + \sigma_{\text{compton}} + \sigma_{\text{coppie}}$$

$$\mu = \mu_{\text{photo}} + \mu_{\text{compton}} + \mu_{\text{coppie}}$$

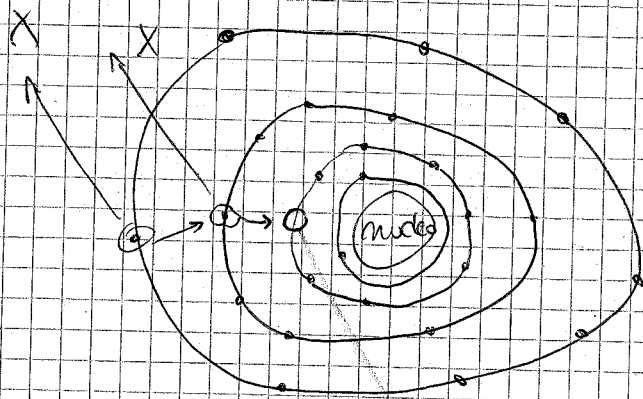
l'effetto fotoelettrico è più probabile per mezzi ad alto Z e per fotoni a bassa energia.

$$\sigma_{\text{photo}} \propto \frac{Z^4}{E^3}$$

l'energia del fotone emesso è:

$$E_e = h\nu - E_{\text{legame}}$$

La lacuna lasciata può determinare migrazioni di riassetto degli altri elettroni, con emissione di raggi X caratteristici.



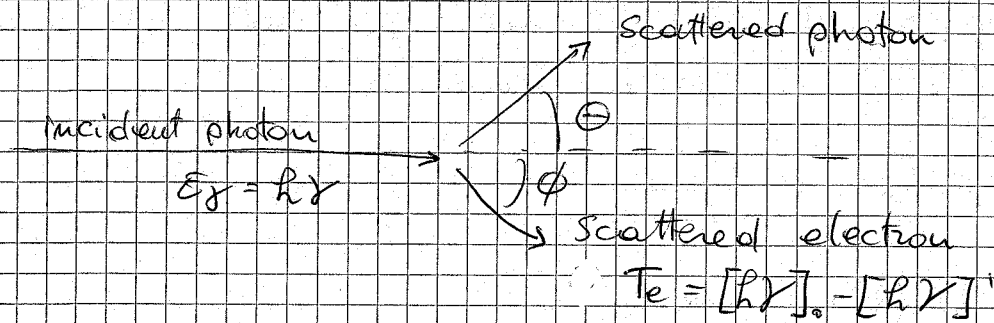
fotoelettrico

Questo processo avviene solo se $h\nu > E_{\text{legame}}$ e' un processo a soglia.

Il fotone scompare; l'elettrone perde la sua energia collidendolo nel mezzo (ne ionizza e/o eccita gli atomi).

Nell'effetto Compton un elettrone viene diffuso con angolo ϕ rispetto alla direzione iniziale del fotone. Il fotone stesso viene diffuso, con un altro angolo θ , con un'energia minore di quella che possedeva prima:

$$[\hbar\nu]' = \frac{[\hbar\nu]_0}{1 + \frac{[\hbar\nu]_0}{m_e c^2} [1 - \cos\theta]}$$



→ vedi dimostrazione

$$\left[\beta = \frac{v}{c} \right]$$

$$E_0 = mc^2$$

$$\left[\frac{\mu}{\rho} \right]_{\text{Compton}} = \left[\frac{\mu}{\rho} \right]_{\text{Compton}}(\bar{\sigma}, Z, A)$$

$$\left[\frac{\mu}{\rho} \right]_{\text{Compton}} = \frac{N_A}{A} \cdot \sigma_{\text{Compton}}(E)$$

Quando l'energia del fotone supera il MeV si ha la produzione di coppie. Questo è spiegabile solo dalle fisiche quantistica e relativistica.

Un fotone NON genera coppie se riaggira nel vuoto: deve esserci un nucleo.

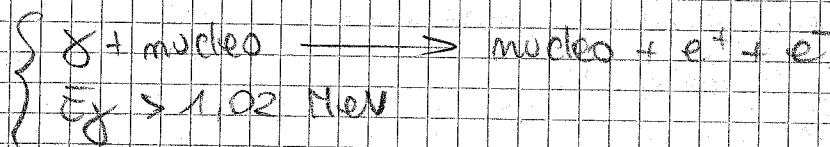
È naturalmente un processo a soglia.

soglia = 1,02 MeV.

$\sigma_{\text{coppie}} \propto Z^2 f(E_\gamma)$, f funzione qualsiasi!

VEDI FIGURA

$m_e = 0,511 \text{ MeV}$



fotoelettrico	interazione con el. atomici interni.			
Compton	"	"	"	" esterni.
coppie	"	"	campo coulombiano del nucleo.	

RANGE PER PARTICELLE NEUTRE

Non si può dire quanto è lungo il percorso
Si può però esprimere la probabilità che
il percorso non sia superiore ad un certo R .

$$[\% \text{ di assorbiti in uno spessore } R] = [1 - e^{-\mu R}]$$

ESERCIZI

- che % di fotoni X possa attraversare 5 mm di materiale con $\mu = 0,07 \text{ mm}^{-1}$?

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

$$\frac{I}{I_0} = e^{-0,07 \cdot 5} = 0,705 = 70,5\%$$

- Un fascio monocromatico di fotoni si riduce d'intensità di un fattore 2 in 8 mm di materiale $\mu = ?$

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{2} = e^{-\mu x}$$

$$\Rightarrow \mu = \frac{\ln 2}{x} = 0,087 \text{ mm}^{-1}$$

- Trovare lo spessore di dimezzamento dell'alluminio se $\mu(\text{Al}, \gamma) = 0,07 \text{ mm}^{-1}$

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{2} = e^{-\mu x_{1/2}} \Rightarrow x_{1/2} \approx 10 \text{ mm} \quad (9,9 \text{ mm})$$

- Qual è il rapporto tra I e I_0 dopo che il fascio monocromatico attraversa uno spessore pari a 2 volte $x_{1/2}$?

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu 2x_{1/2}} = (e^{-\mu x_{1/2}})^2 = \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{4}$$

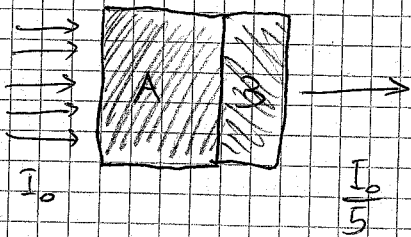
$$(x_{1/2} \equiv x_{1/2})$$

- Qual è lo spessore di alluminio ($\mu_{\text{Al}} = 0,44 \text{ mm}^{-1}$) equivalente a 6 mm di Pb ($5,2 \text{ mm}^{-1} = \mu_{\text{Pb}}$)?

$$\left(\frac{I}{I_0}\right)_{\text{Pb}} = \left(\frac{I}{I_0}\right)_{\text{Al}}$$

$$e^{-\mu_{\text{Pb}} \cdot 6} = e^{-\mu_{\text{Al}} \cdot x} \Rightarrow x_{\text{Al}} = 79,1 \text{ mm} \approx 8 \text{ cm}$$

- Un materiale A ha $\mu_A = 0,055 \text{ mm}^{-1}$ e un materiale B ha $\mu_B = 0,056 \text{ mm}^{-1}$. Se I è $I_0/5$ calcolare lo spessore di A e quello di B attraversati consecutivamente dal fascio. Si sa che $x_A = 2x_B$.



$$I = \frac{I_0}{5} = \left(I_0 e^{-\mu_A 2x_B} \right) \left(e^{-\mu_B x_B} \right)$$

$$\frac{1}{5} = e^{-\left(2\mu_A x_B + \mu_B x_B \right)}$$

$$\ln 5 = (2\mu_A + \mu_B)x_B \Rightarrow x_B = 11,18 \text{ mm}$$

$$x_A = 2x_B = 22,36 \text{ mm}$$

- Qual è la trasmissione di fotoni da 1 MeV attraverso 10 cm di C_6^{12} assumendo che il contributo dominante è lo scattering Compton e sapendo che $\sigma_{\text{Compton}}(E=1 \text{ MeV})$ per scattering su un singolo elettrone è

$$\sigma_{\text{Compton}}^{1 \text{ MeV}} = 2 \times 10^{-29} \text{ m}^2$$

$$\rho_C = 2000 \text{ kg/m}^3 \quad ?$$

Trasmissione \rightarrow attenuazione + i fotoni:

$$I = I_0 e^{-\mu x} = I_0 e^{-\rho \frac{\mu}{A} x}$$

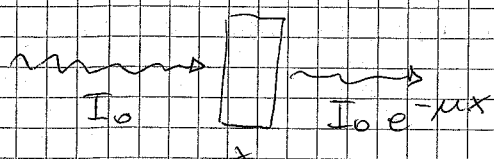
Assumere che $\sigma \equiv \sigma_{\text{Compton}}$.

$$\frac{I}{I_0} \stackrel{?}{=} e^{-\rho \frac{\mu}{A} \sigma_{\text{Compton}} x}$$

Risolvere a casa

12-05-2009

Risoluzione esercizio precedente



$$[\mu] = [\text{cm}^{-1}]$$

(argomento di e : numero puro)

- effetto fotoelettrico: la sezione d'urto va come $z^{4.5}$ del mezzo

$$\mu = \rho \frac{N_A}{A} \sigma_{\text{tot}}, \quad \sigma_{\text{tot}} = \sigma_{\text{pe}} + \sigma_c + \sigma_{\text{pnr}}$$

Ciascuna delle tre componenti della sezione d'urto dipende dall'energia del fotone incidente

Nel nostro caso:

$$\sigma_{\text{tot}} = \cancel{\sigma_{\text{pe}}} + \sigma_c + \cancel{\sigma_{\text{pnr}}}$$

"trasmissione" = I/I_0

Il C_6^{12} ha 6 elettroni - il numero di elettroni con cui il fotone può interagire si trova così:

$$n^\circ \text{ elett.} \times \text{unità di volume} = \rho \frac{N_A}{A} z$$

$$V \times \text{unità di volume} = \sigma^{\text{tele}} z$$

$$\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho = \frac{M}{V}$$

A è la massa di un nucleo

$\frac{M}{N_A}$ num. di massa (in g) = $12g$

$$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ atomi/mole}$$

ρ è in $\text{kg} \Rightarrow$ devo calcolare $\frac{A}{N_A}$ in kg . ($\cdot 10^{-3}$)

Calcoliamo μ :

$$\mu = \rho \frac{N_A}{A} \sigma^{\text{tele}} z = 12,7 \text{ m}^{-1}$$

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x} = 0,28$$

- Qual è la trasmissione di fotoni da 100 keV attraverso lo stesso spessore sapendo che dominano sempre l'effetto Compton ma che

$$\sigma_c^{\text{tele}} = 5 \cdot 10^{29} \text{ m}^2 ?$$

Una particella carica pesante collide continuamente con elettroni e nuclei, perde sempre energia.

Gli elettroni, particelle cariche leggere, danno luogo a due fenomeni:

- Collisioni inelastiche con gli elettroni del mezzo
- Perdita di energia per irraggiamento

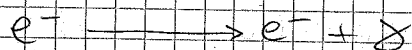
$W =$ potenza irradiata $\propto a^2$ (\leftarrow accelerazione)

$\frac{F}{m} = a$ più la massa è piccola, più è grande a
 \Rightarrow la probabilità di irraggiamento è più grande per particelle più piccole.

Elettroni e positroni subiscono anche

- deflessioni dovute ai campi Coulombiani dei nuclei.

Quando una particella piccola viene deflessa, irraggia energia. Perdendo energia emette fotoni:



Le particelle α non vengono deflesse, non subiscono scattering, non irraggiano \Rightarrow sono più penetranti.

Elettroni e positroni invece non vanno "dritti".

Per i positroni accade anche:

- annichilazione elettrone - positrone

PARTICELLE PESANTI

$$\frac{dE}{dx} = \rho \frac{NA}{A} z_{mezzo}^2 \cdot z_{partic}^2 \cdot f(\beta)$$

Particelle leggere: $z=1$.

Elettroni e positroni possono collidere con queste stesse particelle identiche. Stessa massa \Rightarrow in un singolo urto si può anche trasferire tutta l'energia.

$$\left. \frac{dE}{dx} \right|_{\text{collisioni}}^{\text{elettroni}} = \rho \frac{N_A}{A} \geq \frac{z^2 e^4}{4\pi \epsilon_0^2} \frac{1}{2m\beta^2} \phi(\beta)$$

$$\left. \frac{dE}{dx} \right|_{\text{irraggiamento}}^{\text{elettroni}} = \frac{E}{L_{\text{rad}}}$$

L_{rad} = lunghezza di radiazione

$$z^2 \text{ elettroni} = 1$$

Dalla seconda si ricava:

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{E}{L_{\text{rad}}} \Rightarrow -\frac{dE}{E} = \frac{dx}{L_{\text{rad}}} \Rightarrow$$

$$E(x) = E_0 e^{-\frac{x}{L_{\text{rad}}}}$$

L_{rad} è una caratteristica del mezzo.

Gli elettroni che irraggiano attenuano la loro energia con questa legge esponenziale.

Ci aspettiamo che l'irraggiamento dipenda dall'accelerazione della particella, che dipende da caratteristiche del mezzo.

Sperimentalmente:

$$\frac{1}{L_{\text{rad}}} = 4z(z+1) \rho \frac{N_A}{A} \cdot \text{costante} \cdot \ln(183 z^{-1/3}) f(z)$$

L_{rad} va come l'inverso di z^2 e di ρ

\Rightarrow la perdita di en. + irraggiamento è tanto più piccola quanto più è grande L_{rad} (che è più piccola per nuclei pesanti).

Dunque, la perdita di energia degli elettroni ha due contributi: dalle collisioni e dall'irraggiamento.

Si definisce ENERGIA CRITICA l'energia per la quale i due contributi sono uguali:

$$E_c = \frac{770}{z} \text{ MeV}$$

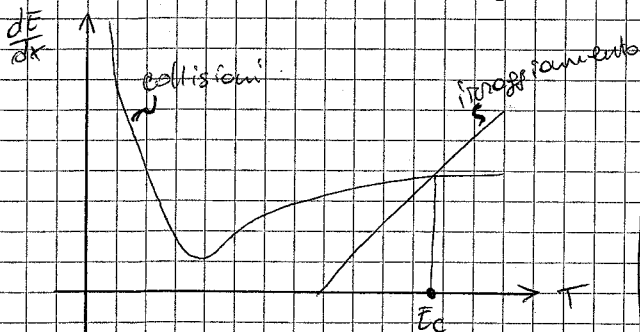


grafico per una particella assegnata in un mezzo assegnato in f. dell'en cinetico

L'energia critica dei vari mezzi è stata definita sperimentalmente.

partic. pesanti: $-\frac{dE}{dx} \propto \frac{z^2}{\beta^2} = \frac{z^2}{\left(\frac{v}{c}\right)^2} = \frac{z^2 m_0 c^2}{T^2}$

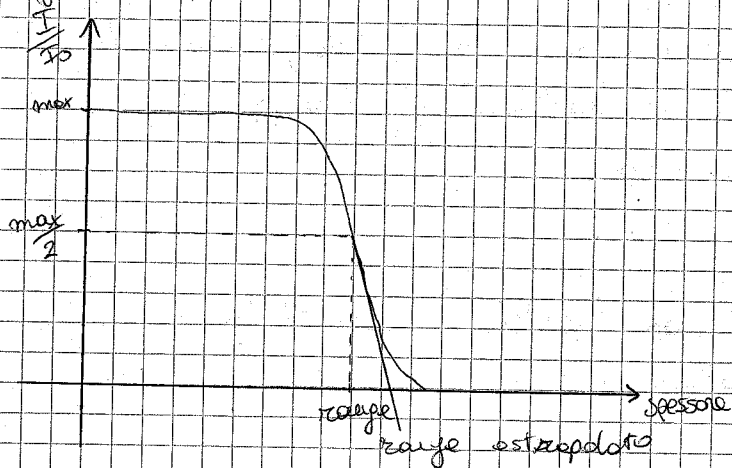
$\beta_{\alpha}^2 = \frac{T}{m_{\alpha}} \quad \beta_p^2 = \frac{T m_{\alpha}}{m_p}$

Urappiamento = bremsstrahlung

Ci si aspetta che la probabilità che una particella venga deflessa sia inversamente proporzionale alla sua energia cinetica.

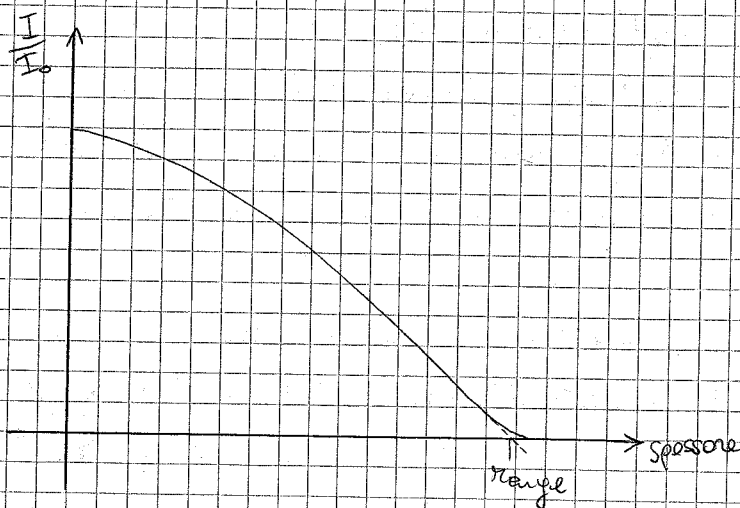
Range per gli elettroni

In genere si definisce:



Ma l'attenuazione per gli elettroni è diverso: ortando, fin da subito alcuni di loro perdono tutta la propria energia.

La curva di trasmissione sarà del tipo:

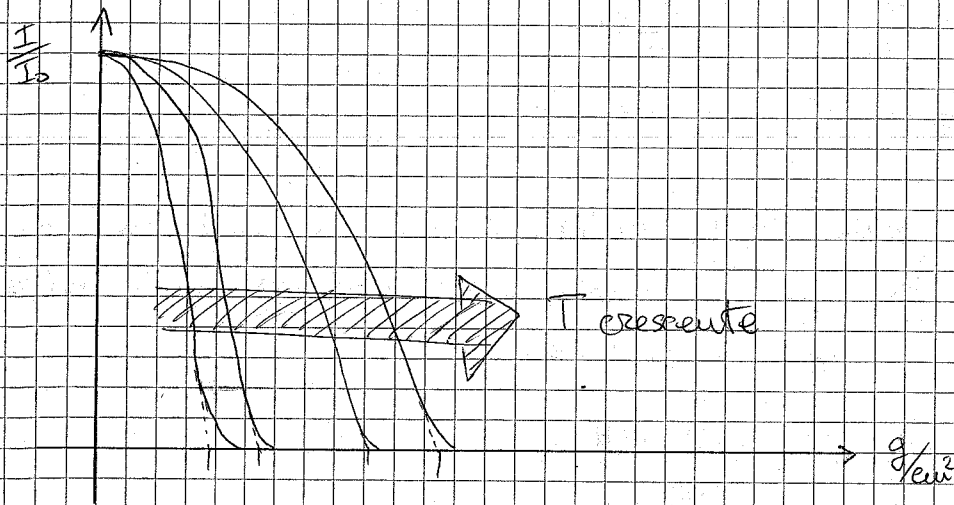


L'elettrone fa percorsi a zigzag, perché viene pesantemente

deviato dai nuclei incontrati.

A bassa energia, $\frac{dE}{dx}$ (elettroni) $<$ $\frac{dE}{dx}$ (p. pesanti).

Range massico per elettroni di diversa energia



Se invece del range massico uso il range normale, mi aspetto che per i materiali pesanti il range sia più piccolo.

Per diverse particelle, a parità di T si ha:

$$\frac{dE}{dx} \propto z^2 m_0 \rho$$

Infatti, fissato un percorso, la particella α produce ionizzazioni molto più dense.

Grandezze dosimetriche

- Esposizione Röntgen (R); Coulomb/kg (C/kg)
- Dose rad; Gray (Gy)
- Dose equivalente Sievert (Sv); rem

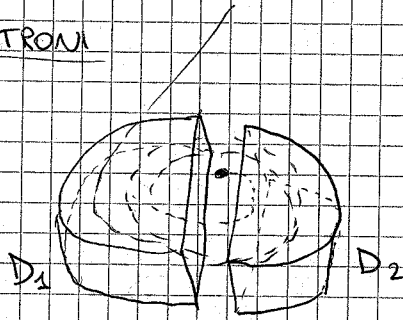
Solo la dose equivalente tiene conto del fatto che particelle diverse producono danni diversi ai tessuti biologici.

• QBR è definito come rapporto tra la dose di raggi X a 200 keV che produce un certo danno biologico e la dose di radiazione usata che produce lo stesso danno biologico.

$$\text{dose equivalente (Sv)} = \text{dose (Gy)} \cdot QBR$$

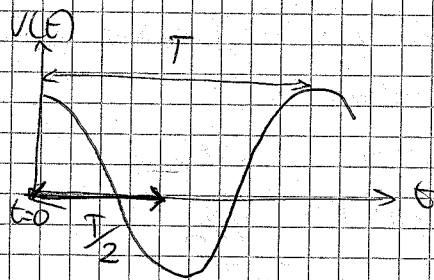
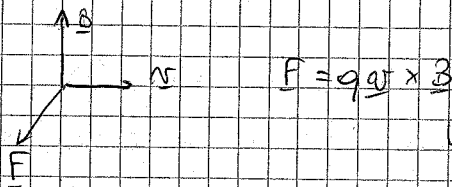
19/05/2009

vedi CICLOTRON



$$V = V_0 \cos(\omega t)$$

$$\omega T = 2\pi$$



$$V(t) = V_0 \cos \frac{2\pi}{T} t$$

$$m \omega^2 r = q v B$$

↳ acc. centripeta (ma)

$$m \frac{v^2}{r} = q v B$$

$$r = \frac{m v}{q B} \quad (\text{raggio dell'orbita all'interno di } D_1 \text{ o } D_2)$$

tempo impiegato a percorrere il tragitto su uno dei due semi-elettrodi:

$$t_1 = \frac{\pi r}{v} = \frac{\pi}{v} \frac{m v}{q B} = \frac{\pi m}{q B}$$

Se succede che $t_1 = T/2$ lo particello viene accelerato ogni volta che esce da D_1 o da D_2 .
Quindi deve valere:

$$T = \frac{\pi m}{q B} \quad \text{periodo dell'alternatore}$$

Se $v \ll c$: $T = \text{cost}$

altrimenti vale l'effetto relativistico di massa:

$$T = \frac{\pi m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot q B}$$

- calcolare l'energia cinetica γ di un protone in un ciclotrone di raggio $0,5 \text{ m}$ in un campo magnetico di $0,35 \text{ T}$.

$$T = \frac{1}{2} m_p v^2$$

$$B \perp v \quad |F_c| = qvB$$

il moto è circolare all'interno di ogni D

$$v = \omega r \quad m \omega^2 r = qvB$$

$$\omega_{\text{cicl.}} = \frac{qB}{m}$$

$$T = \frac{1}{2} m_p \omega^2 r^2 = \frac{1}{2} \frac{q^2 B^2 r^2}{m} = 2,34 \cdot 10^{-13} \text{ J} = 1,46 \text{ MeV}$$

- Quale deve essere il B in un ciclotrone da $1,5 \text{ m}$ di diametro per accelerare protoni fino a circa 10^5 MeV massimi?

$$E_p = \frac{1}{2} m_p \omega^2 r^2 \quad \omega = \frac{qB}{m}$$

$$\omega = (2E/mr^2)^{1/2} = \frac{qB}{m}$$

$$B = \frac{\sqrt{2Em}}{q} = 0,31 \text{ T}$$

- A quale frequenza deve operare la radiofrequenza acceleratrice?

(Radio frequenza = E variabile)

$$\omega = \frac{qB}{m_p} \quad \omega = 2\pi \gamma \quad \gamma = \frac{\omega}{2\pi}$$

$$\gamma = \frac{qB}{2\pi m} = 4,6 \text{ MHz}$$

\uparrow è una freq. delle onde radio

- Come deve essere modificato B se accelero deuterio?

$$m \rightarrow 2m \Rightarrow B \rightarrow \sqrt{2}B \quad \text{basta sostituire la massa}$$

Medical imaging: MI \rightarrow informazioni 3D su tessuti vivi

25/05/2009

M. E. : Raggi X

- Fotoni primari \rightarrow attraversano senza interazioni
- μ secondari \rightarrow interagiscono e vengono deviati (scattering Compton)
- μ assorbiti

Fornisce proiezione in 2 dimensioni delle proprietà di attenuazione dei tessuti lungo la direzione dei fotoni. L'intervallo di energia dei fotoni è scelto in base allo spessore e al tipo di tessuto:

Em bassa \rightarrow dose al paziente

Em alta \rightarrow poco contrasto

Intervallo tipico: 17 - 150 KeV

← mammografia

→ radiografia al torace

ABSORPTION EDGES: picchi dell'effetto fotoelettrico.

Se $E_{\gamma} \leq 25$ KeV prevale Γ_{foto} .

Gli elettroni emessi per effetto fotoelettrico o Compton vengono assorbiti localmente, cioè danno dose al paziente.

Parametri fisici: $\left\{ \begin{array}{l} \text{contrasto} \\ \text{rumore} \\ \text{risoluzione spaziale} \end{array} \right.$

Il scattering degrada il contrasto.

R: secondari / primari $\approx 70\%$ in alcune simulazioni (mammografia)

Il rumore ha fluttuazioni poissoniane.

Un oggetto si dice **RELIABLE** se il rapporto tra segnale e rumore è maggiore di 5.

Più fotoni si mandano, minore è il contrasto.

Più l'oggetto osservato è sottile, maggiore è il contrasto minimo.

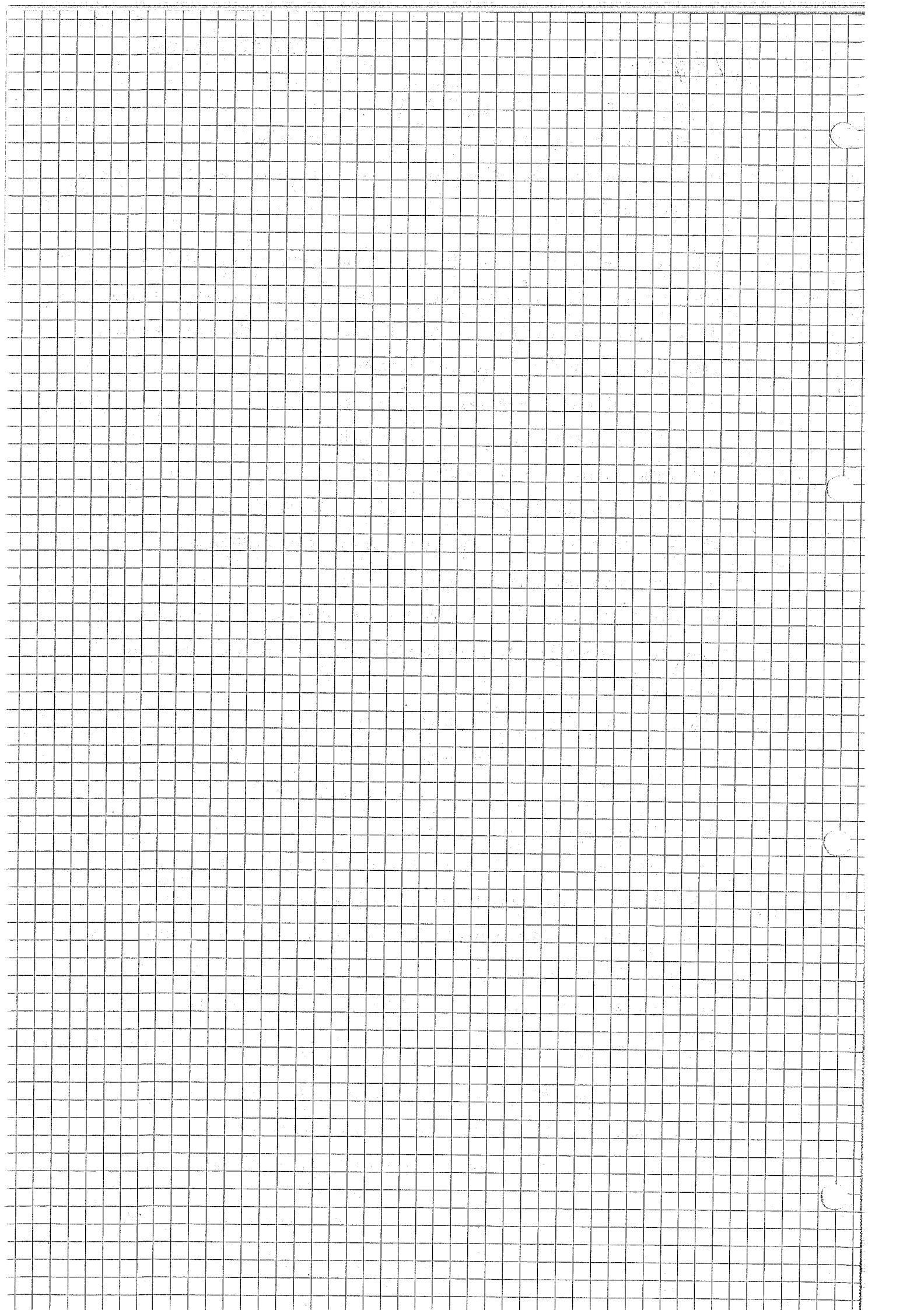
Tubo a raggi X \rightarrow rendimento = 1%

Lastra radiografica \rightarrow efficienza 5%

\Rightarrow SCASSO DI RINFORZO

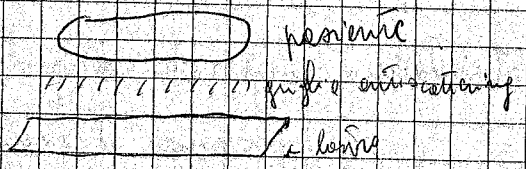
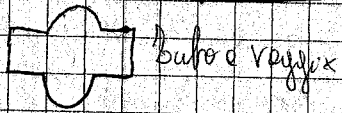


riduzione risoluzione spaziale.



25/05/09

Radiografia:

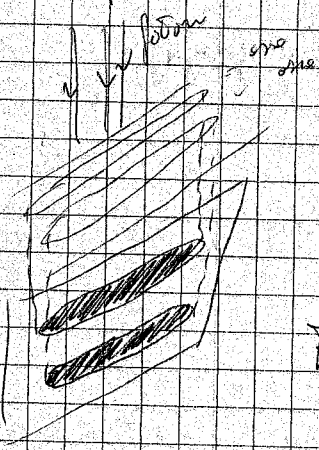


Fotoni primari: attraversano il paziente senza interagire

Fotoni secondari: interagiscono e vengono deflessi

Fotoni assorbiti

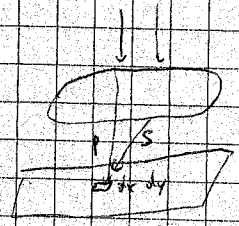
Come è?



Le parti più dense assorbono di più e sono molte → meno dense. Si può vedere l'intensità con l'attenuazione $N = N_0 e^{-\mu x}$

Fotoni primari sono quelli buoni

secondari degradano l'immagine perché non si sa bene da che provengono.



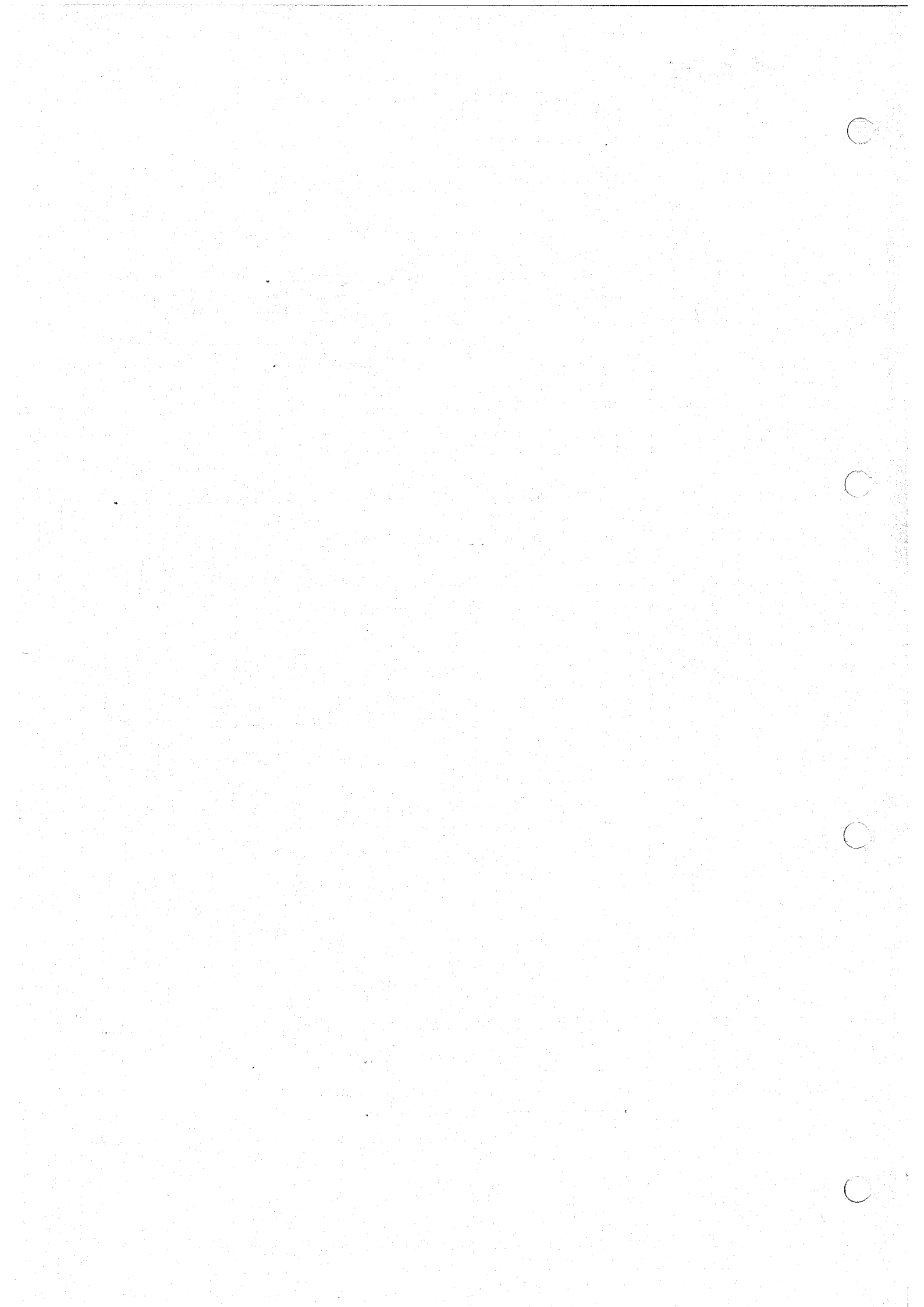
$N = n^{\circ}$ di fotoni per unità di superficie.

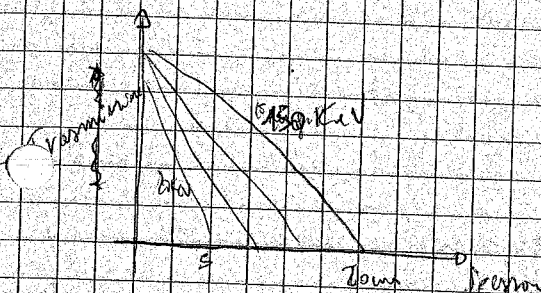
$$I(x,y) = N e(E, \theta) E \exp\left(-\int \mu(x,y,z) dz\right) \text{ primari} + \int \sigma(E, \theta) E_s \Omega_s dz \text{ secondari}$$

Si misura la % dei secondari rispetto a primari e si indica con R

$$I = I_{\text{primari}} (1 + R)$$

Che si sceglie lo dose? se è troppo bassa non è visibile il dose. se è troppo alta posso tutto e non si ha informazioni. Comp dipende dallo spessore del materiale da analizzare.

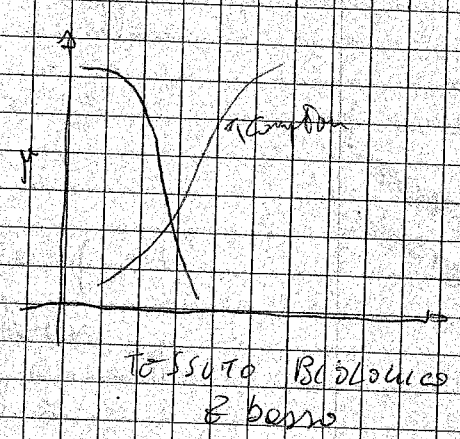
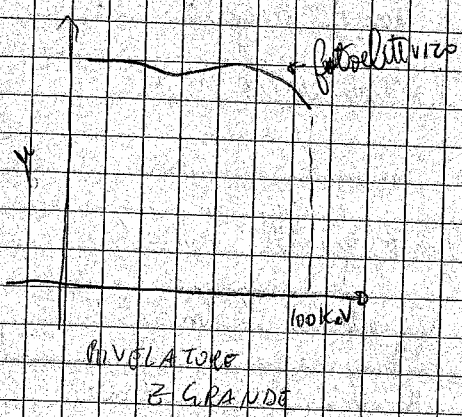




Tissue
↓
 $E = 17 + 150 \text{ KeV}$
↑
monochromatic

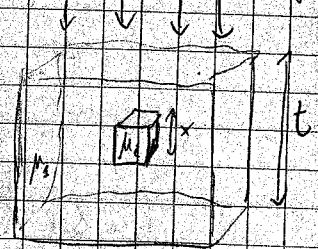
$$\frac{Z^2}{E^3}$$

Gli effetti di scattering sono effetto fotoelettrico e diffusione Compton.
 In fotoni con $E < 25 \text{ KeV}$ domina fotoelettrico, si emettono elettroni
 con $E \approx 150 \text{ KeV}$ vengono assorbiti localmente (range $100 \mu\text{m}$) e contribuiscono alla dose. Possono essere emessi raggi x caratteristici non assorbiti localmente.
 Per la terza legge fotografica rispetto all'effetto fotoelettrico \rightarrow in pellicola
 con grande Z . Scattering Compton non hanno per la fotografia



CONTRASTO: minime differenze di μ apprezzabili

Si misurano le differenze di lunghe nelle varie zone

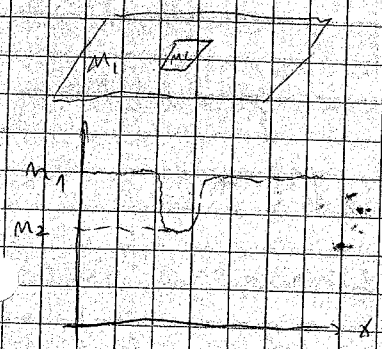


$$C = \frac{|m_1 - m_2|}{m_1} \quad \text{contrasto}$$

$$I_1 = N e^{-\mu_1 t}$$

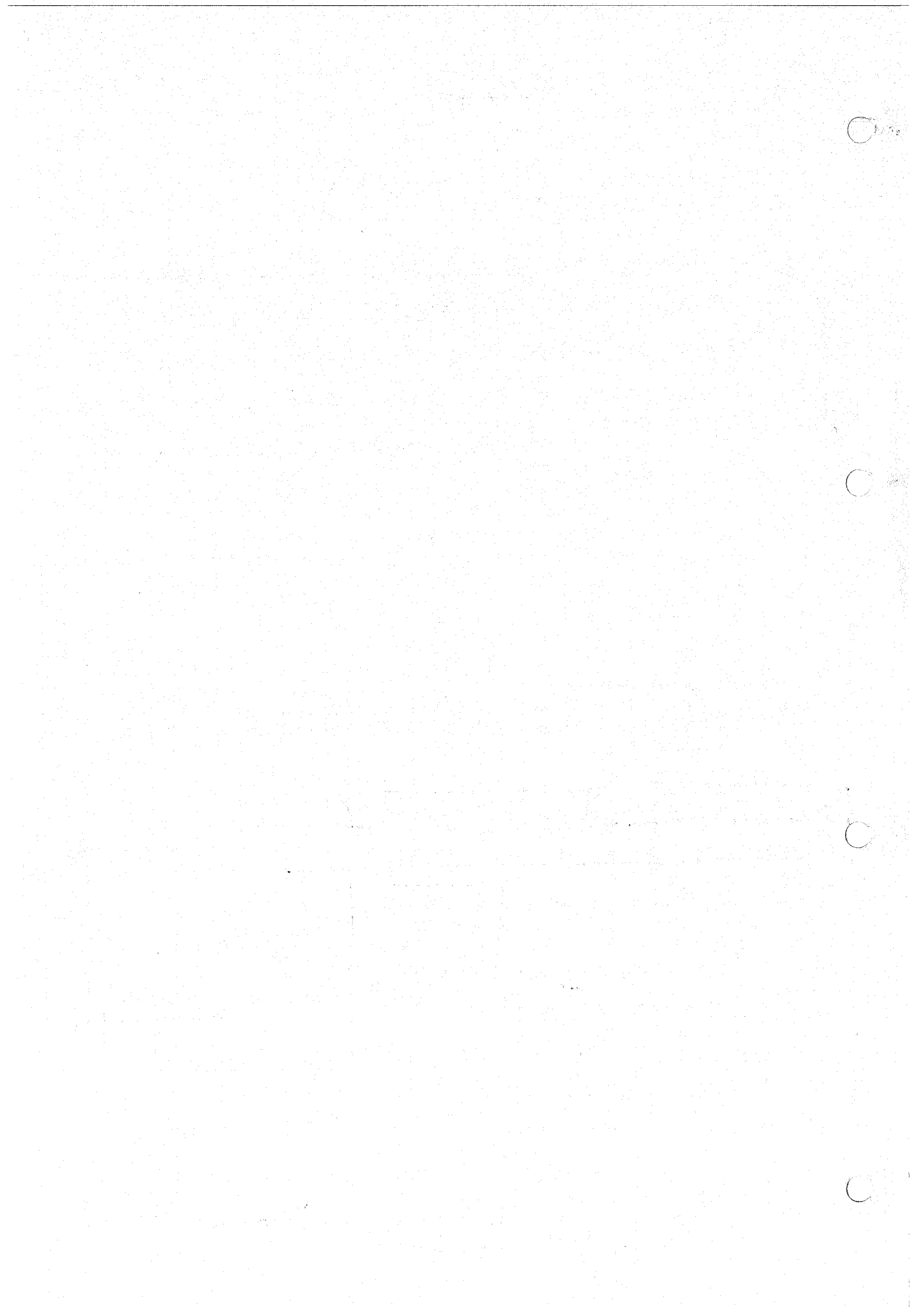
$$I_2 = N e^{-\mu_2 t} (\mu_1 t x + \mu_2 x)$$

Si suppone
 fotoni ~~assorbiti~~
 monocromatici



$$C = \frac{|I_1 - I_2|}{I_1} = \frac{1 - e^{-(\mu_2 - \mu_1)x}}{1 + R}$$

R = Secondari
Primari



Se R prende in partenza informazioni (R ~ 20%). Sul bordo dell'immagine c'è sempre del rumore dovuto ai fotoni ricevuti. X0 c'è rumore per statistiche poissoniane

$$SNR = \frac{(m_1 - m_2)}{\sqrt{m_1}} = C \sqrt{m_1} \quad \text{rapporto segnale rumore}$$

Per vedere un'immagine in sé che

$$SNR \geq 5$$

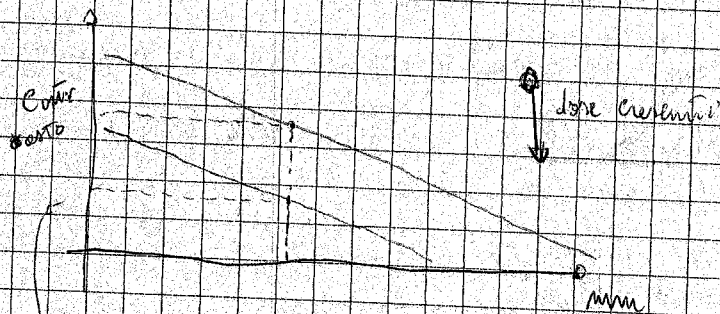
Si ritiene che $N_0 = \frac{k^2 (1+k) e^{-\mu T}}{e(\Delta\mu)^2 X^2}$ n° di fotoni per unità di superficie per un'area $\Delta\mu$

X0 maggiore è N0, maggiore è la dose totale al paziente, X0 è dose di N0

Bisogna fare il compromesso minimo misurabile è

$$\left[C < \frac{1}{N_0} \right] \rightarrow \text{min}$$

Bisogna fare un compromesso tra C, N0, dose erogata, quindi si ricomincia fissato N0, C, \exists una dimensione di rumore minimo Δx rivelabile



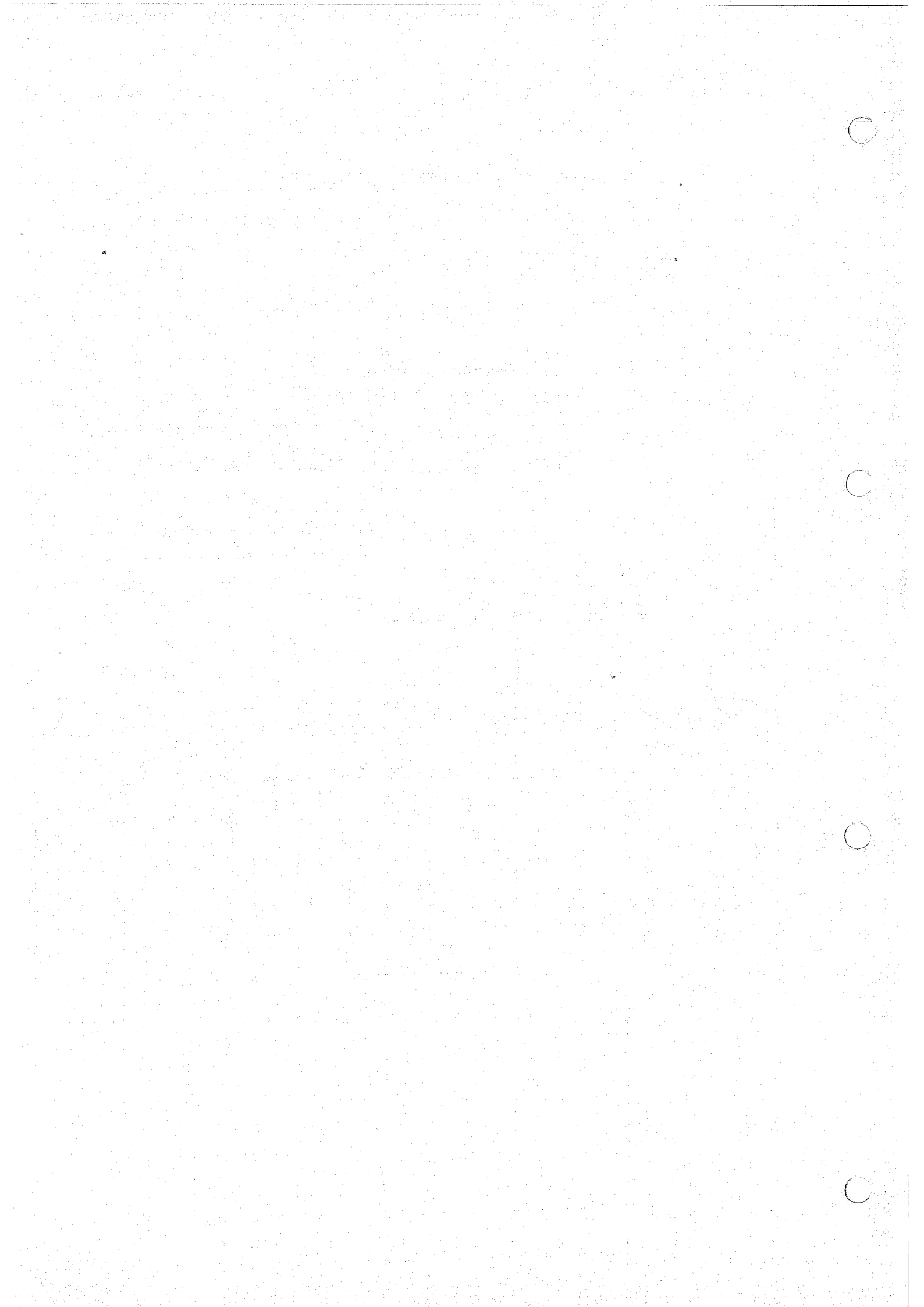
Contrasto minimo per vedere un Δx data la dose.

Dosi tipiche ~ $\frac{mGy}{cm^2}$

Da uno che lavora con vertebri massimo 20 mGy/anno

" normale ~ 1 mGy/anno

La soluzione parziale del rivelatore: griglia singola + filtro finché è costante da raggi che passano e attenuato del 20%



Nella mammografia

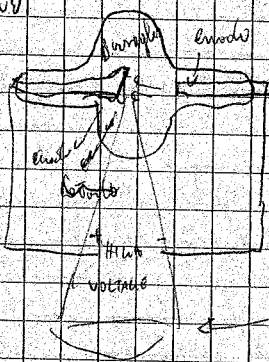
Dose a 3 mAs

E=20keV

Tube e kappia

Uscita vuoto

per effetto termionico vengono emessi e che vanno nel bersaglio ed emettono x per bremsstrahlung



(20-50 kV peak)

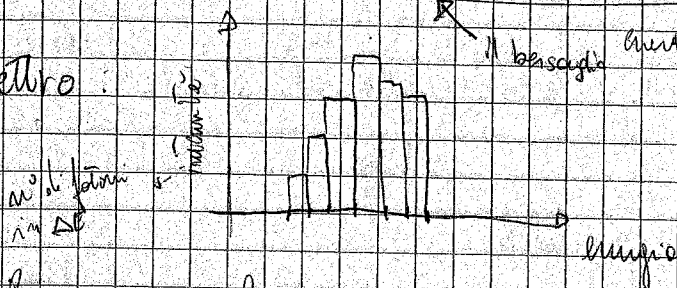
Il tubo è progettato per far uscire

di raggi solo in una certa zona

senza perdite 1%

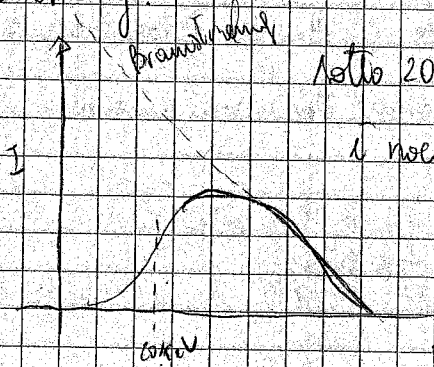
A sono dei filtri per passare le energie più basse (molte) e più alte (marche). Come materiale a seconda dell'angolo del filo (diffusione)

Spettro:



Per DE → ho una curva continua

Curve di Bremsstrahlung:

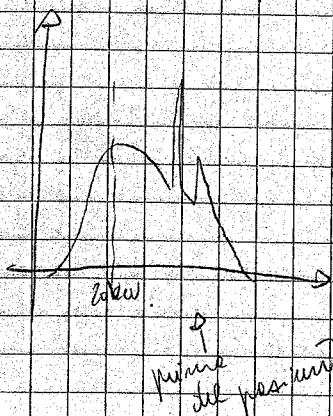


Noto 20 keV anni molte emissioni che

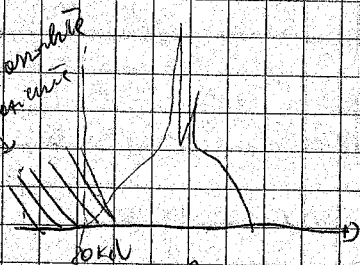
il numero di fotoni inferiori

quelli superiori che si vedono poco

intorno a 20 keV

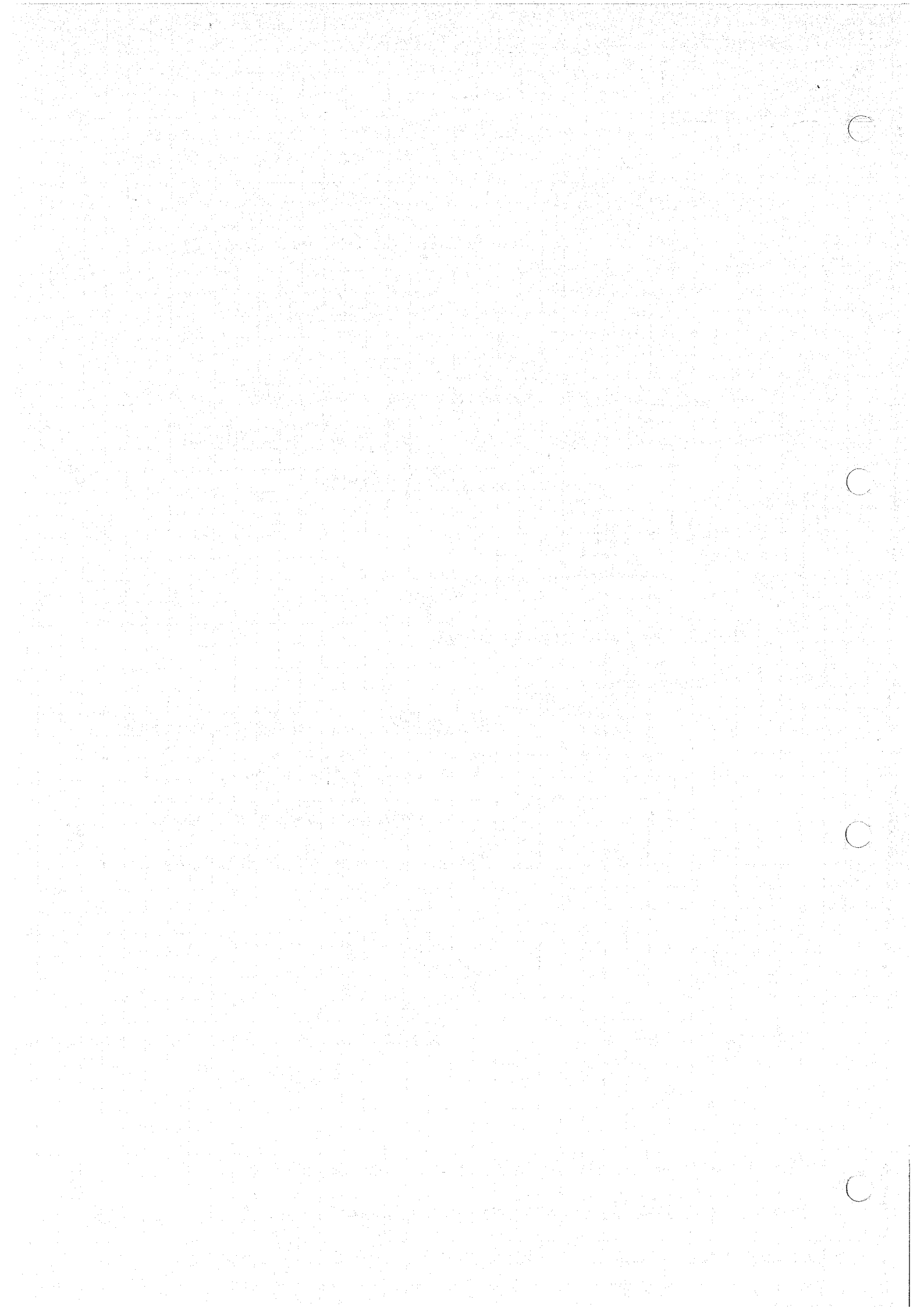


parte superiore del massimo



Nella mammografia si vuole avere il 55% dei fotoni incidenti

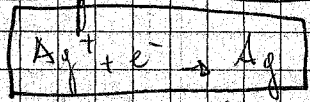
Si usano anodi rotanti x farlo mescolare meno, così gli i colpiscono da varie parti del bersaglio e si migliora l'efficienza.



Lente radiografica

Le cellule ricoperte da Bromuro e argento $Ag^+ 3Br^-$

Quando il fotone batte sulla lente riducono Ag^+

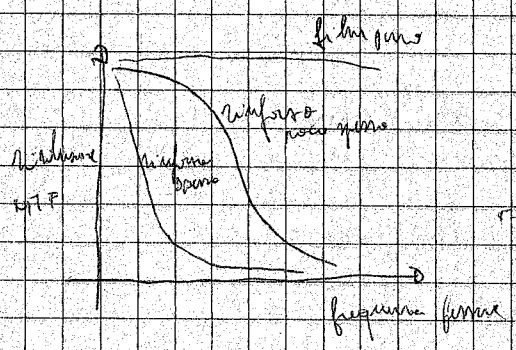


Dopo l'azione si forma Ag , col grande Ag nero molto contrastato, il suo fondo, nebbia, bianca area dure

Una lampo bene efficiente (5%) ma grande irradiazione (25 μm)

Ma le lenti sono più sensibili alle lunghezze d'onda non il visibile.

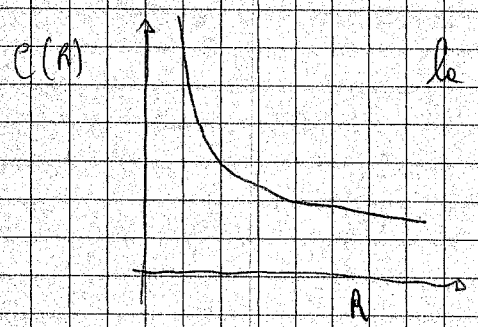
Schermi di rinforzo che assorbono gli x ed emettono nel visibile, x^- diminuisce la irradiazione



Le minime deviazioni ottiche percepibili col nostro occhio è 1%

equivalente a $I_c = \frac{I_{2,5\text{mm}}}{I_{1\text{mm}}} = 0,377$ rapporto tra il raggio tremendo e vicino.

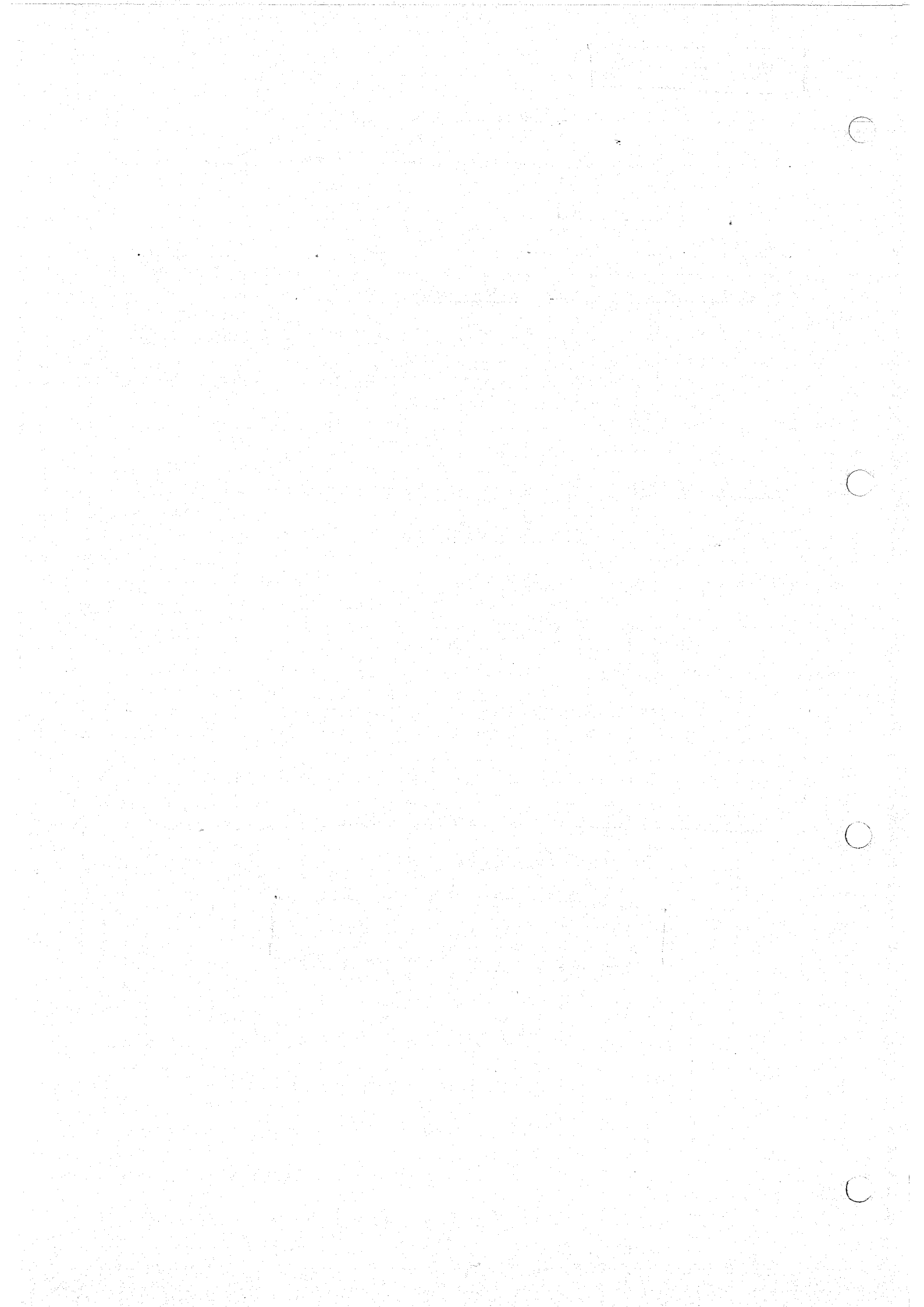
dal $C = \frac{I_c}{I_1} = 2,5\%$ contrasto minimo rilevabile con lo spettroscopio.

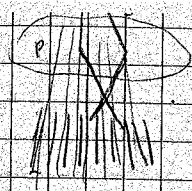


La riduzione necessaria sarà molto con il aumento di seconda.

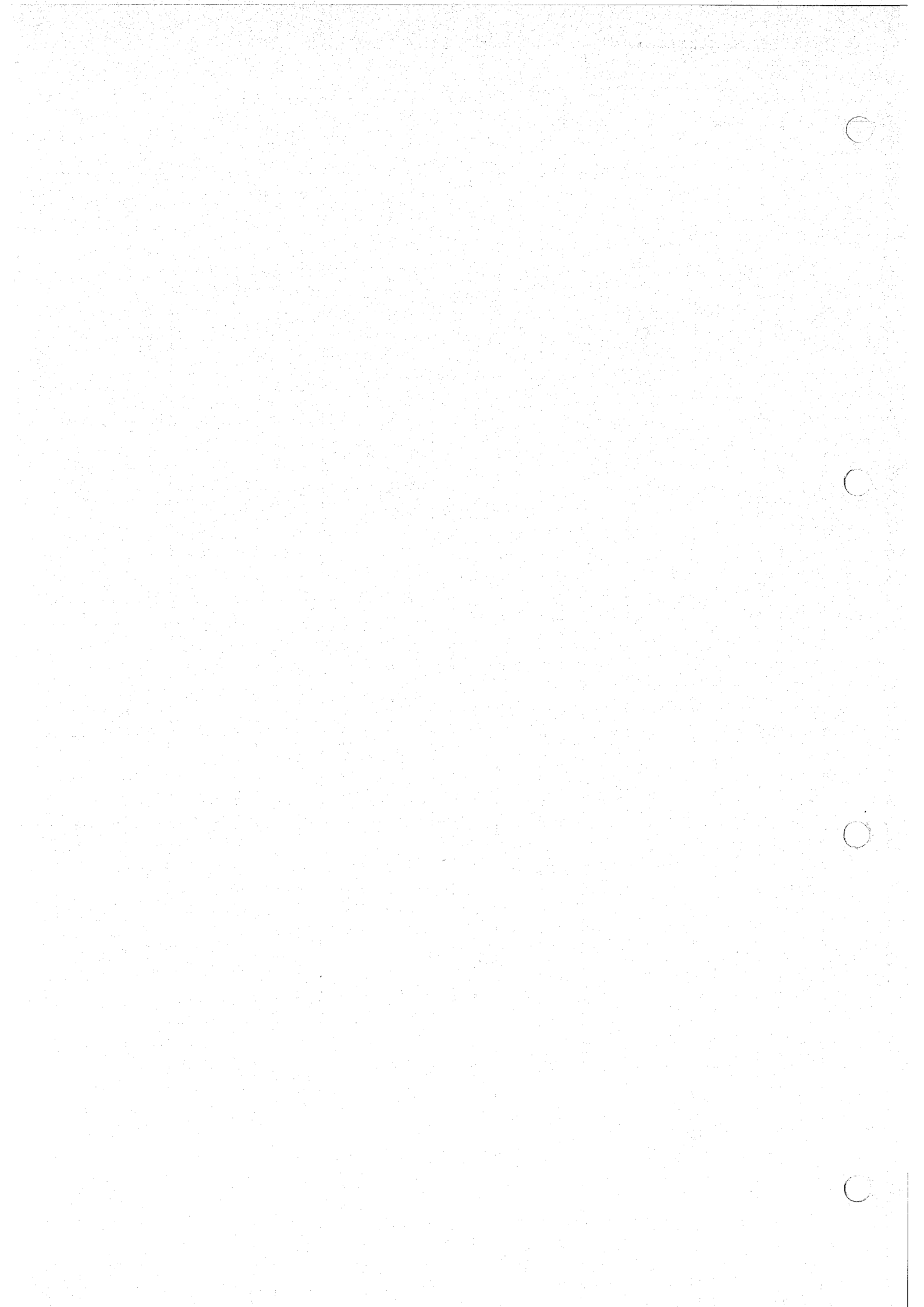
Si mette una griglia di piombo con di reti sottili, paralleli secondo la

geometria proiettiva, cioè i raggi che ci passano hanno partire dal tubo e arrivare di tutti fino al retina





con i nodi vengono ~~risolti~~ molto
e R \rightarrow e il contorno trab e
quello nominali quello (unico nono R)



29/05/09

Radiografia digitale

limiti della lastra: efficienza bassa, funzione da rivelatore ^{di} display
da materiale da archivio.

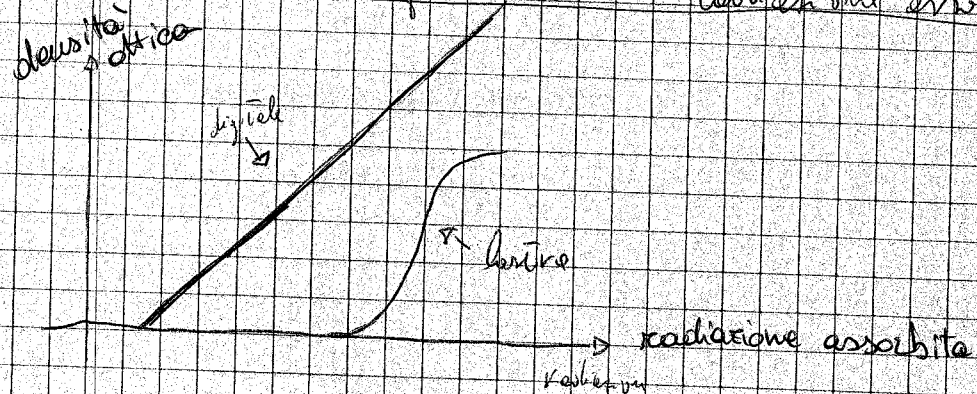
=> radiografi digitali: come solo il rivelatore: è un rivelatore
diviso dalla fisica delle particelle.

Lastra: immagine analogica: continuo tra i contrasti, n° val.

Digitale, elemento di risoluzione finito pixel. Ad ogni pixel è associato
un n° intero proporzionale ai fotoni ^{prodotti} assorbiti, è una matrice quello
che si fa e emissione e questo ~~è~~ una scala di colori (grigio, altri)
e ad ogni n° è associata una certa tonalità di grigio.

Vantaggi: rivelatore, display, emissione mono diriz, alta efficienza (2 str)
=> meno dose al paziente.

Range dinamico: limiti ottici in funzione dello assorbimento espositore.



Si possono manipolare le immagini con programmi per poter migliorare
meglio certi dettagli.

es: 1023 bit ^{+ per info}
 500 bit
 2 quadruplica informazioni
 0 bit ^{+ 100 bit}

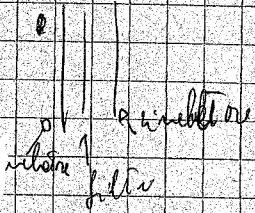
Se si associa ad ogni pixel un bit 0 e 2^{m-1} con m n° di bit del contorno
per amplificare le differenze tra 2 cose simili



C'è stato un'evoluzione: scintillatore accoppiato a CCD (indiretto),
come sempre (scintillatore a potassio)

scintillatore diretto raggio assorbito da un solido, effetto
 fotoelettrico e in SV corrente.

la radiografia digitale è usata per esami dove c'è bisogno di alta risoluzione
 in mammografia talvolta è adoperata con maschi di contrasto. Si fa
 l'immagine senza, con e poi si sottraggono. Oppure dual image, cioè



con due rivelatori
 e un filtro in
 mezzo.

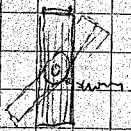
TAC (70)

Radiografia è sempre immagine in 2d, contrasto minimo misurabile
 è 3%, problema per dettagli nei tessuti molli.

Con la Tec si usano sempre gli stessi raggi, so posso fare tante
 uscite trasverse, in piena dimensione e poi ricombinate per avere
 l'immagine in 3d.

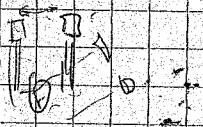
Vere geometrie.

1° si fa una scansione e poi si fine



scansione hanno una probabilità maggiore di
 rivelatore non essere nullo. Campi lunghi.

2° 2 rivelatori, stesso processo



3°



tubo con filamenti
 opposti, nei nodi

4



si illumina una
 porzione di tubo e
 si gira il tubo.



① con pannello di rilevatori, immagine anche nel metabolismo

② raggi x e luce

~~Electroni che
rimangono~~

~~non~~

non rimane neanche nel tubo

rivelatori

Camera e ionizzazione, quindi con eyes, si misura lo X-ray Efficienza del 50%
scintillatori e cristalli accoppiati con foto diodi o moltiplicatori.
70% efficienza

Algoritmi di ricostruzione delle immagini basati su Trasformata di Fourier in
altri termini molto difficili da spiegare e lenti. campo di ricerca
con questi si ricostruisce l'immagine che 2D o 3D, ma si definiscono
i valori in base ai coefficienti di movimento che si misurano e determinano.

Scale di Hounsfield

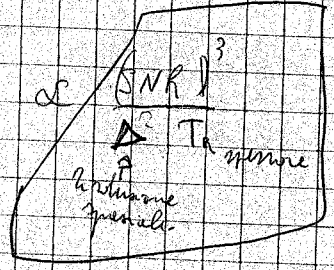
$$\frac{1000 \mu - \mu_{H_2O}}{\mu_{H_2O}}$$

μ relativo al μ dell'acqua

Spazi del monitor \neq spazi dell'occhio
64

Si vedono differenze relative tra μ di 0,5% con contrasto di 0,02%,
risoluzione spaziale di solo $\Delta x = 1,52 \text{ mm}$

Dose nelle Tec





Fisica Applicata
3^a Prova in itinere - 27.05.08

- ✓ 1. La dose massima ammessa per i ricercatori che operano in ambienti ove è presente radiazione γ è di 0.6 mrem/h. Valutare la distanza di sicurezza da una sorgente di ^{60}Co , la quale ha un'attività che produce una dose equivalente di 2,7 mrem/h alla distanza di un metro. Se la sorgente viene utilizzata in un contenitore di piombo che riduce l'emissione γ al 2%, fino a quale distanza si possono avvicinare i ricercatori?
- ✓ 2. Sapendo che il periodo di dimezzamento del Polonio ^{210}Po è 138 giorni, calcolare l'attività espressa in curie di un grammo di elemento.
- ✓ 3. Per un'energia fissata di raggi X, supponete di avere un particolare con coefficiente di assorbimento $\mu_1=0,90 \text{ cm}^{-1}$ e spessore 1.2 cm, immerso in un tessuto omogeneo con $\mu_2=0,87 \text{ cm}^{-1}$. Calcolare il contrasto del particolare
 - a) in assenza di scattering;
 - b) in presenza di scattering quando $R=0.95$;Dire inoltre se il particolare è visibile ad occhio nudo, dandone una spiegazione sia in caso affermativo che negativo.
- ✓ 4. Un tessuto biologico viene irradiato con raggi gamma la cui EBR è 0.7 per questo tipo di campione. La dose assorbita di raggi gamma è 850 rad. Il tessuto viene poi esposto a neutroni la cui EBR è 3,5. La dose equivalente dei neutroni è pari a quella dei raggi gamma. Quanto vale la dose assorbita dai neutroni in Gy?
- ✓ 5. Un fisico vuole progettare un ciclotrone per accelerare protoni all'energia di 10 MeV. Il magnete usato produce un campo magnetico di 0,50 T. Si determini:
 - a. il raggio del ciclotrone;
 - b. la corrispondente frequenza dell'oscillatore.
6. Descrivete in modo sintetico (tipo slide da lezione) i principi fisici della Risonanza Magnetica Nucleare e la sua applicazione nella diagnostica medica per immagini.



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI SIENA
 Facoltà di Scienze M.F.N.
 Corso di Laurea in Fisica e Tecnologie Avanzate

Fisica Applicata
 Prova 1° Appello - 17.06.08

1. Elencare i parametri fisici della RMN dandone per ciascuno una breve definizione.

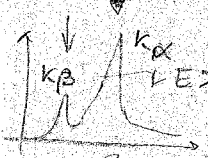
2. Calcolate l'attività del ^{14}C corrispondente a 1 g di ^{12}C in un organismo vivente, assumendo che il rapporto tra il numero di atomi di ^{14}C e il numero di atomi di ^{12}C in un organismo sia $^{14}\text{C}/^{12}\text{C} = 1.35 \times 10^{-12}$. ($T_{1/2}$ del $^{14}\text{C} = 5730$ anni)

3. Un'operaio di peso 70 Kg, addetto ad un'impianto di un reattore autofertilizzante ha accidentalmente ingerito 2.5 mg di polvere di ^{239}Pu . Il ^{239}Pu ha un tempo di dimezzamento di 24100 anni per il decadimento alfa. L'energia delle particelle alfa emesse e' di 5,2 MeV con EBR=13. Supponete che il plutonio risieda nel corpo dell'operaio per 12 ore e che il 95% delle particelle alfa si fermi dentro il suo corpo. Calcolate:

- a) Il numero di atomi di plutonio ingeriti
- b) Il numero che decade entro le 12 ore
- c) L'energia assorbita dal corpo
- d) La dose fisica risultante in Gray
- e) La dose biologica equivalente in Sievert

4. Un' espressione empirica per la distanza che una particella α può percorrere in aria, chiamata range, è $R(\text{cm}) = 0.31E^{3/2}$ dove E è espressa in MeV. Qual'è il range in aria di una particella α di 5 MeV? Esprimere questo range in g/cm^2 , usando $\rho = 1.29 \times 10^{-3} \text{ g}/\text{cm}^3$. Assumendo che il range in g/cm^2 , è lo stesso nell'alluminio ($\rho = 1.29 \times 10^{-3} \text{ g}/\text{cm}^3$). Trovare il range nell'alluminio in cm per una particella α di 5 MeV.

Valore del picco
 il minimo per avere i picchi



Do. come ESTREMO INFERIORE che il più grande dei minimi

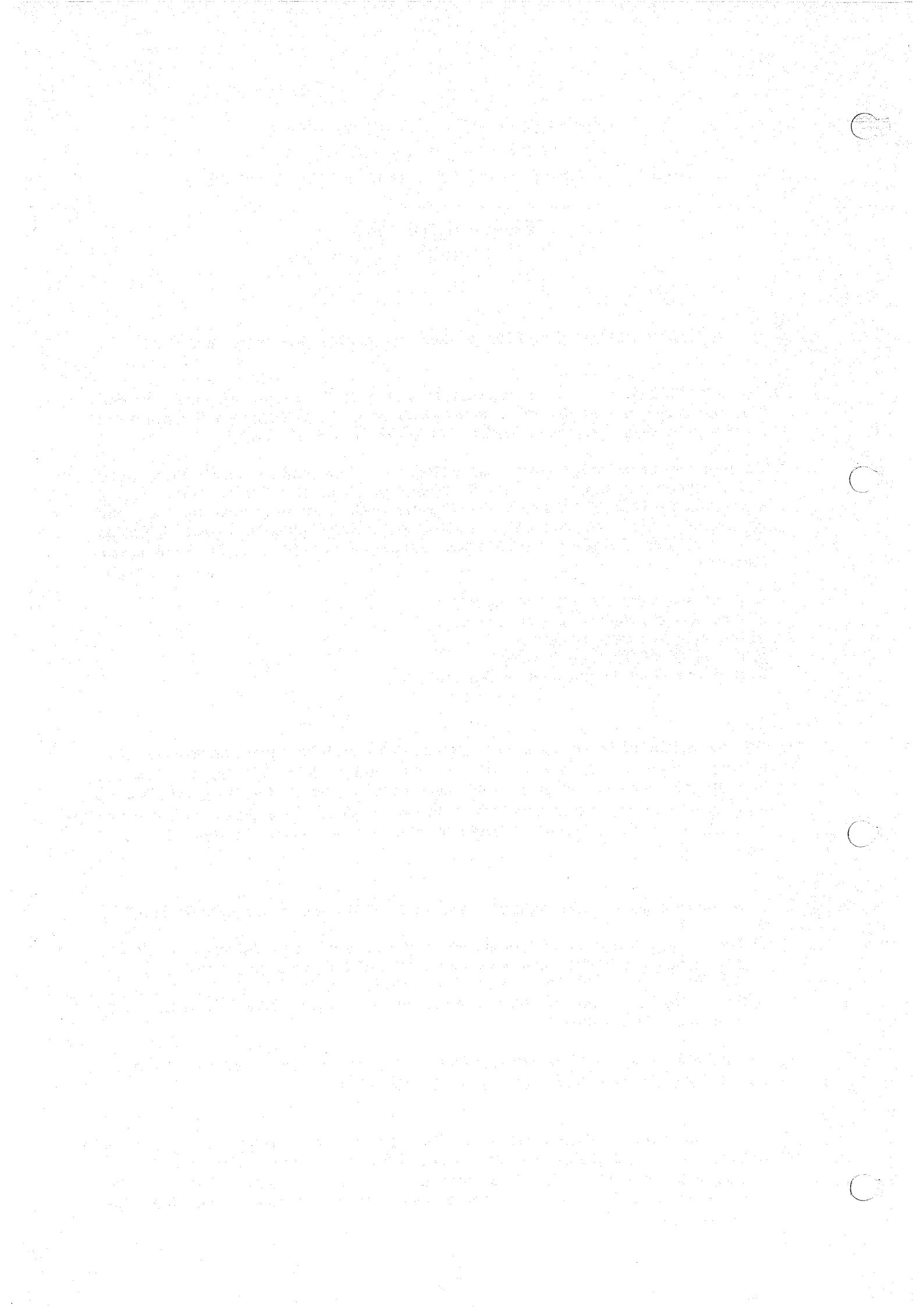
5. In un tubo a raggi X un bersaglio di tungsteno ($Z=74$) viene bombardato da elettroni.

- a) Qual'è il valore minimo del potenziale di accelerazione che consente la produzione delle righe caratteristiche corrispondenti a 58 e 67.7 KeV del tungsteno?
- b) Per un tale potenziale di accelerazione qual'è il valore della lunghezza d'onda minima dei fotoni prodotti?

[Si ricordi che la carica elettrica dell'elettrone è pari a $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, e che la costante di Planck è $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$, e la velocità della luce è $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$]

6. Quando uno spessore di materiale è inserito tra una sorgente collimata di ^{60}Co ed un rivelatore si trova che i flussi dei raggi γ emessi dalla sorgente rispettivamente di 1.17 e 1.33 MeV sono ridotti rispettivamente al 62 ed al 65 % del loro valore iniziale (senza l'assorbitore). Calcolare il rapporto tra i coefficienti di attenuazione lineare per le due energie.

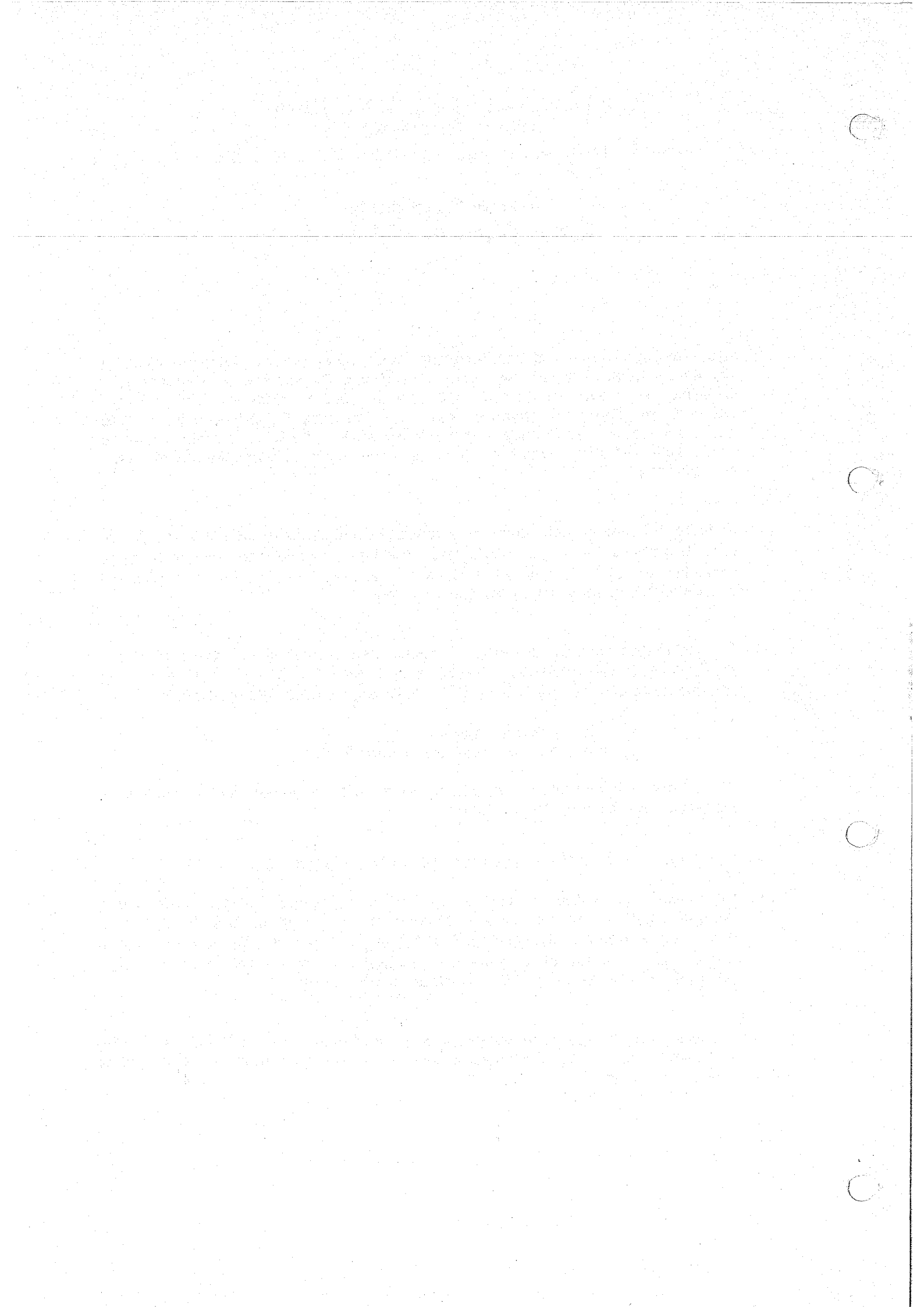
corrisponde $V > 0$, il potenziale minimo che consente la produzione non solo del picco $K\alpha$ corrispondente ma anche del $K\beta$ che ha V minore



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI SIENA
Facoltà di Scienze M.F.N.
Corso di Laurea in Fisica e Tecnologie Avanzate

Fisica Applicata
Prova d'Appello – 24.07.08

1. Attualmente, in Italia, la dose equivalente massima di radiazione per una persona professionalmente esposta (PE) è di 5 rem/anno. Un'infermiera, nonostante le schermature, riceve una dose di radiazioni di 0,002 Sv ogni volta che adopera una certa sorgente radioattiva per applicazioni mediche. Quante volte in un anno può esserle permesso di adoperare tale sorgente? Se l'efficacia biologica relativa (EBR) della radiazione usata è 0,5 si calcoli la dose assorbita in rad per ogni esposizione.[7]
2. Scrivere le relazioni generiche che descrivono i decadimenti radioattivi α , β^+ , β^- e γ . Esprimere inoltre la condizione affinché i decadimenti suindicati siano possibili, nonché le caratteristiche della radiazione osservabile. Per esempio, nei decadimenti α la radiazione è monocromatica?
3. Per un'energia fissata di raggi X, supponete di avere un particolare con coefficiente di assorbimento $\mu_1=0,85 \text{ cm}^{-1}$ e spessore 2.0 cm, immerso in un tessuto omogeneo con $\mu_2=0,80 \text{ cm}^{-1}$. Calcolare il contrasto del particolare
 - a) in assenza di scattering;
 - b) in presenza di scattering quando $R=0.25$;Dire inoltre se il particolare è visibile ad occhio nudo, dandone una spiegazione sia in caso affermativo che negativo.
4. Quale è la massa di ^{226}Ra necessaria per avere un'attività di 3,7 mCi?
5. Un protone, un deutone (nucleo del deuterio) ed una particella α con la stessa energia cinetica entrano in una regione di campo magnetico \mathbf{B} uniforme, muovendosi perpendicolarmente a \mathbf{B} . Il protone si muove su una circonferenza di raggio R_p . In termini di R_p quali sono i raggi delle orbite del deutone e della particella α ? [Deutrone $q=+e$ $M=2M_p$, α $q=+2e$, $M=4M_p$]
6. Il coefficiente di assorbimento lineare di un materiale è pari a 0.055 mm^{-1} . Che percentuale di un fascio monocromatico viene assorbita attraverso 10 mm di questo materiale?



Fisica Applicata - esercizi

1) Presenza di radiazione γ . Dose max ammessa: $0,6 \text{ mrem/h}$.

- Valutare distanza di sicurezza da sorgente di ^{60}Co che produce $2,7 \text{ mrem/h}$ a un metro di distanza.

$$2,7/0,6 \approx 4,5 \quad \text{si vuole "attenuare" di un fattore } 4,5 \text{ la dose.}$$

$$\text{Per } 1/r^2 \quad d = \sqrt{4,5} = 2,12 \quad d_{\text{MIN}} = 2,12 \text{ m}$$

- Contemitore di piombo ridurre emissioni γ al 2%. Nuova distanza minima?

$$\left(\frac{2}{100}\right) 2,7 \text{ mrem/h} = 0,054 \text{ mrem/h} \quad d'_{\text{MIN}} = \sqrt{0,054/0,6} = 0,3 \text{ m}$$

2) $T_{1/2}$ del ^{210}Po = 138 g . R espressa in Ci di 1 g di ^{210}Po = ?

$$\lambda = \ln 2 / T_{1/2} = 5,8 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1} \quad R = \lambda N = \lambda N_A / A =$$

$$= 2 \cdot 6,022 \cdot 10^{23} / 210 = 1,67 \cdot 10^{14} \text{ Bq} =$$

$$= 4,5 \cdot 10^3 \text{ Ci}$$

3) Particolare con $\mu_1 = 0,9 \text{ cm}^{-1}$ e $\Delta x = 1,2 \text{ cm}$, immerso in tessuto con $\mu_2 = 0,87 \text{ cm}^{-1}$.

- Contrasto in assenza di scattering?

$$C = |I_1 - I_2| / I_1 = [1 - e^{-(\mu_2 - \mu_1)\Delta x}] / (1 + R)$$

$$R=0 \Rightarrow C = 1 - e^{-(\mu_2 - \mu_1)\Delta x} = 1 - e^{-1,2 \cdot 0,03} = 0,035 = 3,5\%$$

- Contrasto in presenza di scattering quando $R = 0,95$?

$$C' = C / (1 + 0,95) = 0,018 = 1,8\%$$

- Il particolare è visibile ad occhio nudo?

Il contrasto minimo rivelabile ad occhio nudo è del 2,5%;

quindi, nel primo caso il particolare è visibile, nel secondo no.

4) Tessuto irradiato con γ da $\text{EPR} = 0,7$. Dose assorbita di $\gamma = 850 \text{ rad}$.

Poi neutroni da $3,5 \text{ ebr}$. Dose eq. neutroni = Dose eq γ .

Quanti Gy di neutroni?

$$0,7 \cdot 850 = 3,5 \cdot x \quad x = 170 \text{ rad} = 1,7 \text{ Gy}$$

5) Ciclotrone per accelerare protoni a 10 MeV . Magnete da $0,5 \text{ T}$.

- Raggio del ciclotrone?

$$m v^2 = q v B / R \Rightarrow R = \frac{m v}{q B}$$

$$T = 10 \text{ MeV} = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m \omega^2 r^2 = \frac{1}{2} m \left(\frac{q B}{m}\right)^2 r^2 = \frac{1}{2} \frac{q^2 B^2 r^2}{m}$$

$$r^2 = \frac{2 T m}{q^2 B^2} \quad r = \frac{\sqrt{2 T m}}{q B} =$$

$$10 \text{ MeV} = 16 \cdot 10^{-13} \text{ J} \Rightarrow r = 0,9 \text{ m}$$

• Frequenza dell'oscillatore?

$$\gamma = qB / 2\pi m = 7,6 \text{ MHz}$$

6) Descrizione sintetica RMN.

Un campione di sostanza è posto in un intenso campo magnetico che agisce sugli spin dei nuclei atomici, orientandoli secondo una determinata direzione.

Un'onda radio attraversa il campione e produce un nuovo orientamento degli spin. Quando l'onda viene rimossa, i nuclei emettono un impulso di energia che fornisce informazioni sulla struttura molecolare della sostanza; queste informazioni possono essere trasformate in immagine utilizzando tecniche computerizzate.

PRO: no dose di radiazioni ionizzanti

CONPRO: no pazienti con protesi metalliche

1) Parametri fisici?

Contrasto: minima differenza rilevabile tra due zone

Rumore: quantità di segnali di fondo, non derivanti dall'analisi del campione (fotoni secondari sparpinati)

Risoluzione spaziale: grandezza (in superficie) del più piccolo dettaglio visualizzabile dal rivelatore (minimo distanza)

2) Attività del ^{14}C corrispondente ad 1g di ^{12}C in un organismo vivente, sapendo che $^{14}\text{C}/^{12}\text{C} = 1,35 \cdot 10^{-12}$, e $T_{1/2} = 5730$ anni.

$$N = \frac{^{14}\text{C}}{^{12}\text{C}} \cdot \frac{1\text{g}}{12} \approx 6,8 \cdot 10^{10} \quad \lambda = \ln 2 / T_{1/2} = \dots$$

$$R = \lambda N = 8,2 \cdot 10^6 [\text{anni}^{-1}] = 0,26 \text{ Bq}$$

3) Uomo di 70 kg ingerisce 2,5 mg di ^{239}Pu . Il ^{239}Pu decade α con $T_{1/2} = 24100$ anni. L'eu. delle α emesse è 5,2 MeV, con $\overline{\text{EBR}} = 13$. Il ^{239}Pu si ferma nel corpo per 12 ore ed il 95% delle α viene assorbito.

• numero di atomi ingeriti?

$$N = 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot N_A / A \approx 6,3 \cdot 10^{18}$$

- numero di atomi che decade in 12 ore?

$$\lambda = \ln 2 / T_{1/2} \quad N_{d,12} = N - N e^{-\lambda t}$$

$$\lambda = 3,28 \cdot 10^{-9} \text{ h}^{-1} \quad N_{d,12} = N(1 - e^{-\lambda t}) \approx 2,5 \cdot 10^{11}$$

- energia assorbita dal corpo?

$$E_a = 95\% \cdot N_{d,12} \cdot E_{\alpha} = \frac{95}{100} \cdot 2,5 \cdot 10^{11} \cdot 5,2 \cdot 10^6 \text{ eV} = 1,23 \cdot 10^{18} \text{ eV} = 1,23 \cdot 10^6 \text{ TeV}$$

- dose fisica risultante in Gy?

$$E_a = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,23 \cdot 10^{18} \text{ J} = 0,2 \text{ J}$$

$$D = E_a / m = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ Gy}$$

- dose biologica eq. in Sv?

$$H = 13 \cdot D \approx 0,04 \text{ Sv}$$

4) α in aria. $R = 0,31 \cdot E^{3/2}$ cm. E in MeV.

- Range di un' α di 5 MeV?

$$R_{5\text{MeV}} = 0,31 \cdot 5^{3/2} = 3,47 \text{ cm}$$

- Esprimere il range in g/cm^2 , usando $\rho = 1,29 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^3$

$$\rho R_{5\text{MeV}} = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^2$$

- Assumendo che ρR in aria sia uguale a ρR in alluminio, trovare R_A in alluminio ($\rho = 2,7 \text{ g/cm}^3$)

$$\rho_A R_A = \rho_{\text{air}} R_{\text{air}} \quad R_A = \frac{\rho_{\text{air}} R_{\text{air}}}{\rho_A} = 1,66 \cdot 10^{-3} \text{ cm}$$

5) Tubo a raggi X con bersaglio di Tungsteno ($Z=74$) bombardato da elettroni.

- Potenziale minimo per le righe caratteristiche del tungsteno a 58 keV e a 67,7 keV?

$$58 \text{ kV} \quad (\text{e } \underline{67,7 \text{ kV}})$$

- Per un tale potenziale, qual è la lung. d'onda minima dei fotoni prodotti?

$$\lambda_{\text{min}} = hc / eV = 2,13 \cdot 10^{-11} \text{ m} \quad \text{a } 58 \text{ keV};$$

$$\underline{1,83 \cdot 10^{-11} \text{ m}} \quad \text{a } 67,7 \text{ keV}$$

6) Δx di materiale inserito tra una sorgente di ^{60}Co ed un rivelatore.

I raggi γ emessi dalla sorgente vengono ridotti: quelli da 1,17 MeV al 62%, quelli da 1,33 MeV al 65%. Calcolare il rapporto fra i coefficienti di attenuazione per le 2 energie.

$$I_1(x) = I_0 e^{-\mu_1 x} \quad I_1(x) = 1,17 \text{ MeV} \cdot 62/100 =$$

$$= 0,7254 \text{ MeV} = 725,4 \text{ keV} \quad I_1(0) = 1,17 \text{ MeV} \quad I_2(0) = 1,33 \text{ MeV}$$

$$I_2(x) = 1,33 \cdot 65/100 = 0,8645 \text{ MeV} = 864,5 \text{ keV}$$

$$\frac{I_1(x)}{I_1(0)} = 0,62 = e^{-\mu_1 x} \quad \frac{I_2(x)}{I_2(0)} = 0,65 = e^{-\mu_2 x}$$

$$-\mu_1 x = \ln 0,62, \quad -\mu_2 x = \ln 0,65$$

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{\ln 0,62}{\ln 0,65} = 1,11$$

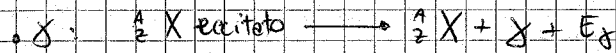
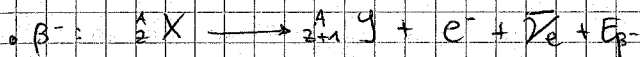
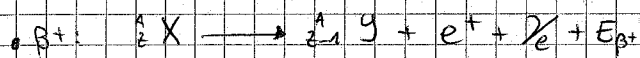
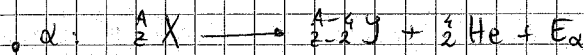
1) Dose eq max per P.E. = 5 rem per anno. Infermiera assume 0,002 Sv ogni volta che fa una cosa. Quante volte in un anno la può fare?

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem} \quad 0,002 \text{ Sv} = 0,2 \text{ rem} \quad 5/0,2 = 25 \text{ volte}$$

• EBR = 0,5. Dose in rad ogni volta?

$$H = \text{EBR} \cdot D \quad 0,2 = 0,5 \cdot D \quad D = 0,4$$

2) Relazioni che descrivono i decadimenti α , β^+ , β^- , γ .



• Condizioni affinché i decadimenti siano possibili?

• α : nucleo pesante

• β^+ : troppi protoni

• β^- : troppi neutroni

• γ : atomo eccitato

• Caratteristiche della radiazione osservabile?

• α : OCM + corpuscolo

• β^\pm : "

• γ : solo OCM (fotoni)

• Nei decadimenti α la radiazione è monocromatica?

No, è sia elettromagnetica che corpuscolare.

- 3) $\mu_x = 0,85 \text{ cm}^{-1}$ per un Δx di 2 cm , immerso in un $\mu_2 = 0,8 \text{ cm}^{-1}$
- Contrasto in assenza di scattering?

$$C = [1 - e^{-(\mu_1 - \mu_2)x}] / (1 + R) \quad R = 0$$

$$C = 1 - e^{-2 \cdot 0,05} = 9,5\% (= 0,095)$$

- contrasto in presenza di scattering con $R = 0,25$?

$$C' = C / (1 + R) = 0,076 = 7,6\%$$

- Il particolare è visibile ad occhio nudo?

Sì, perché vediamo fino ad un contrasto minimo di 2,5%

- 4) Massa di ^{226}Ra per avere $3,7 \text{ mCi}$?

$$3,7 \cdot 10^{-3} \text{ g}$$

- 5) Un protone, un nucleo di deuterio ed una α entrano in un B uniforme muovendosi perpendicolarmente ad esso. Il protone si muove su una circonferenza di raggio R_p .

In termini di R_p , quali sono R_d e R_α ?

$$\boxed{r = m v / q B} \quad E_k, B \text{ costanti}$$

$$R_p = M_p v_p / q_p B \quad M_d = 2 M_p \quad M_\alpha = 4 M_p \quad q_d = q_p \quad q_\alpha = 2 q_p$$

$$\frac{1}{2} M_p v_p^2 = \frac{1}{2} M_d v_d^2 = \frac{1}{2} M_\alpha v_\alpha^2$$

$$M_p v_p^2 = 2 M_p v_d^2 = 4 M_p v_\alpha^2 \quad v_d = \frac{v_p}{\sqrt{2}} \quad v_\alpha = \frac{v_p}{2}$$

$$v_d = v_p \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \quad v_\alpha = v_p / 2$$

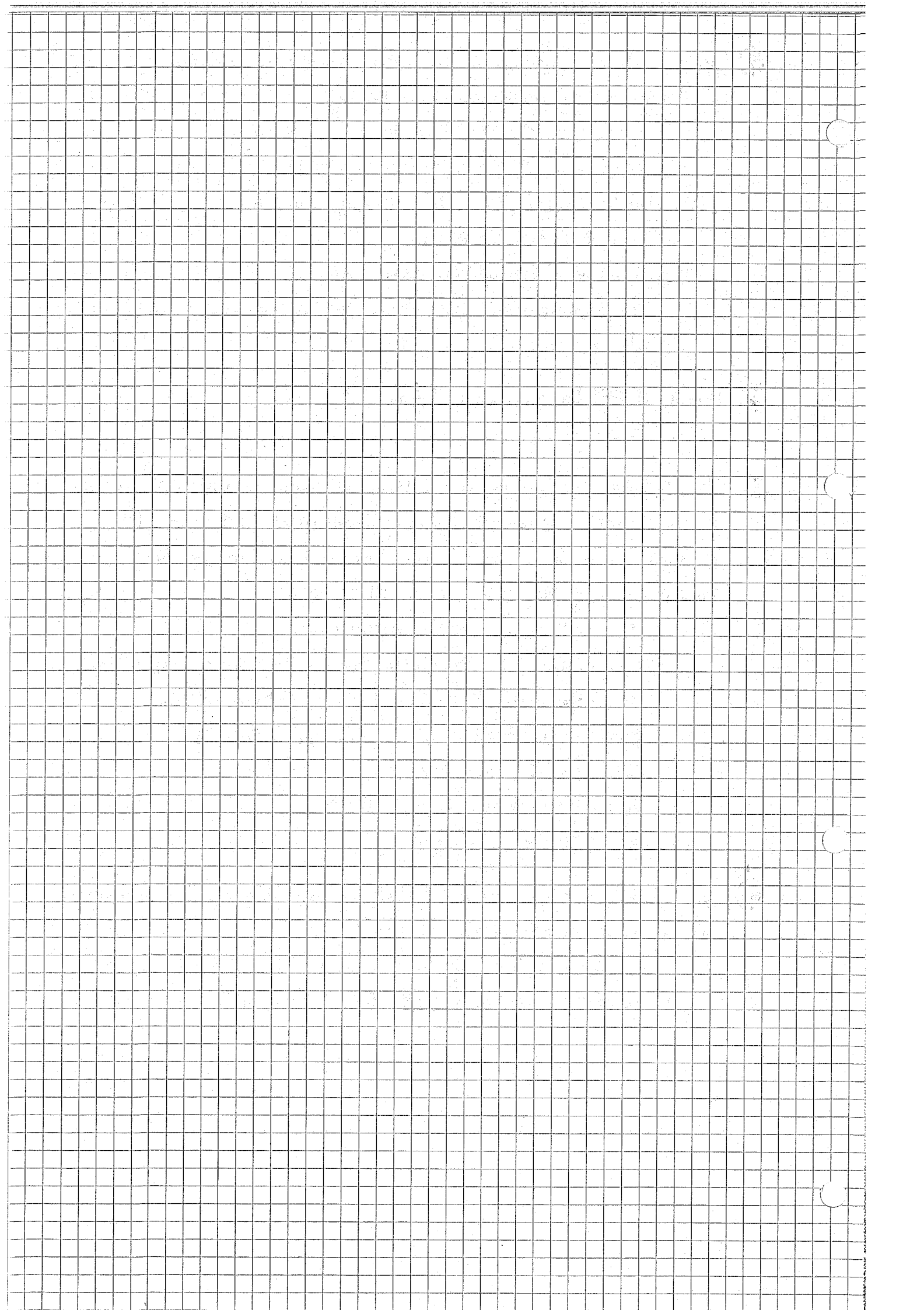
$$R_d = 2 M_p \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} v_p / q_p B = \sqrt{2} R_p$$

$$R_\alpha = 4 M_p \cdot \frac{1}{2} v_p / 2 q_p B = R_p$$

- 6) $\mu = 0,55 \text{ mm}^{-1}$ Che percentuale di un fascio monocromatico viene assorbita attraverso 10 mm ?

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad \frac{I}{I_0} = e^{-\mu x} = 0,576 = 57,6\%$$

$$\text{percentuale assorbita} = 100 - 57,6 = 42,4\%$$



$$\frac{{}^{40}\text{Ar}}{{}^{40}\text{Po}} = 10,3$$

$${}^{40}\text{Po} \rightarrow {}^{40}\text{Ar} \quad T = 1,25 \cdot 10^9 \text{ anni}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = 5,545 \cdot 10^{-10} \text{ anni}^{-1}$$

$N_A = \text{num. atomi di } {}^{40}\text{Ar}$

$N_P = \text{num. atomi di } {}^{40}\text{Po}$

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$N_P = N$$

$$N_A = N_0 - N$$

$$10,3 = \frac{N_0 - N}{N} = \frac{N_0}{N} - 1$$

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$$

$$\frac{N_0}{N} = e^{\lambda t}$$

$$\frac{N_0}{N} = 10,3 + 1$$

$$\ln 11,3 = \lambda t$$

$$t = \frac{\ln 11,3}{\lambda} = 4,372813584 \approx 4,4 \cdot 10^9 \text{ anni}$$

② $t = 260 \cdot 10^6 \text{ anni}$
quanto ${}^{206}\text{Pb}$?

$3,71 \text{ mg di } {}^{238}\text{U}$

$$T_U = 4,47 \cdot 10^9 \text{ anni}$$

$$\lambda = 1,55 \cdot 10^{-10} \text{ a}^{-1}$$

$$m = m_0 e^{-\lambda t}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_U}$$

$$m = 3,71 \text{ mg}$$

$$m_{\text{Pb}} = m_0 - m$$

$$\frac{1}{m} = \frac{1}{m_0} e^{\lambda t}$$

$$m_0 = m e^{\lambda t} = \dots$$

$$\ln \frac{m_0}{m} = \lambda t \Rightarrow \ln m_0 = \lambda t + \ln m$$

$$\ln m_0 = 1,162 \cdot 10^{18} + 1,31$$

$$\ln m_0 = 1,1622 \cdot 10^{18}$$

$$\frac{1}{m} = \frac{1}{m_0} e^{-\lambda t} \Rightarrow \ln \frac{1}{m} = \ln \frac{1}{m_0} - \lambda t = 1,341 - \lambda t = \ln 1 - \ln m_0$$

$$m_0 = e^{1,16 \cdot 10^{18}} = (e^{1,16})^{10^{18}} = (3,2)^{10^{18}} = (111,525, \dots)^{18} = 7,12 \cdot 10^{40} \text{ mg}$$

$$t = 260 \cdot 10^6 \text{ anni}$$

$$m_U = 3,71 \cdot 10^{-6} \text{ Kg} = 3,71 \cdot 10^{-3} \text{ g}$$

$$m_{\text{Pb}} = ?$$

$$T = 4,47 \cdot 10^9 \text{ anni}$$

$$N_A/A = 2,53 \cdot 10^{21}$$

$$m_U \frac{N_A}{A} = N = 9,39 \cdot 10^{18}$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$m = m_0 e^{-\lambda t}$$

$$m_0 = \frac{m}{e^{-\lambda t}} = 3,86 \text{ mg}$$

$$m_{\text{Pb}} = m_0 - m = 0,15 \text{ mg}$$

Handwritten text at the top of the page, possibly a title or header.

Handwritten text in the upper middle section, including some faint mathematical or scientific notations.

Handwritten text in the middle section, featuring several lines of script and some small diagrams or symbols.

Handwritten text in the lower middle section, with a prominent wavy line drawn across the text.

Handwritten text in the bottom section, including a small diagram of a square or rectangle on the left side.