

Interaksi Radiasi dengan Materi



Sulistyani, M.Si.
Email: sulistyani@uny.ac.id



Menurut Anda jika ada sinar radiasi mengenai suatu materi, bagian mana dari materi tersebut yang berinteraksi dengan sinar radiasi yang mengenainya? Apa pula dampaknya terhadap bagian tersebut?

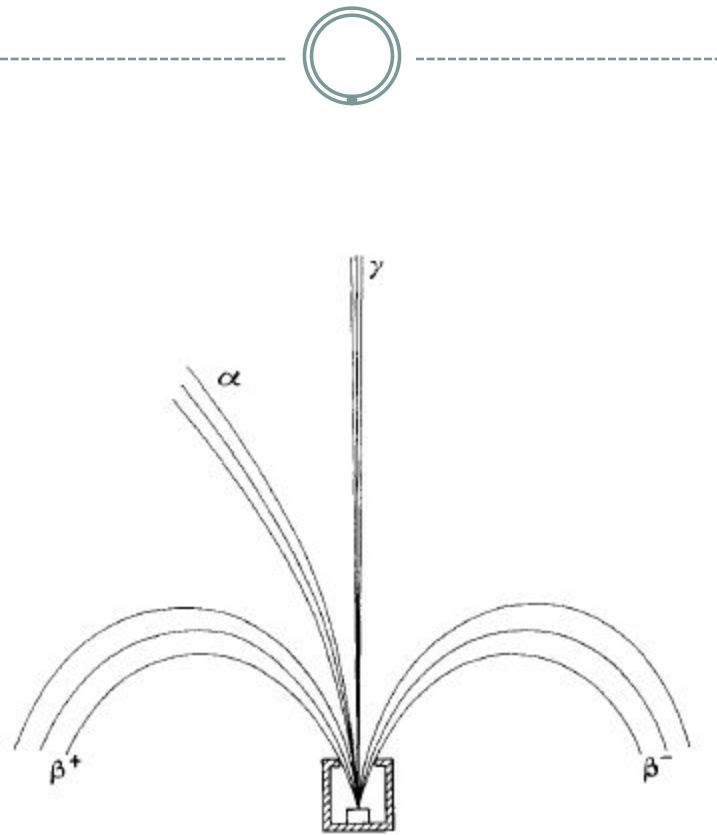
Konsep Dasar



- Interaksi radiasi dengan materi pada dasarnya merupakan interaksinya dengan elektron di dalam orbital atom.
- Interaksi radiasi dengan materi menyebabkan terjadinya ionisasi dan eksitasi.
- Interaksi radiasi dengan inti atom hanya terjadi dengan neutron yang tidak bermuatan sehingga tidak menyebabkan ionisasi.
- Tabrakan elastis neutron dengan inti hidrogen menghasilkan proton pantul (*recoil proton*) yang dideteksi sebagai partikel tidak bermuatan.
- Besarnya energi radiasi ditentukan dengan cara mengukur jangkauan (*range*) radiasi ketika menembus materi, yaitu jarak yang dicapai oleh radiasi berenergi tertentu ketika menembus materi.
- Pengukuran energi radiasi juga dapat ditentukan melalui ketebalan paruh (*half thickness*), yaitu ketebalan materi yang dapat mengurangi intensitas radiasi itu menjadi separuhnya. Dapat juga dengan menentukan ketebalan paruh.

Jangkauan dinyatakan sebagai massa per satuan luas: g.cm^{-2} atau mg.cm^{-2}

Cermati gambar berikut



Behaviour of various kinds of radiation in a magnetic field.

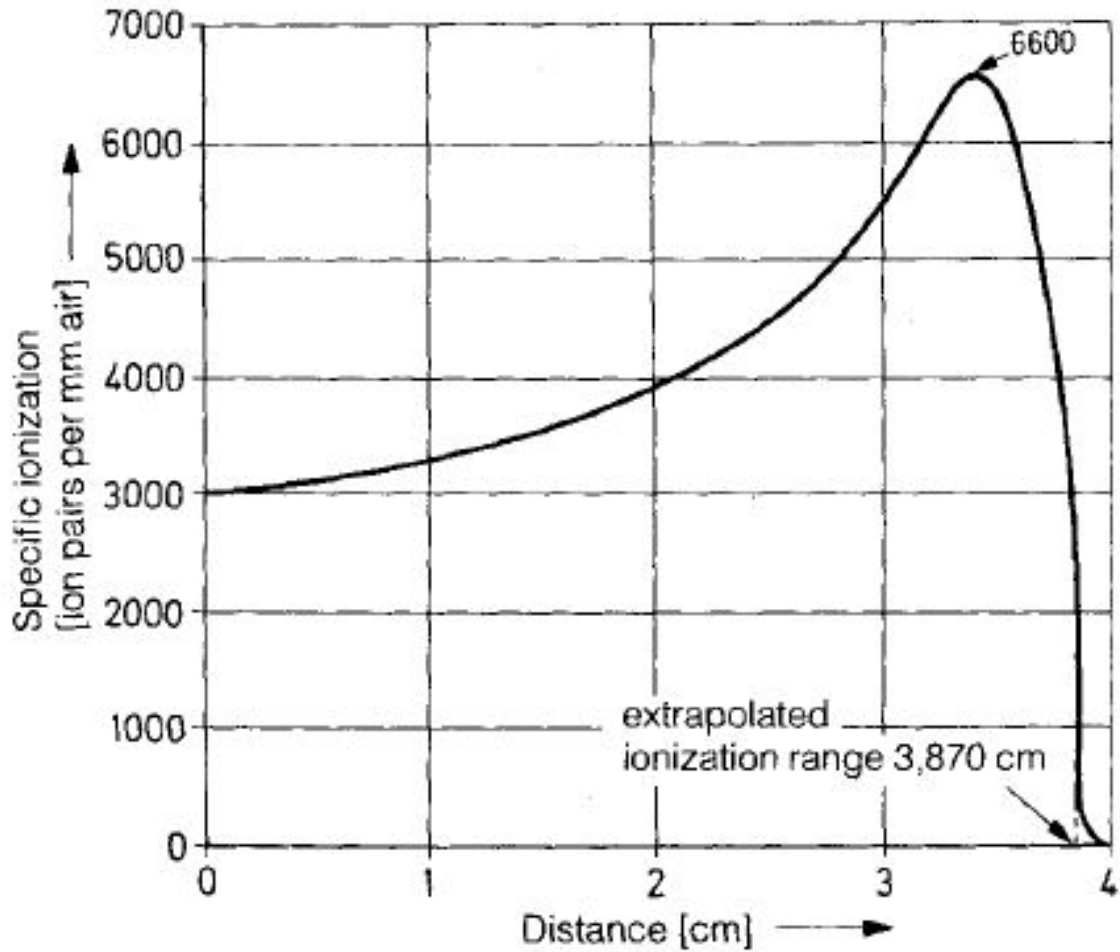


Interaksi Partikel Alfa

Interaksi Partikel Alfa

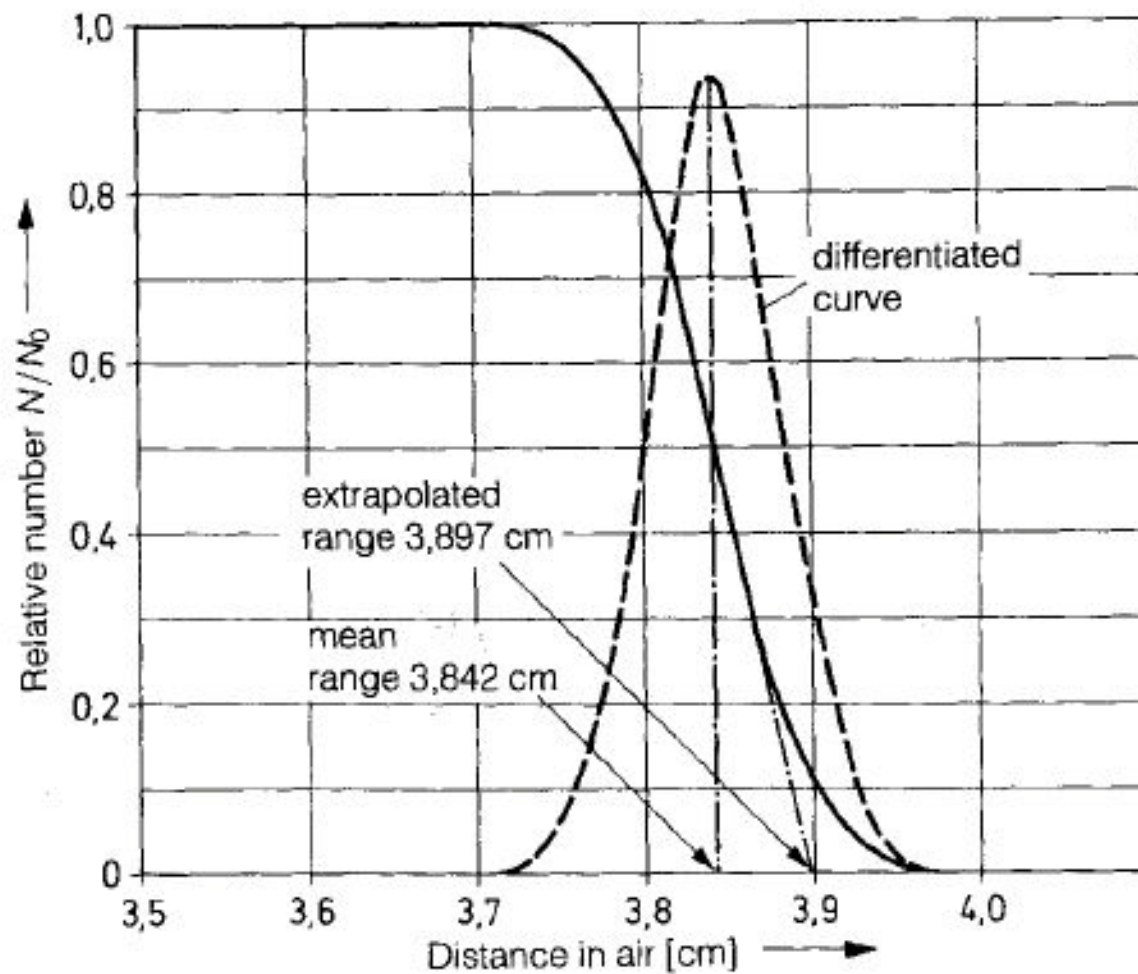


- ✓ Interaksi partikel alfa sangat kuat tetapi pendek.
- ✓ Lintasan partikel alfa saat berinteraksi dengan materi adalah lurus dan menghasilkan pasangan ion dengan kerapatan tinggi di sekitarnya.
- ✓ Partikel alfa yang hilang selama melewati materi hampir seluruhnya karena interaksinya dengan elektron orbital atom, menghasilkan suatu pasangan ion (elektron lepasan dan ion positifnya).
- ✓ Energi rata-rata yang diperlukan untuk membentuk satu pasangan ion di udara adalah 35 eV.
- ✓ Jumlah pasangan ion yang dihasilkan per mm panjang lintasan radiasi inti disebut **ionisasi spesifik**.
- ✓ Ionisasi spesifik (pada 1 atm dan 15°C) pada akhir lintasan dari sebuah partikel alfa (sekitar 7000 pasangan ion per mm panjang lintasannya) lebih besar dari pada awal lintasannya (sekitar 3000 pasangan ion per mm panjang lintasannya).

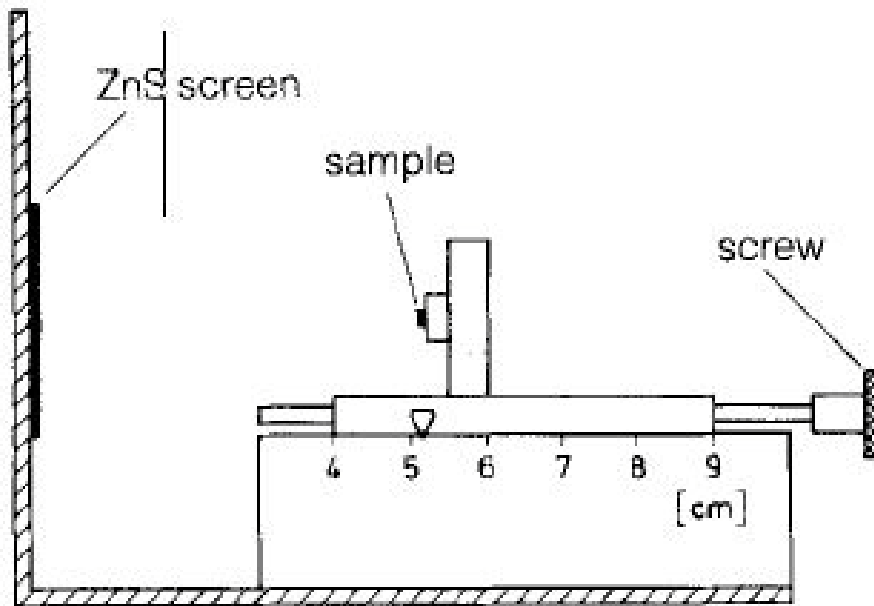


- Jangkau partikel alfa dapat dinyatakan dalam jangkau terekstrapolasi. Dapat pula dinyatakan dalam jangkau rata rata.

Specific ionization of the α particles of ^{210}Po in air.



Relative number of the α particles from ^{210}Po as a function of the distance.



ZnS emits light as long as it is being hit by a particles. At a certain distance between the ZnS screen and the α source the emission of light decreases very fast, indicating the range of the α particles in air.

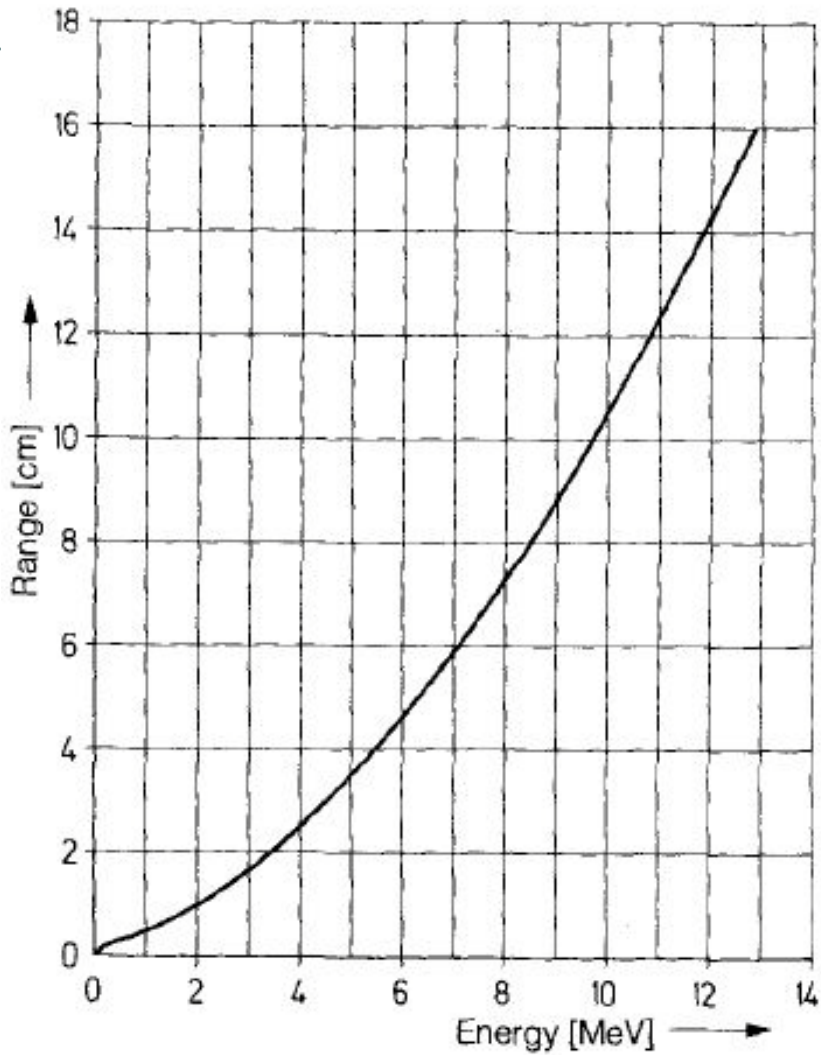
Device for the determination of the range of α particles in air.

Range of the α Particles of ^{210}Po ($E = 7.69 \text{ MeV}$) in Various substances



Substance	Extrapolated range in (cm)	Density (g/cm^3)	Range (mg/cm^2)
Air	6.95	0.001226	8.5
Mica	0.0036	2.8	10.1
Lithium	0.01291	0.534	6.9
Aluminium	0.00406	2.702	11.0
Zinc	0.00228	7.14	16.3
Iron	0.00187	7.86	14.7
Copper	0.00183	8.92	16.3
Silver	0.00192	10.50	20.2
Gold	0.00140	19.32	27.0
Lead	0.00241	11.34	27.3

Selembar kertas tipis atau beberapa cm udara cukup dapat menyerap sempurna radiasi alfa.



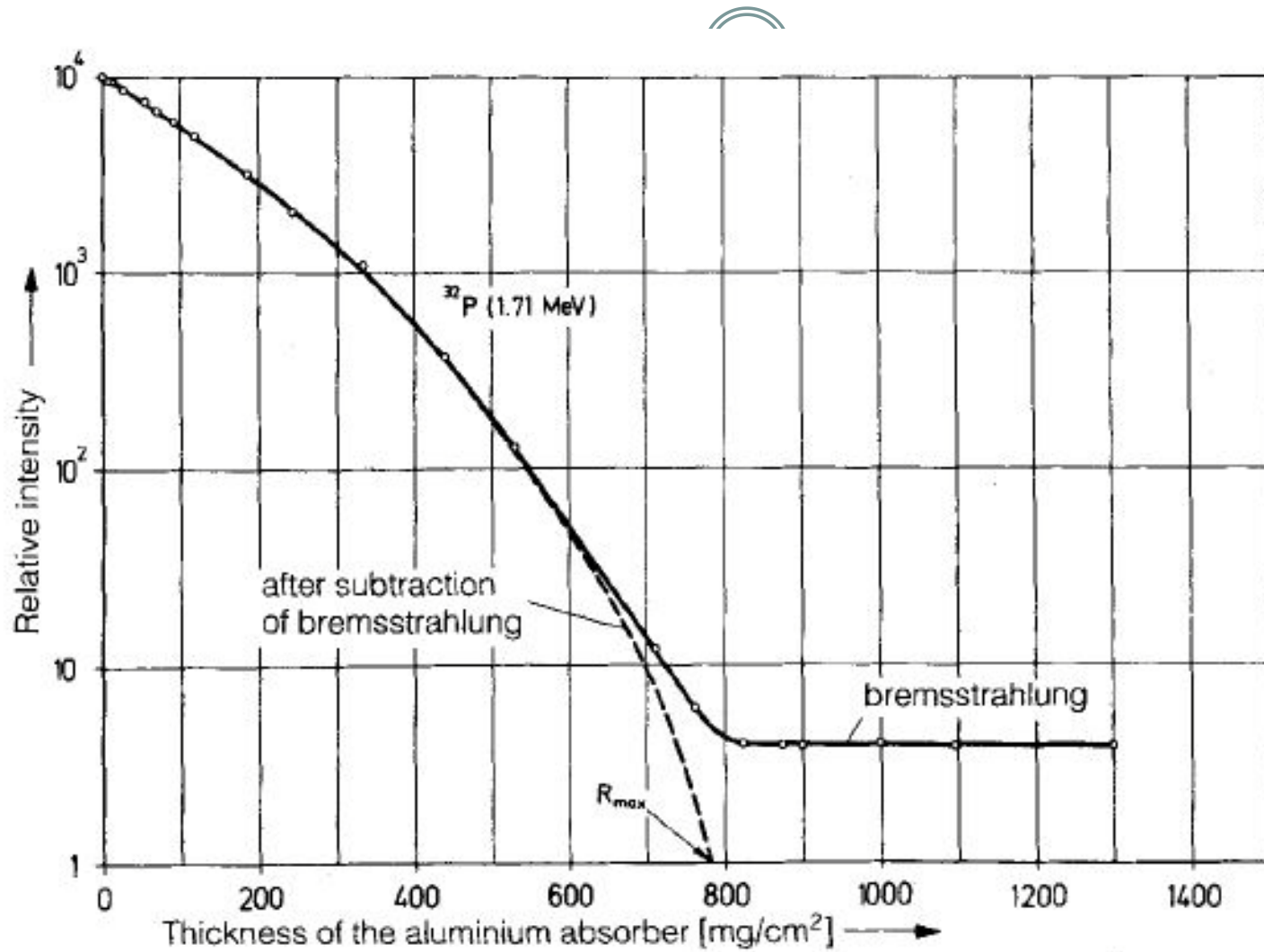
Range of α particles as a function
of their initial energy.

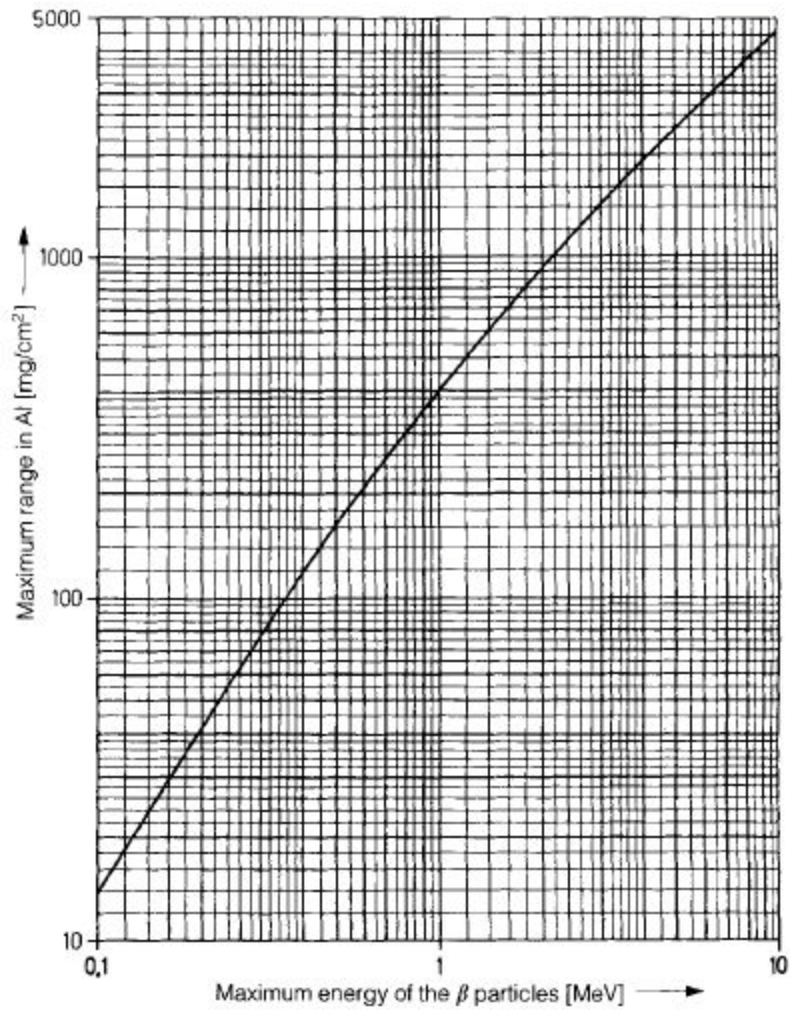
Interaksi Radiasi Beta



- Interaksi sinar beta dengan materi menyerupai sinar alfa namun menghasilkan kerapatan pasangan ion jauh lebih sedikit (sekitar 4-8 pasangan ion per mm lintasan).
- Jangkauan partikel alfa jauh lebih panjang daripada partikel alfa dan partikel beta akan disimpangkan ke luasan yang lebih besar dengan lintasan berbentuk zig zag.
- Ionisasi pada radiasi beta lebih banyak ditimbulkan oleh ionisasi sekunder.
- Dengan menggunakan kurva energi vs jangkau, energi maksimum dapat ditentukan. Hubungan antara berkurangnya intensitas radiasi dengan ketebalan linier jika energi elektron konversi di atas 0,2 MeV.
- Penentuan energi radiasi beta harus memperhatikan adanya serapan diri.
- Pada interaksi radiasi beta terdapat fenomena back scattering.
- Energi radiasi sinar beta dapat berkurang akibat tabrakannya dengan materi, dapat juga karena diperlambat oleh medan listrik positif inti atom.

Absorption of the particles of ^{32}P in aluminium





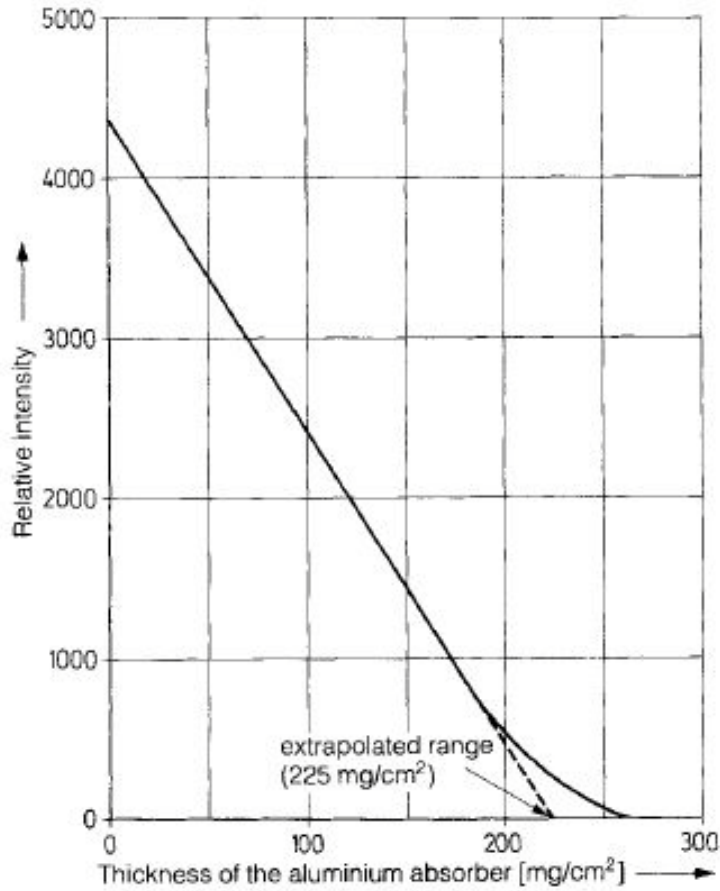
Maximum range R_{\max} of β particles as a function of their maximum energy E_{\max} .

Beta radiation interacts with matter in three different ways:



(a) Interaction with electrons leads to excitation of the electron shell and ionization. The important parameter for this interaction is the electron density in the absorber, i.e. the number of electrons per mass unit given by Z/A . This is shown in Table below for three different energies E_{maks} , of β particles and different absorbers.

Maximum energy (MeV)	Substance	Z/A	Maximum range (mg/cm ²)
0.156 (¹⁴ C)	Water	$8/18 = 0.44$	34
	Aluminium	$13/27 = 0.48$	28
1.71 (³² P)	Water	0.44	810
	Aluminium	0.48	800
1.0	Aluminium	0.48	400
	Gold	$79/197 = 0.40$	500



Absorption of the conversion electrons of ^{137m}B

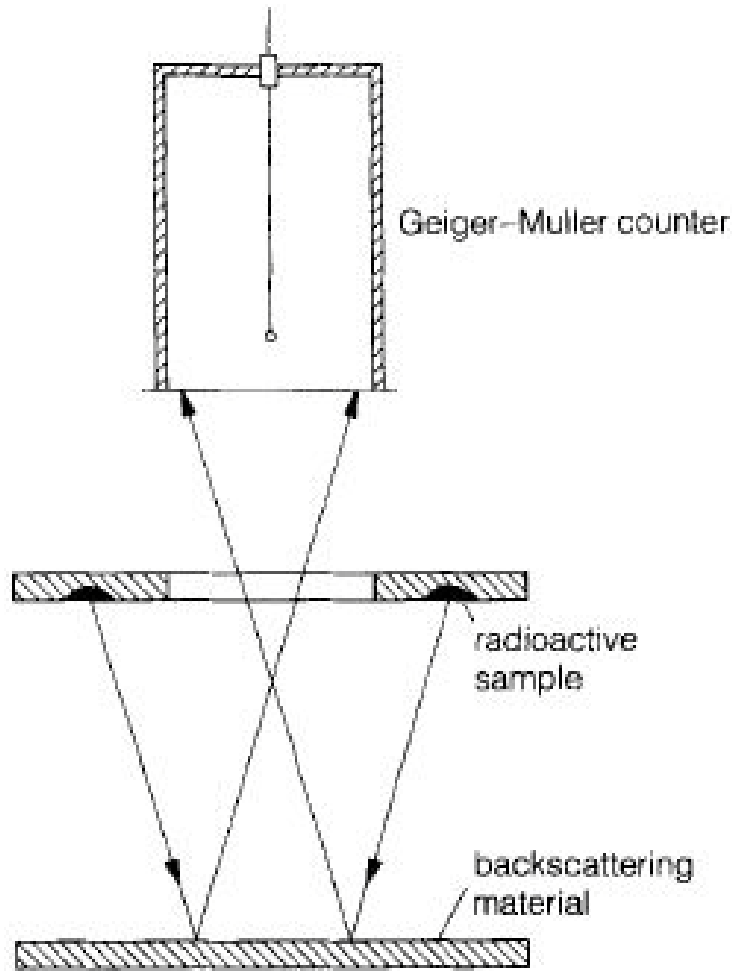


(b) Interaction with atomic nuclei increases with the energy of the β radiation. In the electric field of a nucleus high-energy electrons emit X rays of continuous energy distribution (bremsstrahlung) and lose their energy in steps.

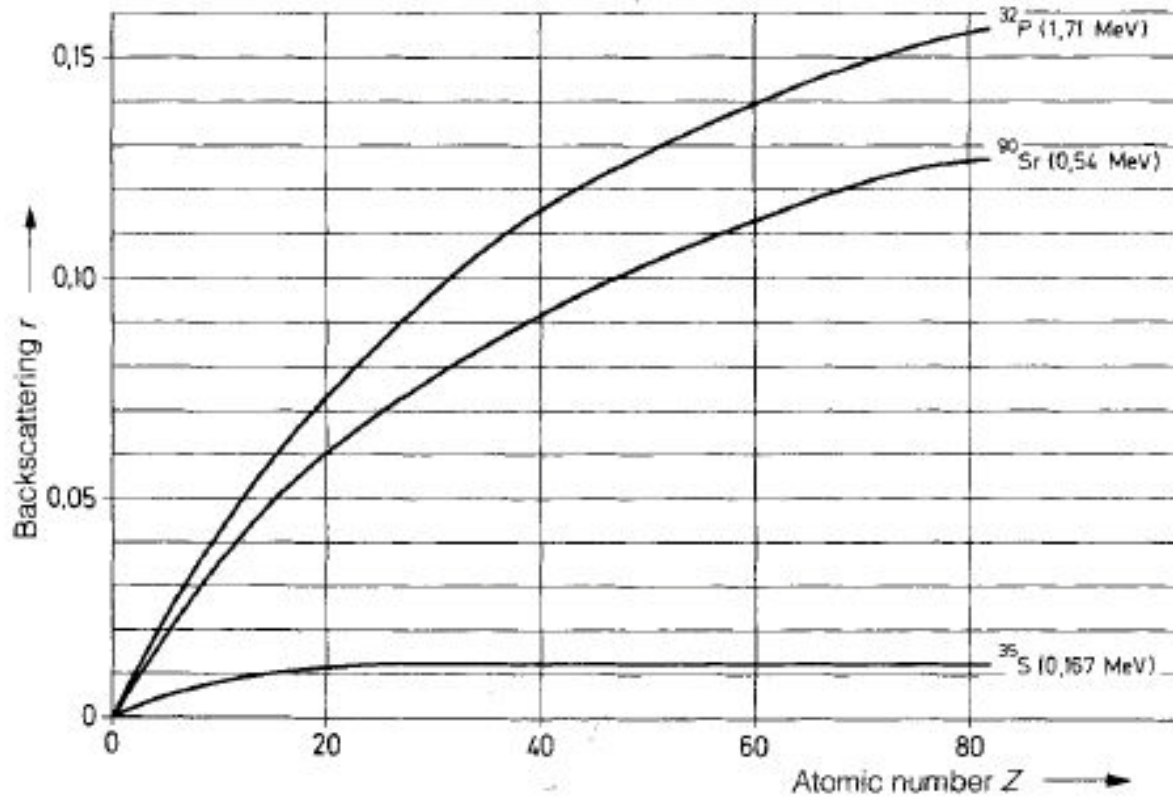
(c) Backscattering can be measured by the method shown in Fig. 6.10. It also depends on the energy E_{\max} of the β radiation and the atomic number Z of the absorber, as shown in Fig. 6.11 for three different energies E_{\max} a function of Z .



In the case of absorption of β^+ radiation, emission of γ -ray photons is observed: positrons are the antiparticles of electrons. After having given off their energy by the interactions (a) to (c), they react with electrons by annihilation and emission of predominantly two γ -ray photons with an energy of 0.51 MeV each in opposite directions (conservation of momentum). The energy of $2 \times 0.51 = 1.02$ MeV is equivalent to $2m_e$, the sum of the masses of the electron and the positron. This annihilation radiation allows identification and measurement of β^+ radiation.



Set-up for the measurement of back- scattering.



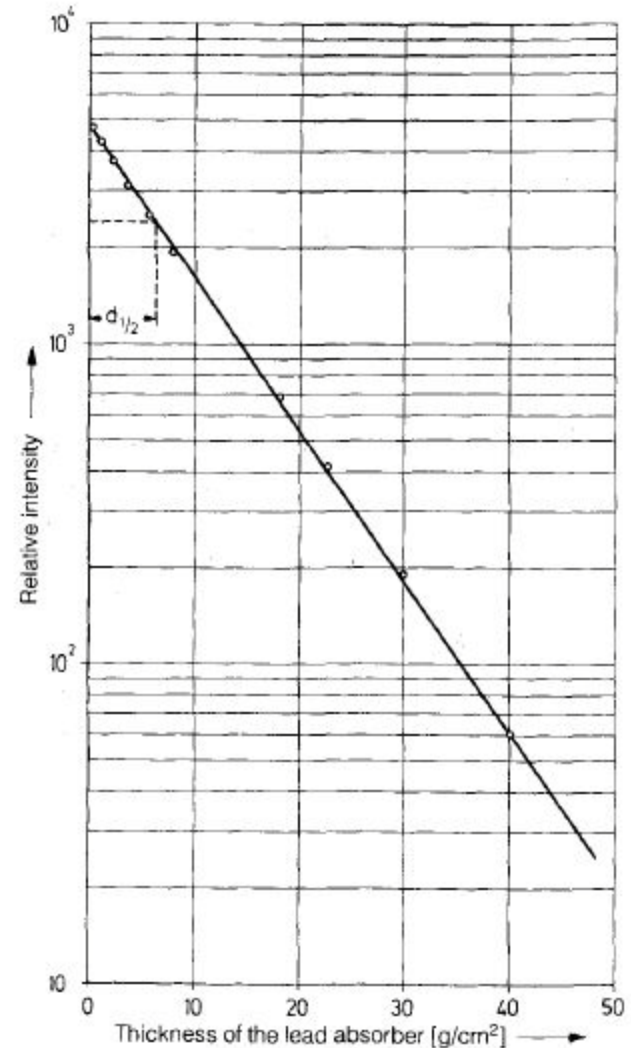
Backscattering of β radiation of various energies as a function of the atomic number Z of the absorber.

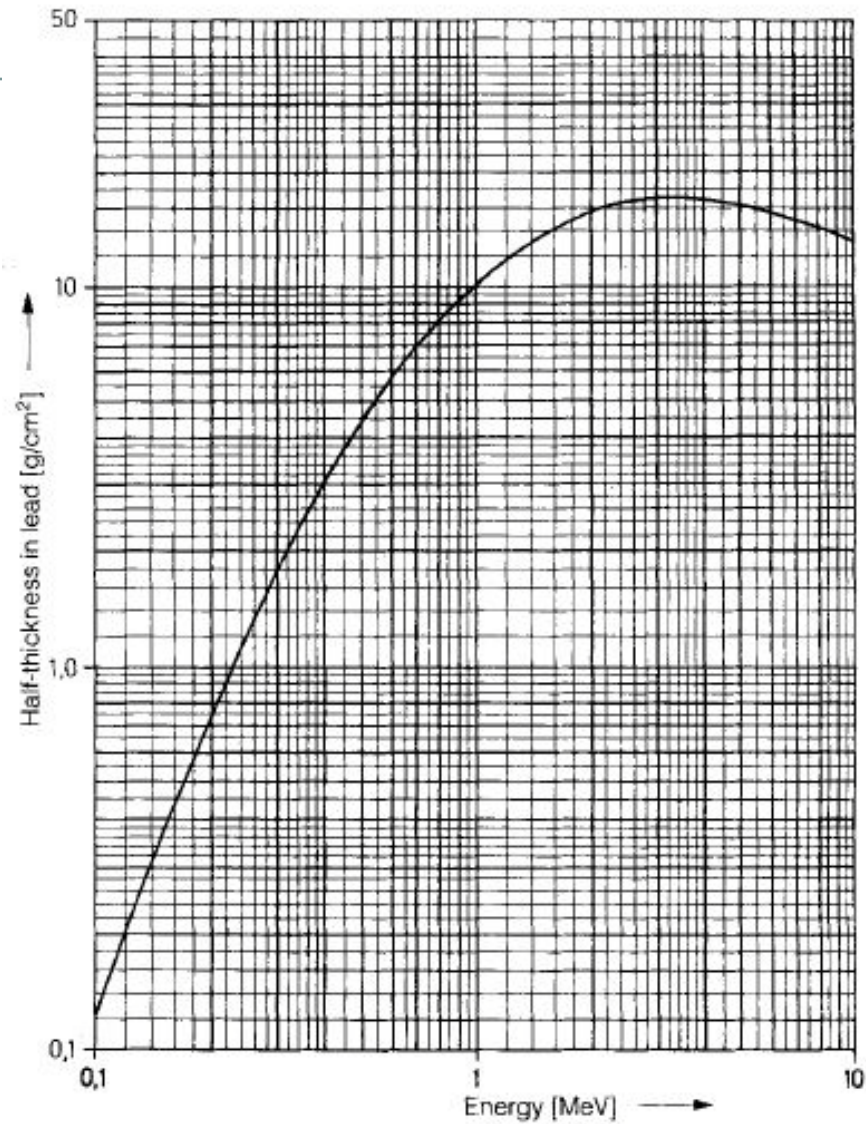
Interaksi Radiasi Gamma



- ❖ Interaksi radiasi gamma dengan materi sangat kecil sehingga memiliki daya tembus yang jauh lebih besar daripada radiasi alfa dan radiasi beta.
- ❖ Daya tembus dicirikan oleh ketebalan paruh suatu penyerap, yaitu ketebalan yang dapat mengurangi intensitas radiasi menjadi separuhnya.
- ❖ Penyerapan radiasi gamma disebabkan oleh tiga proses fisik, yaitu efek fotolistrik, efek Compton, dan pembentukan pasangan positron-negatron.

Absorption of gamma radiation of ^{137}Cs .



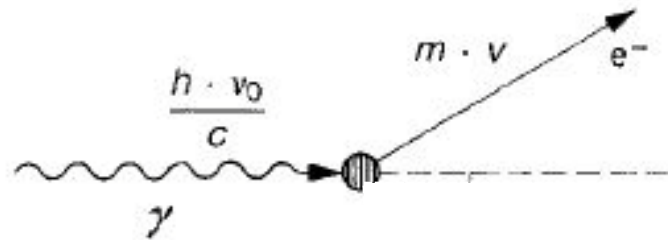


Half-thickness of *γ radiation* in lead as a function of the energy

Efek yang dapat diamati apabila sinar gamma diserap oleh materi:



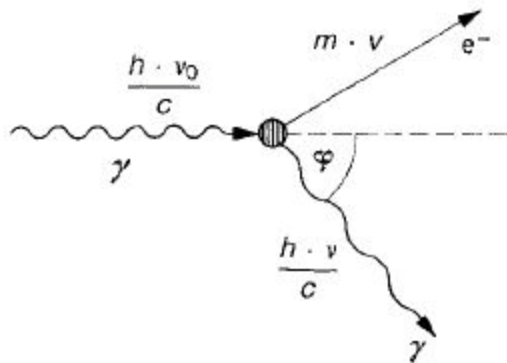
1. Efek fotolistrik: radiasi gamma memindahkan semua energinya ke suatu elektron orbital.



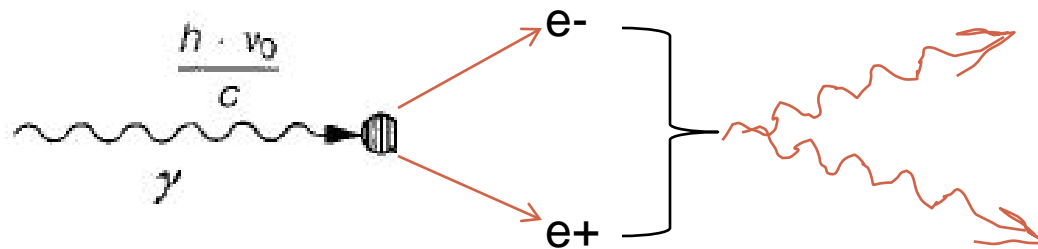
$$E_{e^-} = E_{\gamma} - E_B$$



2. Efek Compton: radiasi gamma memindahkan hanya sebagian energinya ke suatu elektron orbital.



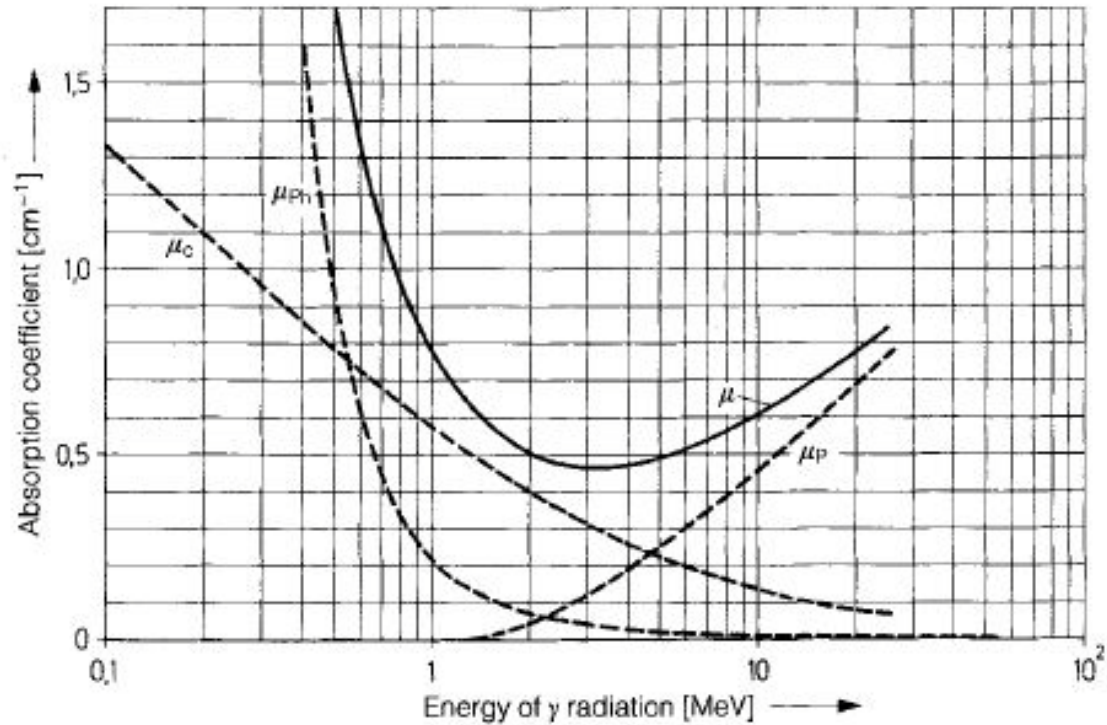
Pembentukan pasangan: terjadi dari perilaku suatu radiasi gamma di dalam medan listrik inti atom, untuk beralih bentuk menjadi pasangan negatron dan positron radiasi gamma yang sisa dihamburkan.



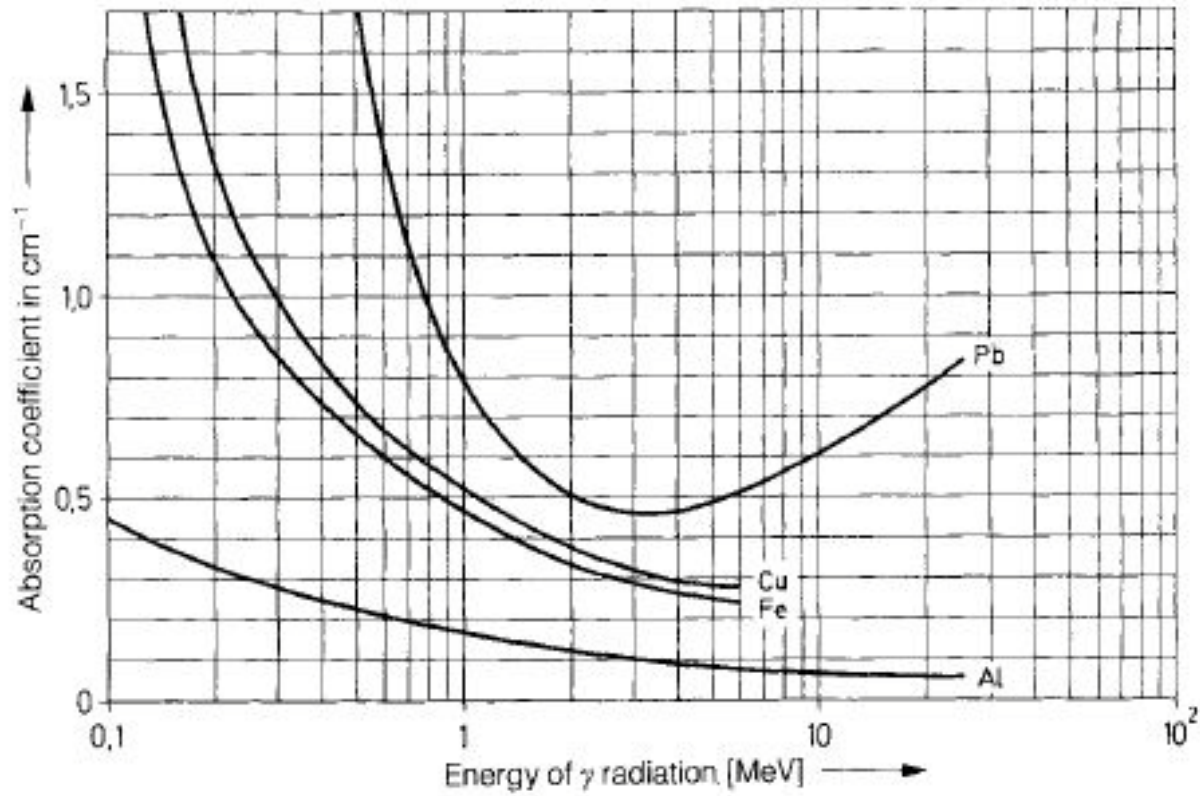


The total absorption coefficient μ is given approximately by the sum of the partial absorption coefficients due to the photoeffect (μ_{Ph}), the Compton effect (μ_C) and pair formation (μ_p):

$$\mu = \mu_{Ph} + \mu_C + \mu_P$$



Total absorption coefficient μ and partial absorption coefficients of γ radiation in lead as a function of the energy.



Absorption coefficient of γ radiation in various materials as a function of the energy.

Latihan



1. Apakah yang Anda ketahui dengan:
 - a. Jangkau
 - b. Ketebalan paro
 - c. Ionisasi spesifik
 - d. Ionisasi sekunder

2. Berikanlah perbedaan daya tembus radiasi inti pada materi dan berikanlah alasannya!

3. Efek apakah yang dapat diamati apabila sinar gamma diserap oleh materi?

4. Sebutkan bahan penyerap yang cocok untuk masing-masing jenis radiasi!

5. Jelaskan hamburan balik dari radiasi beta!

Pembahasan



- 1
 - Jangkau (range) adalah jarak yang dapat dicapai oleh radiasi berenergi tertentu ketika menembus materi.
 - Ketebalan paro (half thickness): ketebalan materi yang dapat mengurangi intensitas radiasi itu menjadi separonya.
 - Ionisasi spesifik adalah jumlah pasangan ion yang terjadi setiap mm panjang lintasan yang dilalui radiasi inti ketika berinteraksi dengan materi.
 - Ionisasi sekunder adalah ionisasi yang disebabkan oleh elektron yang terlepas akibat interaksi radiasi inti dengan materi.

- 2

Urutan daya tembus: radiasi alfa < radiasi beta < radiasi gamma
Perbedaan ini diakibatkan karena kerapatan pasangan ion yang dapat dibentuk oleh interaksi sinar itu dengan materi.

Energi sinar alfa telah habis pada jangkau yang kecil saat menembus materi karena hampir semua energinya digunakan untuk membentuk pasangan ion yang banyak.



- 2 Radiasi alfa menghasilkan banyak pasangan ion (3000-7000 pasangan ion), cenderung tidak dapat disimpangkan, memiliki lintasan lurus, jangkauannya pendek.

Radiasi beta menghasilkan pasangan ion yang jauh lebih sedikit dibandingkan partikel alfa (4-8 pasangan ion), dapat disimpangkan, lintasannya zig zag, jangkauannya lebih panjang dibandingkan radiasi beta, memungkinkan menghasilkan efek ionisasi sekunder dan tersier, serta memungkinkan terjadinya efek penghamburan balik jika ditempatkan dalam suatu wadah.

Radiasi gamma terhadap materi merupakan interaksi sinar gamma dengan materi sehingga memindahkan semua atau sebagian besar energinya dalam satu tahap. Akibatnya radiasi gamma mempunyai daya tembus jauh lebih besar daripada partikel bermuatan. Penyerapannya mencakup tiga proses fisik, yaitu efek fotolistrik, efek Compton dan pembentukan pasangan positron-negatron.

Efek yang dapat diamati apabila sinar gamma diserap oleh materi:

3 **Efek fotolistrik**: radiasi gamma memindahkan semua energinya ke suatu elektron orbital.

Efek Compton: radiasi gamma memindahkan hanya sebagian energinya ke suatu elektron orbital .

Pembentukan pasangan: terjadi dari perilaku suatu radiasi gamma di dalam medan listrik inti atom, untuk beralih bentuk menjadi pasangan negatron dan positron radiasi gamma yang sisa dihamburkan.

4 Pada radiasi berenergi 1 Mev: radiasi alfa diserap secara sempurna oleh ketebalan 8 mg cm^{-2} , seperti selembar kertas tipis, radiasi gamma diperlukan suatu buku tipis (450 mg cm^{-2}), sementara itu ketebalan ensiklopedia 24-volume (sekitar 220 g cm^{-2}) akan melemahkan intensitas radiasi gamma semula dengan faktor sekitar 10^{-6} , tetapi tidak menghentikan radiasi itu secara sempurna.

5 Hamburan balik (*backscattering*) partikel beta terjadi apabila partikel beta ditempatkan dalam suatu wadah maka partikel beta akan dipantulkan dari materi wadah tersebut. Jika nomor atom dan ketebalannya materi (wadah) divariasikan, maka aktivitas radiasi beta yang terukur akan bertambah dengan bertambahnya nomor atom dan dengan naiknya ketebalan materi (wadah) itu akibat adanya hamburan balik.