

Mengenal Fisika Nuklir

Imam Fachruddin

(Departemen Fisika, Universitas Indonesia)

Daftar Pustaka:

- P. E. Hodgson, E. Gadioli, E. Gadioli Erba, **Introductory Nuclear Physics** (Oxford U. P., New York, 2000)
- J. M. Blatt & V. F. Weisskopf, **Theoretical Nuclear Physics** (Dover Publications, Inc., New York, 1991)
- W. E. Meyerhof, **Elements of Nuclear Physics** (McGraw-Hill Book Co., Singapore, 1989)

Isi

-
- pendahuluan ←
 - sifat-sifat inti
 - ketidakstabilan inti
 - radioaktivitas
 - model inti
 - gaya nuklir / interaksi kuat
 - fisika partikel
 - astrofisika nuklir
 - akselerator dan detektor
 - reaktor nuklir
-

Pendahuluan

Beberapa istilah:

- **Atom** terdiri atas **inti** (**nucleus**, jamak: **nuclei**) dan **elektron** di sekitar inti.
- Sebutan **nuklir** (**nuclear**) menunjukkan sesuatu yang berhubungan dengan / melibatkan inti (inti atom). Sementara, sebutan inti bisa berarti inti atom itu sendiri atau sesuatu yang berhubungan dengan inti atom. Contoh:
 - reaksi nuklir atau reaksi inti: reaksi yang melibatkan inti atom,
 - energi nuklir: energi yang dihasilkan pada reaksi nuklir
 - bom nuklir: bom yang memanfaatkan reaksi inti
 - fisika nuklir atau fisika inti: fisika mengenai inti atom
- **Nuklida** (**nuclide**) yaitu, sebutan untuk inti atom suatu unsur (element). Contoh: nuklida hidrogen, nuklida aluminium, nuklida emas, nuklida yodium, nuklida fosfor dll.

Perbandingan ukuran beberapa benda:

benda	ukuran [m]
sel	10^{-5}
molekul	$10^{-9} - 10^{-10}$
atom	$10^{-10} - 10^{-11}$
inti	$10^{-14} - 10^{-15}$
nukleon	10^{-15}

- Catatan:
- nukleon yaitu **proton** dan **netron**
 - $10^{-6} \text{ m} = 1 \mu$ (**mikron**), $10^{-15} \text{ m} = 1 \text{ fm}$ (**fermi**)

Saat-saat awal fisika nuklir:

waktu	penemu / pencetus	penemuan / ide	
± awal abad 20	Thomson	<ul style="list-style-type: none">• elektron• model atom Thomson	NOK!
1911	Rutherford	<ul style="list-style-type: none">• inti atom• model atom Rutherford	OK!
1919	Rutherford	<ul style="list-style-type: none">• proton• inti mengandung proton	OK!
sampai 1932	fisikawan	<ul style="list-style-type: none">• model inti: inti terdiri atas proton dan elektron	NOK!
1920	Rutherford	<ul style="list-style-type: none">• kemungkinan adanya obyek netral hasil pasangan proton dan elektron	NOK!
1932	Chadwick	<ul style="list-style-type: none">• netron	
1932	Heisenberg	<ul style="list-style-type: none">• model inti: inti terdiri atas proton dan netron	OK!

Hamburan Rutherford

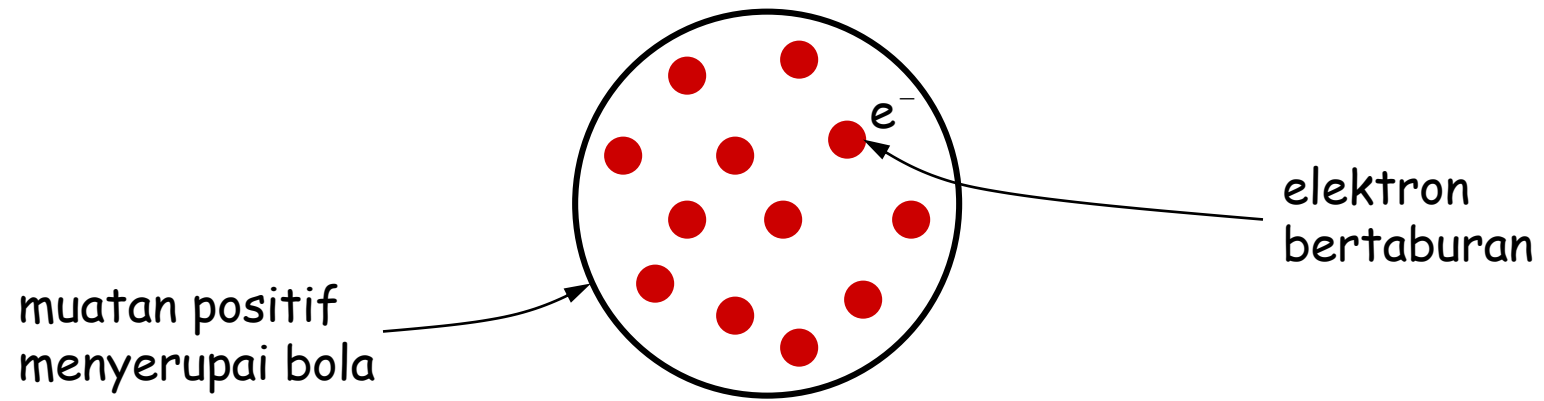
Untuk mempelajari struktur atom, Rutherford membuat eksperimen menembakkan partikel alfa ke lembar tipis emas.

Saat itu masih dipercaya model atom Thomson. Menurut model ini, diperkirakan partikel alfa akan dibelokkan hanya sedikit saja. Namun ternyata, ada juga partikel alfa yang dihamburkan balik ke belakang (sudut hambur besar).

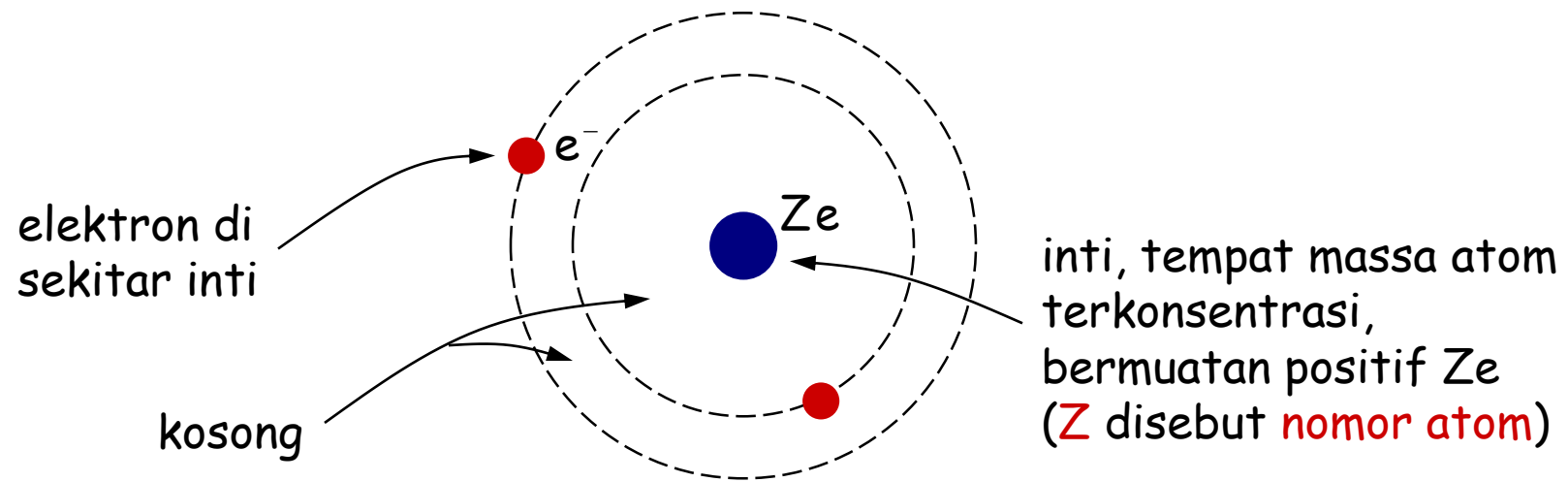
Eksperimen ini menunjukkan bahwa model atom Thomson salah dan membawa Rutherford pada model atom yang lebih baik yaitu, atom memiliki inti di pusat yang merupakan konsentrasi seluruh massa atom, sementara di sekeliling inti beredar elektron-elektron. Partikel alfa yang lewat dekat dari inti emas akan dibelokkan dengan kuat, sementara yang lewat jauh dari inti emas dibelokkan sedikit.

Perhitungan sederhana Rutherford (berbekal fisika 'SMA') berdasarkan model ini sesuai dengan hasil eksperimen.

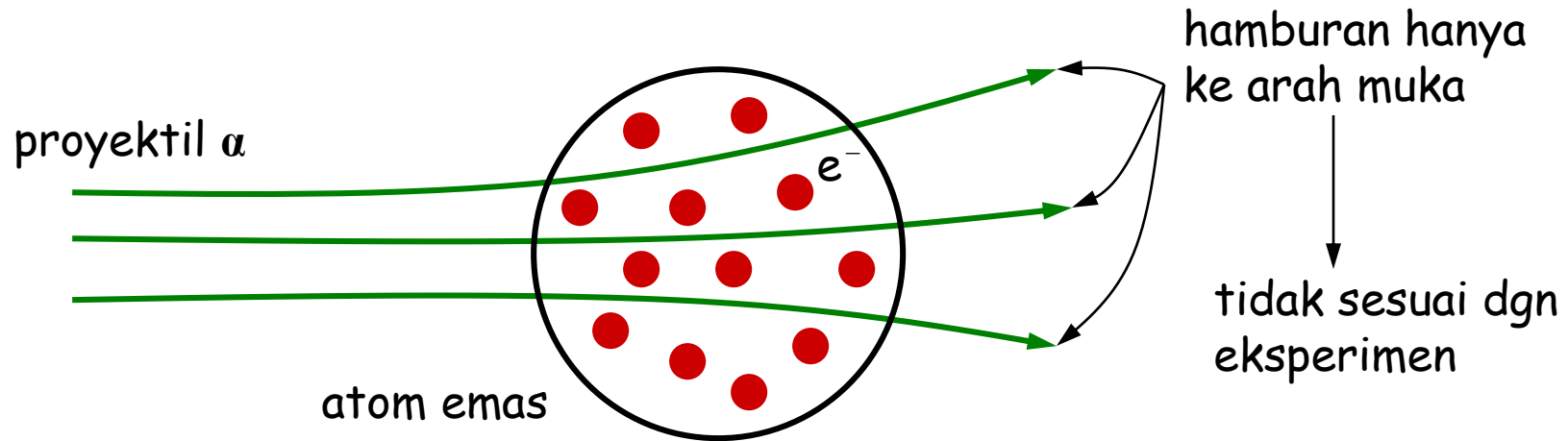
Model Atom Thomson



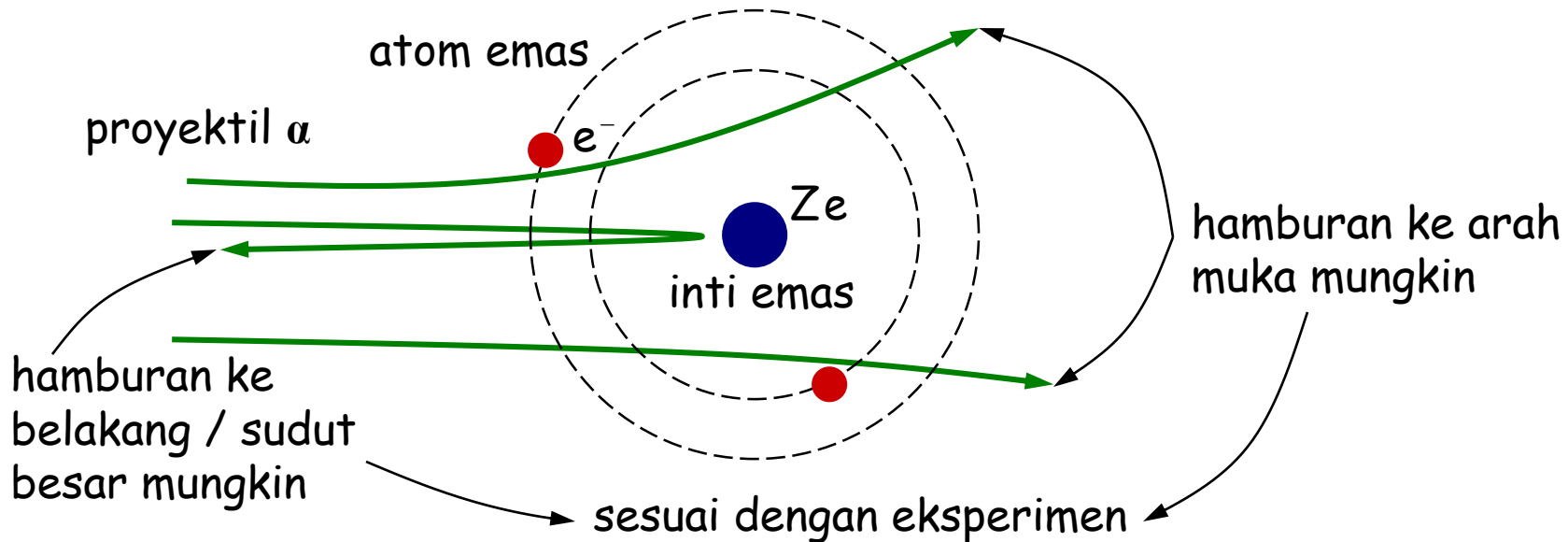
Model Atom Rutherford



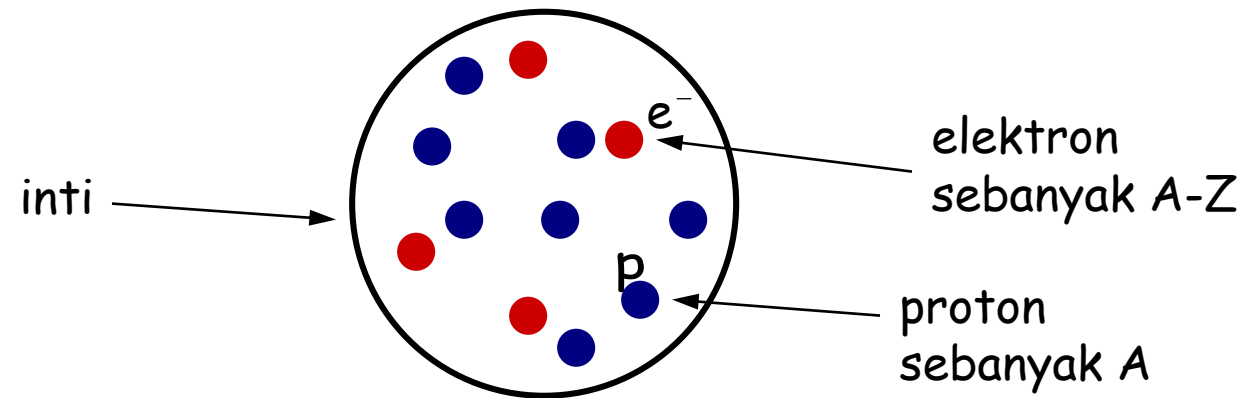
Hamburan Rutherford menurut model atom Thomson:



Hamburan Rutherford menurut model atom Rutherford:



Model Inti Sampai 1932



Inti terdiri dari proton dan elektron. Jumlah proton menentukan massa inti (**nomor massa A** sama dengan jumlah proton), jumlah elektron sedemikian sehingga bersama semua proton menentukan muatan inti (nomor atom Z sama dengan jumlah proton - jumlah elektron).

Contoh, nuklida Nitrogen dgn $A = 14$ (${}^7\text{N}^{14}$) terdiri dari 14 proton dan 7 elektron.

Namun, model ini gagal menjelaskan spin N^{14} yang bernilai 1:

Proton dan elektron masing-masing berspin $\frac{1}{2}$. Tidak mungkin kombinasi 21 buah spin bernilai $\frac{1}{2}$ menghasilkan spin bernilai 1 (bilangan bulat).

Dengan begitu, model ini gagal, inti tidak terdiri dari proton dan elektron.

Nilai spin S yang mungkin hasil kombinasi N buah spin bernilai $\frac{1}{2}$:

$$S = \frac{N}{2}, \frac{N}{2} - 1, \frac{N}{2} - 2, \dots, \begin{cases} 0 & (N \text{ bilangan genap}) \\ \frac{1}{2} & (N \text{ bilangan ganjil}) \end{cases}$$

Contoh:

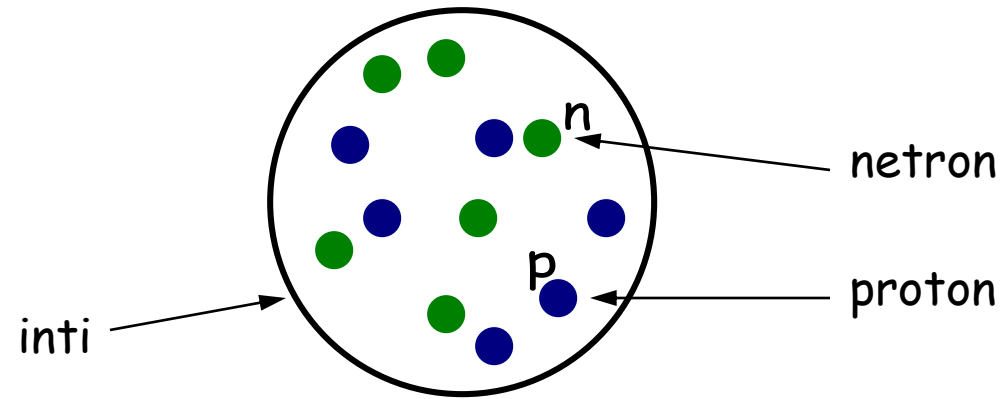
- $N = 2$: $S = 0, 1$
- $N = 3$: $S = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}$
- $N = 4$: $S = 0, 1, 2$
- $N = 5$: $S = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}$
- $N = 6$: $S = 0, 1, 2, 3$
- $N = 7$: $S = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \frac{7}{2}$

Menurut model inti 'proton-elektron', spin N^{14} yang mungkin yaitu,

$$\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \frac{7}{2}, \frac{9}{2}, \frac{11}{2}, \\ \frac{13}{2}, \frac{15}{2}, \frac{17}{2}, \frac{19}{2}, \frac{21}{2}$$

Ini tidak sesuai dengan hasil eksperimen.

Model Inti yang Diterima

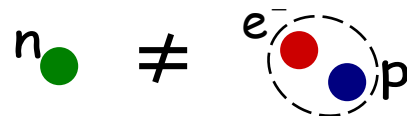


Inti terdiri dari proton dan netron. Jumlah proton merupakan nomor atom Z , muatan inti sebesar muatan total proton (Ze), jumlah proton (Z) dan jumlah netron (N) merupakan nomor massa ($A = Z + N =$ jumlah nukleon).

Contoh, N^{14} terdiri dari 7 proton ($Z = 7$) dan 7 netron ($N = 7$).

Netron berspin $\frac{1}{2}$. Maka dengan model ini spin N^{14} bisa dijelaskan, bahwa kombinasi keadaan spin 14 partikel berspin $\frac{1}{2}$ dapat menghasilkan spin bernilai 1.

Netron bukan obyek netral hasil pasangan proton dan elektron (Rutherford 1920). Partikel netral seperti itu tidak mungkin berspin $\frac{1}{2}$, tapi 0 atau 1.



Beberapa catatan:

- Inti terdiri dari Z proton dan N neutron (atau A nukleon).
- Z = nomor atom = jumlah proton
 N = jumlah neutron
 A = nomor massa = jumlah nukleon ($A = Z + N$)
- Nuklida-nuklida yang memiliki Z sama tapi A berbeda disebut **isotop**.
- Nuklida-nuklida yang memiliki N sama tapi A berbeda disebut **isoton**.
- Nuklida-nuklida yang memiliki A sama tapi Z berbeda disebut **isobar**.
- Ada sekelompok bilangan yang disebut **bilangan ajaib (magic numbers)** yaitu, **8, 20, 28, 50, 82, 126, ...**. Jika Z / N sama dengan salah satu dari bilangan ajaib tersebut, maka terdapat lebih banyak isotop / isoton dibandingkan jumlah isotop / isoton untuk nilai Z / N yang lain untuk nilai A yang sama atau berdekatan.
- Magic number juga menandakan **kestabilan inti**. (Inti bersifat stabil jika tidak pecah secara spontan, inti tidak stabil pecah secara spontan.) Inti dengan Z dan / atau N bernilai sama dengan salah satu magic number lebih stabil dari yang lain. Contoh, inti-inti berikut sangat stabil karena baik Z maupun N sama dengan magic number: O^{16} , Ca^{40} , Ca^{48} , Pb^{208} .