

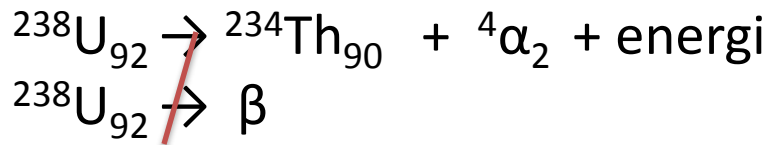
ENERGETIKA KESTABILAN INTI

Sulistyani, M.Si.

Email: sulistyani@uny.ac.id

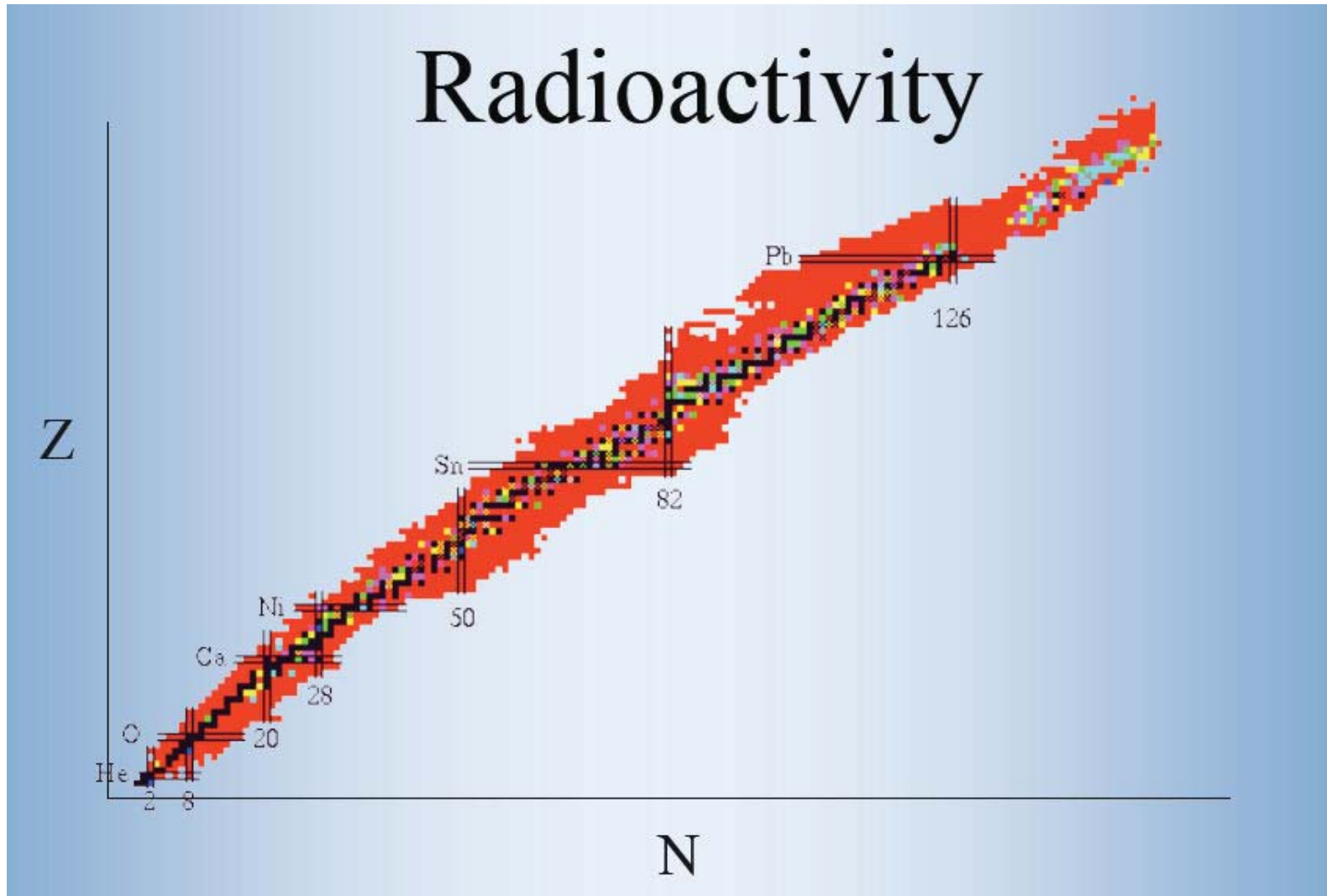
PENDAHULUAN

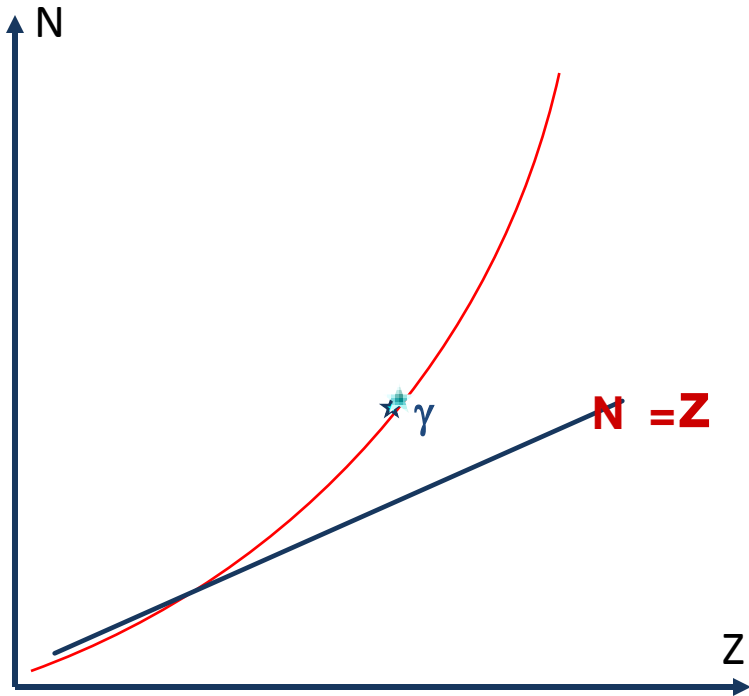
- Apakah inti yang stabil itu?
- Apakah inti yang tidak stabil?
- Bagaimana menyatakan kestabilan U-238 berdasarkan reaksi inti di bawah ini?



- Kestabilan inti terhadap jenis peluruhan tertentu dapat diketahui dengan memperhatikan massa total inti atom mula-mula dengan total inti hasil.
- Menurut Anda, bagaimana memprediksi reaksi inti yang spontan dan reaksi inti yang tidak spontan dipandang dari aspek massa nuklidanya?

Segre Chart





* Inti tidak stabil yang berada di bawah kurva kestabilan akan meluruh menjadi inti yang stabil dengan memancarkan partikel β^+ atau partikel α atau tangkapan elektron.

* Inti tidak stabil yang berada di atas pita kestabilan, akan meluruh menjadi inti stabil dengan memancarkan sinar β^- .

Pada kurva kestabilan juga terdapat inti tidak stabil. Ketidak stabilan ini disebabkan inti itu dalam keadaan tereksitasi, sehingga untuk menjadi inti yang stabil cukup dengan melepaskan energi berupa sinar gamma (γ)

Memprediksi Kestabilan Inti Atom

1. Perbandingan proton-neutron
 - Nuklida-nuklida ringan dengan nomor atom kurang dari 20, umumnya lebih stabil dengan jumlah proton sama dengan jumlah neutron.
 - Pada nuklida-nuklida lebih berat, muatan inti cenderung menolak proton sehingga kestabilan cenderung menuju ke arah nuklida yang jumlah neutron lebih banyak.
2. Genap ganjilnya jumlah proton-neutron di dalam inti.
 - (1) Inti atom yang terdiri dari Z genap & N genap,
 - (2) Inti atom yang terdiri dari Z genap & N ganjil,
 - (3) inti atom yang terdiri dari Z ganjil & N genap,
 - (4) Inti atom yang terdiri dari Z ganjil & N ganjil.

Jumlahnya di alam

- (1) Genap/genap sebanyak 157,
- (2) Genap/ganjil sebanyak 55,
- (3) Ganjil/genap sebanyak 50, &
- (4) Ganjil/ganjil sebanyak 4.

PARTIKEL PENYUSUN INTI

Dalam model atom Rutherford telah dijelaskan bahwa massa suatu atom terpusat pada inti atom. Dengan ditemukannya neutron oleh Chadwick pada tahun 1932, maka ia berpendapat bahwa inti atom terbentuk dari proton dan neutron yang massanya hampir sama.

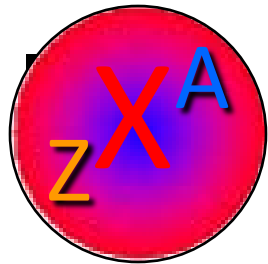
Massa proton = 1,007825 sma = $1,67252 \times 10^{-27}$ kg

Massa netron = 1,008665 sma = $1,67483 \times 10^{-27}$ kg

1 sma (satuan massa atom) = $1,66048 \times 10^{-27}$ kg

Partikel-partikel penyusun inti, yaitu proton dan neutron disebut juga *nukleon*. Proton bermuatan positif dan neutron tidak bermuatan (netral), sehingga secara keseluruhan inti atom bermuatan positif.

Inti atom suatu unsur dinyatakan dengan lambang sebagai berikut :



jenis unsur

nomor massa

nomor atom

Nomor atom Z menunjukkan jumlah proton di dalam inti atom,

Nomor massa A menunjukkan jumlah proton dan neutron di dalam inti atom.

$$N = A - Z$$

Energetika Kestabilan Inti

- Sistem nukleon bebas memiliki energi lebih tinggi dibanding sistem nukleon yang terikat pada Inti.
- Pengertian: Energi yang dilepas saat nukleon bebas membentuk inti (nukleon terikat), dilambangkan E_B (energi pengikat inti)
- Nukleon adalah istilah jumlah proton dan neutron di dalam kimia inti.
- Nuklida adalah istilah suatu inti atom, kaitannya dengan jumlah proton dan neutron yang dimiliki.
- Energi inti biasanya dinyatakan dalam elektron volt (eV), keV, MeV.
(1 MeV = 10^3 keV = 10^6 eV)
- Satu elektron volt: energi yang diperlukan untuk membawa muatan $1,6 \cdot 10^{-19}$ C, dari tempat satu ke tempat lain dengan perbedaan potensial 1 volt.
 $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Kesetaraan Massa -Energi

1 sma = 931,5 MeV artinya apabila massa sebesar 1 sma hilang maka akan terjadi energi sebesar 931,5 MeV

1 sme (M_e) = 0,51 MeV artinya apabila 1 elektron hilang maka terjadi energi sebesar 0,51 MeV

Massa ekuivalen dengan energi, berarti energi pengikat inti ekuivalen dengan selisih massa nukleon bebas dengan massa inti.

$$E_B = [(ZM_p + (A-Z) M_n] - M_{\text{nuklida}}] \times 931,5 \text{ MeV}$$

Contoh:

Jika diketahui massa nuklida netral $^1\text{H}_1 = 1,007825 \text{ sma}$, $^{16}\text{O}_8 = 15,9949149 \text{ sma}$, dan massa $^1\text{n}_0 = 1,086645$, berapakah energi pengikat inti $^{16}\text{O}_8$?

Jawab:

$$\begin{aligned} E_B \text{ } ^{16}\text{O}_8 &= [8(M_p - M_e) + (16 - 8)M_n - (M_{\text{O-16}} - 8 M_e)] \times 931,5 \text{ MeV} \\ &= (8(1,007825) - 8 M_e + 8(1,0086645) - 15,9949149 + 8M_e) \times 931,5 \text{ MeV} \\ &= 127,61736 \text{ MeV} \end{aligned}$$

Catatan: Oleh karena massa elektron pada akhir persamaan saling meniadakan, maka nilai energi ikat dapat dihitung langsung dgn rumus:

$$E_B \text{ } ^A\text{X}_Z = [ZM_p + NM_n - (M_{\text{X-A}})] \times 931,5 \text{ MeV}$$

Defek Massa

Defek massa adalah kelebihan massa; $\Delta \text{MeV} = M - A$ dengan $M = [A + (\Delta / 931,5)] \text{ sma}$

$$E_B {}^A X_Z = (Z \times \Delta_p) + [(A - Z)\Delta_n] - (\Delta_{X-A}) \text{ MeV}$$

Energi rata-rata per nukleon mencerminkan kestabilan nuklida; yaitu E_B total dibagi jumlah nukleon (A). Kestabilan ekstra terutama dimiliki oleh nuklida bernukleon genap-genap.

Energi yang Dilepaskan pada Peluruhan (Q)

Diagram E_B

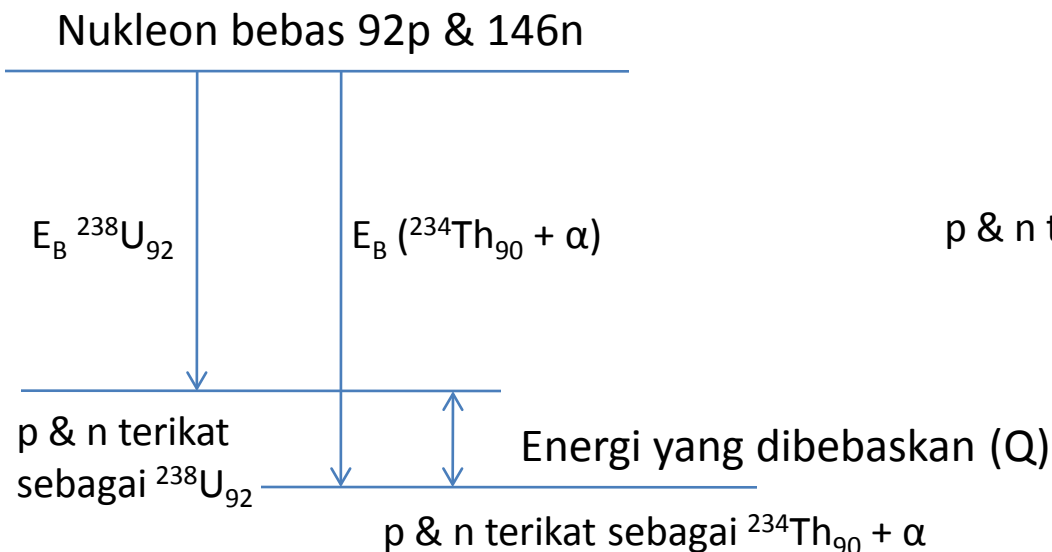
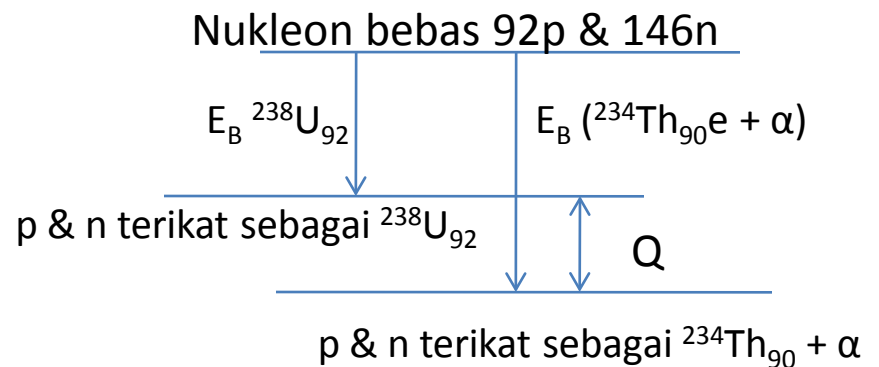


Diagram E_B rata-rata per nukleon

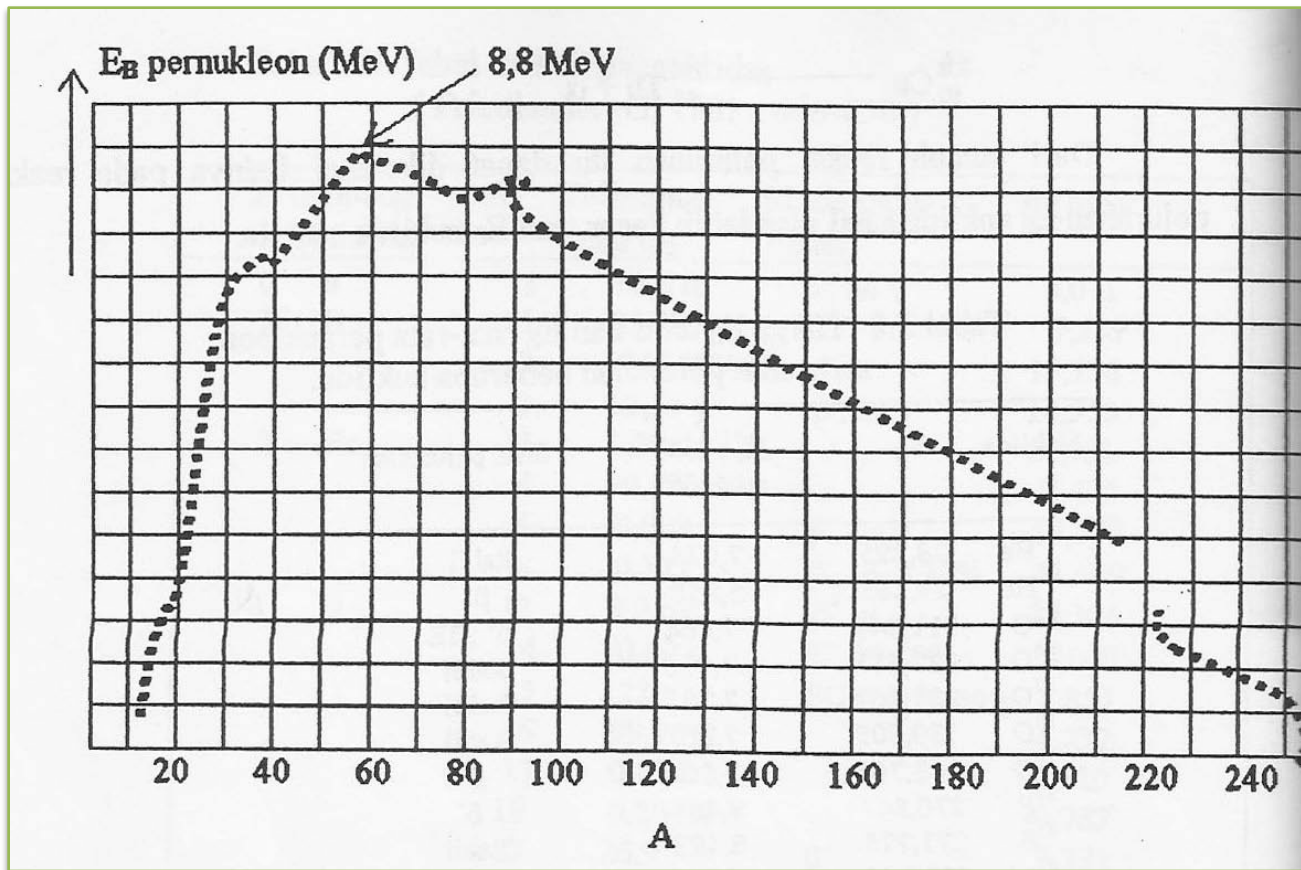


$$\begin{aligned}
Q &= E_B(^{234}\text{Th}_{90} + \alpha) - E_B(^{238}\text{U}_{92}) \\
&= [(90 \times \Delta_p) + (234 - 90) \Delta_n - (\Delta_{\text{Th-234}})] + (2 \times \Delta_p) + (4 - 2) \Delta_n - (\Delta_{\text{He-4}}) - [(92 \times \Delta_p) \\
&\quad + (238 - 92) \Delta_n - (\Delta_{\text{U-238}})] \\
&= (\Delta_{\text{U-238}}) - (\Delta_{\text{Th-234}} + \Delta_{\text{He-4}}) \quad \text{karena } \Delta \text{ MeV} = M - A \\
&= [(M_{\text{U-238}} - A_{\text{U-238}}) - [(M_{\text{Th-234}} - A_{\text{Th-234}}) + (M_{\text{He-4}} - A_{\text{He-4}})]] \times 931,5 \text{ MeV} \\
&= (M_{\text{U-238}} - (M_{\text{Th-234}} + M_{\text{He-4}})) \times 931,5 \text{ MeV}
\end{aligned}$$

$$Q = \Delta \text{nuklida semula} - (\Delta \text{nuklida hasil} + \Delta \text{partikel yang dilepas})$$

$$Q = M \text{ nuklida semula} - (M \text{ nuklida hasil} + M \text{ partikel yang dilepas}) \times 931,5 \text{ MeV}$$

Nilai E_B Rata-rata Pernukleon Nuklida Stabil sebagai fungsi A



Model Tetes Cairan

- Volume inti berbanding lurus jumlah nukleon → menunjukkan bahwa inti tidak dapat dimampatkan.
- Energi pengikat inti berbanding lurus dengan jumlah nukleon → menunjukkan gaya inti mempunyai sifat kejenuhan atau nukleon di dalam inti hanya berinteraksi dengan sejumlah kecil atom lainnya.



Nukleon di dalam inti bersifat seperti atom dalam suatu tetes cairan (*liquid drop model*) sehingga EB dihitung dengan menggunakan model tetes cairan.

E_B merupakan jumlah berbagai energi mencakup: energi volum, energi permukaan, dan energi coulomb, dan energi-energi lainnya yang mana tiap energi mempunyai fungsi yang tergantung pada bilangan massa (A) dan muatan inti (Z)



Persamaan Model Tetes Cairan

Dicetuskan pertama kali oleh C.F. von Weizsacker, yang kemudian diperbaiki oleh W.D Myers dan W.J. Swiatecki

$$E_B = C_1 A \left[1 - k \left(\frac{N-Z}{A} \right)^2 \right] - C_2 A^{2/3} \left[1 - k \left(\frac{N-Z}{A} \right)^2 \right] - C_3 Z^2 A^{-1/3} + C_4 Z^2 A^{-1} + \delta$$


Energi volume Energi simetri Energi permukaan Energi Coulomb Koreksi Ketebalan kulit Energi pasangan

$C_1=15,677 \text{ MeV}$; $C_2=18,56 \text{ MeV}$; $C_3=0,717 \text{ MeV}$; $C_4 = 1,211 \text{ MeV}$; $k = 1,79$

Energi Permukaan dan Parabola Massa

Energi pengikat inti dapat disajikan sebagai fungsi A dan Z dengan grafik 3 dimensi, yaitu dengan lebih mempertimbangkan massa atom total (M) dibanding energi pengikat (E_B).

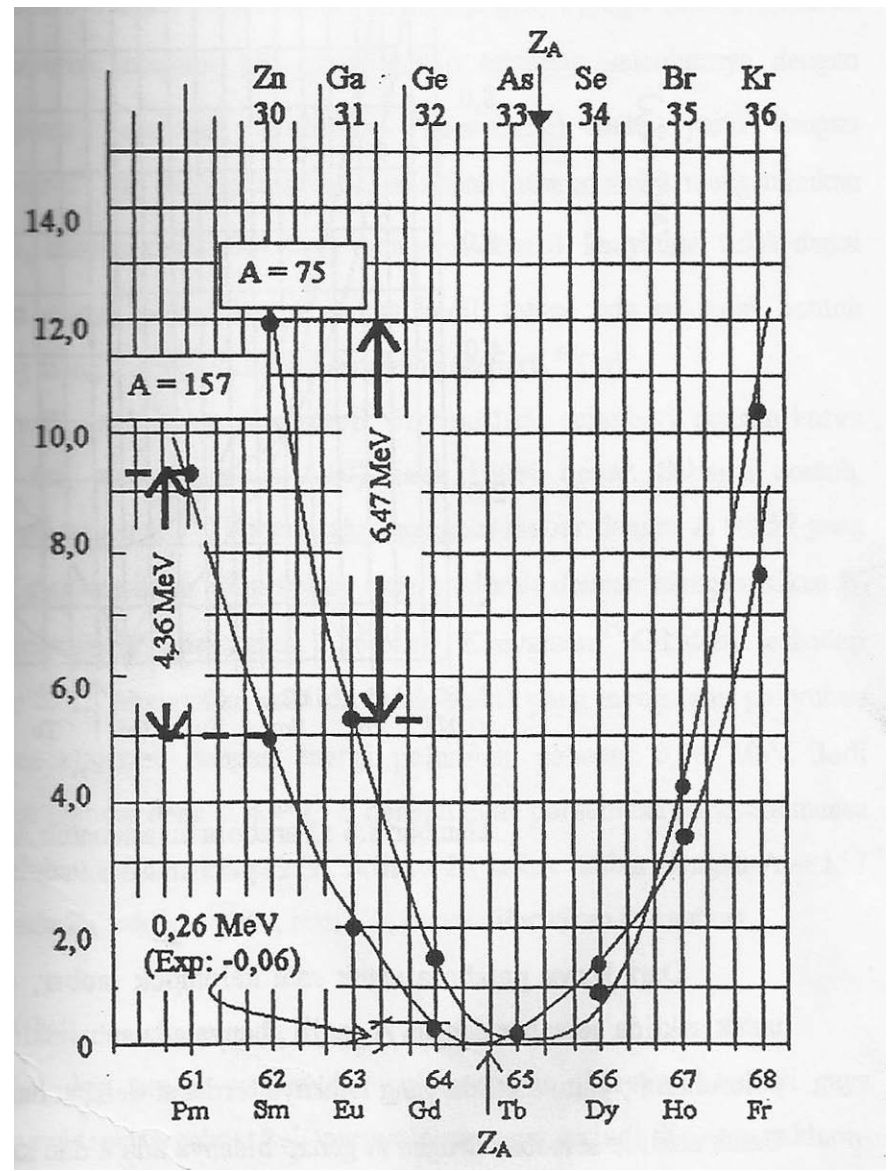
$$M = ZM_p + (A-Z)M_n - \frac{E_B}{931,5} \quad \dots(1)$$


$$M = 939,573A - 0,782Z - \left(C_1A - C_2A^{\frac{2}{3}} \right) \left[1 - k \left(\frac{1-2Z}{A} \right)^2 \right] + Z^2 \left(C_3A^{\frac{1}{3}} - C_4A^{-1} \right) - \delta \quad \dots(2)$$

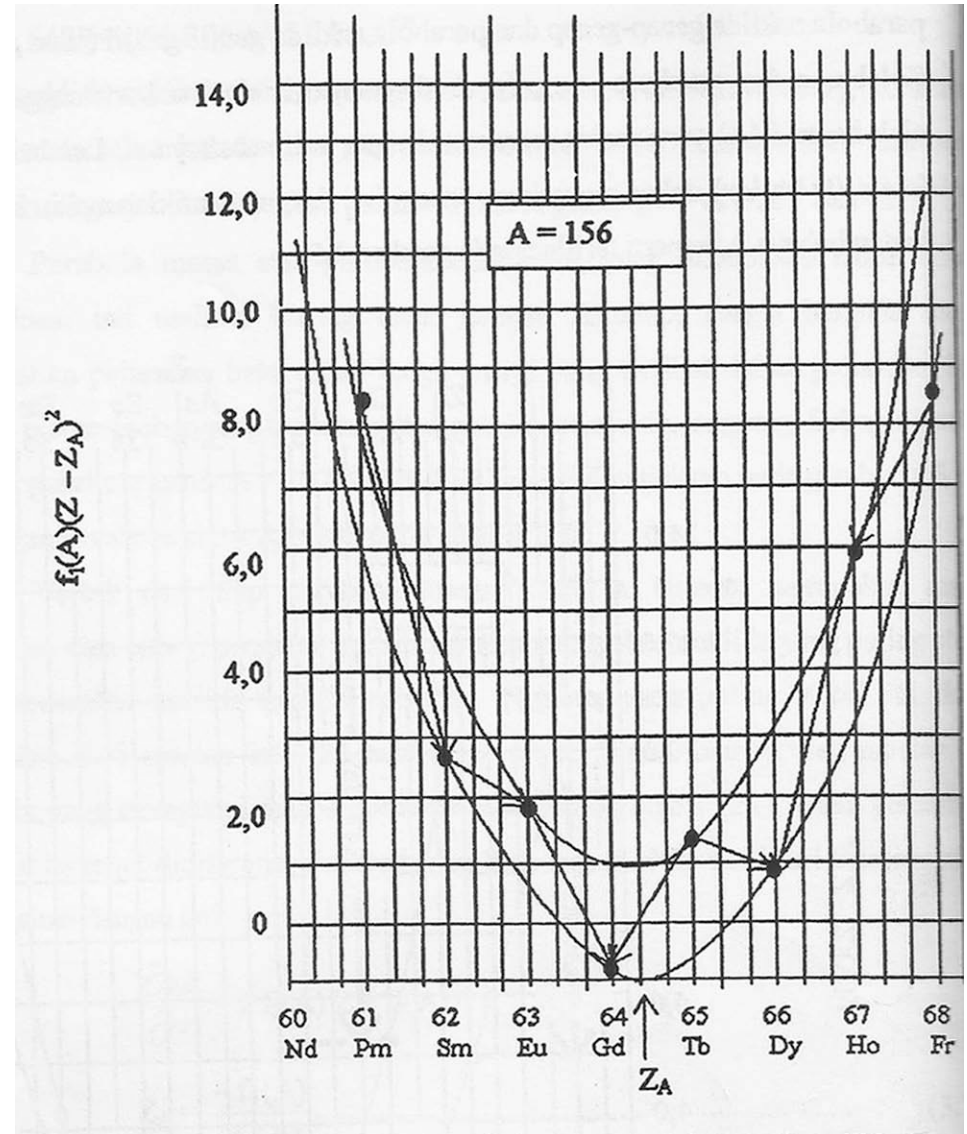
Persamaan (2) dapat dituliskan: $M = f_1(A)Z^2 + f_2(A)Z + f_3(A) - \delta$

Untuk nuklida-nuklida yang A nya sama (seisobar), nilai koefisien konstan dan persamaan kuadrat menyajikan satu parabola jika A ganjil (δ) dan dua parabola jika A genap ($\delta = +11/A^{1/3}$ dan $-11/A^{1/3}$) (Perhatikan Gambar 3.5 hal 57 pada diktat kimia inti)

Parabola Massa untuk A Ganjil



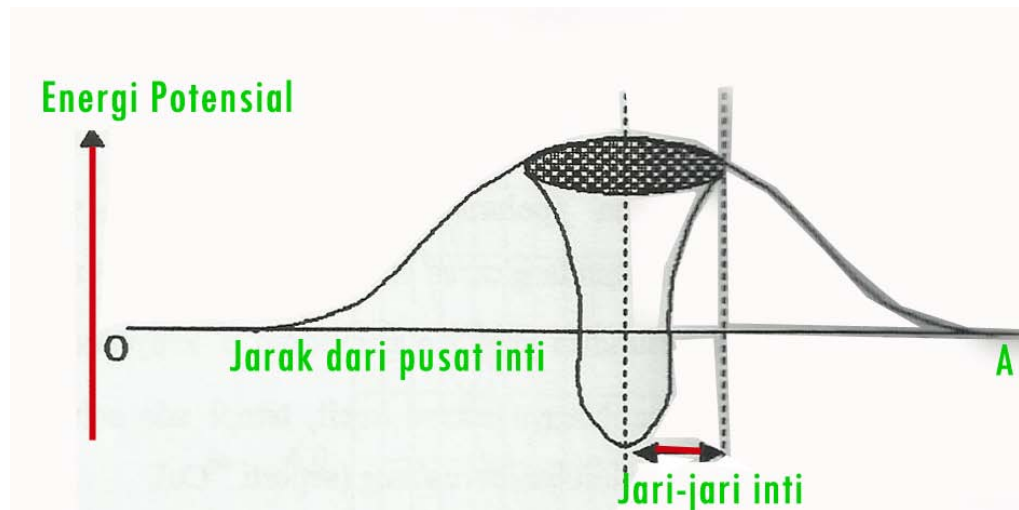
Parabola Massa untuk A Genap



Model Kulit Inti

- Di dalam inti terdapat gaya antara p-p, p-n, n-n.
- Gaya p-p merupakan gaya tolak, tetapi ternyata tidak menyebabkan inti musnah.
Mengapa?
- Pada percobaan Rutherford, partikel alfa mampu mencapai inti. Menurut Anda bagaimana energi partikel alfa dibandingkan energi inti?

Model sumur potensial inti



Gaya Inti

Didalam inti atom selain terdapat gaya tolak elektrostatis antara proton dan proton, juga terjadi gaya tarik menarik antara neutron-neutron itu sendiri untuk mengimbangi gaya tolak elektrostatis tersebut. *Gaya yang mempersatukan antara proton-proton atau neutron-neutron disebut gaya inti.*

Sifat-sifat gaya inti

1. Gaya inti mempunyai sifat yang berbeda dengan gaya elektrostatis Coulomb dan gaya gravitasi
2. Gaya inti tidak tergantung pada muatan listrik, sehingga besarnya gaya antara proton-proton atau neutron-neutron sama besar.
3. Gaya inti bekerja pada jarak yang sangat dekat, $\pm 10^{-15}$ m atau 1 fermi
4. Besarnya gaya inti adalah sangat besar, sekitar 10^{-3} C.

Dengan adanya gaya inti yang sangat besar antara nukleon di dalam inti menimbulkan adanya energi per nukleon yang besar pula di dalam ini. Hal ini memungkinkan diperoleh energi yang sangat besar dari suatu inti atom, yaitu dengan cara pembelahan inti (fisi) dan penggabungan (fusi).

Pada percobaan Rutherford, partikel alfa mampu mencapai inti karena energinya lebih besar dari potensial penghalang.

Ketinggian potensial penghalang (V_c) tergantung muatan inti dan muatan partikel yang datang.

$$V_c = 1,44 \frac{Z_1 Z_2 e^2}{(R_1 - R_2)} \text{ MeV}$$



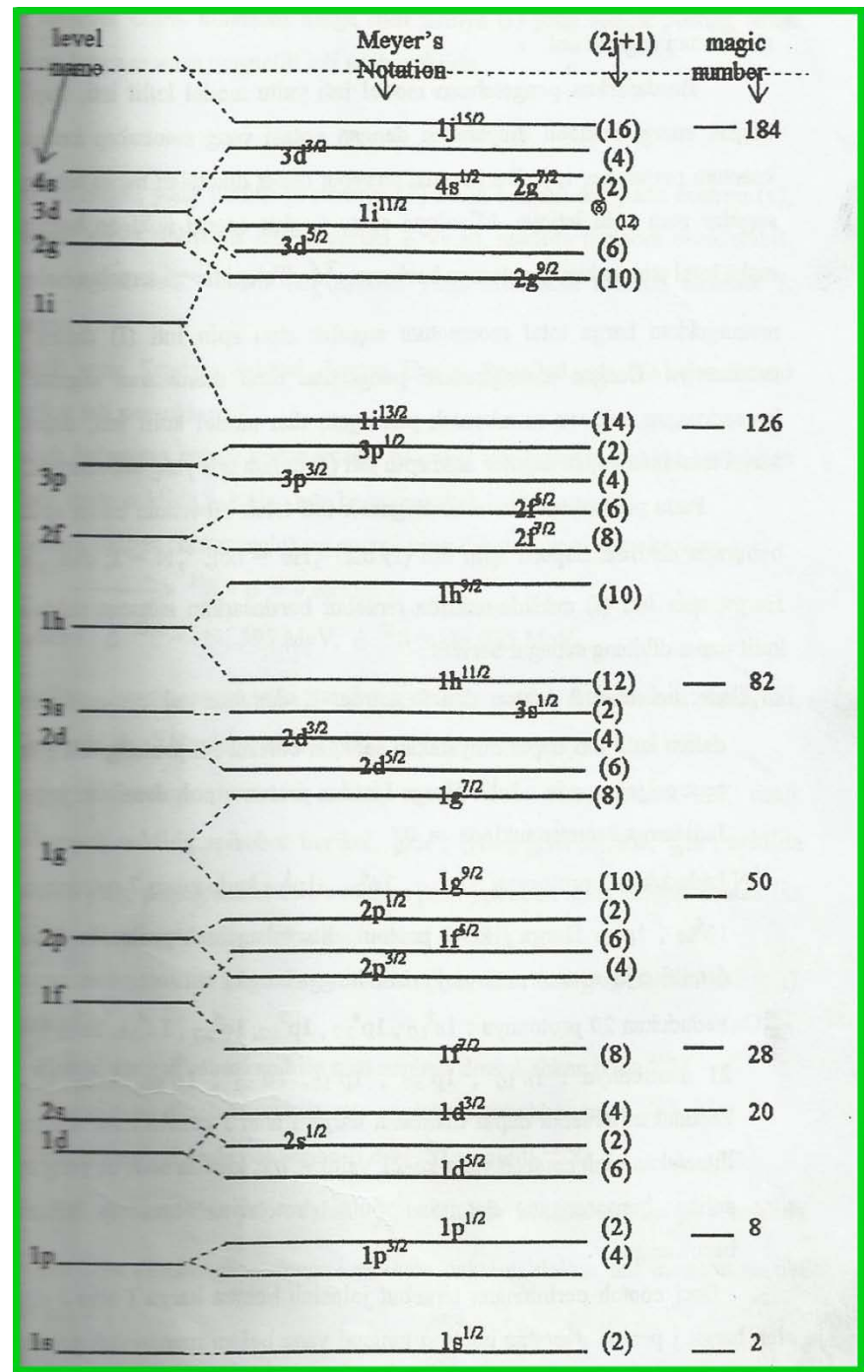
Kedalaman sumur kira-kira 40 MeV; mengindikasikan tidak semua nukleon berada di dasar sumur potensial.



Muncullah model kulit inti

- Inti atom diasumsikan mempunyai daerah tingkatan energi seperti kulit atom.
- Inti memiliki kestabilan ekstra saat nukleon mengisi kulit sampai penuh :
- 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126, 184
- Nukleon memiliki 4 bilangan kuantum, yaitu radial quantum number (v) ; orbital quantum number (l); total angular momentum number (j), dan proyeksi vektor j pada sumbu (m_j).

Tingkat Energi pada Model Kulit Inti



n	v	ℓ		j	Notasi	m _j	∑ p atau n
1	1	0	1s	½	1s 1/2	-1/2 ... +1/2	2
2	1	1	1p	3/2	1p 3/2	-3/2 ... +3/2	4
				½	1p 1/2		2
3	1	2	1d	5/2	1d 5/2	-5/2 5/2	6
				3/2	1d 3/2		4
	3	0	2s	½	1s 1/2		2
4	1	3	1f	7/2	1f 7/2	-7/2 ... 7/2	8
				5/2	1f 5/2		6
	3	1	2p	3/2	2p 3/2		4
				½	2p ½		2
5	1	4	1g	9/2	1g 9/2	-9/2 ... 9/2	10
				7/2	1g 7/2		8
	3	2	2d	5/2	2d 5/2		6
				3/2	2d 3/2		4
	5	0	3s	1/2	3s 1/2		2
dst							

Data Defek Massa Beberapa Nuklida

Z	lambang Nuklida	A	Kelimpaan atau $t_{1/2}$	Mode peluruhan	Δ (MeV)		
0	n	1	10,6 m	β^- , no γ	8,071		
1	H	1	99,985%		7,289		
		2	0,0148%		13,136		
		3	12,33 y	β^- , no γ	14,950		
2	He	3	$1,38 \times 10^{-14}\%$		14,931		
		4	99,99986%		2,425		
		6	0,808 s	β^- , no γ	17,597		
		8	0,122 s	β^- , β^- n 12%	31,609		
8	O	13	8,9 ms	β^+ p	23,105		
		14	70,60 s	β^+ 99,89%	8,008		
		15	122 s	EC 0,11%, no γ	2,855		
		16	99,76%		-4,737		
		17	0,038%		-0,810		
		18	0,204%		-0,783		
		19	26,9 s	β^-	3,331		
		20	13,5 s	β^-	3,799		
		10	Ne	20	90,51%		-7,043
		15	P	28	270 ms	β^+	-7,160
29	4,1 s			β^+ b	-16,949		
30	2,50 m			β^+ . EC	-20,204		
31	100 %				-24,440		
32	14,28 d			β^- , no γ	-24,305		
33	25,3 d			β^- , no γ	-26,337		
34	12,4 s			β^-	-24,55		
35	47 s			β^-	-24,94		
16	S			29	0,19 s	β^- , β^+ p	-3,16
				30	1,2 s	β^+	-14,062
		31	2,6 s	β^+	-19,044		
		32	95,02%		-26,015		
		33	0,75%		-26,566		
		34	4,21%		-29,931		
		35	87,4 d	β^- , no γ	-28,864		
20	Ca	40	96,94%		-34,847		
46	Pa	118	3,1 s	β^-	-76,21		
90	Th	234	24,10 d	β^-	40,612		
92	U	236	$2,342 \times 10^7$ y	α	42,442		
		236f	0,12 ms	SF	44,79		
		237	6,75 d	β^-	45,389		
		238	99,275%, $4,468 \times 10^9$ y	α	47,307		
	238f	0,19 ms	IT 96%, SF 4%	49,866			

Keterangan : SF = pembelahan spontan, no γ = tidak memancarkan γ , IT Transisi Isomerik, EC = Electron capture (Tangkapan Elektron)

