ENERGI NUKLIR

CONTOH
BIDANG KAJIAN YANG BERLANDASKAN FISIKA MODERN

DISAMPAIKAN PADA:

WORKSHOP SEHARI
DISEMINASI PENGAJARAN FISIKA MODERN
DALAM UPAYA MENINGKATKAN KOMPETENSI GURU
SMA
DISEKITAR JATINANGOR

Oleh :
Yayah Yuliah

JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIGA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PADJADJARAN
Oktober 2007

KATA PENGANTAR

Sebagai upaya melaksanakan salah satu unsur Tri Darma Perguruan Tinggi, pada tanggal 24 Oktober 2007 telah dilaksanakan suatu kegiatan pengabdian kepada masyarakat berupa workshop yang bertema:

Diseminasi Pengajaran Fisika Modern
Dalam Upaya Meningkatkan Kompetensi Guru SMU
Disekitar Jatinangor Dan Bandung Timur

Sesuai dengan temanya, pada kegiatan ini disampaikan tentang berbagai hal yang terkait dengan pelajaran Fisika Modern. Selain sesi penyampaian materi juga dilaksanakan sesi diskusi yang membahas berbagai problematika yang dirasakan para guru dalam upaya menyampaikan pokok bahasan fisika modern pada mata pelajaran fisika. Banyak hal yang terungkap dari hasil diskusi ini untuk dipertimbangkan dan diangkat sebagai topik kegiatan yang sama dimasa mendatang.

Pada kesempatan ini kami mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah memungkinkan terlaksananya kegiatan ini, yaitu antara lain:

- Dekan FMIPA UNPAD yang telah memberikan dukungan mulai dari perizinan, pengadaan sertifikat dan fasilitas lainnya.
- Ketua Jurusan Fisika FMIPA UNPAD, yang telah memberikan keleluasaan waktu dan fasilitas untuk melaksanakan kegiatan ini.
- Para kepala SMA yang terlah mengirimkan perwakilannya atas sambutan dan kerjasama yang baik sehingga kegiatan ini dapat terlaksana.
- Bapak dan Ibu Guru peserta workshop yang telah mengikuti kegiatan ini dengan antusias, atas masukan-masukkannya yang sangat berarti untuk meningkatkan kualitas pelaksanaan kegiatan seperti ini dimasa mendatang.
- Rekan-rekan dosen dan staf administrasi serta laboran yang telah membantu kelancaran kegiatan ini.

Semoga kegiatan ini dapat memberikan manfaat khususnya bagi guru-guru SMA yang mengikuti kegiatan ini dan umumnya bagi peningkatan kualitas pengajaran fisika di sekolah menengah.

Bandung, Oktober 2007
Peneliti.

PENDAHULUAN

Mata pelajaran fisika seringkali dipandang sebagai sesuatu yang bersifat abstrak dan sulit. Hal ini dapat dimengerti karena pada umumnya pengajaran fisika disajikan secara konvensional dan lebih sering merupakan pembahasan teori-teori dan rumusan matematika dengan mengacu hanya pada buku pegangan khusus. Akibatnya ilmu fisika tereduksi menjadi bacaan biasa, gejala fisika atau gejala alam yang disampaikan hanya dapat dibayangkan tanpa difahami siswa.

Persoalan diatas semakin terasa pada saat membahas pokok bahasan Fisika Modern karena sesuai dengan karakteristiknya, pembahasan Fisika Modern memerlukan bahasa matematika tingkat tinggi dengan abstraksi diluar fenomena fisika biasa (klasik). Sebagai contoh salah satu postulat Einstein menyatakan bahwa ruang dan waktu tidak tetap dan tidak tak-berubah. Akan tetapi ruang dan waktu berperilaku seperti karet yang bisa memanjang dan memendek. Ruang dan waktu mengatur diri mereka sendiri untuk menjaga sesuatu yang lain yaitu kecepatan cahaya tetap konstan, tidak peduli pergerakan benda itu mendekati atau menjauhi berkas cahaya. Dengan kata lain, benda yang bergerak menuju atau menjauhi berkas cahaya merasakan ruang dan waktu memuai atau memendek, sehingga kecepatan cahaya pada akhirnya tetap konstan.

Apabila pembahasan fenomena fisika dilengkapi dengan contoh-contoh aplikasi berupa fenomena-fenomena alam yang disajikan secara visual atau yang manfaatnya dapat terlihat langsung dalam kehidupan sehari-hari maka mata pelajaran fisika akan lebih menarik dan lebih mudah dipahami siswa.

Kajian Fisika Modern meliputi dua topik utama yaitu Teori Relativitas dan Teori Kuantum. Pada Silabus Kurikulum Nasional, topik bahasan Fisika Modern diberikan di kelas XII pada semester 2 dengan standar kompetensi yang diharapkan sesuai dengan kedua topik utamanya yaitu dapat menganalisis berbagai besaran fisis pada gejala kuantum dan batas-batas berlakunya relativitas Einstein dalam paradigma fisika modern. Uraian ini terdengar sangat konseptual dan seperti diuraikan diatas tanpa metode yang tepat, yang akan terjadi adalah siswa hanya menghafal rumus-rumus dan postulat yang di kemukakan dalam fisika modern tanpa mengerti maknanya. Untuk menghindari kesan ini didalam silabus tersebut sebenarnya telah diuraikan kompetensi dasar yang harus dicapai siswa antara lain adalah:

1. Menganalisis secara kualitatif gejala kuantum yang mencakup hakikat dan sifat-sifat radiasi benda hitam serta penerapannya
2. Memformulasikan teori relativitas khusus untuk waktu, panjang, dan massa, serta kesetaraan massa dengan energi yang diterapkan dalam teknologi.

Kedua aspek diatas tampak selain pemahaman rumus dan teori juga sangat menekankan segi penerapan dari teori-teori tersebut.

Untuk dapat membekali siswa mencapai kompetensi di atas, para guru harus secara aktif meningkatkan wawasan untuk mencari dan mempelajari bahan-bahan pengajaran yang dibutuhkan. Namun disadari bahwa tidak semua guru memiliki waktu dan fasilitas yang cukup untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Oleh karena itu pada workshop ini antara lain disampaikan contoh-contoh aplikasi yang dapat membantu para guru dalam pengajaran fisika modern.

Makalah ini khusus memberikan gambaran tentang salah satu contoh bidang kajian yang berlandasakan fisika modern yaitu pemanfaatan konsep kesetaraan massa dan energi dalam membangkitkan energi nuklir. Materi lengkapnya disajikan dalam bentuk Slide terlampir.

Semoga paparan ini dapat membantu para peserta dalam meningkatkan wawasan dan contoh penerapan konsep-konsep Fisika Modern khususnya teori relativitas.

Menyetujui :
Ketua Program Studi Fisika

Penulis.

Dr. Ayi Bahtiar
NIP: 132 167 935

Yayah Yuliah, MS
NIP: 131 789 794

Mengetahui
Dekan FMIPA Universitas Padjadjaran

Prof. Dr. Husein H. Bahti
NIP: 130 367 261

ENERGI NUKLIR

Sifat-sifat Nuklir Dalam Memenuhi Kebutuhan Energi

- Energi alam yang paling fundamental
- Konsentrasi energi sangat tinggi
  - 1 g U-235 = 3.000.000 g batu bara (fisika/teori)
  - 1 g U-235 = 100.000 g batubara (teknologi - 90'an)
  - 1 g PU = 1.000.000 g batubara (teknologi - 90'an)
- Bersifat intensif teknologi, tidak intensif sumberdaya alam
- Reaktor Nuklir tidak bisa meledak karena:
  - Pengkayaan Uranium-235 kurang dari 20%
  - Adanya zat struktural: SS, Zr
  - Adanya zat pendingin H2O
  - Adanya racun Neutron yang kuat
  - Batang kendali (HF, B, SS)

Sifat-sifat Nuklir Dalam Memenuhi Kebutuhan Energi[c]

- Volume limbah kecil, mudah dikumpulkan, diproses dan disimpan (diisolasi dari lingkungan manusia)
- Pembelahan melalui reaksi inti dengan neutron tidak menimbulkan polutan organik
  (sebaliknya batubara dibakar dengan oksigen, menimbulkan polutan organik dan non organik: VHC, SOX, NOX, dan lain lain yang berbahaya bagi kesehatan)
- Polusi radiasi mudah diatasi dengan perisai dan sistem keselamatan lain
- Bahan bakar bersifat kuasi - domestik (mudah diperoleh di pasar internasional dan dapat ditimbun)
- Sumber daya energi nuklir mampu memasok energi dengan skala besar dan untuk jangka panjang

Perbandingan energi

- Densitas energi nuklir sangat tinggi, lebih tinggi dibandingkan dengan batu bara ataupun minyak bumi:
  - 1 kg uranium dapat menghasilkan energi listrik sebesar 50.000 kWh bahkan dengan proses lebih lanjut dapat mencapai 3.500.000 kWh.
  - 1 kg batu bara menghasilkan energi sebesar 3 kWh
  - 1 kg minyak bumi hanya dapat menghasilkan energi sebesar 3 kWh 4 kWh.
- Pada sebuah pembangkit listrik non-nuklir berkapasitas 1000 MWe diperlukan bahan bakar :
  - 2.600.000 ton batu bara atau
  - 2.000.000 ton minyak bumi
- Pada pembangkit listrik tenaga nuklir dengan kapasitas listrik yang sama hanya memerlukan 30 ton uranium dengan teras reaktor 10 m^3,

Perbandingan energi

Bom Atom dan kecelakaan radiasi nuklir sudah selayaknya dibuang jauh-jauh dan dijadikan sebuah pelajaran berharga dalam penggunaan energi nuklir, tidak lagi dijadikan kendala yang dapat menghambat pemanfaatan energi nuklir sebagai alternatif pasokan kebutuhan energi listrik dunia

Energi Nuklir

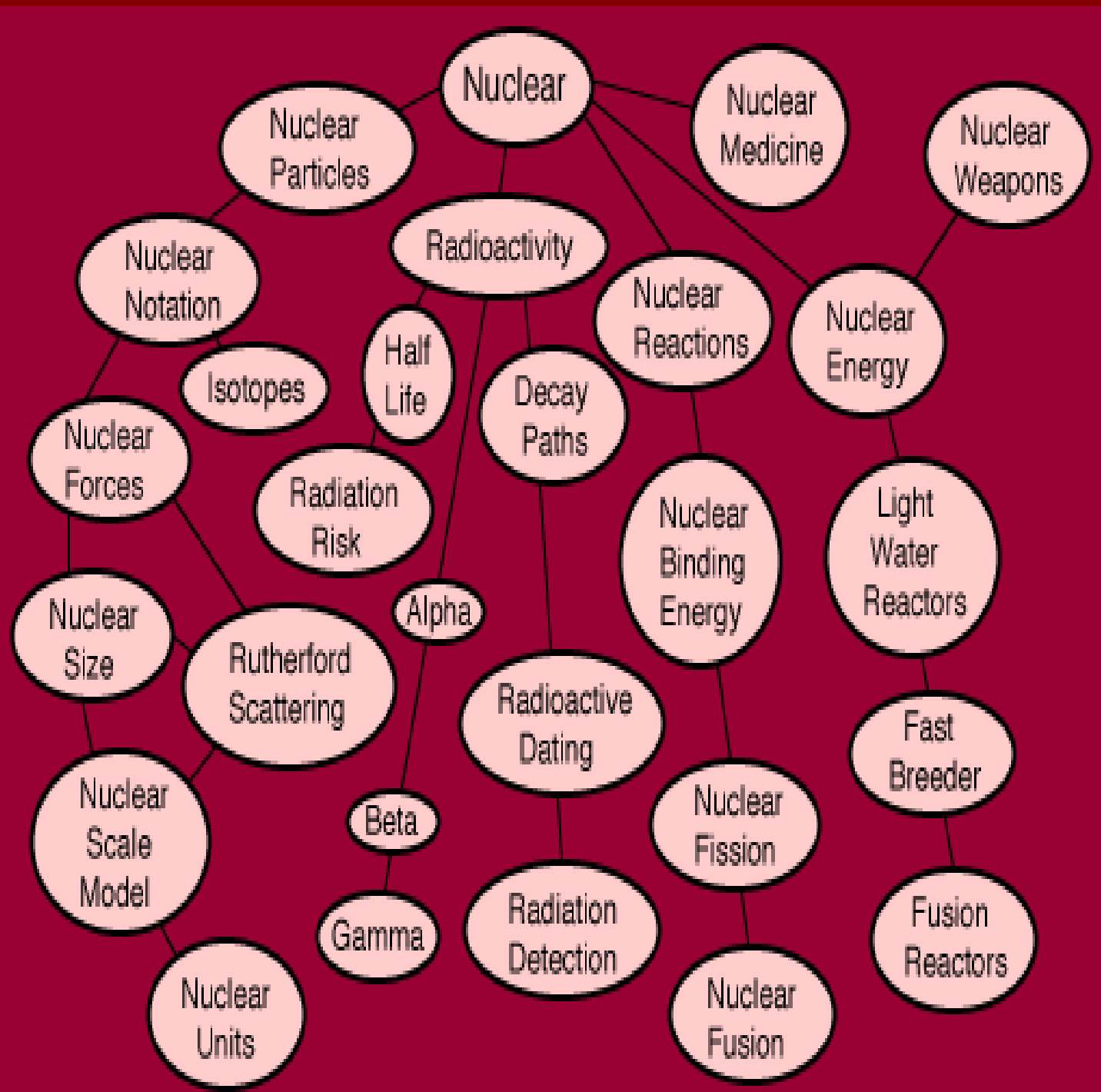
Energi nuklir merupakan hasil dari reaksi yang terjadi pada inti atom:

- Reaksi Fisi: Pembelahan Inti, Reaktor Fisi
- Reaksi Fusi: Penggabungan Inti, Reaktor Fusi

Reaksi Inti

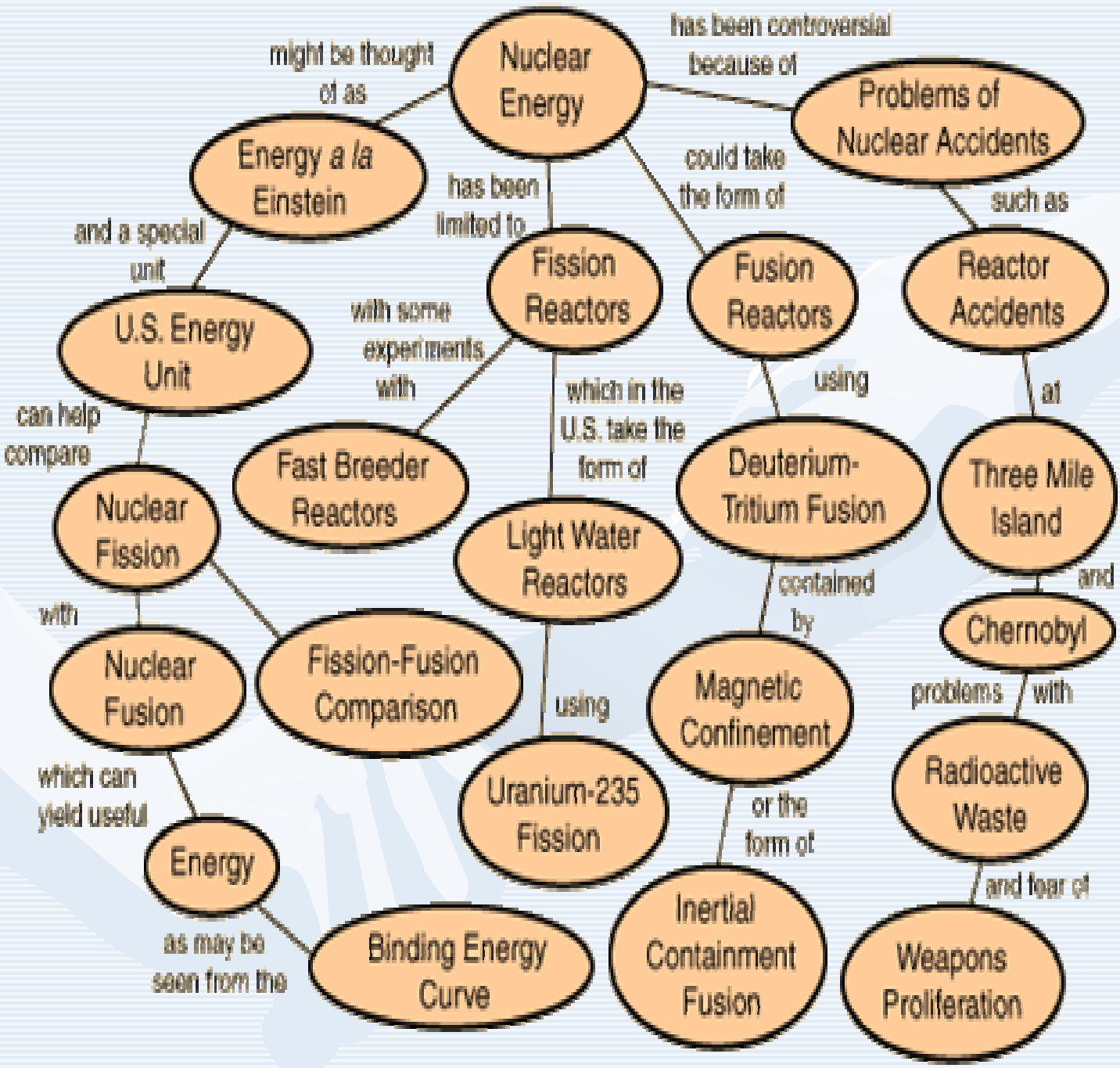
Dalam fisika nuklir, reaksi inti adalah suatu proses di mana dua inti atau partikel inti bertumbukan, menghasilkan produk yang berbeda dari partikel awal.

Peta Kajian Fisika Inti



©97 C.R. Nave

Peta Kajian Energi Nuklir/Inti



Energi Ikat Inti

Inti tersusun dari sejumlah proton dan netron tetapi massa inti selalu lebih kecil dari jumlah masa proton dan netron penyusunnya.
Perbedaan massa ini disebut, *mass defect,* merupakan energi ikat inti yang menyatukan nukleon-nukleon penyusun inyi.
Energi ikat ini dapat dihitung dari rumus massa Einstein:

$$\text{Energi ikat} = \Delta mc2$$

Energi Ikat Inti

Notasi Inti/Nuklida

Inti suatu unsur kimia yang bersimbol X, secara lengkap dinyatakan dengan notasi:

$$ {}^{A}_{Z}X_{N} $$

dimana:

- A = jumlah nukleon→ nomor massa
  Yang merupakan penjumlahan dari:
- Z jumlah proton → nomor atom
- N jumlah neutron

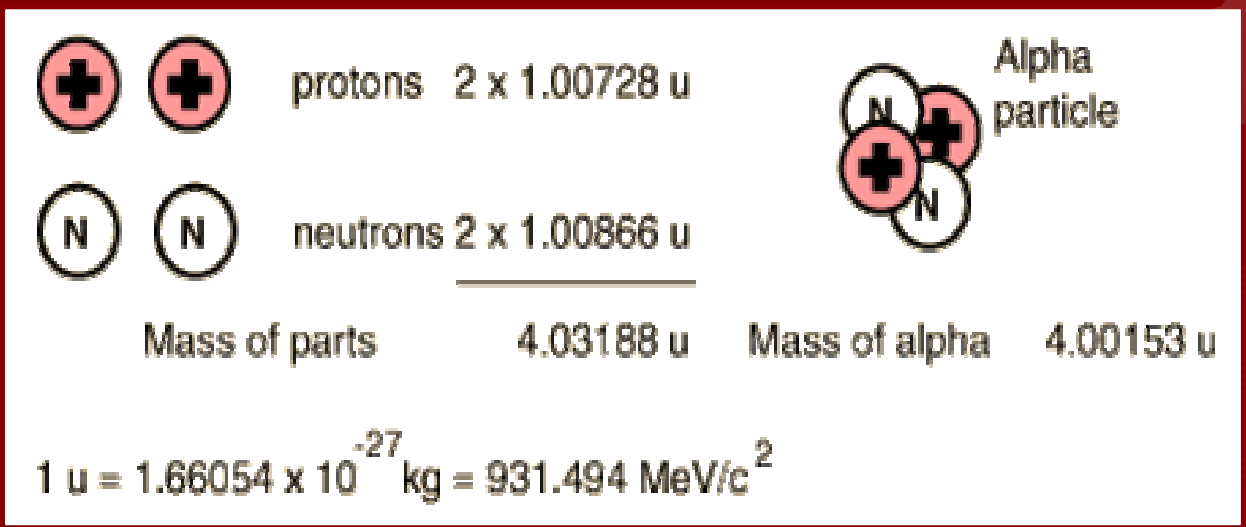
Energi ikat inti dengan nomor massa A dan jumlah proton Z adalah

$$ B = \{Zm_p + Nm_n - [m(^{A}X) - Zm_e]\}c^2 $$

$$ = \{Zm(^{1}H) + Nm_n - m(^{A}X)\}c2 $$

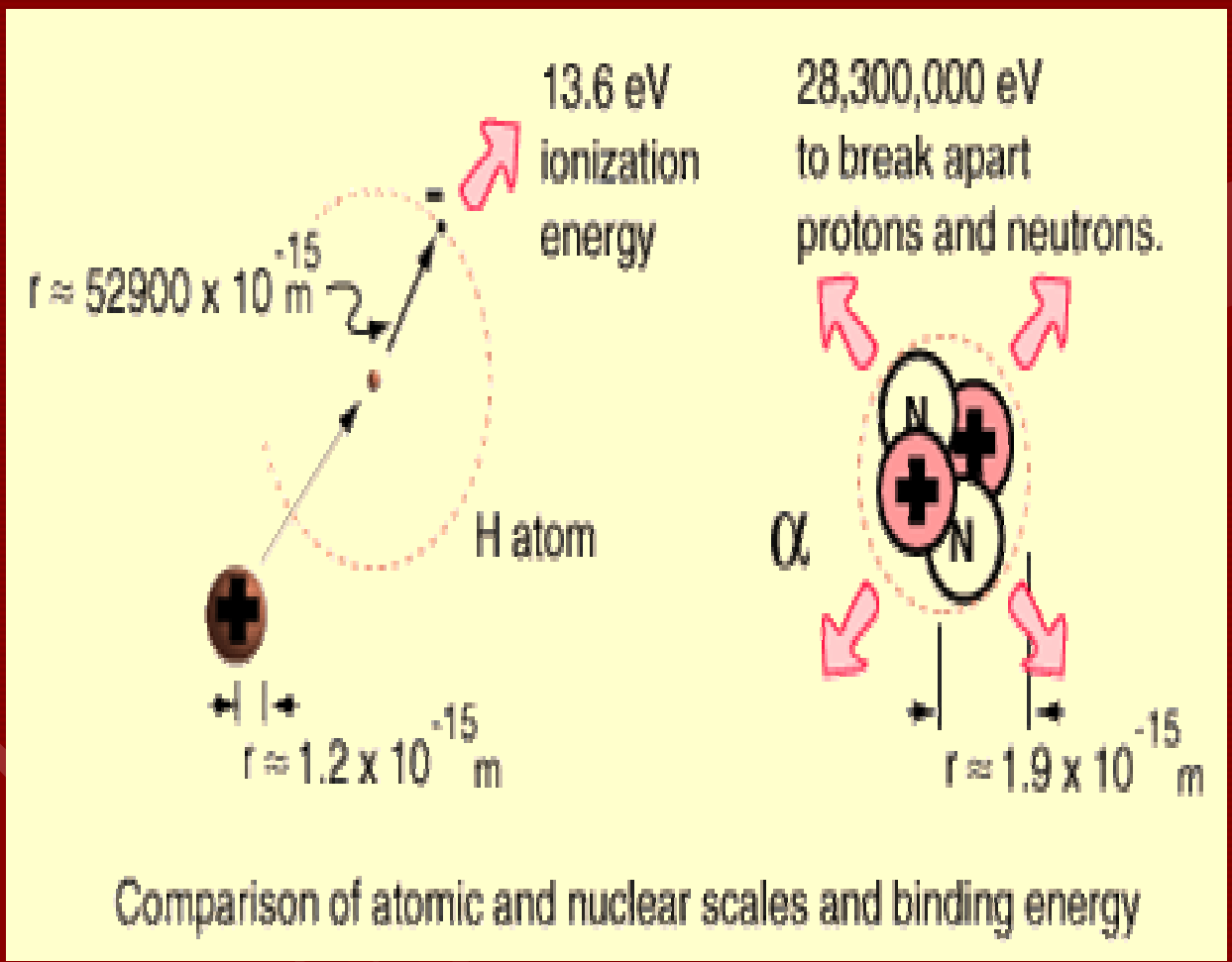
Untuk partikel Alpha:

- Dengan dua proton dan dua netron:



- Defek masanya $\Delta m = 0.0304$ u sehingga energi ikat partikel alpha adalah 28.3 MeV

Perbandingan skala dan energi ikat inti dan atom



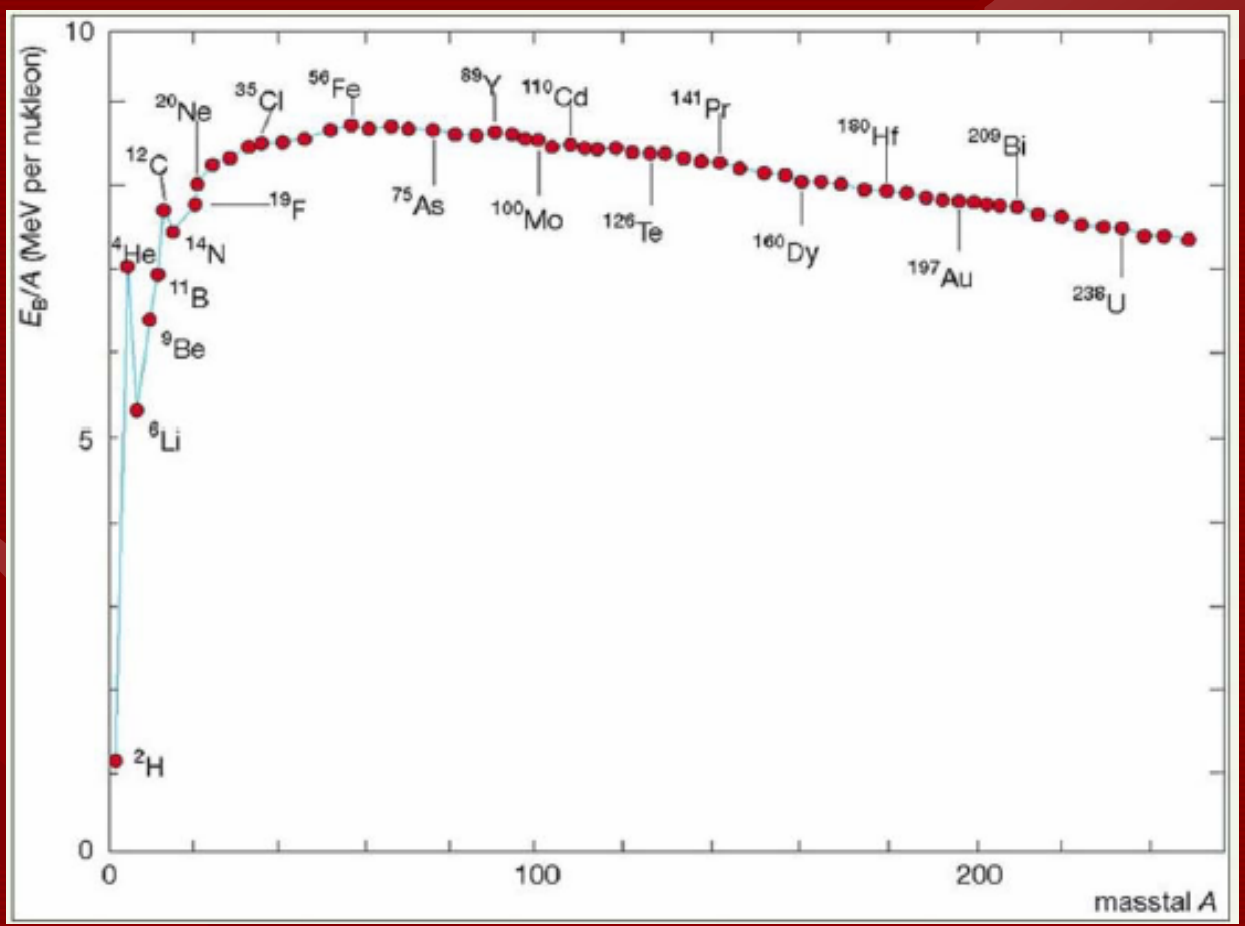
Comparison of atomic and nuclear scales and binding energy

Energi ikat atomik vs Energi ikat inti

- Energi ikat nukleon dalam rentang jutaan electron volt, jauh lebih besar dari elekltron atomik yang hanya puluhan eV
- Transisi elektrob memancarkan foton pada rentang energi beberapa eV disekitar cahaya tampak,
  sedangkan transisi inti memancar foton sinar gamma dengan energi kuantum dalam rentang MeV

Kurva Energi Ikat

Kurva energi ikat inti adalah plot energi ikat per-nukleon terhadap nomor massa masing-masing.

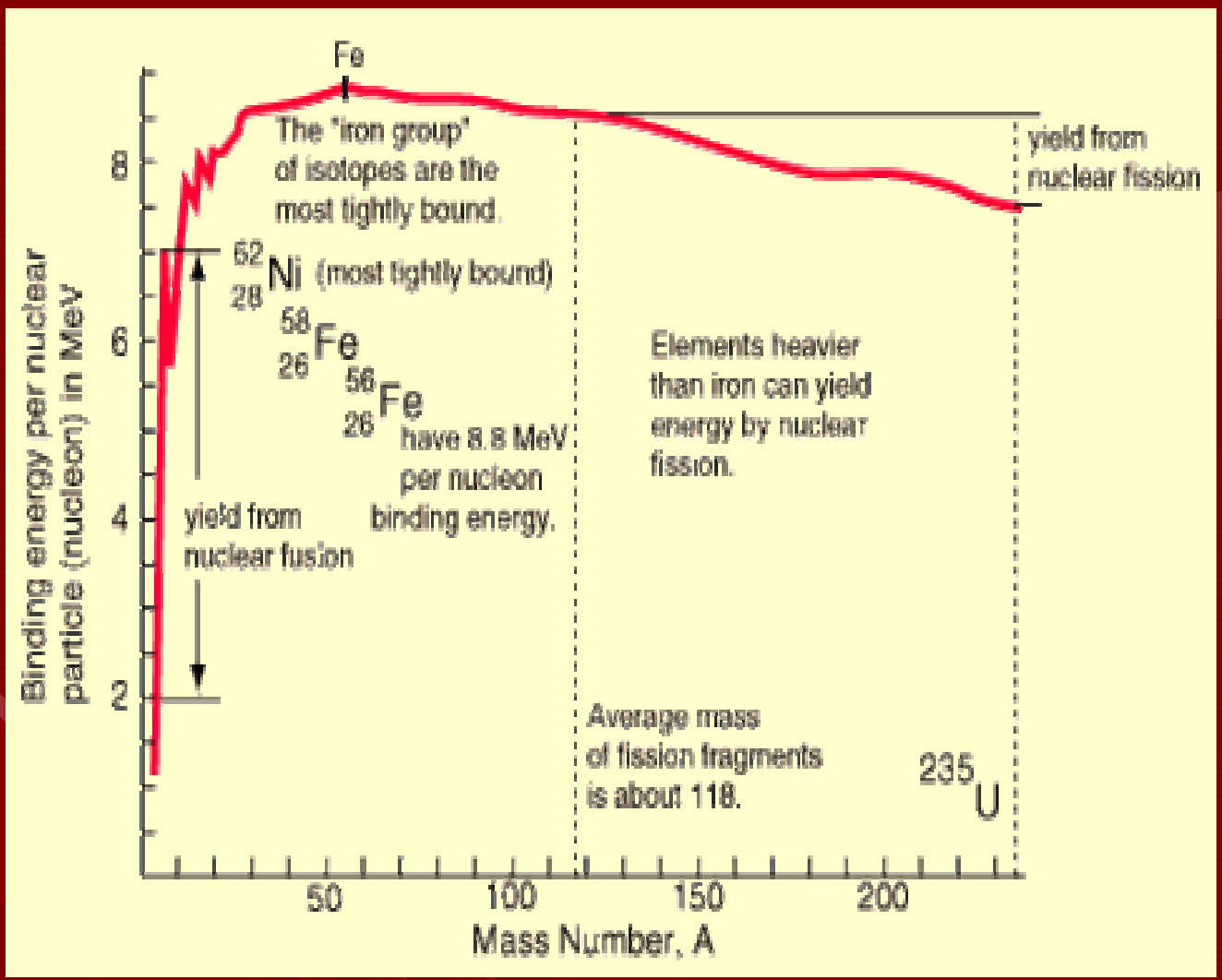


Kurva Energi Ikat[c]

Kurva yang diperoleh memiliki karakteristik:

- terdapat sebuah puncak energi ikat, daerah stabil sekitar unsur Fe
- berarti bahwa pemecahan inti berat (fisi) atau penggabungan inti ringan (fusi) akan menghasilkan inti dengan ikatan yang lebih ketat (energi massa per nukleon lebih kecil).

∴ Fisi dan Fusi dapat menghasilkan Energi



Perbandingan Energi Hasil Fisi dan Fusi

FUSION

deuterium 1875.62 MeV

Fuel

tritium 2808.92 MeV

alpha 3727.38 MeV

Products

neutron 939.57 MeV

FISSION

^{235}U 218,896.8 MeV

Fuel

neutron 939.57 MeV

Average fission yield 215 MeV

D-T fusion yield: 17.6 MeV

Fractional yield: $\frac{17.6\ \text{MeV}}{4684.54\ \text{MeV}} = .00375$ $\frac{215\ \text{MeV}}{219{,}836.37\ \text{MeV}} = .00098$

Calculation of the number of reference units of energy produced from 1 kg of fuel by fusion and fission. 3.38×10^{14} J

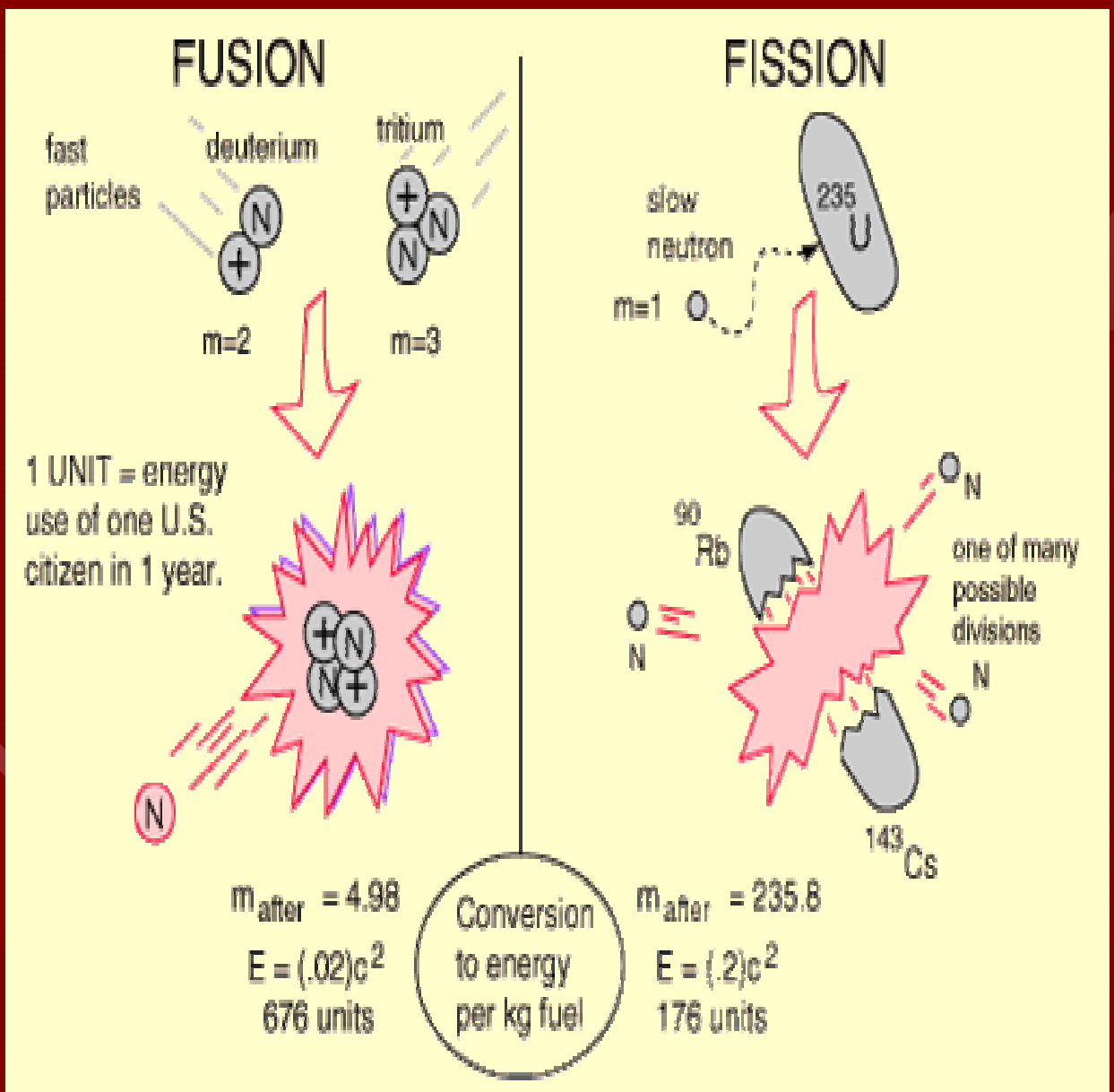
676

Per kg of fuel: Δmc^2 8.80×10^{13} J

1 UNIT = energy use of one U.S. citizen in 1 year.

176

Conversi Energi per kg BBN



Energi Nuklir Yang Bisa Dihasilkan Per Kg Materi:

Fisi nuklir:

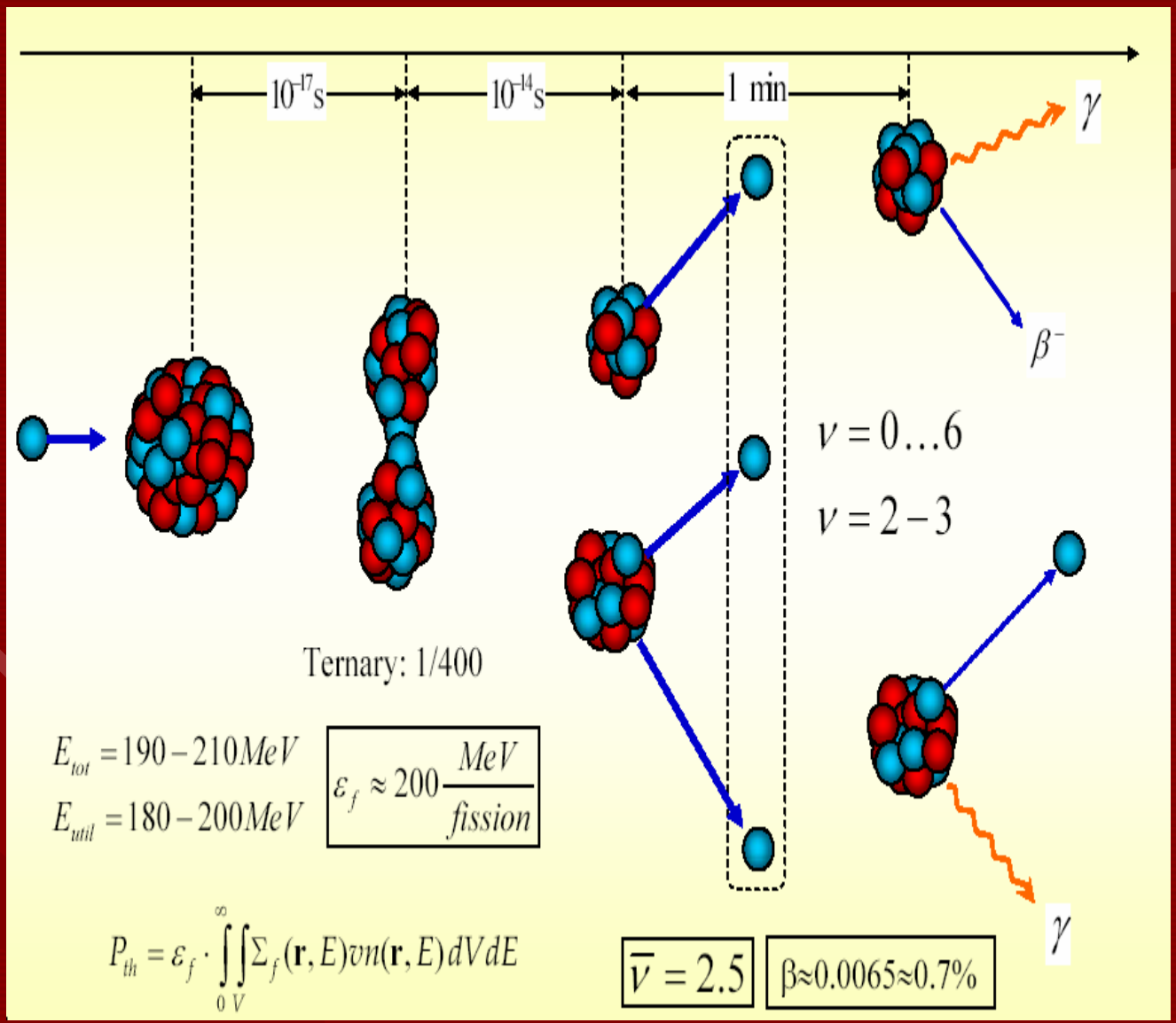
- Uranium-233:
  17,8 Kt/kg = 17800 Ton TNT/kg
- Uranium-235:
  17,6 Kt/kg = 17600 Ton TNT/kg
- Plutonium-239:
  17,3 Kt/kg = 17300 Ton TNT/kg

Fusi nuklir:

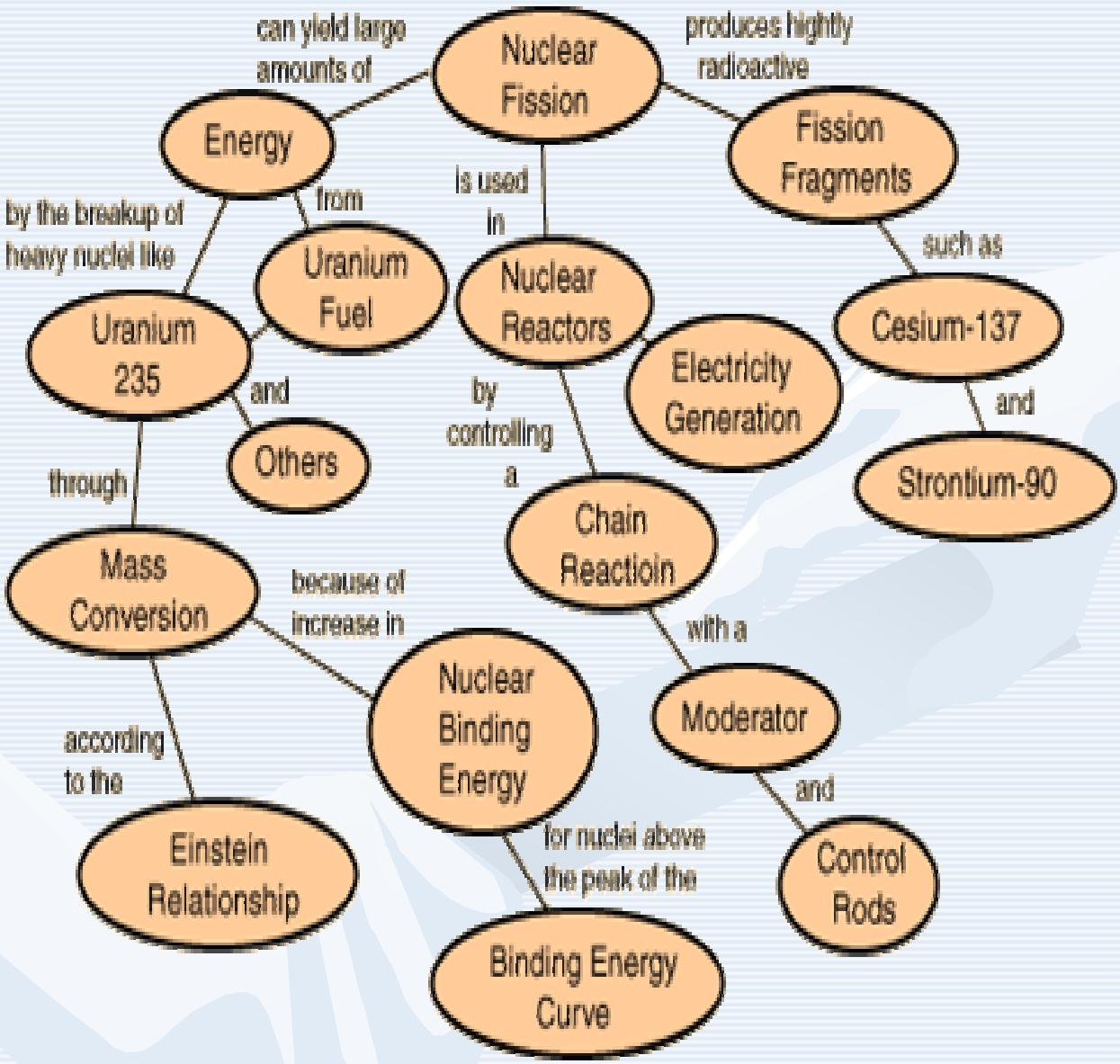
- Deuterium + Deuterium:
  82,2 Kt/kg = 82200 Ton TNT/kg
- Tritium + Deuterium:
  80,4 Kt/kg = 80400 Ton TNT/kg
- Lithium-6 + Deuterium:
  64,0 Kt/kg = 64000 Ton TNT/kg

Reaksi Fisi

Proses Fisi



Fisi Nuklir


Nuclear Fission
can yield large amounts of
Energy
produces highly radioactive
Fission Fragments
by the breakup of heavy nuclei like
from
Uranium Fuel
Uranium 235
and
Others
is used in
Nuclear Reactors
such as
Cesium-137
and
Strontium-90
Electricity Generation
by controlling a
Chain Reaction
through
Mass Conversion
because of increase in
Nuclear Binding Energy
with a
Moderator
and
Control Rods
according to the
Einstein Relationship
for nuclei above the peak of the
Binding Energy Curve

Energi yang dibebaskan dalam reaksi fisi

$$n + {}^{A}X \rightarrow {}^{A+1}X^{*} \rightarrow {}^{A_1}Y + {}^{A_2}Z + E_f : \quad E_b^1 \geq E_b^2$$

$$E_f = c^2\left[M_c - \left(M_1 + M_2\right)\right]$$

$$M_i \simeq A_i\left[m_n - \frac{E_b^i}{c^2}\right]$$

$$E_f \simeq (A+1)\left[E_b^2 - E_b^c\right] + A_1\left[E_b^1 - E_b^2\right] \qquad A_c = A + 1 = A_1 + A_2$$

Contoh reaksi fisi

$$n + {}^{235}\mathrm{U} \rightarrow {}^{236}_{92}\mathrm{U}^{*} \rightarrow {}^{144}_{55}\mathrm{Cs} + {}^{91}_{37}\mathrm{Rb} + 1n$$

$$n + {}^{235}\mathrm{U} \rightarrow {}^{236}_{92}\mathrm{U}^{*} \rightarrow {}^{140}_{54}\mathrm{Xe} + {}^{94}_{38}\mathrm{Sr} + 2n$$

$$n + {}^{235}\mathrm{U} \rightarrow {}^{236}_{92}\mathrm{U}^{*} \rightarrow {}^{136}_{53}\mathrm{I} + {}^{99}_{38}\mathrm{Y} + n$$

Reaksi Berantai

Radiasi-Radiasi yang dihasilkan Reaksi Berantai

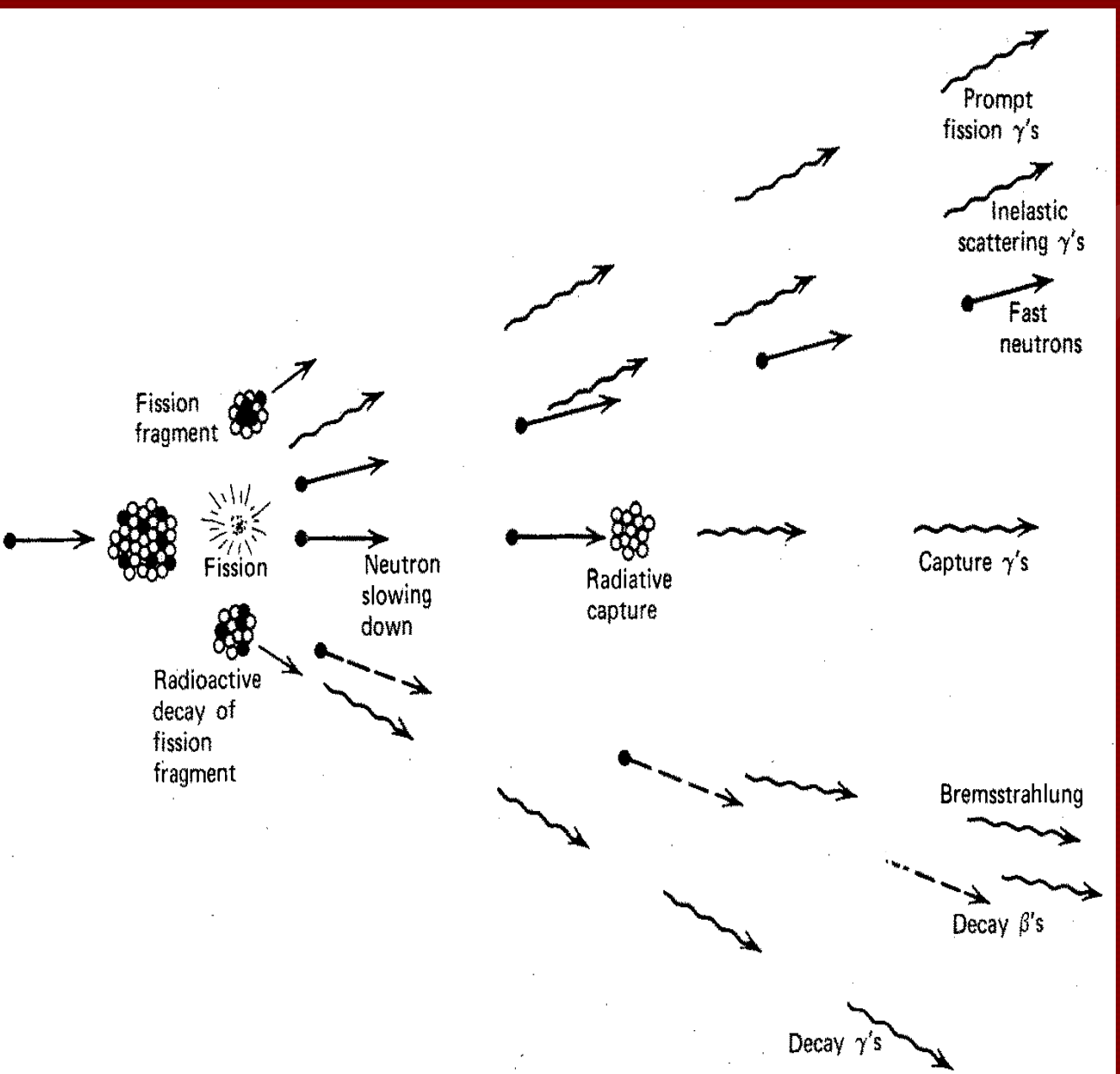
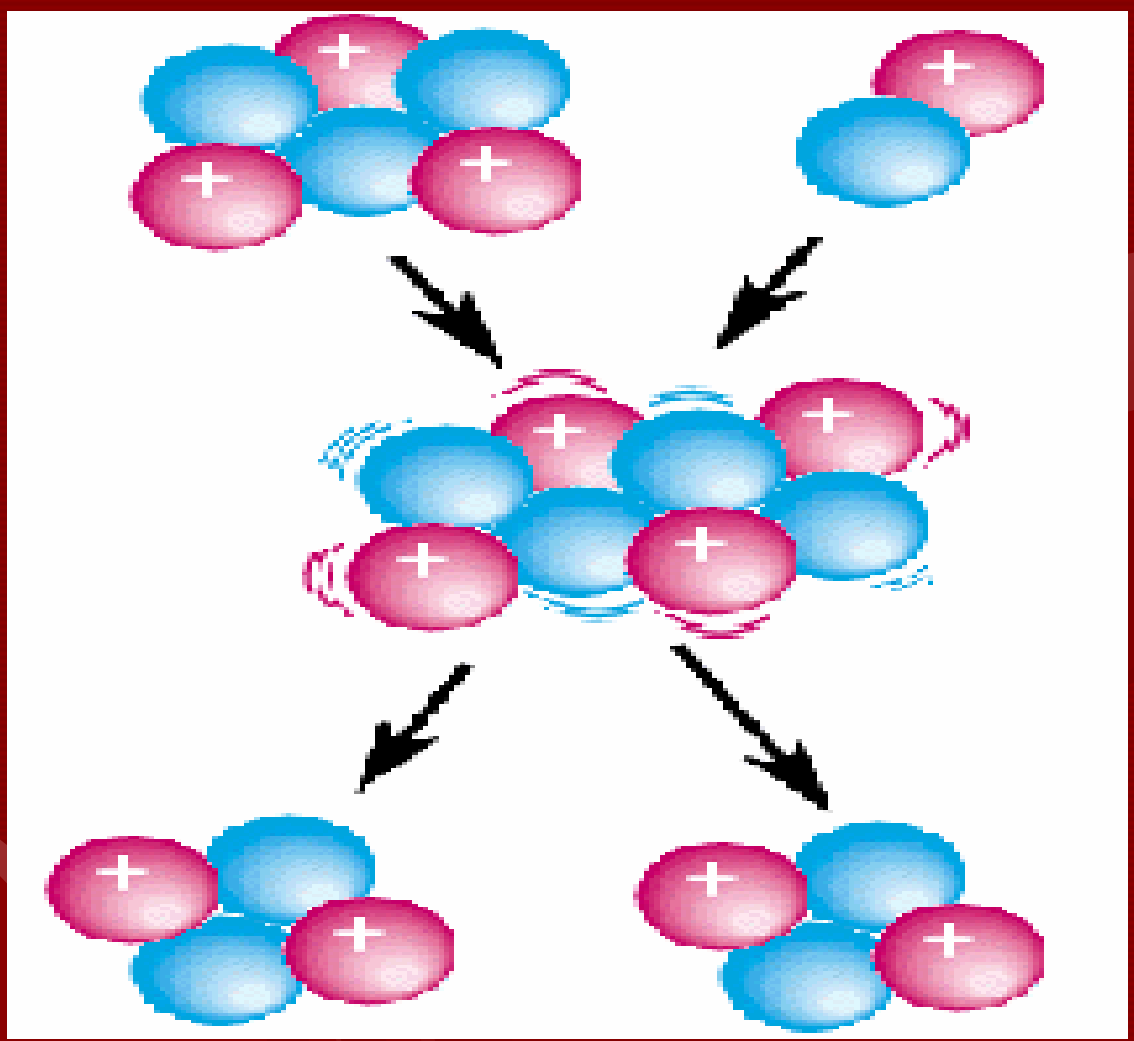


FIGURE 2-24. Types of radiation produced in a fission chain reaction.

Reaksi Fusi

Reaksi fusi antara **Lithium-6** dan **Deuterium** yang menghasilkan 2 atom **Helium-4**

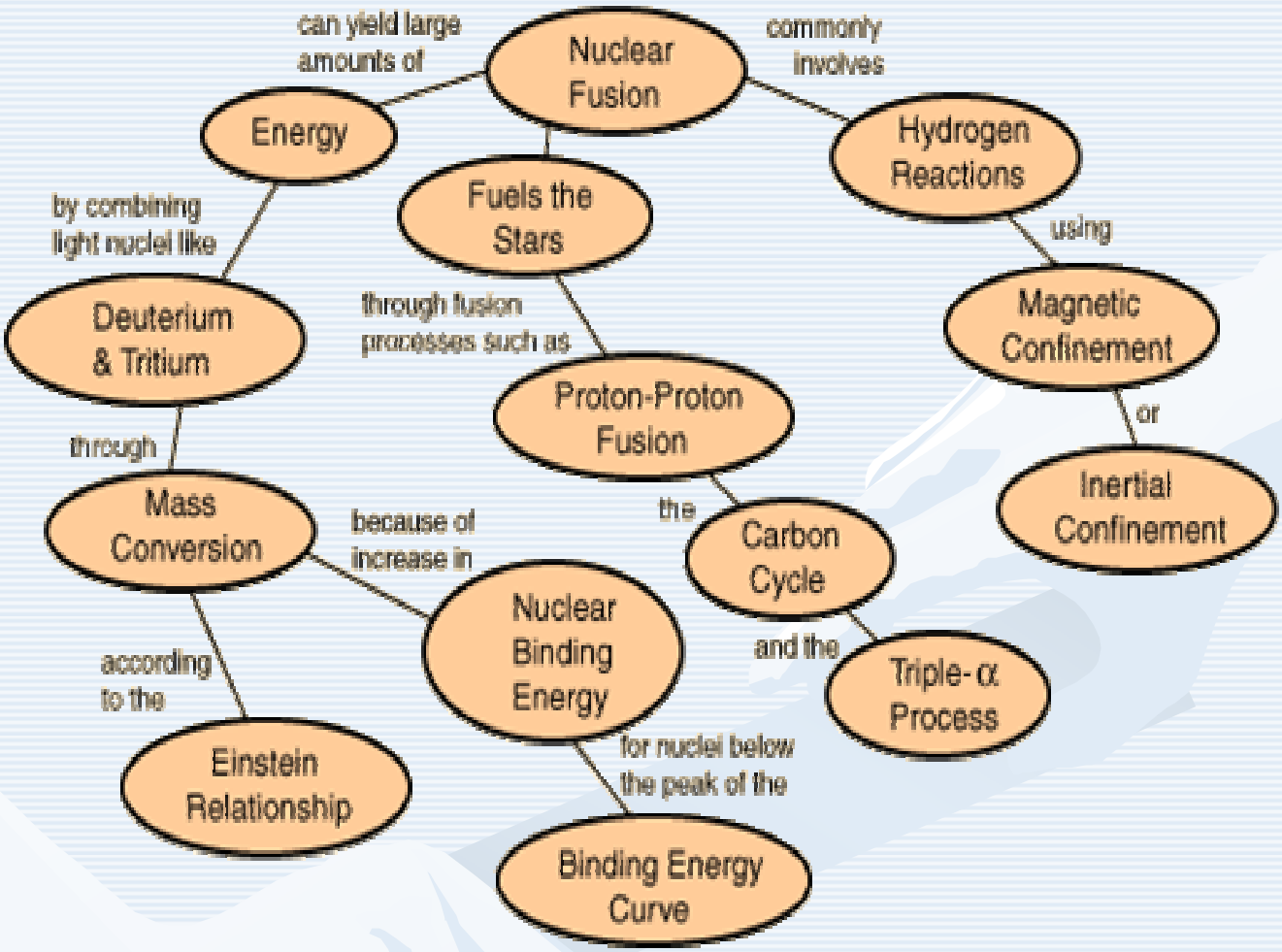


Lithium-6 + Deuterium -> Helium-4 + Helium-4

$^{6}Li + D \rightarrow {}^{4}He + 4He$

$^{6}Li + D \rightarrow 2\,{}^{4}He$

Reaksi Fusi


Nuclear Fusion
can yield large amounts of
Energy
commonly involves
Hydrogen Reactions
Fuels the Stars
by combining light nuclei like
Deuterium & Tritium
using
Magnetic Confinement
through fusion processes such as
Proton-Proton Fusion
or
Inertial Confinement
through
Mass Conversion
the
Carbon Cycle
because of increase in
Nuclear Binding Energy
and the
Triple-α Process
according to the
Einstein Relationship
for nuclei below the peak of the
Binding Energy Curve

Reaktor Fisi

(Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir)

- From Fission to Electricity:
- A nuclear power plant produces electricity in almost exactly the same way that a conventional (fossil fuel) power plant does. A conventional power plant burns fuel to create heat. The fuel is generally coal, but oil is also sometimes used. The heat is used to raise the temperature of water, thus causing it to boil. The high temperature and intense pressure steam that results from the boiling of the water turns a turbine, which then generates electricity. A nuclear power plant works the same way, except that the heat used to boil the water is produced by a nuclear fission reaction using 235U as fuel, not the combustion of fossil fuels. A nuclear power plant uses much less fuel than a comparable fossil fuel plant. A rough estimate is that it takes 17,000 kilograms of coal to produce the same amount of

Jenis-Jenis Reaktor

- Terdapat beberapa jenis reaktor nuklir dalam skala komersial. Reaktor tersebut dikategorikan menjadi 2 jenis, yaitu reaktor nuklir dengan proses reaksi fisi yang diakibatkan oleh *neutron thermal* yang kemudian disebut dengan *thermal reactor*, dan reaktor nuklir dengan proses fisi yang terjadi pada energi neutron yang tinggi (*fast neutron*) disebut reaktor cepat (*fast reactor*).
- Reaktor cepat tidak memerlukan

Jenis-Jenis Reaktor

Thermal reactor

By mixing natural uranium with a material which slows down the neutrons without absorption, sufficient of them will get to low energies where the fission cross-section for ^{235}U is extremely large.

Such a slowing down medium is called a moderator.

In this case most of the fissions are induced by neutrons with thermal energy (0.025 eV) - hence the name "thermal reactor".

Jenis-Jenis Reaktor

Fast reactor

Enrich the ^{235}U content so that sufficient fissions in this isotope occur

A 50-50 mix of the two isotopes will sustain a chain reaction with most of the fission events occurring in ^{235}U at neutron energies in the range 0.3 - 2.0 keV.

Such a reactor is known as a “fast reactor”.

(Not normally used.)

Contoh-contoh Reaktor Fisi

- Although the most common type of reactor is the Pressurized Water Reactor (PWR), many other types of reactors are also used. In the PWR, as we described earlier, there are two main water cycles. One is the water inside the core that is highly radioactive. This water's heat is transferred to other, non-radioactive water inside the second loop. This water is then used to turn a turbine.

Reaktor Fisi
(Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir)

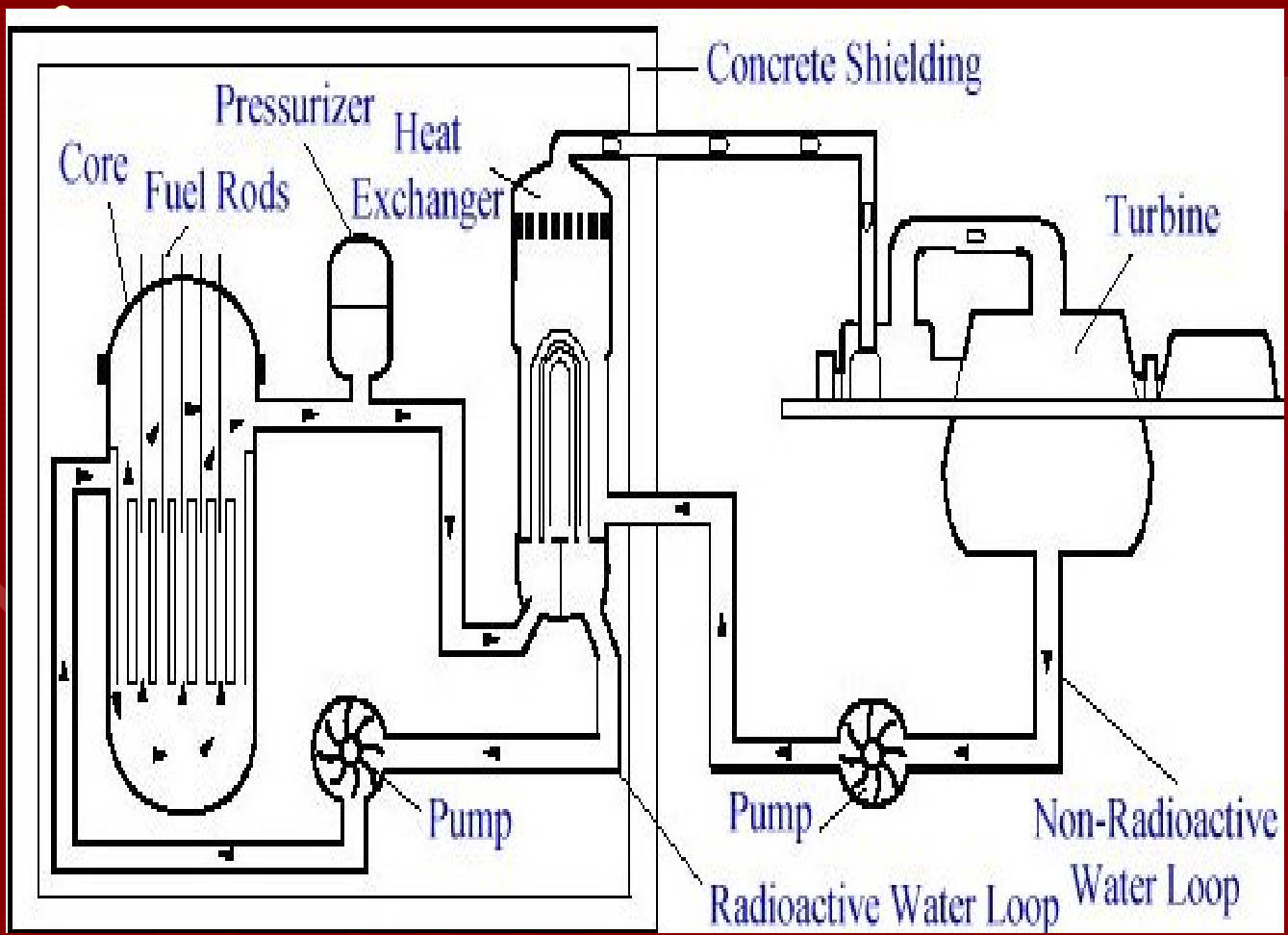
- The second most popular reactor type is the Boiling Water Reactor (BRW). This type of reactor differs from the PWR in that there is only one water cycle. Radioactive water is used to turn the turbine. The major disadvantage of this is that the radioactive nuclides in the water that cause its radioactivity can be transferred to the turbine, thus causing it to become radioactive too. This produces more hazardous material that needs to be disposed of when a

Reaktor Fisi
(Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir)

- Another type of reactor is the Heavy Water Reactor (HWR). A HWR uses heavy water as a moderator instead of normal water. Heavy water is water with deuterium, which is an isotope of hydrogen with 1 neutron. Deuterium is heavier than normal hydrogen, which has no neutrons. HWR's come in two types, pressurized and boiling, just like normal "light water" reactors. The advantage of a HWR is that un-enriched uranium fuel can be used. This

Skema Reaktor PWR

- **Power Plant Schematic**



Bahan Bakar Nuklir

- Fuel rods
- Uranium in the form of metal, oxide or ceramic in
- pellets arranged to form rods.
- Clad in metal, stainless steel, magnesium or zirconium alloys.
- This cladding supports the fuel and prevents release of fission products into coolant stream
- Also provides large surface area to improve heat transfer

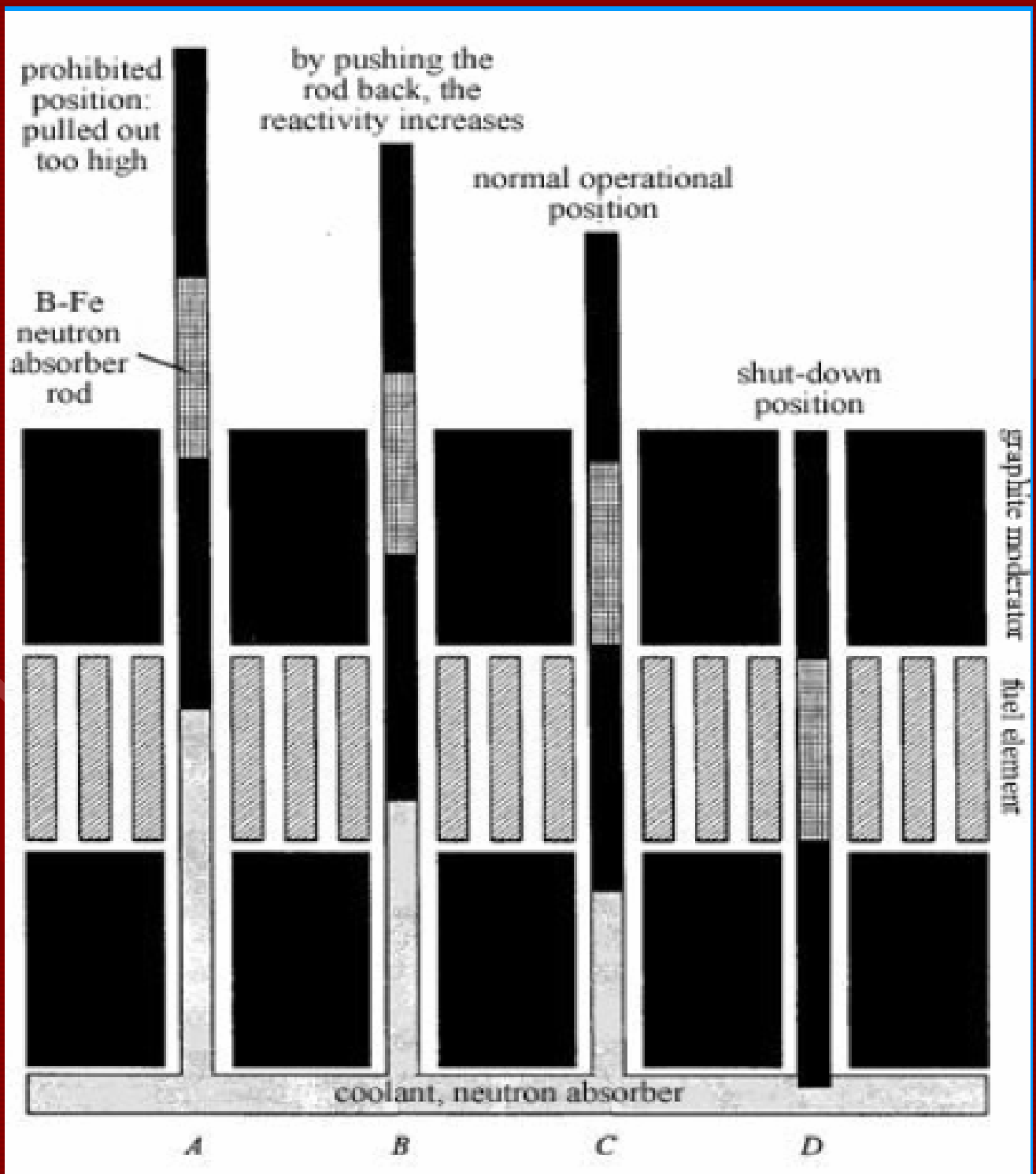
Struktur Teras Reaktor

Dalam Reactor structure Bahan Bakar Nuklir

- Usually a lattice of rods through moderator
- Periodically throughout the lattice are holes for control rods.

.

Batang Kendali

These contain cadmium, boron or other neutron absorbers “poisons” which can be moved in and out to control the flux

Prinsip Kerja Batang Kendali