

جلسه ۲۵:

انرژی هسته ای (۱)

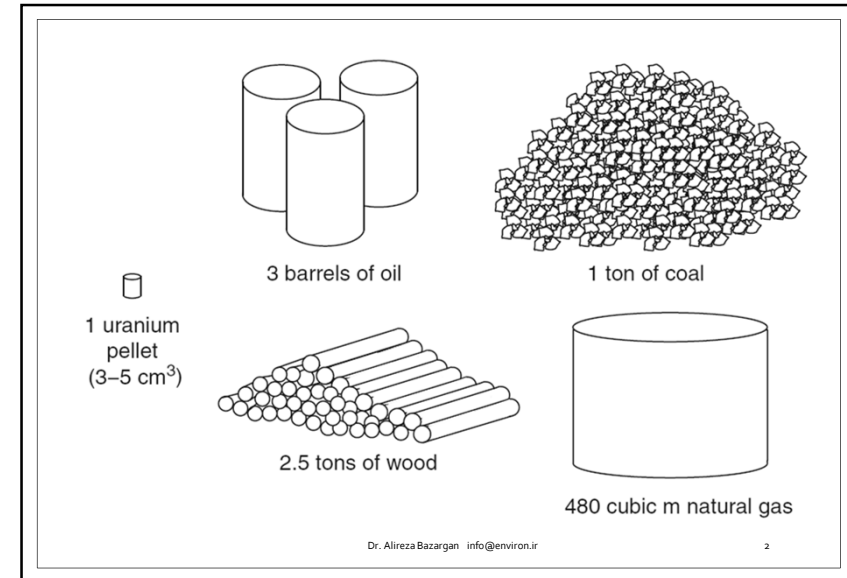
درس: انرژی و توسعه پایدار

دکتر علی رضا بازارگان

info@environ.ir

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

1



نگاه تاریخی

- صده ۱۸ پر از اکتشافات جدید در مباحث متنوع بود
- یکی از این کشفیات، رادیواکتیویته بود که توسط ماری کوری کشف شد
- اولین عنصر رادیواکتیو که او در سال ۱۸۹۸ کشف کرد به نام کپورس ثبت شد (polonium)
- رادیواکتیویته یعنی ساطع کردن پرتو هسته ای (آلفا، بتا، گاما و...) که یا به صورت طبیعی از عناصر ناپایدار ساطع می شوند و یا به صورت غیر مستقیم (واکنش هسته ای) تولید می شوند

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

3

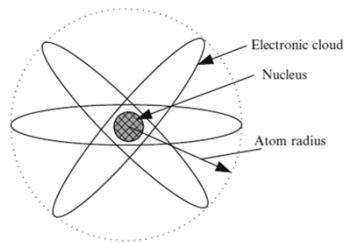
نگاه تاریخی



- در سال ۱۹۴۲ اولین رئاکتور آزمایشگاهی در شیکاگو ساخته شد
- در تاریخ های ۶ و ۹ آگوست ۱۹۴۵ آمریکا با بمب اتم هزاران هزار انسان را جزاله کرد
- اولین نیروگاه هسته ای در سال ۱۹۵۱ در آیدهو به ظرفیت ۱۰۰ کیلووات ساخته شد

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

4



اتم

- حدود ۱۲۰ عنصر شیمیایی در جهان وجود دارد
- ترکیب های متنوع این عناصر میلیون ها ماده (مولکول) مختلف تولید می کند
- یک عنصر شیمیایی توسط فعل و انفعالات شیمیایی هرگز تجزیه نمی شود
- شعاع یک اتم در حدود ۳-۱ انگستروم است (۱۰ به توان منفی ۱۰ متر) و وزن آن حدود ۱۰ به توان منفی ۲۷-۲۵ کیلوگرم

اتم

- تقریباً تمام وزن یک اتم در هسته آن است
- اتم کربن با ۶ پروتون و ۶ نوترون طبق تعریف 12AMU وزن دارد. از آن جا که وزن این اتم $1.993 \times 10^{-26} \text{kg}$ است، می توان محاسبه کرد که هر AMU معادل $1.66 \times 10^{-27} \text{kg}$ است
- اتم ها با تعداد پروتون های خود تعریف می شوند. به عنوان مثال هر اتمی ۶ پروتون داشته باشد کربن است، مستقل از تعداد الکترون یا نوترونی که دارد. تفاوت در تعداد نوترون "ایزوتوپ" نام دارد

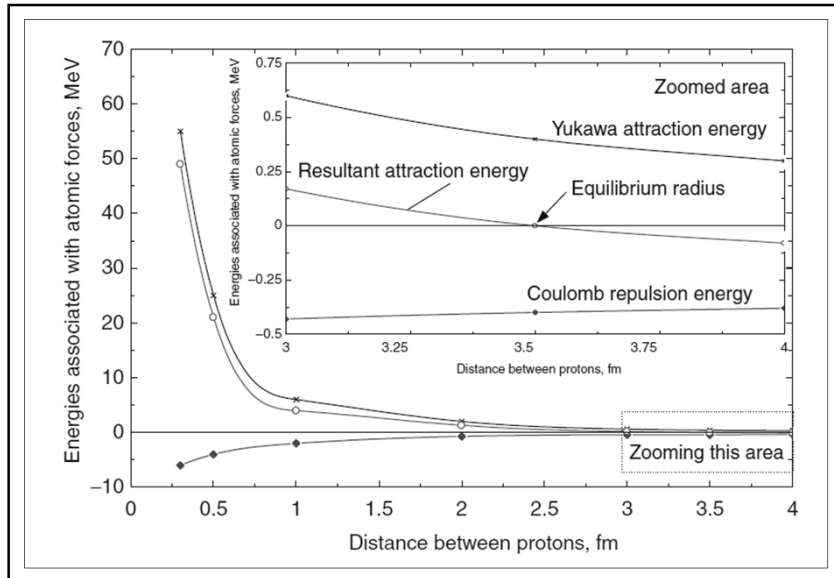
ایزوتوپ ها

- ایزوتوپ های رادیواکتیو همه جا هستند. حتی بدن ما نیز به مقدار بسیار اندک پرتو رادیواکتیو ساطع می کند
- مثال: سه ایزوتوپ U در طبیعت دیده می شوند: ${}_{92}^{234}\text{U}$, ${}_{92}^{235}\text{U}$, ${}_{92}^{238}\text{U}$
- ایزوتوپ ها یا پایدارند یا رادیواکتیو
- سرعت تجزیه رادیواکتیو با "نیمه عمر" معین می شود: زمانی که طول می کشد تا نیمی از ایزوتوپ تجزیه شود



هسته

- اگر فقط نیرو کولمب وجود داشت (دافعه ذرات هم بار) آنگاه هسته که ذراتش بار مثبت یا خنثی دارند از هم می پاشید
- نیروی یوکاوا در فاصله کمتر نسبت به نیرو کولمب عمل می کنند و مستقل از بار ذرات، آن ها را به هم جذب می کنند
- پس دو پروتون همدیگر را جذب می کنند اگر فاصله آن ها بیش از حد به هم نزدیک باشد
- پس در هسته دو نیرو در تعادل هستند تا شعاع اتم ثابت بماند. دافعه ذرات (کولمب) و جاذبه ذرات (یوکاوا)



اتم کوچک اتم بزرگ

- اگر ذرات تشکیل دهنده هسته کم باشد، عنصر عدد اتمی پایینی دارد و شعاع اتمی آن کم است. پس در این حالت ذرات به هم نزدیک هستند و نیرو هسته ای یوکاوا غالب هستند. پس اتم های کوچک تر تمایل به جوش خوردن دارند (fusion)
- اگر ذرات هسته زیاد باشند، شعاع بزرگ خواهد بود و در این حالت نیروی الکترواستاتیک (کولمب) غالب می شود. پس اتم های بزرگ تمایل به از هم پاشیدن دارند (fission)

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

10

واکنش هسته ای

- در هر واکنش هسته ای، یک هسته می تواند جرم از دست بدهد یا به دست آورد، و یا فقط ساختارش بدون تغییر جرم، تغییر کند
- در هر صورت، یا پرتو رادیواکتیو ساطع می کند یا جذب می کند
- اگر جرم تغییر کند:

$$\Delta E_b = -(\Delta m)c^2$$

- جایگزینی جرم:

$$\Delta E_b = -[Z \times m_{p^+} + (A - Z)m_n - m({}_Z^A E)]c^2$$

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

11

واکنش هسته ای

- اگر جرم به میزان 1 AMU تغییر کند، انرژی آزاد شده عبارت است از:

$$E_{b1} = (1.6605 \times 10^{-27})(3 \times 10^8)^2 = 1.494 \times 10^{-10} \text{ J}$$

$$\text{Joule to MeV conversion } \times 6.242 \times 10^{12}$$

$$E_{b1} = 931.4 \text{ MeV}$$

- پس انرژی پیوند هسته را می توان بر حسب تغییر AMU بیان کرد:

$$\Delta E_b = -(\Delta m)E_{b1}$$

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

12

چند عنصر و ایزوتوپ

Symbol	Name	Abundance	Atomic mass (AMU)	Half-life time
${}^1_1\text{H}$	Hydrogen	>99%	1.00727646661	Stable
${}^2_1\text{H}$	Deuterium	<1%	2.0141078	Stable
${}^3_1\text{H}$	Tritium	Traces	3.0160492	12.32 years
${}^3_2\text{He}$	Helium 3	<0.0002%	3.0160293	Stable
${}^4_2\text{He}$	Helium 4	>99.999%	4.002602	Stable
${}^{11}_6\text{C}$	Carbon 11	Traces	11.002035	28.38 min
${}^{12}_6\text{C}$	Carbon	98.9%	12.0000	Stable
${}^{13}_6\text{C}$	Carbon 13	1.1%	13.00335	Stable
${}^{14}_6\text{C}$	Carbon 14	Traces	14.003241	5,730 years
${}^{234}_{92}\text{U}$	Uranium 234	0.0054%	234.035265	245,500 years
${}^{235}_{92}\text{U}$	Uranium 235	0.7204%	235.0439299	7.038×10^8 years
${}^{238}_{92}\text{U}$	Uranium 238	99.2742%	238.0507826	4.468×10^9 years

13

مثال

• انرژی پیوند هسته deuterium و ${}^{238}_{92}\text{U}$ را محاسبه کنید

Name	Neutron	Proton	Electron
Symbol	n	p^+	e^-
Mass (kg)	$1.674927212 \times 10^{-27}$	$1.672621638 \times 10^{-27}$	$9.10938215 \times 10^{-31}$
Mass (AMU)	1.008664916566	1.00727646661	0.0005486
Electric charge	None	+1e	-1e

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

14

پاسخ

$$m_{\text{proton}} = 1.007276 \text{ u (where u represents the Atomic mass unit = } 1.66053886 \times 10^{-27} \text{ kg)}$$

$$m_{\text{neutron}} = 1.008665 \text{ u}$$

$$m_{\text{proton}} + m_{\text{neutron}} = 1.007276 + 1.008665 = 2.015941 \text{ u}$$

The mass of the deuterium atom is:

$$\text{Atomic Mass } {}^2\text{H} = 2.013553 \text{ u}$$

The mass difference = $2.015941 - 2.013553 = .002388 \text{ u} = 3.9654 \times 10^{-30} \text{ kilograms}$.

$$E = mc^2$$

$$= 3.9654 \times 10^{-30} \text{ kg} \times (2.99792458 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})^2$$

$$= 3.5639 \times 10^{-13} \text{ J}$$

$$= 2.224 \text{ MeV}$$

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

15

a) How many protons does the ${}^{238}_{92}\text{U}$ nucleus have? **_92 protons_**
Find the mass of these protons. (The mass of one proton = $1.6726 \times 10^{-27} \text{ kg}$)

$$\text{mass of 92 protons} = 92(1.6726 \times 10^{-27} \text{ kg}) = 153.8792 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

b) How many neutrons does the ${}^{238}_{92}\text{U}$ nucleus have? **_146 neutrons_**
Find the mass of these neutrons. (The mass of one neutron = $1.6749 \times 10^{-27} \text{ kg}$.)

$$\text{mass of 146 neutrons} = 146(1.6749 \times 10^{-27} \text{ kg}) = 244.5354 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

c) Find the total mass of these nucleons.

$$\begin{aligned} & 153.8792 \times 10^{-27} \text{ kg} \\ & + 244.5354 \times 10^{-27} \text{ kg} \\ & \underline{\underline{398.4146 \times 10^{-27} \text{ kg}}} \end{aligned}$$

d) What is the difference in mass between the total mass you found in part c) and the mass of the U-238 nucleus, which is $395.2138 \times 10^{-27} \text{ kg}$?

$$\begin{aligned} & 398.4146 \times 10^{-27} \text{ kg} \\ & - 395.2138 \times 10^{-27} \text{ kg} \\ & \underline{\underline{3.2008 \times 10^{-27} \text{ kg}}} \end{aligned}$$

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

16

پاسخ

e) Calculate the binding energy of the U-238 nucleus in joules.

$$\begin{aligned} \text{Binding energy} &= (\text{mass difference}) c^2 = (3.2008 \times 10^{-27} \text{ kg}) \times (3 \times 10^8 \text{ m/s})^2 \\ &= (3.2008 \times 10^{-27} \text{ kg}) \times (9 \times 10^{16} \text{ m}^2/\text{s}^2) = 2.8807 \times 10^{-10} \text{ J} \end{aligned}$$

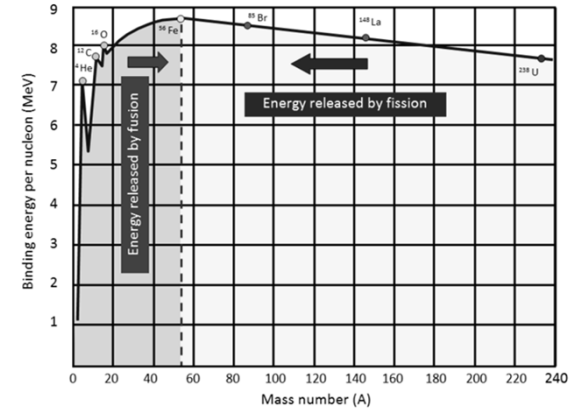
f) Find the binding energy per nucleon of a ${}_{92}^{238}\text{U}$ nucleus.

$$\frac{2.8807 \times 10^{-10} \text{ J}}{238 \text{ nucleons}} = \frac{0.0121 \times 10^{-10} \text{ J}}{\text{nucleon}} = \frac{1.21 \times 10^{-12} \text{ J}}{\text{nucleon}}$$

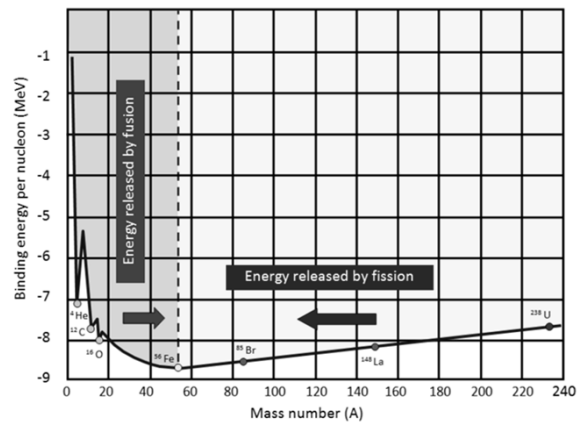
g) Convert the binding per nucleon from joules into units of megaelectron volts (MeV).
(1 joule = 6.25×10^{12} MeV)

$$1.21 \times 10^{-12} \text{ joules} \times \frac{6.25 \times 10^{12} \text{ MeV}}{1 \text{ joule}} = 7.57 \text{ MeV}$$

انرژی به ازای ذره



انرژی به ازای ذره



تعاریف

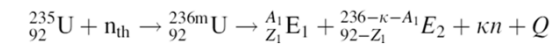
- تشعشع گاما: با طول موج در مقیاس پیکومتر، و انرژی چندصد یا چند هزار KeV
- ذره آلفا: ذره ای با انرژی زیاد (MeV) که در واقع هسته هیلویم بدون الکترون است ${}^4\text{He}^{2+}$
- ذره پوزیترون: ذره ای به اندازه الکترون با بار مثبت. به آن antielectron هم گفته می شود
- تشعشع بتا: یا یک الکترون یا پوزیترون که در واکنش هسته ای با سرعت بالا ساطع می شود (می تواند منفی یا مثبت باشد)

تعاریف

- تشعشع نوترون: اشعه ای از نوترون های آزاد بدون بار. می تواند کند (حرارت) یا تند باشد
- ذره نوترینو: ذره ای کوچک تر از الکترون با سرعت نزدیک به سرعت نور، بدون بار
- ذره آنتی نوترینو: پادماده نوترینو
- ذره فوتون: کوانتوم تشعشع الکترومغناطیس. بدون جرم. حاصلضرب ثابت پلانک و فرکانس اشعه الکترومغناطیس است

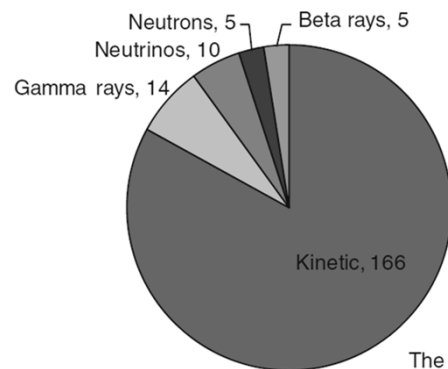
اورانیوم به عنوان سوخت

- اگر یک هسته سنگین را با نوترون های کند بمباران کنیم، آن هسته نوترون را جذب می کند و به حالت نیمه پایدار در می آید
- برای رسیدن به پایداری، هسته به دو قطعه شکافته می شود و مقدار زیادی انرژی و تشعشع نوترون آزاد می کند
- عناصر ^{239}Pu و ^{235}U این خاصیت را دارند
- ولی فقط 0.7% از اورانیوم در طبیعت جرم اتمی ۲۳۵ دارد



Energy breakthrough of uranium 235 fission

انرژی آزاد شده



The values are in MeV