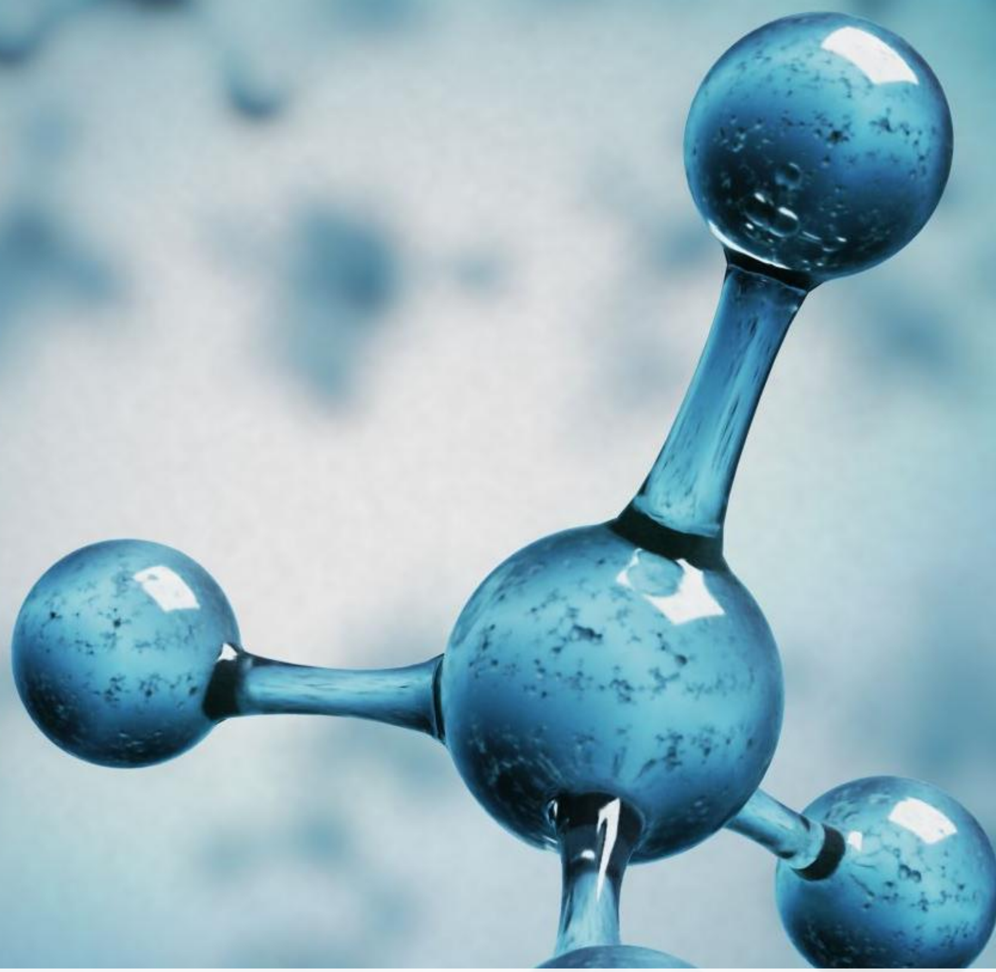
Radiation Physics (PHY2942)

Physics Department

College of Science



Atomic and Nuclear Structure

Dr. Yusra Zabarmawi

Atomic and Nuclear Structure

التركيب النووي / الذري

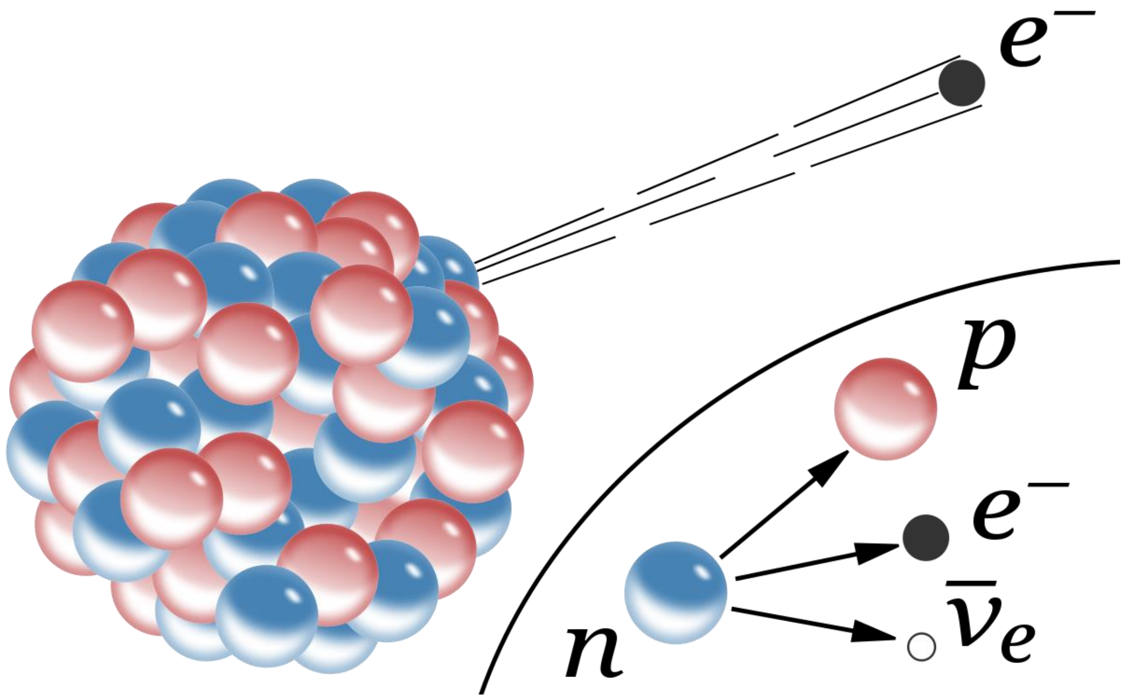
List of topics:

8.1 Introduction

8.2 Parts of the atom

8.3 Structure of nucleus

8.4 Nuclear decay and stability



P+
n ±

nucleus

Introduction

الفيزياء النوويه تختص بدراسه النواه وهو علم مهم بالطب والتشخيص

The bulk of the mass of the atom is concentrated in the nucleus, which is made up of protons and neutrons. Nuclear physics deals with the physics of the nucleus. The topic is important in medicine as it has many applications in diagnosis therapy. In this chapter, we

استخدامات

will cover the basic structure of the nucleus, how nuclei differ from one another, and the

استقرار

stability of the nucleus. There are around 300 known stable nuclear configurations, and

سنعرف سبب استقرار بعض الانويه

here we will give an explanation of why some nuclei are stable and other are unstable.

Key objectives

تركيب النواة

- Understand the structure of nucleus
- Understand the relationship between the mass of the nucleus and its binding energy and stability.

العلاقه بين كتله النواه وقوة الربط والاستقرار

The Atom

الذرة

John Dalton, 1766-1844 English chemist, Fellow of the Royal Society

الماده مكونة من حبيبات صغيره تسمى ذرات

- matter is composed of tiny particles called atoms

- atoms of a particular element are alike in size, shape, and weight but *differ from atoms of other elements*

ذرات المادة الواحده متشابهه والذرات تختلف من مادة لمادة

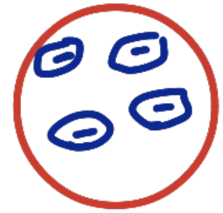
- during chemical changes, atoms of different elements unite forming molecules (compounds)

خلال التغيرات الكيميائية ذرات العناصر المختلفة تتحد لتكون المركب

- during these chemical changes, atoms themselves do not change, that is, are not broken down

الذرات لاتنقسم ولاتتغير

فطيرة البرقوق



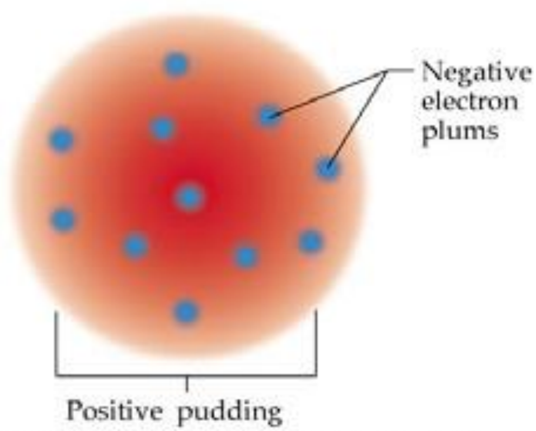
The Atom (II)

اكتشف الالكترون و اكد انه يوجد داخل الذرة

- ***Thompson*** has discovered the ***electron***, and it must “live” inside atoms.
- It is much less massive than the the atom itself, so perhaps we have little electrons stuffed into the ‘rest’ of the atom like raisins in the oatmeal, or: ***Plum Pudding***...

محشوة

الالكترونات ذات كتلة
صغيرة محشوة داخل
باقي الذرة الموجب



Rutherford's Model

رذرفورد

- ***Ernest Rutherford*** characterized *alpha* particles through an experiment and discovered the positive charge of an atom is concentrated in the center of an atom, the *nucleus*

رذرفورد اول من اكتشف النواه (شحنة موجبة ذات كتلة كبيرة مركزة في وسط الذرة)

- The positive charge was carried by particles called ***protons***

تحتوي النواه على شحنات موجبة سميت بروتونات

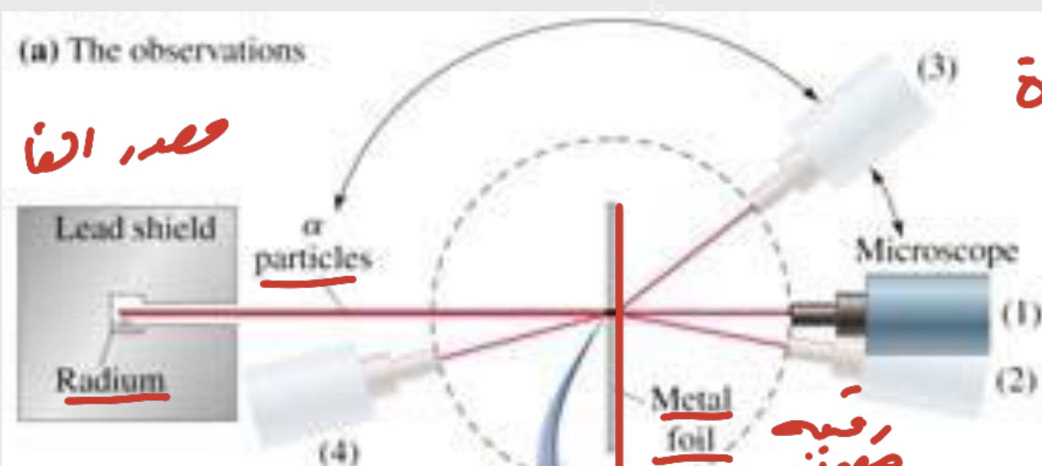
- Scientists introduced the ***atomic number***, which represents the number of protons in the nucleus of an atom

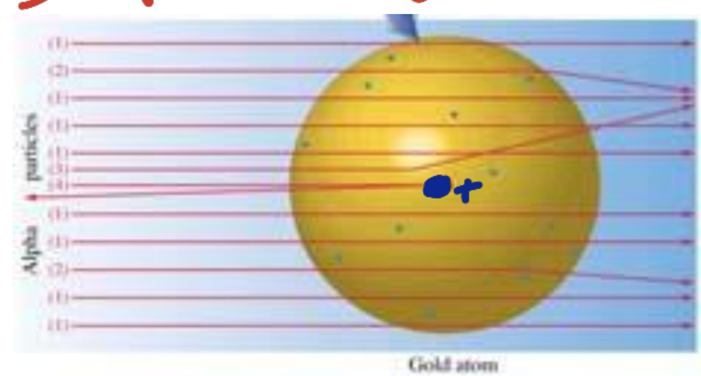
العدد الذري : عدد البروتونات في النواه

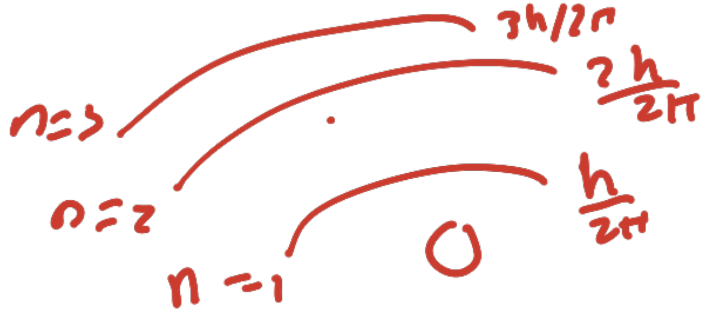
شادويك

- ***James Chadwick*** discovered *neutrons* in the nucleus, which have nearly the same mass as protons and no charge

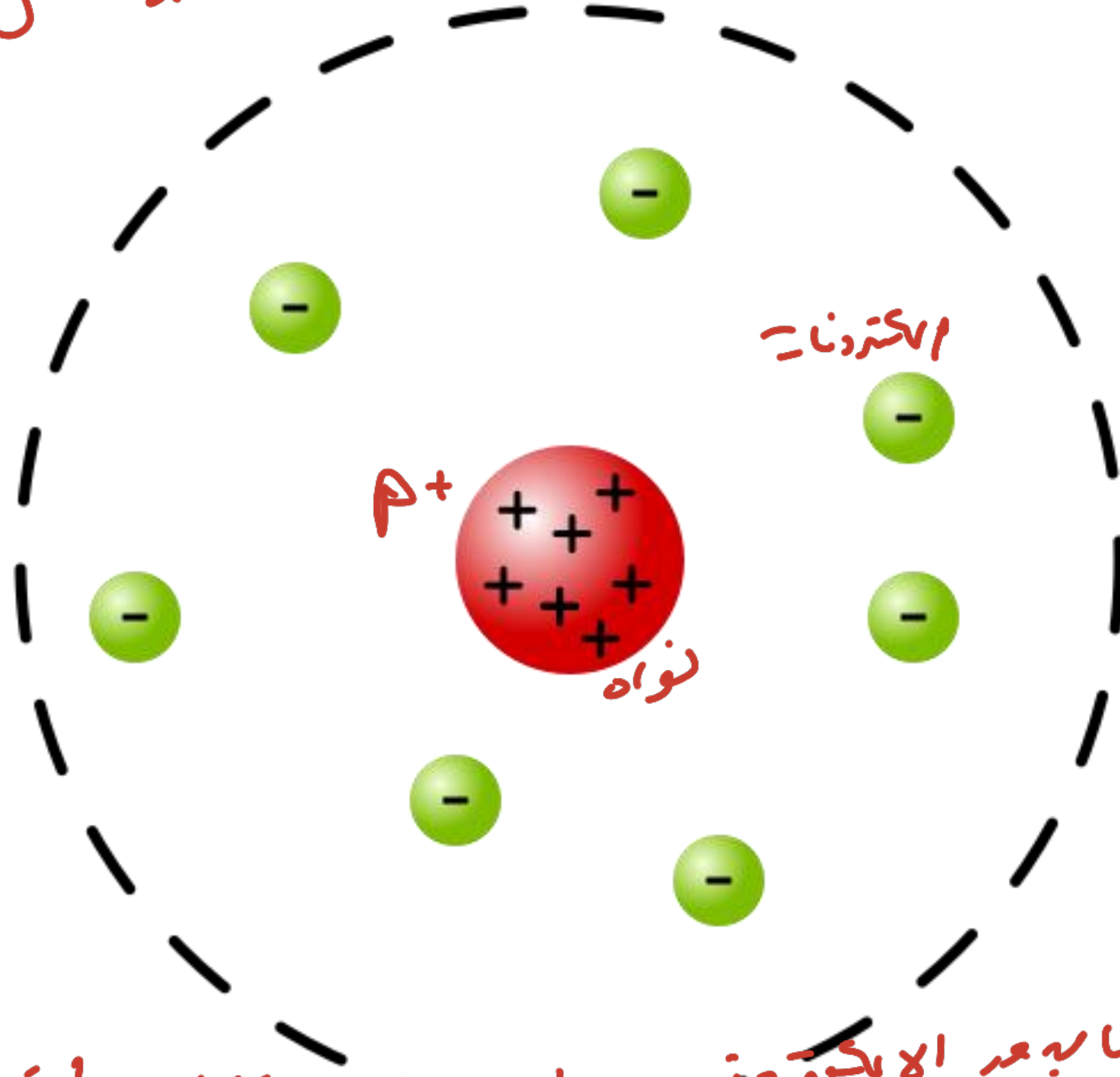
شادويك اكتشف النيوترونات
هناك جسيمات ليس لها شحنة
وكتلتها تقريبا نفس p توجد في النواة







Rutherford's Model



عندما يدور الالكترون حول النواه ستتوازن القوى الكهربائية
مع القوى المركزية لكن الاجسام المشحونة عندما تدور ع
تفقد طاقتها وحسب الفيزياء الكلاسيكية فان الالكترون سوف يفقد طاقته ويسقط في النواة

The Atom (IV)

مشكلة نموذج / رذرفورد

Rutherford's Model problems

Electrodynamics predicts that charged objects that feel acceleration would ***RADIATE ENERGY***

If the atom is this little solar system, with electrons spinning around the protons (where the centripetal forces on the electron presumably balance the electrostatic attraction to the protons), classical theory definitely states that the electron should radiate energy and therefore slow down and crash into the nucleus!

This is a Big Deal. When the problem is solved, things will never be the same ...

Niels Bohr(1885-1962) 1913, to the rescue:

نظرية مستويات (بور)

(a decade before de Broglie's work !)

Theory for orbits ("states") of electrons in atoms:

① الالكترونات مسموح ان تكون في مستويات محددة حول النواة ولاتتحرك بدون اشعاع

1. Electrons have certain allowed states in which they can move without radiating.

② كل من هذه

2. The allowed states have well-defined energies that can be determined with normal classical physics.

المستويات له قيمة محددة من الطاقة (قانون معين حسابه)

3. In an allowed state the electron's angular momentum, ***mvr***, must be of the form:

$$mvr = n\,h/(2\pi)$$

where n = 1, 2, 3....,
h is Planck's constant , m is the electron mass,
v and r are its velocity and the radius of its orbit.

③ هذه المستويات كميتها محكومة من $\boxed{mvr}$ الزخم الزاوي

$mvr = n\frac{h}{2\pi}$

h: ثابت بلانك

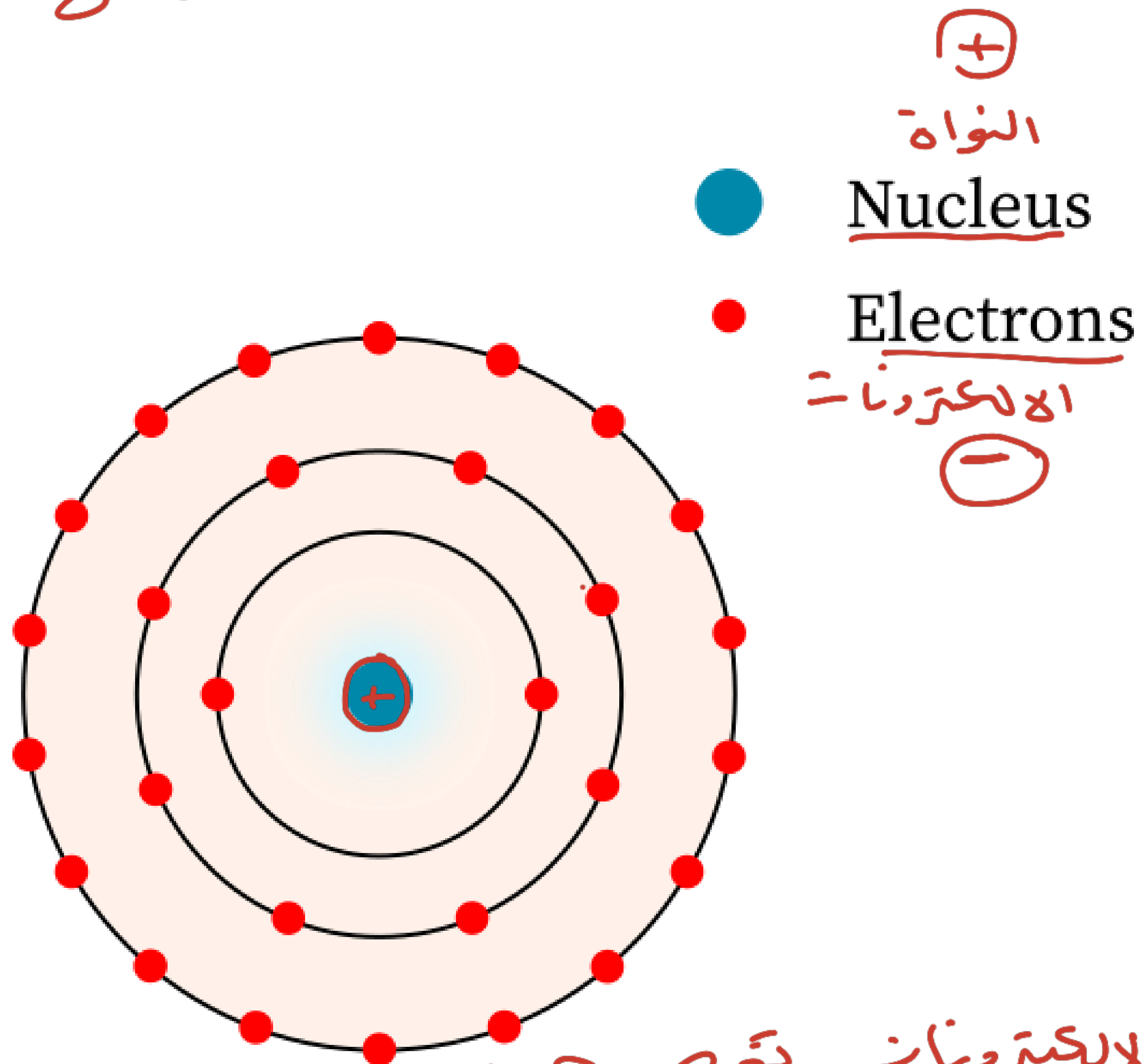
m: كتلة

v: سرعة

r: نصف قطر

نموذج بور للذرة

Bohr Model for Atoms



الالكترونات توجد حول النواة في مدارات محددة

وكل واحد من هذه المدارات له طاقة محددة

The Bohr Atomic Model

لحساب طاقة الالكترون في مدار معين
نستخدم العلاقه

$$E_n = -B/n^2$$

$$E = -\frac{B}{n^2}$$

n: رقم المستوى
1, 2, 3. -

where B is a constant = 2.179×10^{-18} J and n is an integer The

الاشاره السالبه تدل ان القوه هي تجاذب

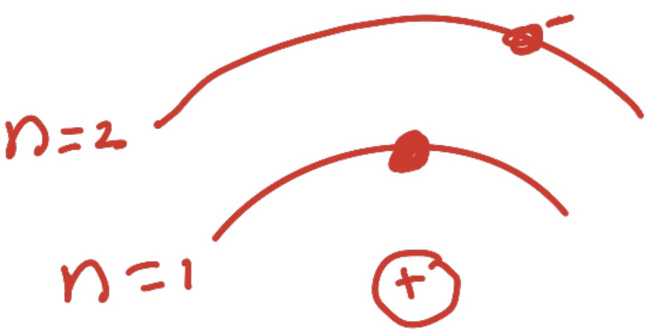
negative sign represents the forces of attraction

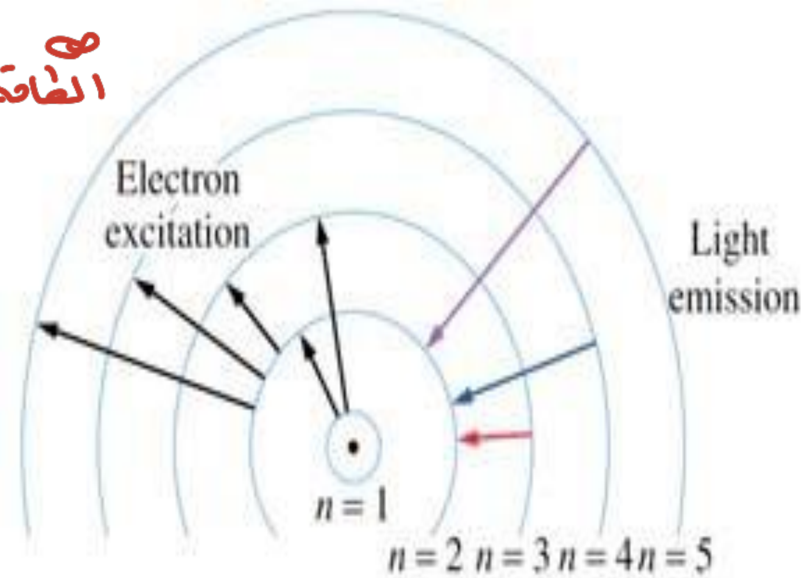
B: ثابت
2.179×10^{-18} J

طاقة الالكترون تساوي صفر عند ∞

The energy is zero when the electron is located infinitely far from the nucleus

الطاقة = 0





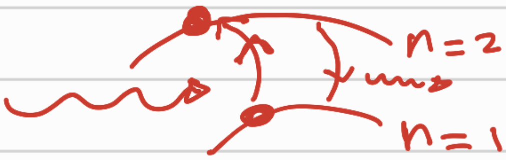
* بور

① الالكترونات موجوده في مستويات لها مقدار محدد من الطاقه

$$E = \frac{-B}{n^2}$$

② اذا لم يكتسب الالكترون طاقه يبقى في مداره

③ اذا كسب الالكترون طاقه كافيه يؤدي ذلك الى صعوده الى مستوى اعلى



$\Delta E =$ فرق الطاقه بين مستويين

$$\Delta E = E_f - E_i$$

④ اذ فقد الالكترون اعتاء طاقه ينزل الى المستوى الادنى و يشع طاقه

$$\Delta E = E_f - E_i$$

$$E_i = \frac{-B}{n_i^2} \qquad E_f = \frac{-B}{n_f^2}$$

$$\Delta E = \frac{-B}{n_f^2} - \frac{-B}{n_i^2}$$

حفظ

$$\boxed{\Delta E = B\left[\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right]}$$

Bohr Explains Line Spectra

Bohr's equation is most useful in determining the energy change (ΔE_{level}) that accompanies the leap of an electron from one energy level to another

For the final and initial levels: $E_{\text{f}} = \dfrac{-B}{n_{\text{f}}^2}$ *and* $E_{\text{i}} = \dfrac{-B}{n_{\text{i}}^2}$

The energy difference between n_{f} and n_{i} is:

$$\Delta E = \left(\frac{-B}{n_{\text{f}}^2}\right) - \left(\frac{-B}{n_{\text{i}}^2}\right) = \boxed{B\left(\frac{1}{n_{\text{i}}^2} - \frac{1}{n_{\text{f}}^2}\right)}$$

We can also calculate the change in energy of a transition (Ex. n=1 to n=6)

$$\Delta E = E_6 - E_1 = \left[-2.178x10^{-18} J\left(\frac{1^2}{6^2}\right)\right] - \left[-2.178x10^{-18} J\left(\frac{1^2}{1^2}\right)\right] = +2.11\overset{6}{7}x10^{-18} J$$

Calculate the change in energy of transition n = 1 to n = 6

$$\Delta E = B\left[\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right]$$

$$\Delta E = E_6 - E_1$$

$$\Delta E = 2.178 \times 10^{-18}\left[\frac{1}{1^2} + \frac{1}{6^2}\right]$$

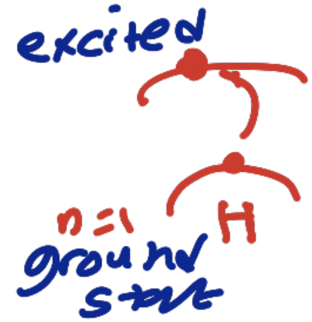
$$= 211.9 \times 10^{-20} \text{ J}$$

$$= 2.12 \times 10^{-18} \text{ J}$$

مستويات الاستقرار ، مستويات الاثارة

Ground States and Excited States

اقل مستوى محتمل لوجود الالكترون



حرارة
ليزر
فوتونات

Electrons in their lowest possible energy levels are in the ground state $n=1$

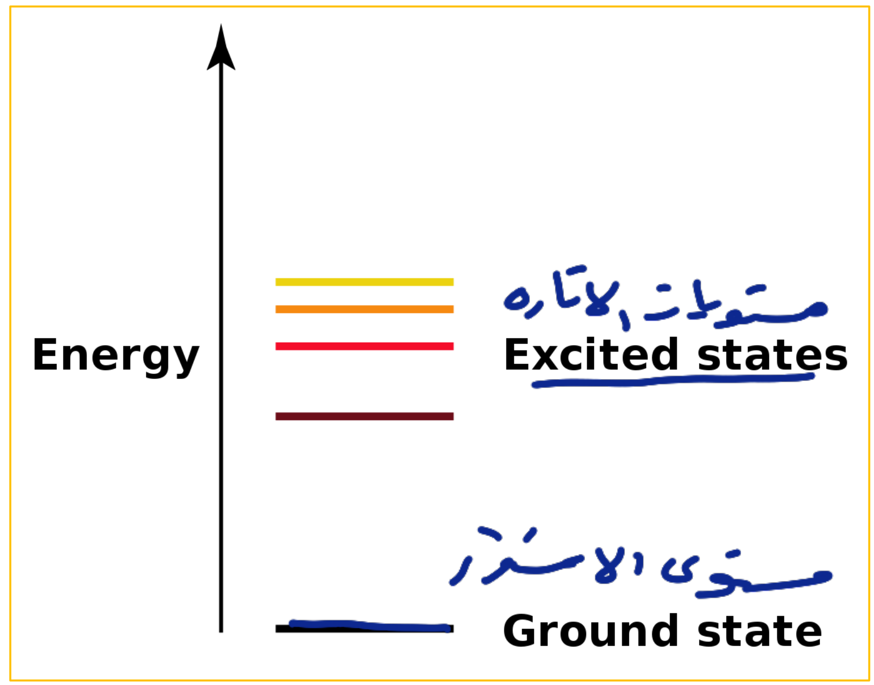
اي مستوى $n>1$ يتم تحفيز الالكترون

Electrons promoted to any level $n > 1$ are in an excited state $n>1$

Electrons are promoted by absorbing energy

e.g., electric discharge, heat, lasers (photons)

يتم تحفيز الالكترون لمستويات اعلى من خلال امتصاص طاقة



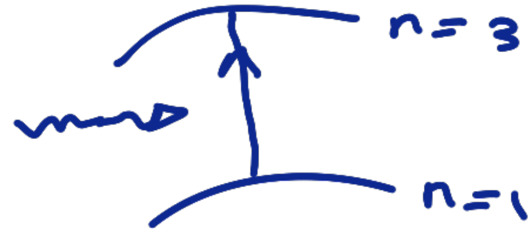
Electrons in an excited state eventually drop back down to the ground state ➔ "relaxation"

الراحة

عودة الالكترون الى مستوى الاستقرار تسمى

Electronic Transitions

القفزات الالكترونيه



Arrows represent transitions between energy levels

امتصاص ينقل الالكترون الى مستوى اعلى

Upward arrows (a) show energy absorption, electrons move to higher energy levels

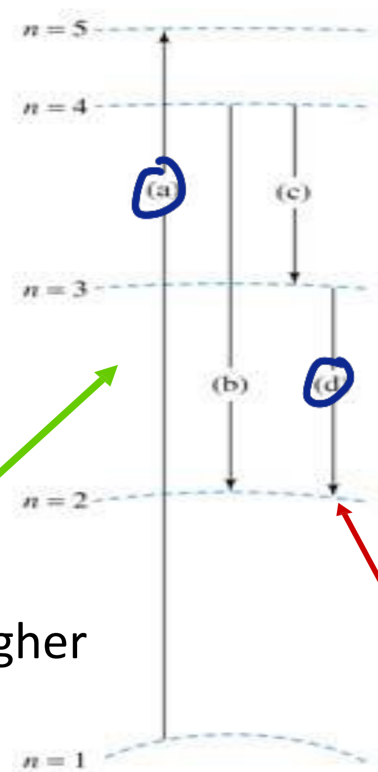
انبعاث طاقة عندما يعود الالكترون الى مستوى الاستقرار

Downward arrows (b)–(d) represent energy release and relaxation

The length of an arrow is inversely proportional to photon wavelength:

* كلما كان طول السهم اكبر
* قفزه اكبر
* طاقة اكبر
* تردد الاشعاع اكبر

طول موجي اقصر



Shorter wavelengths, higher energies

طاقة اكبر
تردد اكبر
طول موجي اقصر

Longer wavelengths, lower energies

طاقة اقل
تردد اقل
طول موجي اكبر

الذره اصغر جزء بالمادة
تتكون الذره من نواه موجبه
محاطه بغيمه من الالكترونات
سالب

Parts of the atom

الذره اصغر جزء بالمادة

- An **atom can be regarded as the smallest unit of matter**.
- The atom (of average size $\approx 10^{-10} m$) consist of a nucleus (of size $\approx 10^{-15} m$), positively charged, surrounded by a cloud of negatively charged electrons.

محاطه

- An atom is electrically neutral. The electron and the proton carry electric charge of equal magnitude but opposite sign, so in an atom there are equal numbers of protons and the orbiting electrons.

متعادله

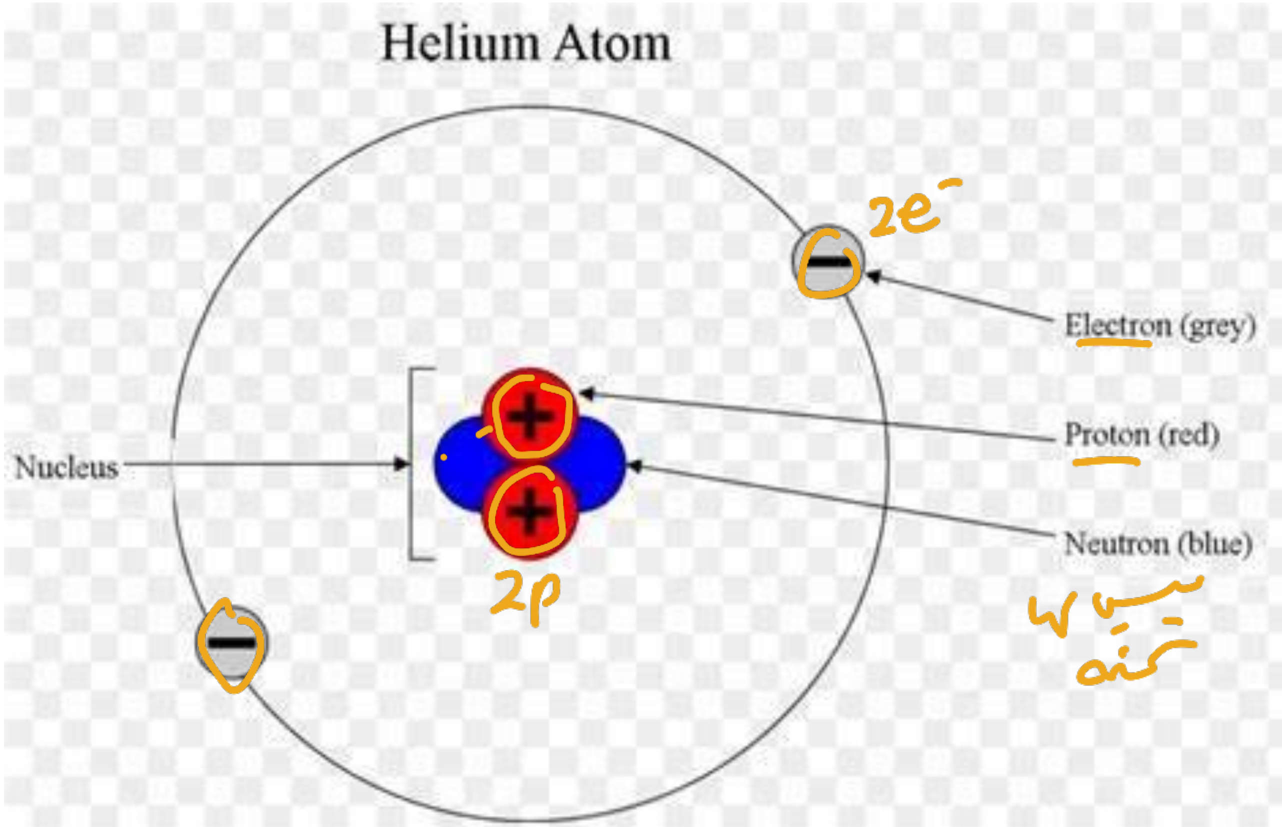
الذره متعادله عدد p^+ = عدد e^-

- **The electron configuration determines** the chemical properties of an atom and the chemical reactions. However, nuclear processes such as, radioactivity, fusion, and nuclear fission are the subject of the nucleus. Quantum mechanics provides a successful mathematical tool to describe the atomic structure, and to explain different atomic phenomena such as light emission and absorption, photoelectric effect, ….

ميكانيكا الكم

الالكترونات مسؤوله عن الخصائص الكيميائيه والتفاعلات
الانويه مسؤوله عن الاشعاع والانشقاق

ميكانيكا الكم هي وسيله رياضيه لوصف تركيب الذره و الظواهر المتعلقة بها مثل الانبعاث الضوئي و الامتصاص و التأثير الكهروضوئي



حجم النواة = $١٥^{-٤}$ من حجم الذرة

تركيب النواه

structure of nucleus

صغير   كثافه عاليه

- **The atomic nucleus** is a very small object with a very high density. Its size is $\approx$ $1\ fm$ $\boxed{(1fm = 10^{-15}m)}$ (femtometre) , 10^{-4} $\times$ the size of an atom. The nucleus is made up from two kinds of nucleons : protons (p^+) and neutrons (n).

p^+
n

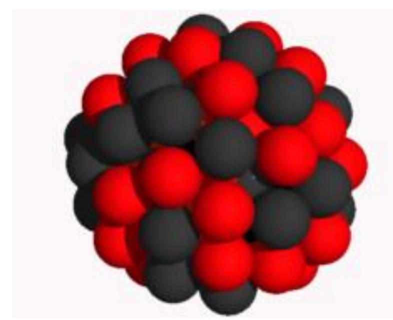
- Unlike electron which is a fundamental particle, protons and neutrons are made up from other particles called **quarks.** p → quarks ← n

- The proton has a positive electrical charge equal in magnitude the electron's charge and a mass about 1840 times the mass of the electron. The neutron (discovered by James Chadwick in 1932) is a neutral particle slightly heavier than the proton.

$e^- = p^+$
تشابه

$m_p = 1840 m_e$

$Z =$ number of protons) and its ***mass number A*** (number of neutrons and protons $A = N + Z$). The number of neutrons is then $N = A - Z$



البروتون له نفس شحنه الالكترون لكن معاكسه

كتله البروتون = 1840 مره من كتله e^-

النيترون ليس له شحنه و كتله اكثر بقليل من كتله البروتون

Nuclear Mass

$$^{A}_{Z}X$$

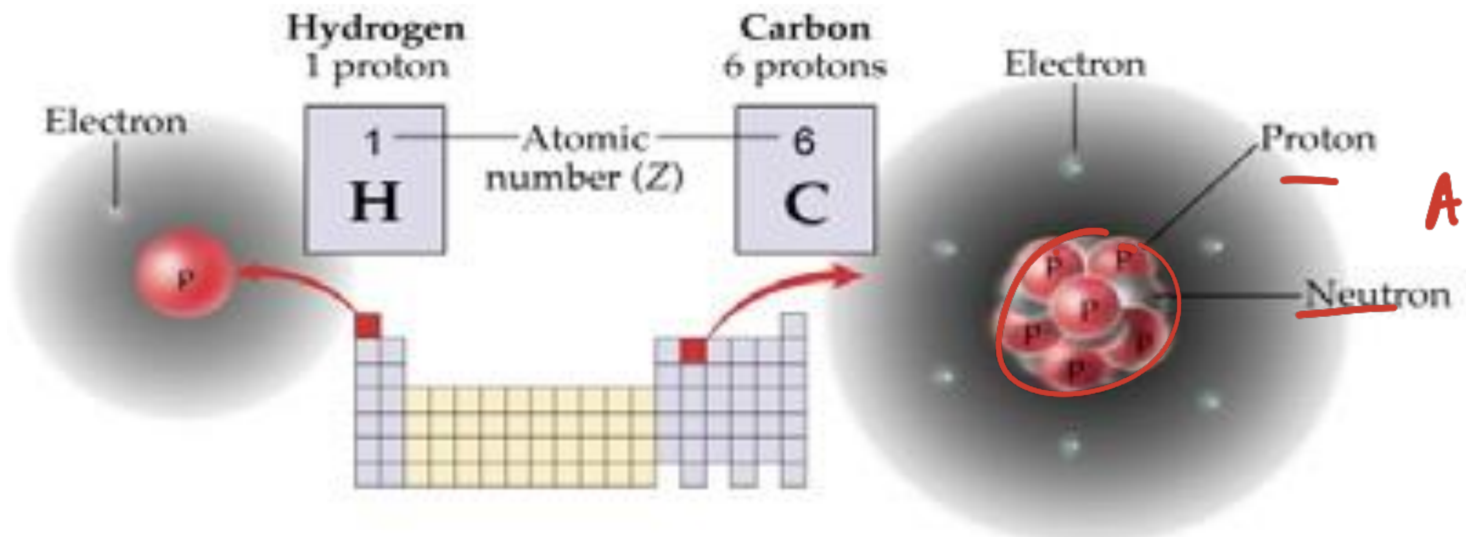
- A → ~~Atomic Number~~ mass number = Z + N
- X → رمز العنصر Symbol of Element
- Z → ~~Atomic Mass~~ Atomic number = Z = P

عدد الجسيمات داخل النواة

A: number of nucleons in the nucleus
(***mass number*** of the nucleus)

Z: number of protons in the nucleus
(***atomic number*** of the element)

The neutron number: $N = A - Z$



$A = N + Z$

No. of protons = No. of electrons

Atomic Mass Unit (amu)

$$m_p = \text{proton mass} = 1.007277u$$
$$m_n = \text{neutron mass} = 1.008665u$$
$$m_e = \text{electron mass} = 0.000549u$$

$^{13}_{6}C$ A = 13 Z = 6

عدد P = 6

عدد e^- = 6

عدد النيوترونات = 7

6P
7N

A = 13 Z = 6

structure of nucleus

كتلة نواة الهيليوم

$m_n 2 + m_p \times 2$

He

2p
2n

ما شحنة نواة الهيليوم
موجبة 2p
$2 \times 1.6\times10^{-19}$

خصائص النواة

Properties of the nucleus:

- Charge: Positive $= No.of\ protons\ \times 1.6\ \times\ 10^{-19}\ Coulomb$
- Radius = $of\ the\ order\ of$ $\boxed{10^{-13}\ \text{cm}}$
- Mass = $(No.of\ protons \times mass\ of\ proton) + (\ No.\ of\ neutrons \times mass\ of\ neutron)$

$\boxed{\text{شحنة النواة = عدد البروتونات} \times 1.6\times10^{-19}}$

$\boxed{\text{كتلة النواة = عدد p × كتلة p + عدد n × كتلة النيوترون}}$

Properties of three particles

	Electron	Proton	Neutron
Charge شحنة	(-) $1.6\ \times\ 10^{-19}\ Coul$	(+) $1.6\ \times\ 10^{-19}\ Coul$	Neutral متعادل
Mass كتلة	$0.91\ \times\ 10^{-27}$g 0.0005 u	$1.672649\ \times\ 10^{-24}$g 1.007 u	$1.674954\ \times\ 10^{-24}$g 1.008 u

Structure of nucleus

$Z + N = A$

- An element whose chemical symbol is X is written : ${}^{A}_{Z}X$

$Z = P$

For example Uranium 235 is written ${}^{235}_{92}U$. This notation tells us that the nucleus contains 92 protons and the mass number $A = 235$ is the number of protons and neutrons. The number of neutrons in the nucleus is 143.

${}^{235}_{92}U$

$Z = P = 92$

$N = 235 - 92 = 143$

92 P+
143 N

$92e^-$

Some terms used in nuclear physics:

مكونات النواه سواء P و n

Nucleon: A nuclear component, either proton or a neutron

Nuclide: Another name of the nucleus. اسم آخر لمكونات النواة

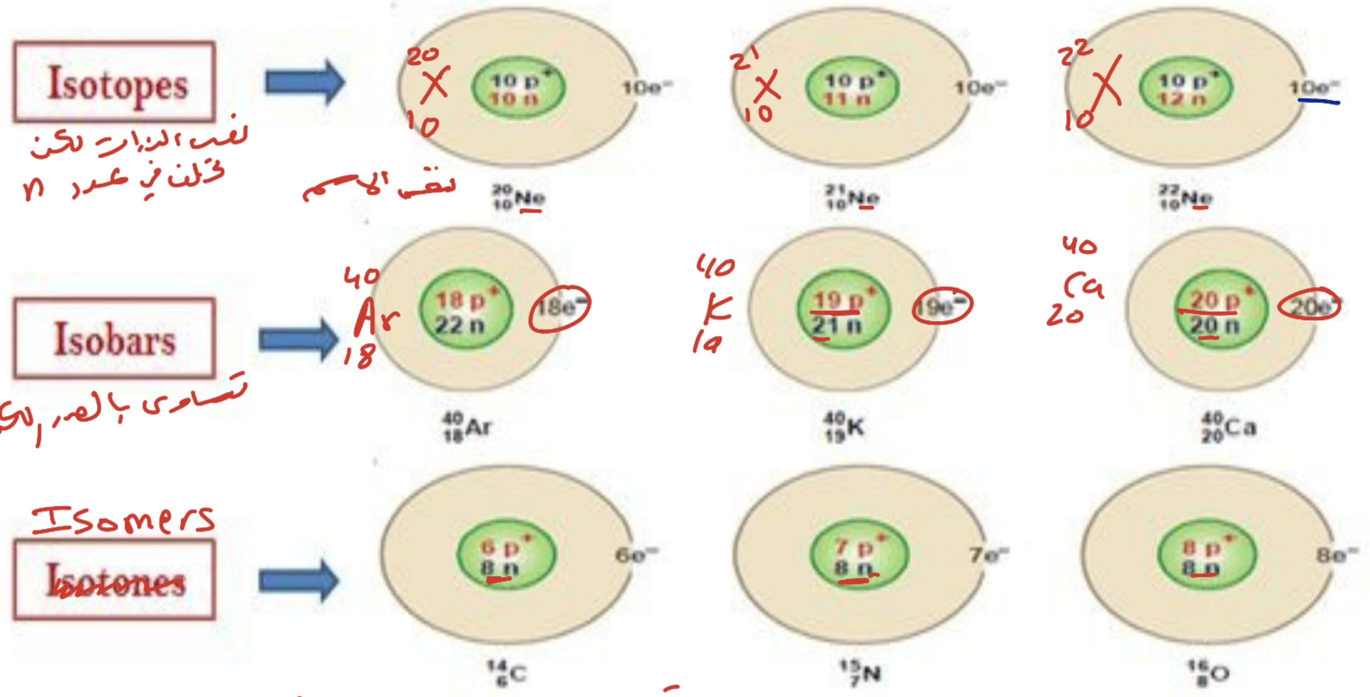
انظائر

Isotopes: Atoms with the same number of protons, but different numbers of neutrons.

Isobars: Atoms with the same number of nucleons, but different numbers of protons.

Isomers: Atoms with the same number of protons and the same number of neutrons. They differ in their nuclear energy state. For example ${}^{131m}_{54}Xe$ and ${}^{131}_{54}Xe$ are isomers, but ${}^{131m}_{54}Xe$ is in metastable state

Difference between Isotopes, Isobars and Isotones



نفس الذرات لكن تختلف في عدد n

نفس الاسم

تتساوى بالعدد الكتلي

تتساوى العدد النيوترونات

Structure of nucleus

١٢ نيوكليون

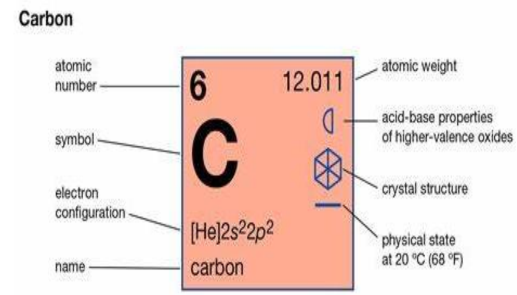
6P
6n

Unified atomic mass

وحدة الكتل الذرية = كتلة ذرة واحدة من الكربون ÷ 12

لحساب كتلة 1C = اصول كربون / 6.022×10^{23}

The mass of one atom of carbon is $\frac{0.012\ kg}{6.022\times10^{23}} = 1.993\times10^{-26}kg$



Then $1u = \frac{1.993\times10^{-26}kg}{12} = 1.661\times10^{-27}kg$

وحدة الكتل الذرية

$$\boxed{1u = 1.661\times10^{-27}kg}$$

Equivalence of mass and energy:

طاقة الكتلة المكافئة

1905, Einstein was able to show that energy and mass are related by the equation

$E = mc^2$

$E = mc^2$

العلاقة بين الكتلة و الطاقة

من خلال هذه العلاقة يمكن التعبير عن الكتلة بوحدة الطاقة

Using this relationship, we can specify masses in terms of their energy equivalent.

Mass in 'Mev'

(مليون الالكترون فولت) Mev

كتلة مكونات النواة بوحدة

The energy equivalent for $1u$ using the relation $E = mc^2$ is:

$$\boxed{1u} = (1.661\times10^{-27}kg)\times(2.998\times10^{8}ms^{-1})^2 = 1.492\times10^{-10}J$$

$$1u = 931.5Mev/c^2$$

÷

U 931.5 Mev

×

طاقة الربط لكل نيوكليون تدل على الاستقرار   الاستقرار   الاشعاع النووية

Nuclear Decay and Stability

Nuclei with atomic mass around 60, such as **iron and nickel are the most stable and thus have the highest binding energy per nucleon**. After this point electrostatic repulsion begins to overwhelm the binding from the short-range nuclear force. This behaviour can be seen in the stability diagram (Figure 2). The stability decrease after

لا يوجد انوية مستقرة A = 206 او اكبر

$A = 60$, and **all nuclei above $A = 206$ are unstable**. Instability of an atom's nucleus may result in radioactive decay. The atom will attempt to reach stability by ejecting nucleons (protons or neutrons), as well as other particles, or by releasing energy in other forms.

في لحظة معينة تصبح قوى التنافر الكهربائي مسيطرة على القوة النووية

تصبح النواة غير مستقرة ومنها يحدث في الانوية

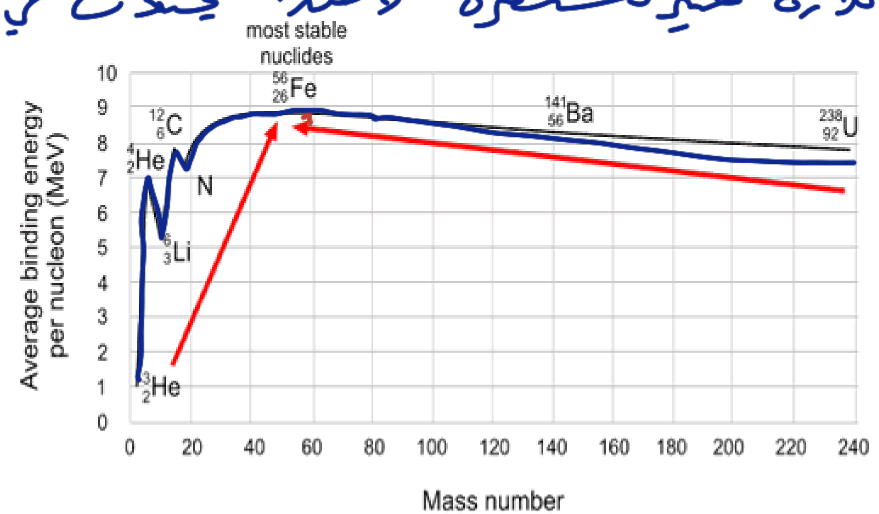


Figure 2, Stability diagram. Energy binding per nucleon versus the mass number.

الانوية الغير مستقرة هي الانوية المشعة حيث تحاول الوصول الى

حالة الاستقرار من خلال قذف اشعة جسيمات وتتخلص من الطاقة الزائدة

اثبت ان $931.5\ MeV/c^2 = 1u$

حول $1u$ ـــ الى طاقة باستخدام قانون اينشتاين

$$E = mc^2$$

$$= 1.661\times10^{-27} \times (2.998)^2$$

$$E = 1.492\times10^{-10}\ J$$

حول الطاقة من جول الى الكترون فولت

$$J \underset{\times}{\overset{\div}{\rightleftarrows}} eV \qquad 1.6\times10^{-19}$$

$$E = \frac{1.492\times10^{-10}}{1.6\times10^{-19}}\ eV$$

$$= 932.5\ Meev$$