



كلية العلوم الصحية

فيزياء الإشعاع 2

تمهيد

الدكتور المهندس يحيى لحفي

2023-2022

3

المحتوى

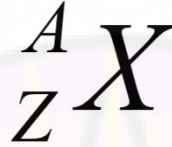
- بنية النواة - طاقة ارتباط النواة - النظائر
- النشاط الإشعاعي
- الإشعاع المؤين
- فرضية بلانك - تدفق الإشعاع
- وحدات قياس الإشعاع الكهرطيسي
- طبيعة الأشعة السينية وخصائصها - طيف الكبح - الطيف المميز
- مكونات أنبوب الأشعة: المصعد - المهبط - البقعة المحرقة
- فيزياء تفاعلات الأشعة السينية مع المادة
- العوامل المؤثرة على طيف الأشعة السينية
- الأشعة المتبعثرة

د.م. يحيى لحفي

4

بنية النواة الذرية

► نطلق اسم النكليد Nuclide على نواة عدد بروتوناتها Z ، وعدد نوتروناتها N ، ويمثل النكليد بالشكل:



► مثال: ${}^{235}_{92} U$ نواة اليورانيوم تحتوي على 92 بروتون و 143 نوترون

د.م. يحيى لحفي

5

طاقة ارتباط النواة

► يكون العدد الكتلي في حالة الهيدروجين $A=1$ بينما كتلة النواة مقدرة بوحدة الكتلة

الذرية $M = 1.00759 amu$ حيث $1 amu = 931.5 MeV$

► بفرض أن $m(A, Z)$ هي كتلة نواة عددها الكتلي A وعدد بروتوناتها Z

► بفرض $M(A, Z)$ تمثل كتلة الذرة

► وبإهمال طاقة ارتباط الإلكترونات بالذرة يكون: $M(A, Z) = m(A, Z) + Z \times m_e$

► عندما يجتمع عدد من النكليونات لتشكيل نواة تنخفض طاقتها الكلية بمقدار ΔE

► يتناسب هذا الانخفاض مع مجموع كتل مكوناتها، تعطى طاقة الارتباط الكلية للنواة، وفق العلاقة:

$$E_B = \Delta E = \Delta M c^2$$

$$\Delta M = ZM_p + NM_n - M_{nucleus}$$

د.م. يحيى لحفي

6

طاقة ارتباط النكلون الواحد

- ▶ من أهم الخصائص المميزة للنواة هي القيمة المتوسطة لارتباط النكلون، أي النسبة بين طاقة ارتباط النواة والعدد الكتلي، وهي القيمة التي تحدد استقرارية النواة.
- ▶ تزداد طاقة ارتباط النكليون بسرعة مع تزايد العدد الكتلي A حتى تبلغ قيمة قصوى وقدرها 8.70 MeV من أجل $A=60$ ، وتهبط بعدها ببطء إلى أن تصل إلى القيمة 7.5 MeV عندما $A=240$.
- ▶ ظاهرة الانشطار النووي: تنقسم النوى ذات العدد الكتلي الكبير $A > 150$ إلى نواتين أو أكثر ذوات أعداد كتلية متوسطة وتكون أكثر استقراراً.
- ▶ ظاهرة الاندماج النووي: تتحد نواتان أو أكثر أعدادها الكتلية صغيرة $A < 20$ لتشكل نواة أكبر.
- ▶ تكون للنوى التي تحتوي عدداً زوجياً من النيوترونات يساوي عدد البروتونات طاقة ارتباط عالية وبالتالي تكون أكثر استقراراً

د.م. يحيى لحفي

7

طاقة ارتباط النواة

مثال: احسب طاقة ارتباط ذرة الهليوم $M_{He} = 4.001493 \text{ amu}$

$$2M_p + 2M_n = 1.007276 \times 2 + 1.008665 \times 2$$

$$= 4.031882 \text{ amu}$$

$$\Delta M = 4.031882 - 4.001493$$

$$= 0.030389 \text{ amu}$$

باستخدام علاقة أينشتاين $E = mc^2$ يكون:

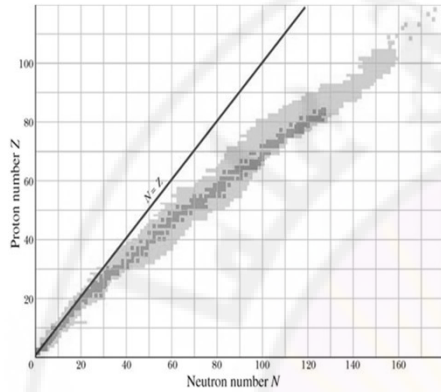
$$E_B = \Delta E = 0.030389 \text{ amu} \times 931.5 \text{ MeV} / \text{amu}$$

$$= 28.306 \text{ MeV}$$

د.م. يحيى لحفي

8

النظائر والأنواع النووية



مخطط النوترونات - البروتونات.

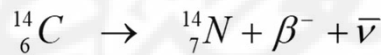
د.م. يحيى لحفي

- ▶ النظائر isotopes هي نكليدات لها العدد الذري نفسه وتختلف بعددها الكتلي. أي هي ذرات لنواها نفس عدد البروتونات ولكنها تختلف فيما بينها بعدد النوترونات، ولها المصطلح الكيميائي نفسه والمرتببط بعدد الإلكترونات.
- ▶ الإيزوتونات isotones تحوي العدد نفسه من النوترونات.
- ▶ الإيزوبارات isobars تحوي العدد نفسه من النكلونات.
- ▶ الإيزوميرات النووية isomers أو المماكبات هي نوى تحوي العدد نفسه من النوترونات والبروتونات ولكنها تختلف فيما بينها بحالة الإثارة،

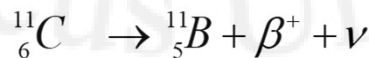
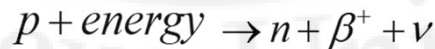
9

النشاط الإشعاعي

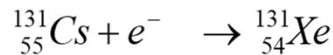
- ▶ تنتفك النظائر في حال وجود فائض في عدد النوترونات $n \rightarrow p + \beta^- + \bar{\nu}$



- ▶ في حال وجود فائض في عدد البروتونات يمكن أن تصدر النواة إلكترونات موجبة (بوزترونات)



- ▶ أو يمكن أن تحدث ظاهرة الأسر الإلكتروني يعقبها إصدار أشعة الفلورة السينية التي تنجم عن إعادة ترتيب الغمامة الإلكترونية

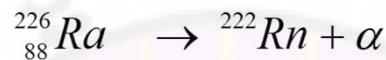


د.م. يحيى لحفي

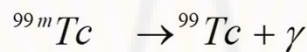
10

النشاط الإشعاعي

► تصدر النواة جسيم ألفا الذي يمثل نواة الهليوم المكونة من بروتونين ونيوترونين عندما يكون العدد الكتلي كبيراً:



► في حالة المماكبات isomers تنطوي نوى أحد النظيرين على فائض في طاقتها الداخلية، أي إنها تكون مثارة،



د.م. يحيى لحفي

11

الإشعاع المؤين

يقسم الإشعاع المؤين إلى قسمين رئيسيين:

► الإشعاع الكهرومغناطيسي الصادر من:

► المستوى الذري للمواد مثل الأشعة السينية x-ray

► المستوى النووي وذلك أثناء التفكك النووي Radioactive decay مثل أشعة غاما Gamma Ray.

► جسيمات مشحونة وتشمل:

► الإلكترونات فائقة السرعة (جسيمات بيتا β السالبة والموجبة).

► جسيمات ألفا α (نوى الهيليوم).

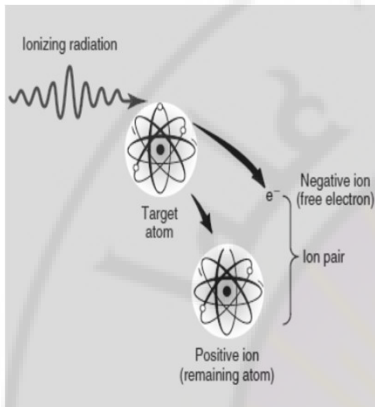
► البروتونات.

► بالإضافة إلى جسيمات غير مشحونة أهمها النترونات السريعة والبطيئة وكلها تتولد أثناء التفاعلات النووية.

د.م. يحيى لحفي

12

الإشعاع المؤين



د.م. يحيى لحفي

▶ الأشعة المؤينة هي شكل من أشكال الأشعة القادرة على اقتلاع إلكترون مداري من الذرة التي تصادفها وتدعى هذه العملية بالتأين ionization حيث يتشكل زوج أيوني من الإلكترون المغادر للذرة (أيون سالب) والذرة المقتلع منها الإلكترون (أيون موجب)

▶ تعتبر الأشعة السينية من الأشعة المؤينة

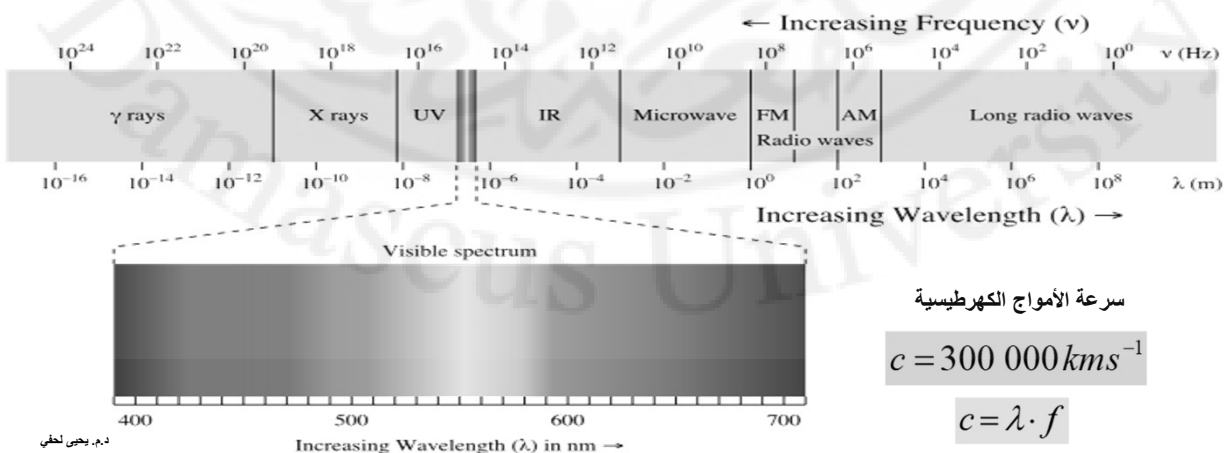
▶ أشعة غاما والأشعة فوق البنفسجية هي أشكال الأشعة الأخرى القادرة على التأين.

▶ يوجد بعض الجسيمات الفادرة على تأين الذرات كجسيمات ألفا وبيتا.

▶ تعتبر الأشعة المؤينة ضارة للإنسان

13

طيف الإشعاعات الكهرومغناطيسية



14

العلاقة بين الطبيعة الموجية للإشعاعات الكهرطيسية وطبيعتها الجسيمية

► بحسب فرضية بلانك الكمية:

► لا تكون طاقة الإشعاعات الكهرطيسية عبارة عن كميات متصلة أو مستمرة بل إنها مكمأة تصدر على شكل كميات صغيرة تدعى كم quantum ويطلق عليها اسم الفوتون.

► يسلك الفوتون سلوك الجسيمات المادية عند تفاعله مع إلكترونات المادة.

► ترتبط طاقة الكم الواحد بتواتر الإشعاع الكهرطيسي بالعلاقة: $E_{\min} = hf$

حيث h هو ثابت بلانك ويساوي إلى $(h=6.626 \times 10^{-34} \text{ Joul.s})$

► تكون طاقة فوتونات الأشعة الكهرطيسية مضاعفات صحيحة للكمية hf

$$E_n = nhf$$

د.م. يحيى لحفي

15

العلاقة بين الطبيعتين الموجية والجسيمية للإشعاعات الكهرطيسية

► إذا كان تواتر الضوء f وطول موجته λ فإنه: $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$

$$(1eV = 1.6 \times 10^{-19} \text{ Joul})$$

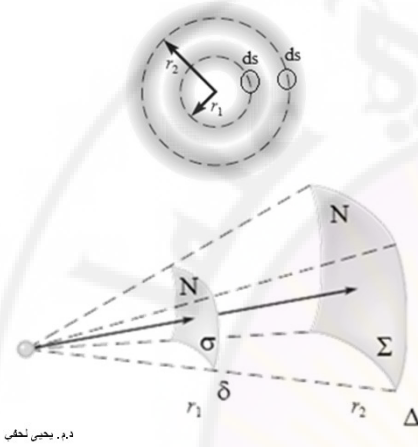
$$(1A^\circ = 10^{-10} m)$$

$$E(eV) = \frac{hc}{\lambda 10^{+10} A^\circ \cdot 10^{-10} \cdot 1.6 \times 10^{-19}} \rightarrow E(eV) = \frac{12400}{\lambda(A^\circ)}$$

د.م. يحيى لحفي

16

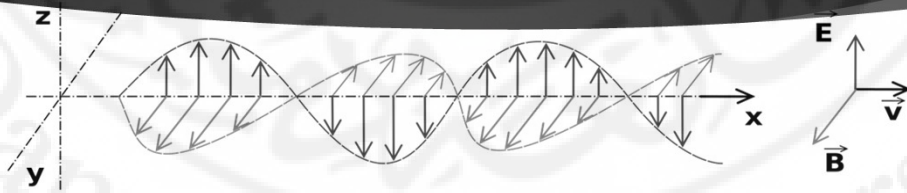
تدفق الإشعاعات الكهرطيسية



- يصدر الإشعاع عن منبع مشع في اتجاهات الفراغ كلها يدعى ذلك بالإصدار الكروي
- تعرف شدة منبع الإشعاع بعدد الفوتونات التي يصدرها في واحدة الزمن
- يعرف كثافة تدفق الإشعاع بعدد الفوتونات التي تخترق سطحاً ما على مسافة معينة من المنبع في واحدة الزمن
- تتناسب كثافة تدفق الفوتونات في نقطة من الفراغ عكساً مع مربع المسافة الفاصلة عن منبع الإشعاع

17

خصائص الإشعاعات الكهرطيسية



- تتكون من مركبتين إحداها لحقل كهربائي والأخرى لحقل مغناطيسي
- ليس لها كتلة سكونية (أو لها كتلة متناهية الصغر $m = h / \lambda \cdot f$)
- لا تحمل شحنة كهربائية (لا تنحرف بالحقل الكهربائي أو المغناطيسي)
- تتميز بطبيعة جسيمية وتتألف من كموم الطاقة $E = hf$
- ذات طبيعة موجية تتميز بالتواتر f أو طول الموجة λ ويرتبط التواتر بطول الموجة بالعلاقة: $c = \lambda \cdot f$

د.م. يحيى لحفي

18

خصائص الإشعاعات الكهرطيسية

- ▶ تنتقل جميع الإشعاعات الكهرطيسية في الخلاء بسرعة الضوء
- ▶ يكون للحقلين الكهربائي والمغناطيسي تواتر الاهتزاز نفسه.
- ▶ يرتبط الحقلان الكهربائي والمغناطيسي فيما بينهما على النحو:

$$E(x, y, z, t) = cB(x, y, z, t)$$
- ▶ يوجد تناسب طردي بين الحقلين الكهربائي والمغناطيسي.
- ▶ الأمواج الكهرطيسية هي أمواج عرضانية.
- ▶ يهتز الحقلان الكهربائي والمغناطيسي في اتجاه متعامد مع اتجاه انتشار الموجة.
- ▶ تحمل الموجة الكهرطيسية وسطياً نصف طاقتها بحقلها الكهربائي والنصف الآخر بحقلها المغناطيسي.

د.م. يحيى لحفي

19

واحدات قياس الإشعاع الكهرطيسي

- ▶ لا يمكن التعبير عن طاقة الجسيمات الذرية بالجول نظراً لصغرها
- ▶ تستخدم واحدة الالكترن- فولت وهي الطاقة الحركية التي يكتسبها الالكترن المسرع في حقل كهربائي يولده فرق جهد كهربائي مقداره فولت واحد

$$1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ Joul}$$
- ▶ تستخدم مضاعفات الالكترن-فولت:
- الكيلو الكترن فولت $1\text{KeV} = 10^3 \text{ eV}$
- الميغا الكترن فولت $1\text{MeV} = 10^6 \text{ eV} = 1000 \text{ KeV}$
- الجيجا الكترن فولت $1\text{GeV} = 10^9 \text{ eV} = 1000 \text{ MeV}$
- ▶ يستخدم الالكترن فولت للتعبير عن طاقة الجسيمات غير المشحونة أيضاً وكذلك الفوتونات

د.م. يحيى لحفي

20

واحدة الكتلة الذرية

► تقاس الكتلة في الفيزياء الجسيمية بوحدة الكتلة الذرية (amu) atomic mass unit، وتساوي 1/12 من كتلة ذرة الكربون 12 أي $1/N_{\text{avo}}$ من الغرام حيث N_{avo} عدد أفوكادرو، وهو عدد الذرات الحقيقية الموجودة في الذرة الغرامية الواحدة من كل عنصر وقد تم اختياره لتكون الذرة الغرامية للكربون مساوية 12 غراماً تماماً،

► الذرة الغرامية للهيدروجين 1.007825 g

► الذرة الغرامية للأكسجين 15.99491 g

► كتلة ذرة الكربون 12 12 amu

$$1 \text{ amu} = 1 / N_{\text{avo}} = 1 / 6.06 \times 10^{23} \text{ g} = 1.660240 \times 10^{-24} \text{ g}$$

د.م. يحيى لحفي

21

واحدة الكتلة الذرية

► يمكن التعبير عن واحدة الكتلة الذرية بالإلكترون فولت من خلال العلاقة التي تربط الكتلة بالطاقة:

$$E(J) = m(kg) c^2 (m^2 \text{ sec}^{-2}) = 1.66 \times 10^{-27} \times 9 \times 10^{16} = 14.9 \times 10^{-11} J$$

$$E = \frac{14.9 \times 10^{-11}}{1.6 \times 10^{-19}} = 931.478 \text{ MeV}$$

► أي أن: $1 \text{ amu} = 931.5 \text{ MeV}$

د.م. يحيى لحفي

22

واحدات الإشعاع

► النشاط الإشعاعي:

- يقاس النشاط الإشعاعي بوحدة البكريل Bq بحيث يمثل واحد بيكرل تفككاً واحداً بالثانية
- الكوري Ci وهي الواحدة القديمة للنشاط الإشعاعي وتعبّر عن النشاط الإشعاعي لغرام واحد من الراديوم 226 وبحيث أن:

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

- التعرض الإشعاعي: يعرف التعرض في حالة أشعة غاما وأشعة X بأنه كمية التأين التي تنتجها هذه الأشعة في الهواء. ويقاس بوحدة الرونتجن (R) Roentgen والتي تعبر عن كمية الأشعة (X أو غاما) التي تولد شحنة كهربائية ساكنة واحدة في 1 سم³ من الهواء.
- الجرعة الممتصة (D) Absorbed Dose: هي الطاقة الممتصة (المودعة داخل الوسط) في واحدة الكتلة نتيجة تعرض مادة الوسط لأي نوع من الإشعاع وواحدتها هي الجول في الكيلو غرام (J/kg) وتدعى الغري (Gy).

د.م. يحيى لحفي

23

واحدات الإشعاع

معامل الإشعاع المرجح W_R	نوع الإشعاعات وطاقتها
1	- الفوتونات بكل طاقتها
1	- الإلكترونات بكل طاقتها
5	- نيوترونات أقل من 10 keV
10	- نيوترونات من 10 keV حتى 100 keV
20	- نيوترونات من 100 keV حتى 2 MeV
10	- نيوترونات من 2 MeV حتى 20 MeV
5	- نيوترونات أكبر من 20 MeV
2 (5 in ICRP 60)	- البروتونات أكبر من 2 MeV
20	- جسيمات ألفا ونواتج الانشطار والنوى الثقيلة

د.م. يحيى لحفي

- الجرعة المكافئة (H) Equivalent Dose: هي حاصل ضرب الطاقة الممتصة (المودعة داخل الجسم البشري) في معامل النوعية للأشعة من حيث الأثر البيولوجي لها وواحدتها هي الجول في الكيلو غرام (J/kg) وتدعى السيفرت (Sv).

$$H = D * W_R$$

24

واحدات الإشعاع

النسيج أو العضو المعرض	معامل النسيج المرجح W_T
الغدد التناسلية	0.20
النخاع العظمي	0.12
القولون	0.12
الرئة	0.12
المعدة	0.12
المثانة	0.05
البنكرياس	0.05
الكبد	0.05
المرى	0.05
الغدة الدرقية	0.05
الجلد	0.01
سطح العظام	0.01
الباقى	0.05

د.م. يحيى لحفي

► الجرعة الفعالة (E): Effective Dose

هي مجموع حاصل ضرب الجرعة المكافئة في معامل النوعية للنسيج المعرض من حيث حساسيته للأشعة وواحدتها هي الجول في الكيلو غرام (J/kg) وتدعى السيفرت (Sv).

$$E = \sum_T H \times W_T$$

25

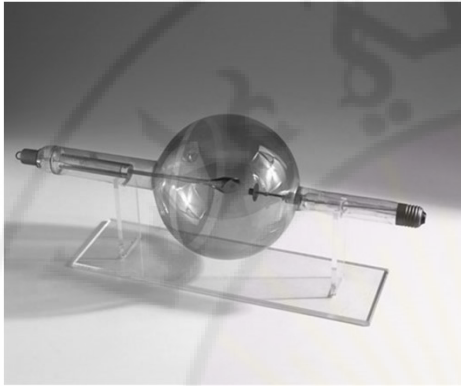
طبيعة الأشعة السينية وخصائصها

- تشكل الأشعة السينية جزءاً من طيف الإشعاعات الكهرومغناطيسية:
- طاقة فوتوناتها بين 10^2 - 10^5 إلكترون فولت.
- أطوالها الموجية بين 10^{-9} و 10^{-12} متر.
- يتميز طيف طاقة الأشعة السينية بأنه طيف ذو طاقات متعددة (متعدد الألوان)
- تتسبب بإسوداد مستحلبات فيلم التصوير الضوئي.
- تؤدي إلى تأيين الغازات التي تعبرها.
- تنتشر وفق خطوط مستقيمة وفي جميع اتجاهات الفراغ.
- تخرج الأشعة السينية من أنبوب الأشعة متجانسة تقريباً.

د.م. يحيى لحفي

26

أنبوب توليد الأشعة السينية



د.م. يحيى لحفي

► يتكون أنبوب توليد الأشعة السينية من لبوسين:

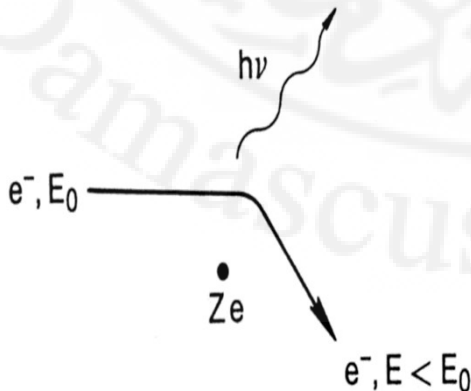
► المهبط: سلك من التنغستين يؤدي تسخينه إلى تشكيل غمامة الكترونية يُتحكم بعدد إلكتروناتها عبر التحكم بشدة تيار التسخين.

► المصعد: يشكل الدريئة التي تكبح الإلكترونات المسرعة لتتولد الأشعة السينية عندها، ويكون المصعد عادة دواراً للتبريد.

► يطبق فرق جهد كهربائي عالي ما بين 40 و 150 كيلو فولت بين المهبط والمصعد لتسريع الإلكترونات

10

طيف الكبح

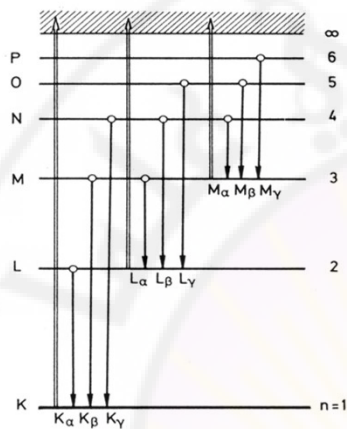


د.م. يحيى لحفي

► طيف الكبح: يعود إشعاع الكبح إلى انحراف خط سير الإلكترون الذي يحمل الطاقة E_0 نتيجة تعرضه للحقل الكهرومغناطيسي electromagnetic field للنواة، مما يؤدي إلى التخفيف من سرعته وإصدار فوتون يحمل الفرق في الطاقة، وفوتونات الكبح bremsphotons هي التي تشكل طيف الكبح.

10

طيف الأشعة المميزة

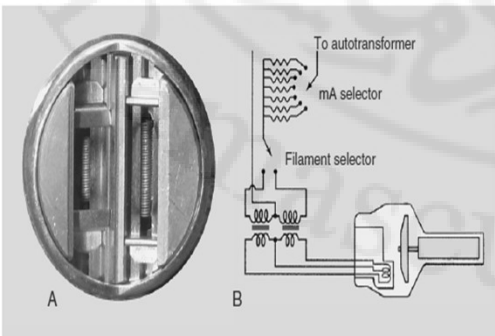


د.م. يحيى لحفي

► طيف الأشعة المميزة: يقوم الإلكترون المسرع بتأيين الذرة، وذلك بإعطاء أحد الإلكترونات الذرية الطاقة الكافية لمغادرة الذرة، فيتشكل فراغ في الطبقة التي يتم نزع الإلكترون منها، وتقوم الإلكترونات من الطبقات الأعلى بملء هذا الفراغ مصدرة الخطوط الطيفية المميزة على شكل سلاسل تدعى K، L، M، ...

29

المهبط: الفتيل



د.م. يحيى لحفي

► عبارة عن سلك رفيع من توريم التنغستين ملفوف على شكل وشيعة طولها 2 سم وقطرها 2 مم.

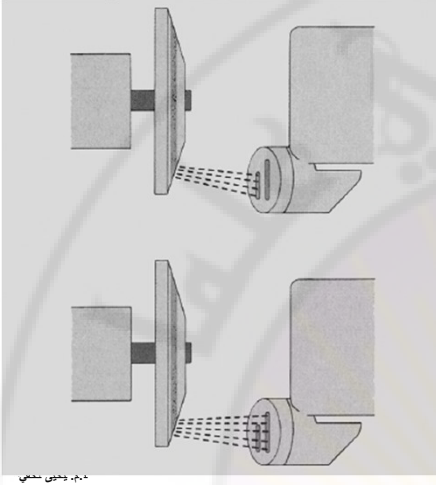
► يتم تسخينها عند مرور تيار كهربائي عبرها لتصدر الإلكترونات من ذرات سطحها الخارجي وفقاً للانبعاش الحراري **thermionic emission** مشكلة غمامة إلكترونية.

► يستخدم التنغستين بسبب نقطة انصهاره العالية 3140 درجة مئوية إضافة لإصداره الإلكتروني الكبير مقارنة بغيره من المعادن.

► إن إضافة التوريم بنسبة 1 إلى 2 % إلى التنغستين يزيد من فعالية إصداره الإلكتروني ويطيل بعمر أنبوب الأشعة.

30

المهبط ثنائي الفتيل



- ▶ تمتلك أغلب أنابيب الأشعة ذات المصعد الدوار فتيلتين: كبير وصغير، ليكون لها بذلك بقعتان محرقتان.
- ▶ تستخدم البقعة المحرقة الصغيرة (1-0.1 ملم) عند الحاجة إلى دقة مكانية عالية، بينما تستخدم البقعة المحرقة الكبيرة (2-0.3 ملم) عند تصوير أجزاء كبيرة من الجسم.
- ▶ يتم الاختيار فيما بينها يدوياً عبر وحدة التحكم.

د.م. يحيى لحفي

31

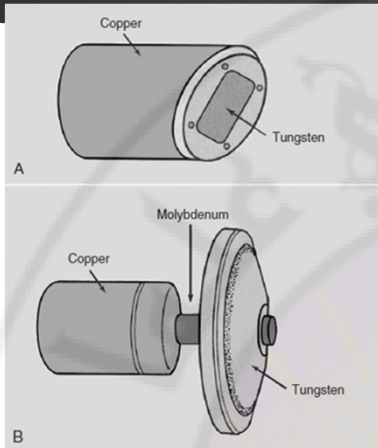
المصعد

- ▶ هو القطب الموجب في أنبوب الأشعة.
- ▶ يكون إما ثابت (في أجهزة التصوير السنية والمحمولة) أو دوار ليسمح بتوليد حزمة إشعاعية عالية الشدة وبزمن تعريض قصير.
- ▶ يقوم المصعد بثلاث وظائف:
- ▶ ناقل كهربائي يسمح بمرور حزمة الإلكترونات المتجهة من المهبط عبره إلى محول الجهد الكهربائي
- ▶ يؤمن الدعم الميكانيكي للهدف
- ▶ التبريد الحراري الجيد.
- ▶ تكون مادة المصعد غالباً من النحاس أو الملبديوم أو الغرافيت

د.م. يحيى لحفي

32

المصعد



د.م. يحيى لحفي

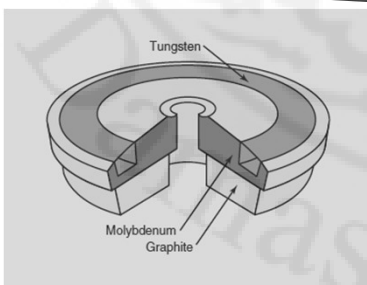
► الهدف target: هو المكان الذي تصطدم به الالكترونات المسرعة والقادمة من المهبط.

► في المصعد الثابت: يكون عبارة عن خليط من التنغستين المتموضع على مصعد من النحاس

► في المصاعد الدوارة: يشكل القرص الدوار المصنوع من خليط من التنغستين (عادة مع معدن الرينيوم rhenium) هدفاً.

33

المصعد



► يستخدم الغرافيت أو الموليبيديوم تحت طبقة الهدف من التنغستين في المصاعد ذات السعة الحرارية العالية مما ينعكس إيجاباً على وزنه وبالتالي على سهولة دورانه.

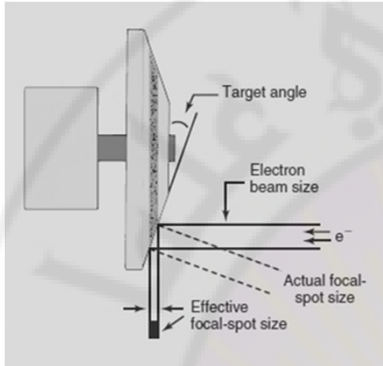
► يستخدم معدن الموليبيديوم والروديوم كأهداف في أنابيب الأشعة الخاصة بالتصوير الشعاعي للثدي نظراً لعدد ذري المنخفض وطاقة الأشعة السينية المستخدمة.

Element	Chemical Symbol	Atomic Number	K X-ray Energy (keV)*	Melting Temperature (°C)
Tungsten	W	74	69	3400
Molybdenum	Mo	42	19	2600
Rhodium	Rh	45	23	3200

د.م. يحيى لحفي

34

Line-Focus Principle - مبدأ الخط - بؤرة



د.م. يحيى لحفي

- البقعة المحرقة هي المكان في الهدف الذي تصدر عنده الأشعة السينية، كلما كان هذا المكان ذو مساحة صغيرة كلما كانت الدقة المكانية أفضل، إلا أنه عند تناقص مساحة البقعة المحرقة تزداد شدة الحرارة فيها.
- للسماح بالحصول على بقعة محرقة صغيرة ظاهرياً بالنسبة لحزمة الأشعة الصادرة وكبيراً مكانياً على سطح الهدف بالنسبة لحزمة الإلكترونات، يتم إمالة سطح الهدف بزاوية معينة ويدعى هذا التصميم بمبدأ الخط-بؤرة
- عندما تكون زاوية الإمالة صغيرة، تكون مساحة البقعة الفعالة أصغر.
- يكون مقدار إمالة المصعد ما بين 5 و 20 درجة وتحدد بحجم مخروط الأشعة السينية الصادرة بحيث يغطي كامل الحقل المراد تصويره (43×35 سم).

35

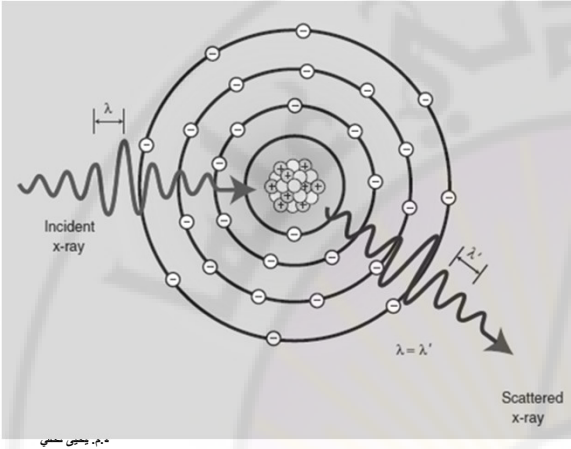
تفاعلات الأشعة السينية مع المادة

- تتفاعل الأشعة الكهرومغناطيسية مع البنى المشابهة لها من حيث طول الموجة.
- طول موجة الأشعة السينية 10^{-8} إلى 10^{-9} متر، كلما ازدادت طاقة الأشعة السينية انخفض طول موجتها.
- الأشعة منخفضة الطاقة تتفاعل مع الذرة بشكل كامل، بينما تتفاعل الأشعة متوسطة الطاقة مع الكثرونات الذرة، وتتفاعل الأشعة عالية الطاقة مع نواة الذرة.
- يكون تفاعل الأشعة السينية مع المادة وفقاً لما يلي:
 - التبعثر المترابط Coherent Scattering
 - تبعثر كومبتون Compton Scattering
 - المفعول الكهروضوئي Photoelectric Effect
 - توليد الأزواج Pair Production
 - التفكك الضوئي Photodisintegration

د.م. يحيى لحفي

36

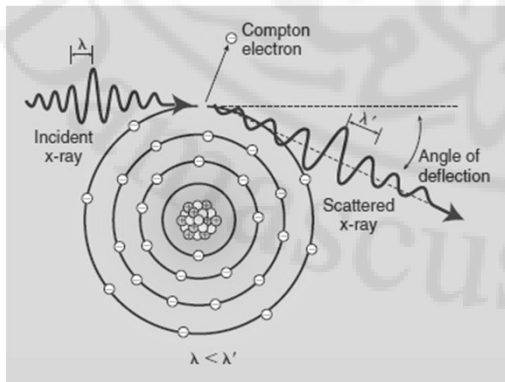
التبعثر المترابط



- يحصل عند طاقات للأشعة أقل من 10 كيلو فولت.
- يتفاعل فوتون الأشعة مع ذرة كبيرة مسبباً إثارتها، مما يؤدي إلى توليد فوتون أشعة سينية مماثل في الطاقة للفوتون الوارد ومختلف عنه بالاتجاه.
- لا ينتج تأيين عن هذا التفاعل.
- ليس له أهمية في التصوير الشعاعي.
- يتسبب بضجيج وانخفاض في تباين الصورة الشعاعية.

37

تبعثر كومبتون



- تتفاعل فوتونات الأشعة مع الكثرونات المدارات السطحية للذرات مسببة بتأيين الذرة وتشتيت فوتون الأشعة السينية.

Question: A 30-keV x-ray ionizes an atom of barium by ejecting an O-shell electron with 12 keV of kinetic energy. What is the energy of the scattered x-ray?
the binding energy of an O-shell electron of barium is 0.04 keV

$$\begin{aligned}
 30 \text{ keV} &= E_s + (0.04 \text{ keV} + 12 \text{ keV}) \\
 E_s &= 30 \text{ keV} - (0.04 \text{ keV} + 12 \text{ keV}) \\
 &= 30 \text{ keV} - (12.04 \text{ keV}) \\
 &= 17.96 \text{ keV}
 \end{aligned}$$

د.م. يحيى لحفي

38

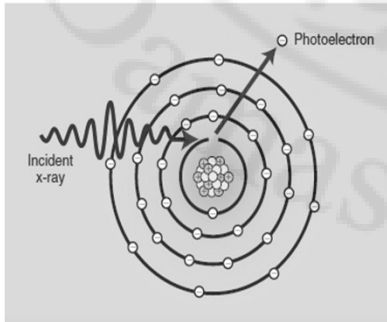
تبعثر كومبتون

- ينخفض احتمال تفاعل تبعثر كومبتون مع ازدياد طاقة فوتونات الأشعة السينية ولا يتعلق ذلك بالعدد الذري للمادة.
- يولد تبعثر كومبتون في التصوير الشعاعي كثافة ضوئية متجانسة مما يتسبب بانخفاض في تباين الصورة الشعاعية.
- ينتج عن تبعثر كومبتون في التصوير الشعاعي التنظيري جرعة إشعاعية مهنية للكادر الطبي المتواجد بالقرب من المريض.
- يتطلب وجود الأشعة المبعثرة القيام بتدريع غرف التصوير الشعاعي.

د.م. يحيى لحفي

39

الأثر الكهروضوئي

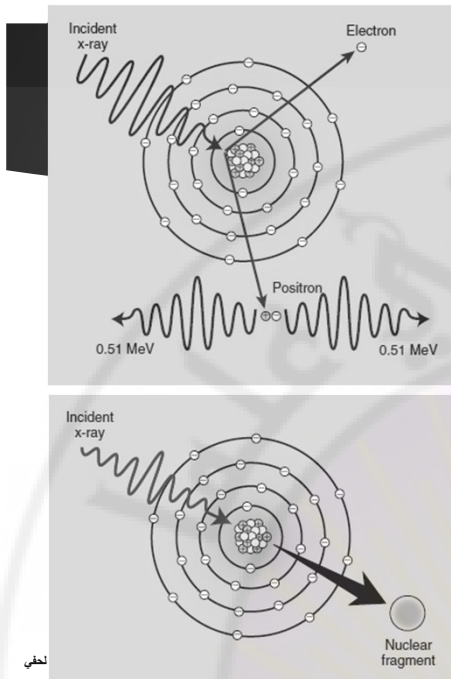


- لا تتبعثر الأشعة السينية وإنما تمتص بالكامل في الذرة حيث تتفاعل مع الكترونات المدارات الداخلية مسببة في تأينها، ويدعى الإلكترون المغادر للذرة بالفوتوالكترون وتكون طاقته مساوية للفرق ما بين طاقة فوتون الأشعة السينية الوارد وطاقة ارتباطه بالذرة.
- في المواد ذات العدد الذري المنخفض (الأنسجة الرخوة)، يصدر الإلكترون الضوئي بطاقة مساوية تقريباً لطاقة فوتون الإشعاع الوارد، في المواد ذات العدد الذري الكبير يصدر الإلكترون الضوئي بطاقة أقل نظراً لارتفاع قيمة طاقة ارتباطه بالذرة.
- تنتج عن ذلك توليد أشعة سينية مميزة بطاقة تساوي الفرق بين طاقتي الارتباط للمدارين (الذي غادر منه الإلكترون الضوئي والأعلى منه).

د.م. يحيى لحفي

40

توليد الأزواج والتفكك الضوئي



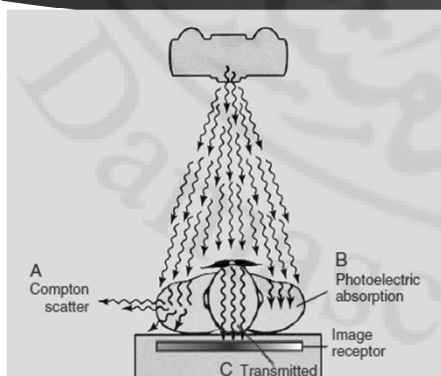
► عندما تكون طاقة فوتون الأشعة السينية كبيرة (على الأقل 1.02 Mev) فيمكن ألا تؤثر على الكتلونات الذرة وإنما تتأثر فقط بحقل نواتها والذي يؤدي إلى فناء الفوتون وتوليد زوج الكتروني متساوي في الطاقة (لكل منهما طاقة 0.511 keV) ومتعاكسين في الاتجاه.

► عندما تكون طاقة فوتون الأشعة السينية كبيرة جداً (أعلى من 10 Mev)، فيمكن أن تمتص طاقتها من قبل نواة الذرة مسببة إثارة لها مصدرة نكلون أو أكثر.

► هذه التفاعلات غير ممكنة في التصوير الشعاعي!

41

الامتصاص التفاضلي



Three types of x-rays are important to the making of a radiograph: those scattered by Compton interaction (A), those absorbed photoelectrically (B), and those transmitted through the patient without interaction (C).

د.م. يحيى لحفي

► يحدث الامتصاص التفاضلي كنتيجة لـ: تبعثر كومبتون والأثر الكهروضوئي والأشعة النافذة من جسم المريض.

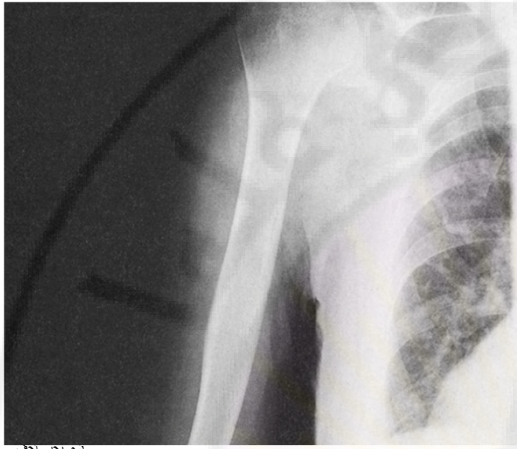
► يؤدي تبعثر كومبتون إلى تشكيل ضجيج في الصورة الشعاعية.

► يقدم تفاعل الأثر الكهروضوئي المعلومات التشخيصية في الصورة حيث لا تصل الفوتونات إلى مستقبل الصورة تاركة أثر المكونات التشريحية ذات العدد الذري العالي (كالعظام).

► بينما تسقط الأشعة العابرة للجسم على مستقبل الصورة معطية الإسوداد في الصورة الشعاعية.

42

الامتصاص التفاضلي



د.م. يحيى لحفي

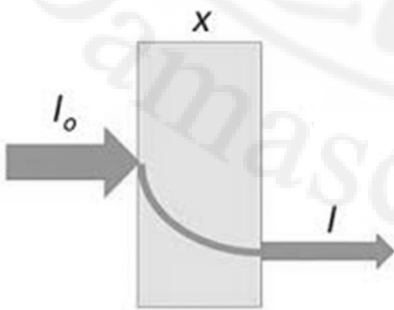
- ▶ تتشكل الصورة الشعاعية نتيجة للفرق ما بين الأثر الكهروضوئي والأشعة العابرة للجسم، وهو ما يدعى بالامتصاص التفاضلي.
- ▶ 0.5% من الأشعة الساقطة على الجسم تشكل الصورة الإشعاعية
- ▶ يتطلب الحصول على صورة شعاعية ذات جودة عالية الاختيار المناسب لمعاملات التصوير والتي تنتج أعلى امتصاص تفاضلي.
- ▶ إن انخفاض قيمة الجهد يزيد من الامتصاص التفاضلي ويحسن من تباين الصورة.

43

تخامد الأشعة السينية في المادة

- ▶ يزداد تخامد الأشعة السينية (امتصاصها) بازدياد طول مسارها في المادة ويخضع للعلاقة:

$$I_x = I_0 e^{-\mu x}$$



د.م. يحيى لحفي

- ▶ I_0 الشدة الابتدائية لحزمة الأشعة.

- ▶ I_x شدة حزمة الأشعة بعد مرورها لمسافة x ضمن المادة.

- ▶ μ معامل التخامد للمادة ويتعلق بـ:

- ▶ العدد الذري لمكوناتها

- ▶ كثافتها.

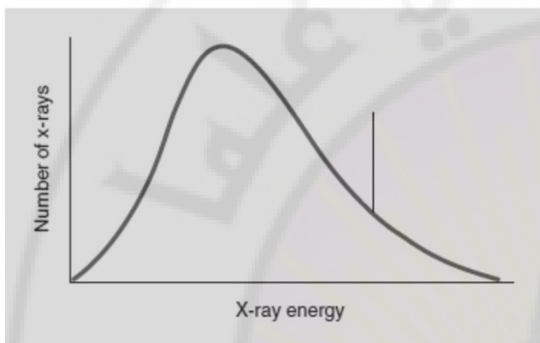
- ▶ طاقة الإشعاع الوارد.

44

العوامل المؤثرة على طيف الأشعة السينية

► يمثل العدد الكلي لفوتونات الأشعة السينية الصادرة عن أنبوب الأشعة بمجموع أعداد الفوتونات الصادرة عند كل طاقة من طيف الأشعة الصادر. (تكامل منحنى طيف الطاقة).

► العوامل المؤثرة في طيف الأشعة الصادرة هي:



► تيار الأنبوب

► الجهد الكهربائي المطبق على الأنبوب

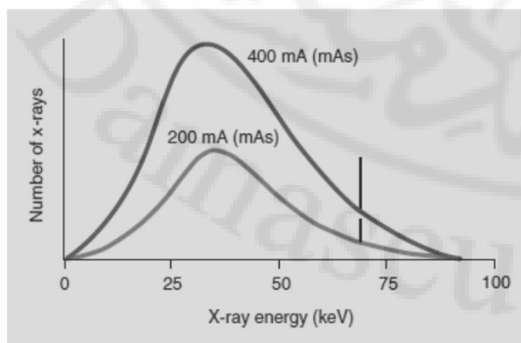
► الترشيح المضاف

► مادة الهدف في المصعد

► شكل موجة الجهد المقوم

45

أثر تيار الأنبوب mA أو mAs

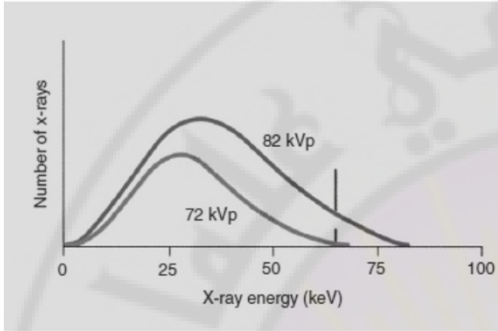


► عند ثبات بقية العوامل، تكون العلاقة ما بين كمية الأشعة السينية الصادرة (عدد الفوتونات) وتيار أنبوب الأشعة طردية.

► يتغير مطال طيف الأشعة فقط دون شكله.

46

أثر الجهد الكهربائي المطبق على الأنبوب kVp

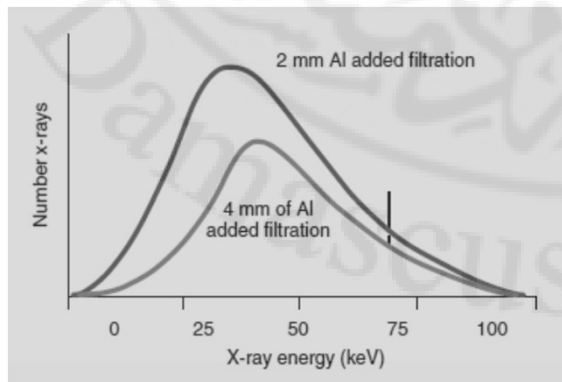


د.م. يحيى لحفي

- ▶ عند ثبات قيم العوامل الأخرى، تكون كمية الأشعة السينية الصادرة (عدد الفوتونات) متناسبة مع مربع نسبة التغير في الجهد الكهربائي المطبق على أنبوب الأشعة.
- ▶ يتغير مطال وشكل طيف الأشعة وبحث يكون أكبر نسبياً في جهة الطاقات العليا للأشعة.
- ▶ تكون قيمة الطاقة العظمى لفوتونات الأشعة السينية الصادرة مساوية عددياً للجهد الكهربائي المطبق kVp.

47

أثر ترشيح الحزمة

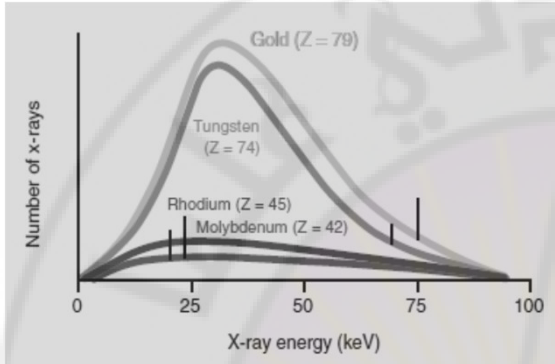


د.م. يحيى لحفي

- ▶ يخفض المرشح من شدة حزمة الأشعة السينية ولكنه يزيد من الطاقة الوسطية لها.
- ▶ تدعى عملية إضافة المرشحات بتقسية الحزمة الإشعاعية.
- ▶ لا يتأثر طيف الأشعة المميزة ولا الطاقة العظمى للفوتونات بإضافة المرشحات.

48

أثر مادة هدف المصعد

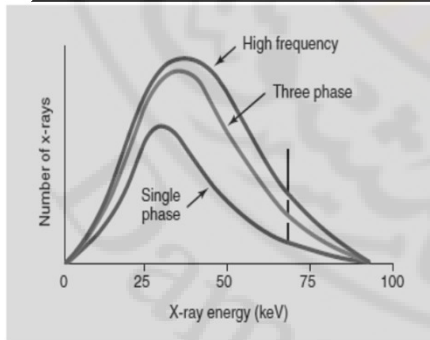


د.م. يحيى لحفي

- يحدد العدد الذري لمادة هدف المصعد عدد ونوعية فوتونات الأشعة السينية الصادرة.
- تزداد فعالية توليد طيف الكبح للأشعة السينية مع ازدياد العدد الذري لمادة الهدف ويميل هذا الانحراف باتجاه الطاقات العالية.
- ينزاح طيف الأشعة المميز باتجاه الطاقات العالية عند ازدياد العدد الذري لمادة الهدف.

49

أثر شكل موجة الجهد المقوم



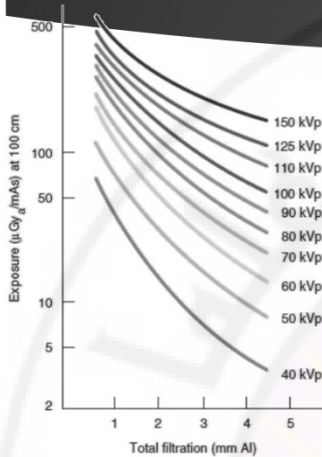
spectra for 92-kVp operation at constant mAs

د.م. يحيى لحفي

- يوجد خمس أشكال لمولدات الجهد الكهربائي في أنبوب الأشعة:
 - أحادي الطور - نصف موجة مقومة
 - أحادي الطور - موجة كاملة مقومة
 - ثلاثي الطور - ست نبضات-مقوم
 - ثلاثي الطور - 12 نبضة - مقومة
 - الترددات العالية
- يمكن تخفيض الجهد بمقدار 12% عند الانتقال من أحادي الطور إلى استخدام ثلاثي الطور وبالتالي الحصول على نفس شدة الأشعة السينية المولدة.
- يكافئ استخدام مولدات الترددات العالية زيادة في قيمة الجهد بما يعادل 16% مقارنة بمولدات الجهد أحادية الطور والذي يكون له نفس أثر مضاعفة قيمة mAs على سطح كاشف الصورة.

50

العوامل المؤثرة على شدة الأشعة السينية



These curves apply only for single-phase, full-wave-rectified apparatus

► تقاس شدة حزمة الأشعة السينية في أنظمة التصوير الشعاعية بوحدة الملي غراي في الهواء (mGy_a)

► يقاس معدل التعرض الإشعاعي بواحدات: mGy_a/s , mGy_a/min , mGy_a/mAs

► تصدر أنابيب الأشعة التشخيصية جرعة إشعاعية عند جهد كهربائي قيمته 70 كيلو فولت تقدر ب $50 \mu Gy_a/mAs$ وذلك على بعد 1 متر من البقعة المحرقة.

51

العوامل المؤثرة على شدة الأشعة السينية

The Effect of Increasing	X-ray Quantity Is	Image Receptor Exposure Is
mAs	Increased proportionately	Increased
kVp	Increased by $\left(\frac{kVp_2}{kVp_1}\right)^2$	Increased by $\left(\frac{kVp_2}{kVp_1}\right)^5$
Distance	Reduced by $\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2$	Reduced by $\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2$
Filtration	Reduced	Reduced

د.م. يحيى لحفي

52

جودة الحزمة الإشعاعية

- ▶ توصف الحزمة الإشعاعية ذات النفاذية العالية بالحزمة ذات الجودة العالية،
- ▶ تتعلق نفاذية الأشعة السينية بطاقة فوتوناتها وتعبر عن مدى مقدرة فوتونات الأشعة على اختراق نسيج ما.
- ▶ لا تتأثر جودة الحزمة الإشعاعية بالمسافة أو بتيار الأنبوب.
- ▶ تكون نفاذية الأشعة السينية أعلى في الأنسجة ذات العدد الذري المنخفض وتتناقص مع ازدياد العدد الذري لبنية النسيج المخترق.
- ▶ ينتج التوهين في الأشعة السينية عن الامتصاص والتشتت الحاصل في الأوساط المارة فيها.
- ▶ في التصوير الشعاعي، تقاس جودة الحزمة الإشعاعية بمقدار طبقة النصف HVL والمقدرة من 1-5 ملم مكافئ ألومنيوم أو من 3-6 سم من النسيج الرخوة.
- ▶ تعرّف طبقة النصف بثخانة المادة المطلوبة لتخفيض شدة الأشعة السينية المارة خلالها إلى النصف.

د.م. يحيى لحفي

53

العوامل المؤثرة على جودة الأشعة السينية

- ▶ تزداد جودة الحزمة الإشعاعية مع زيادة الجهد الكهربائي المطبق على أنبوب الأشعة، وبالتالي تزداد نفوذيتها وتزداد معها قيمة طبقة النصف الموافقة لها.

Kilovolt Peak	Half-Value Layer (mm Al)
50	1.9
75	2.8
100	3.7
125	4.6
150	5.4

د.م. يحيى لحفي

54

توليد الأشعة المتبعثرة

- بشكل مثالي: يجب أن تصل الأشعة السينية التي لا تتفاعل مع أنسجة المريض إلى مستقبل الصورة.
- يؤدي تزايد الأشعة المتبعثرة إلى انخفاض في تباين الصورة.
- تتأثر الشدة النسبية للأشعة المتبعثرة التي تصل سطح مستقبل الصورة بثلاثة عوامل رئيسية هي:
 - الجهد الكهربائي kVp
 - مساحة الحقل الإشعاعي
 - سماكة المريض

د.م. يحيى لحفي

55

أثر الجهد الكهربائي

- عند زيادة الجهد الكهربائي فإن عدد فوتونات الأشعة السينية التي تتفاعل مع المادة وفقاً لتبعثر كومبتون تزداد.
- إن انخفاض الجهد الكهربائي يرافقه:
 - زيادة الامتصاص الكهروضوئي للفوتونات مما يؤدي إلى زيادة كبيرة في جرعة المريض الإشعاعية.
 - وصول عدد قليل جداً من الفوتونات إلى مستقبل الصورة مما يتطلب زيادة التيار الكهربائي وبالتالي جرعة المريض أيضاً.

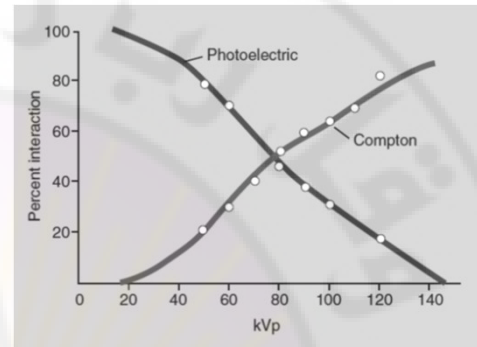
د.م. يحيى لحفي

56

أثر الجهد الكهربائي

kVp	PERCENT INTERACTION			Percent Transmission
	Photoelectric	Compton	Total	
50	79	21	>99	<1
60	70	30	>99	<1
70	60	40	>99	<1
80	46	52	98	2
90	38	59	97	3
100	31	63	94	6
110	23	70	93	7
120	18	83	91	9

Through 10 cm of Soft Tissue

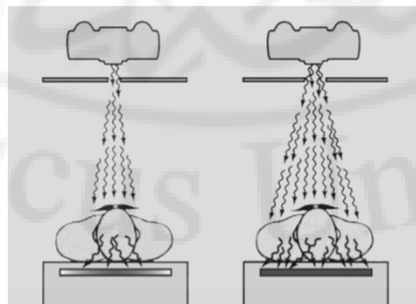


د.م. يحيى لحفي

57

مساحة الحقل الإشعاعي

► تزداد الأشعة المتبعثرة بزيادة مساحة الحقل الإشعاعي



د.م. يحيى لحفي

58

سماكة جسم المريض

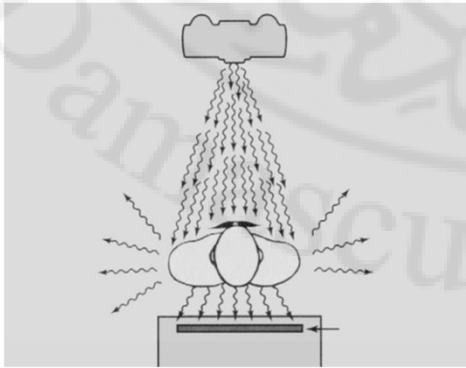


د.م. يحيى لحفي

- ▶ تزداد الأشعة المتبعثرة عند زيادة سماكة المنطقة المراد تصويرها من الجسم.
- ▶ تزداد زاوية انتشار الأشعة أيضاً عند زيادة السماكة
- ▶ تلعب بنية النسيج المصور دوراً مهماً في توليد الأشعة المتبعثرة.
- ▶ يمكن استخدام وسائل الضغط لتخفيض سماكة الجسم (خاصة عند تصوير الثدي)

59

تأثير الأشعة المتبعثرة على تباين الصورة

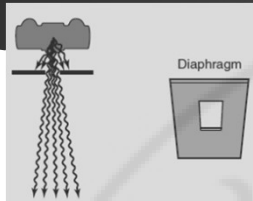


د.م. يحيى لحفي

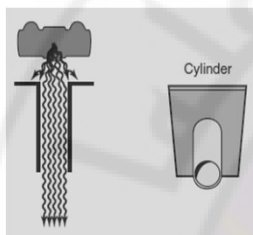
- ▶ يمكن الإشارة بتباين الصورة إلى درجة اختلاف الكثافة الضوئية OD بين مناطق الصورة الشعاعية المختلفة.
- ▶ يدل مصطلح دقة التباين على إمكانية تصوير الأنسجة الرخوة والتمييز فيما بينها.
- ▶ تستخدم محددات الحزمة الإشعاعية والشبكات المانعة للتبعثر لتخفيض أثر الأشعة المتبعثرة في الصورة الشعاعية.

60

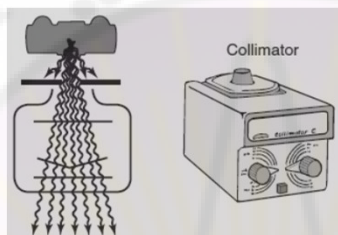
محددات الحزمة الإشعاعية



Diaphragm



Cylinder



Collimator

► يوجد ثلاثة أنواع من محدّدات الحزمة الإشعاعية:

► فتحة الحجاب aperture diaphragm

► الإسطوانات والمخاريط

► مسدّدات الفتحة المضاء المتغيرة

د.م. يحيى لحفي

61

الشبكات المانعة للتبعثر

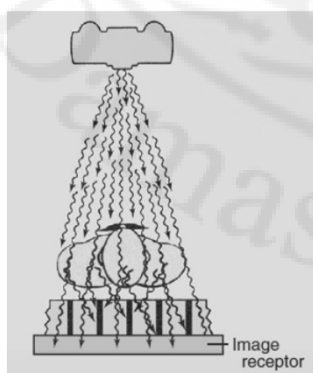


Image receptor

► تساهم الأشعة المتبعثرة باتجاه مستقبل الصورة في تشكيل الصورة الشعاعية.

► تهدف الشبكة المانعة للبعثر إلى تخفيض مقدار هذه الأشعة المتبعثرة الواردة باتجاه مستقبل الصورة.

► تتكون بشكل أساسي من شرائح من مادة حاجبة للأشعة (كالرصاص) يفصل فيما بينها إما مادة بلاستيكية أو الألمنيوم الذي يفضل بسبب عدم تركه أثراً على الصورة الشعاعية.

► توضع الشبكة ما بين المريض ومستقبل الصورة.

► تسمح الشبكة لفوتونات الأشعة المستقيمة والعبارة لجسم المريض بالوصول إلى مستقبل الصورة.

د.م. يحيى لحفي

62

معامل تحسين التباين

- يعبر معامل تحسين التباين للشبكة عن نسبة زيادة التباين في الصورة الشعاعية بعد وضع الشبكة.
- تكون قيمة هذا المعامل ما بين 1.5 و 2.5 ويحسب عادة عند الجهد 100 kVp.
- يتعلق معامل تحسين التباين بطيف الأشعة السينية، سماكة المريض، ونوع النسيج المصور.
- يحسب كما يلي:

Question: An aluminum step wedge is placed on a tissue phantom that is 20 cm thick and a radiograph is made. Without a grid, analysis of the radiograph shows an average gradient (a measure of contrast) of 1.1. With a 12:1 grid, radiographic contrast is 2.8. What is the contrast improvement factor of this grid?

Answer: $k = \frac{2.8}{1.1} = 2.55$

د.م. يحيى لحفي

Contrast Improvement Factor

$$k = \frac{\text{image contrast with grid}}{\text{image contrast without grid}}$$

63

معامل البوكي Bucky Factor

- يعبر معامل البوكي عن نسبة الزيادة في جرعة المريض الناتجة عن استخدام الشبكة المانعة للتبعثر.
- يعبر عن نسبة نفاذية الأشعة الأولية والثانوية عبر الشبكة
- يحسب من العلاقة:

Bucky Factor

$$B = \frac{\text{Incident remnant x-rays}}{\text{Transmitted image-forming x-rays}} = \frac{\text{Patient dose with grid}}{\text{Patient dose without grid}}$$

د.م. يحيى لحفي

64

معامل البوكي Bucky Factor

Approximate Bucky Factor Values for Popular Grids

Grid Ratio	BUCKY FACTOR AT			Average
	70 kVp	90 kVp	120 kVp	
No grid	1	1	1	1
5:1	2	2.5	3	2
8:1	3	3.5	4	4
12:1	3.5	4	5	5
16:1	4	5	6	6

د.م. يحيى لحفي



كلية العلوم الصحية

النشاط الإشعاعي

الدكتور المهندس يحيى لحفي

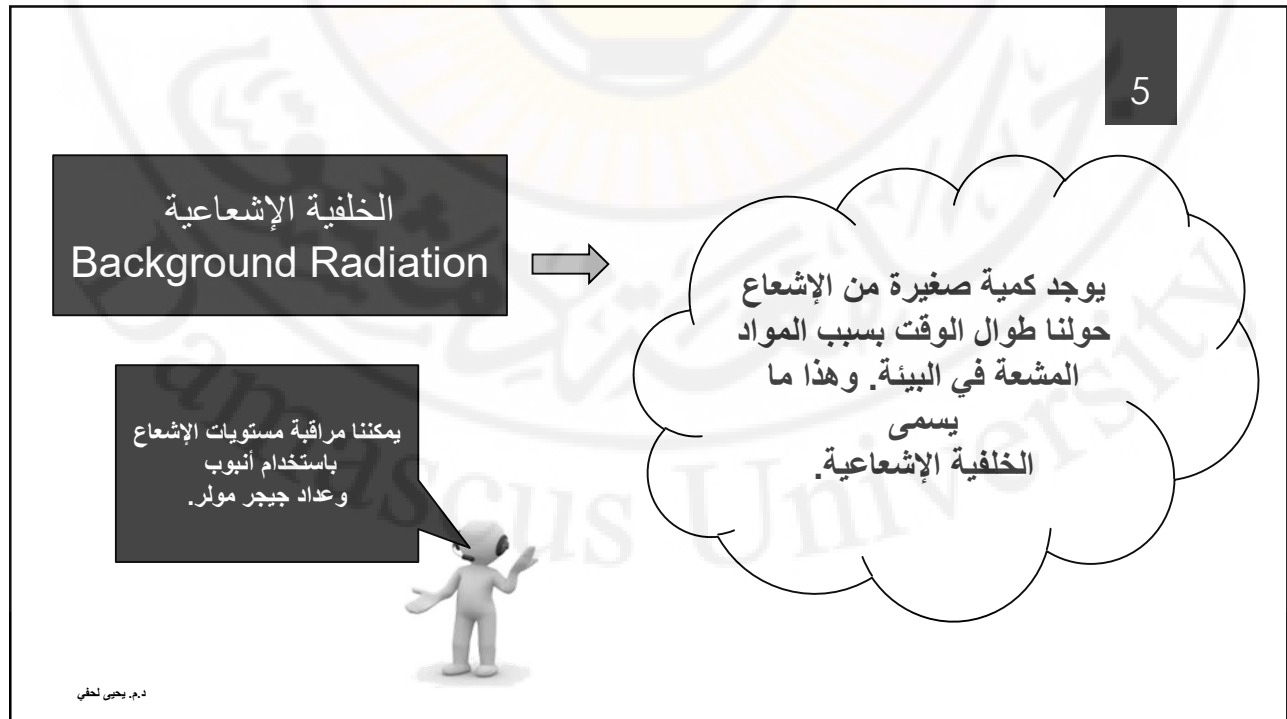
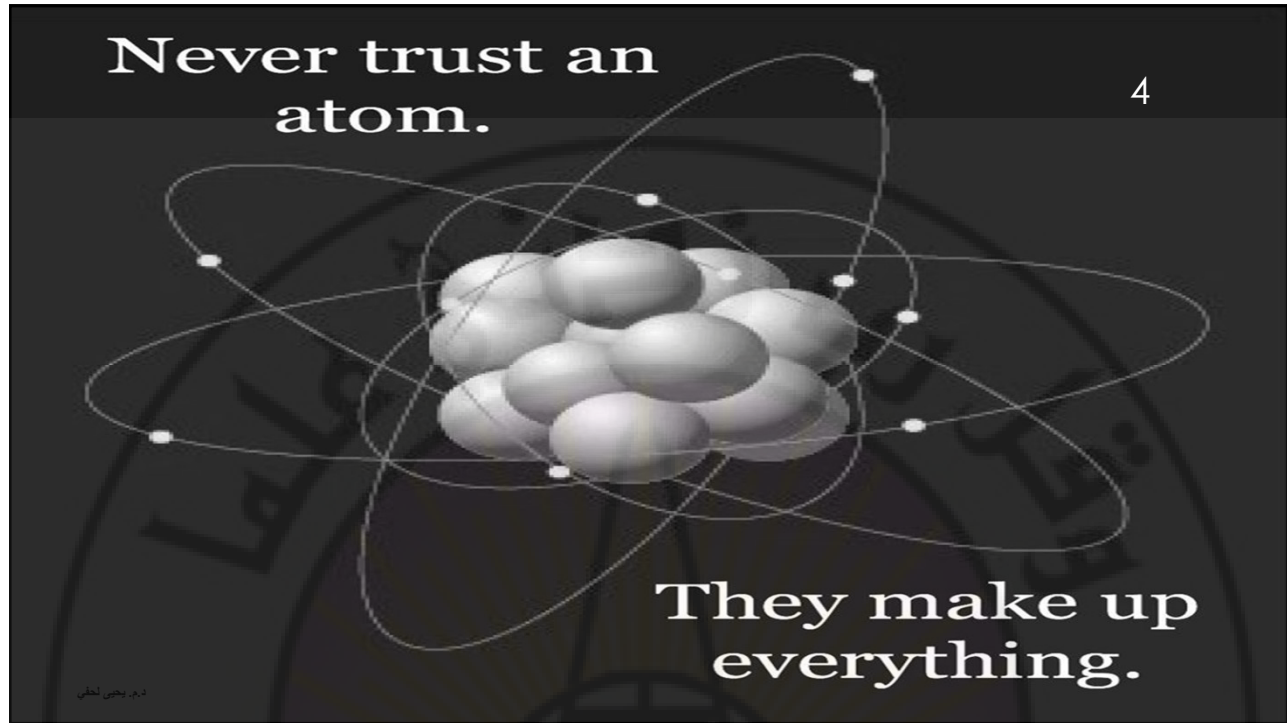
2023-2022

3

المحتوى

- ☐ الخلفية الإشعاعية
- ☐ النواة والنظائر المشعة
- ☐ النشاط الإشعاعي
- ☐ أنواع الإشعاع:
 - ☐ ألفا
 - ☐ بيتا/بوزيترون
 - ☐ غاما
- ☐ تطبيقات النشاط الإشعاعي
- ☐ كشف النشاط الإشعاعي
- ☐ عمر النصف الفيزيائي
- ☐ مسائل

د.م. يحيى لحفي



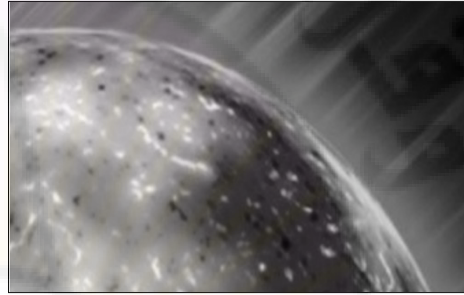
الخلفية الإشعاعية

6

تتولد من عدة مصادر مثل النظائر غير المستقرة التي تحدث بشكل طبيعي والموجودة في كل مكان حولنا - في الهواء ، في الطعام ، في مواد البناء وفي الصخور تحت أقدامنا.

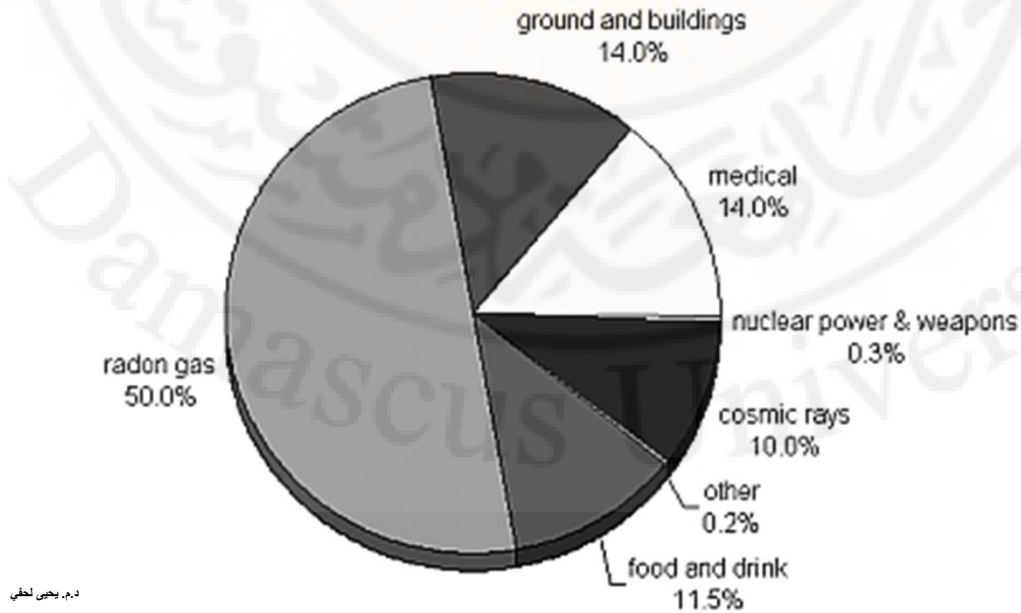
الإشعاع الناتج عن النشاط البشري، تداعيات الانفجارات النووية، أو النفايات النووية.

إشعاع من الفضاء، يُعرف بالإشعاع الكوني، ومعظمه من الشمس.



Background Radiation in the UK

7



8

الخلفية الإشعاعية

ما الذي يغير مستوى الخلفية الإشعاعية؟



في الارتفاعات العالية (على سبيل المثال في الطائرات النفاثة) تزداد بسبب زيادة التعرض للأشعة الكونية.

د.م. يحيى لحفي



تحت الأرض في المناجم، تزداد بسبب كل الصخور المحيطة بها. يمكن لبعض الصخور الموجودة تحت الأرض أن تسبب مستويات أعلى على السطح، خاصة إذا أطلقت غاز الرادون المشع.

9

Chemical reaction vs. Nuclear reaction

In a chemical reaction, what is the main subatomic particle involved?

The ELECTRON

In a nuclear reaction, what is the main area of the atom involved?

The NUCLEUS

د.م. يحيى لحفي

10

النواة

Mass number (number of protons plus neutrons)

Atomic number (number of protons or electrons)



Symbol of element

- تذكر أن النواة تتكون من البروتونات والنيوترونات.
- عدد البروتونات هو العدد الذري.
- عدد البروتونات والنيوترونات معًا هو فعليًا كتلة الذرة.

د.م. يحيى لحفي

11

التدوين النووي

يمكن للنواة أن تفقد أو تكتسب البروتونات والنيوترونات (إضافة أو فقدان البروتونات يغير من هوية العنصر)
عند كتابة المعادلات النووية ، من المهم الإشارة إلى نظائر العناصر المحددة.

Mass number — 12 Atomic number — 6 Carbon-12	6 protons 6 neutrons	Mass number — 13 Atomic number — 6 Carbon-13	6 protons 7 neutrons	Mass number — 14 Atomic number — 6 Carbon-14	6 protons 8 neutrons
Mass number — 1 Atomic number — 1 Hydrogen-1	1 proton 0 neutrons	Mass number — 2 Atomic number — 1 Hydrogen-2	1 proton 1 neutron	Mass number — 3 Atomic number — 1 Hydrogen-3	1 proton 2 neutrons

د.م. يحيى لحفي

12

النظائر

► ليست كل ذرات نفس العنصر لها نفس الكتلة بسبب اختلاف أعداد النيوترونات في تلك الذرات.

► توجد ثلاثة نظائر طبيعية لليورانيوم:

Uranium-234 ►

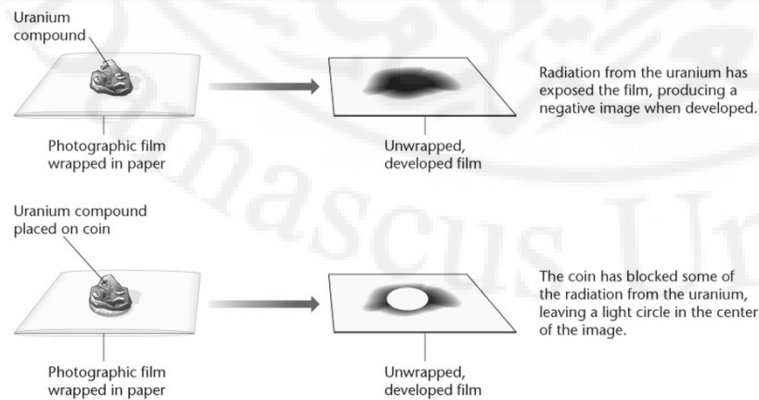
Uranium-235 ►

Uranium-238 ►

د.م. يحيى لحفي

13

اكتشاف النشاط الإشعاعي

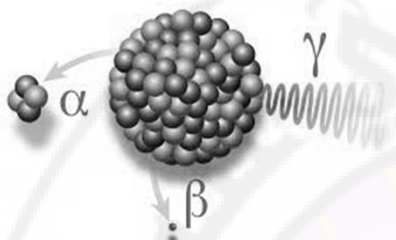


د.م. يحيى لحفي

اكتشف هنري بيكريل أن
مركبات اليورانيوم تطلق
إشعاعًا تلقائيًا.

14

اكتشاف النشاط الإشعاعي



خلصت ماري وبير كوري إلى أن تفاعلاً نووياً كان يحدث داخل ذرات اليورانيوم.

النشاط الإشعاعي هو انبعاث تلقائي للإشعاع بواسطة نواة ذرية غير مستقرة. لا تصبح الأشياء مشعة عند تعرضها للإشعاع ما لم تمتص بالفعل العناصر المشعة.

د.م. يحيى لحفي

15

أنواع الإشعاع

Alpha α

Beta β

Gamma γ

- نواة ذرة الهيليوم تتكون من بروتونين ونيوترونين.
- شحنة نسبية +2.
- كتلة عالية مقارنة بجزيئات بيتا.
- سرعة تصل إلى 0.1 × سرعة الضوء
- تأثير مؤين قوي
- ليست شديدة الاختراق (توقف بالورق أو الجلد أو بضعة سنتيمترات من الهواء)
- ينحرف بالمجالات المغناطيسية والكهربائية

د.م. يحيى لحفي

16

Alpha Decay:

The diagram illustrates the alpha decay of Radium-226. On the left is a large cluster of spheres representing the Radium-226 nucleus, labeled $^{226}_{88}\text{Ra}$ and Radium-226. An arrow points to the right, where a smaller cluster of spheres represents the Radon-222 nucleus, labeled $^{222}_{86}\text{Rn}$ and Radon-222. To the right of the Radon nucleus is a plus sign followed by a very small cluster of four spheres representing the Alpha particle, labeled ^4_2He and Alpha particle.

د.م. يحيى لحفي

17

Alpha Decay:

$$^{238}_{92}\text{U} \longrightarrow ^{234}_{90}\text{Th} + ^4_2\text{He}$$

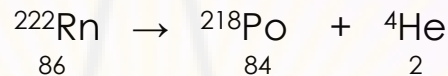
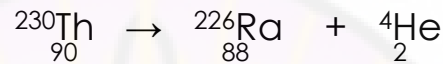
Must be balanced! Sum of mass numbers and atomic numbers must be the same on the left and right.

د.م. يحيى لحفي

18

Alpha Decay:

Thorium 230 (Th-230) and Radon 222 (Rn-222)



د.م. يحيى لحفي

19

أنواع الإشعاع

Alpha α Beta β Gamma γ

- كل جسيم بيتا هو إلكترون.
- شحنة نسبية -1.
- كتلة منخفضة مقارنة بجزيئات ألفا.
- تصل إلى 0.9 × سرعة الضوء
- تأثير مؤين ضعيف.
- قابليتها للاختراق ضعيفة ، لكنها تتوقف ببضعة ملليمترات من الألمنيوم أو معادن أخرى.
- ينحرف بالمجالات المغناطيسية والكهربائية

د.م. يحيى لحفي

20

Beta Decay:

Beta Particle- a high energy electron with a 1- charge

Loss of a β -particle (a high energy electron)

$${}_{-1}^0\beta \text{ or } {}_{-1}^0e$$

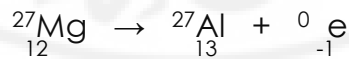


د.م. يحيى لحفي

21

Beta Decay:

Magnesium 27 (Mg-27) and Sulfur 35 (S-35)

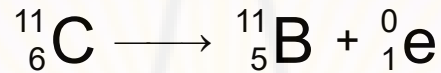


د.م. يحيى لحفي

22

الإصدار البوزيتروني

- ▶ هو نوع من التفكك الإشعاعي يسمى بيتا الموجب
- ▶ ينتج عن إصدار البوزيترون نواة جديدة ذات عدد ذري أقل بواحد من الرقم الأصلي ورقم كتلي مماثل
- ▶ يصبح البروتون نيوترونًا. من هذه العملية يتم إخراج البوزيترون والنيوترينو من النواة.



د.م. يحيى لحفي

23

أنواع الإشعاع

Alpha α Beta β Gamma γ

- ليست جسيمات ، بل موجات كهروطيسية وجزء من الطيف الكهروطيسي.
- ليس لها شحنة
- ليس لها كتلة
- تسير بسرعة الضوء
- تأثير مؤين ضعيف جدا.
- شديدة الاختراق - يتم التخميض من شدتها بواسطة الرصاص والخرسانة السميكة، ولكنها لا تتوقف تمامًا.
- لا تتحرف بالمجالات المغناطيسية أو الكهربائية

د.م. يحيى لحفي

24

Gamma Decay:

Gamma Ray – high-energy form of electromagnetic radiation without charge or mass (γ)

(Gamma typically does not occur alone – occurs with β or α)

Loss of a γ -ray (high-energy radiation that almost always accompanies the loss of a nuclear particle)

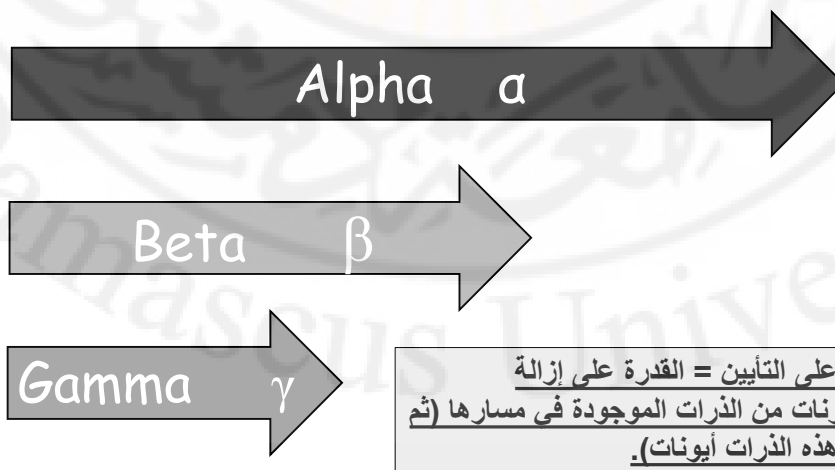


د.م. يحيى لحفي

25

أنواع الإشعاع

القدرة على التأيين



د.م. يحيى لحفي

أنواع الإشعاع

القدرة على الاختراق

26

Alpha α

توقف عن طريق الورق أو الجلد، أو بضعة سنتيمترات من الهواء

Beta β

توقف عن طريق بضعة ملليمترات من الألومنيوم أو معادن أخرى.

Gamma γ

تم إيقافه بواسطة الرصاص والخرسانة السميكة، ولكن ليس تماماً.

د.م. يحيى لحفي

27

α Particle
 β Particle
 γ Ray

Sheet of paper Dense wood Thick blocks of lead or concrete

د.م. يحيى لحفي

أنواع الإشعاع

انحرافها بالحقول الكهربائية و المغناطيسية

28

جسيمات ألفا - موجبة الشحنة ، تنحرف في اتجاه الطرف السالب (أو القطب الجنوبي).

جسيمات β - سالبة الشحنة ، تنحرف في اتجاه الطرف الموجب (أو القطب الشمالي)

الجسيمات γ - لا توجد شحنة ، لذلك لا تنحرف عن طريق المجالات المغناطيسية أو الكهربائية.

د.م. يحيى لحفي

أنواع الإشعاع

انحرافها بالحقول الكهربائية و المغناطيسية

29

Two Protons and Two Neutrons

Alpha Radiation

Nucleus of an Atom

High Energy Electron

Beta Radiation

High Energy Electromagnetic Photon

Gamma Radiation

The are Three Types of Radioactive Decay

التفكك الإشعاعي هو حدث عشوائي - تتفكك النوى غير المستقرة في بعض المواد أو تتحلل ومن المستحيل التكهّن بالضبط أي من النوى سوف تتحلل. يسمى ذلك بالتفكك الإشعاعي.

د.م. يحيى لحفي

30

تطبيقات النشاط الإشعاعي



الطب النووي: يمكن الكشف عن النظائر المشعة بكميات صغيرة جدًا، لذا فهي مفيدة لفحص وظائف أعضاء الجسم. على سبيل المثال يستخدم اليود 123 ، وهو مصدر جاما ، للتحقق من وظيفة الغدة الدرقية.

د.م. يحيى لحفي

31

تطبيقات النشاط الإشعاعي

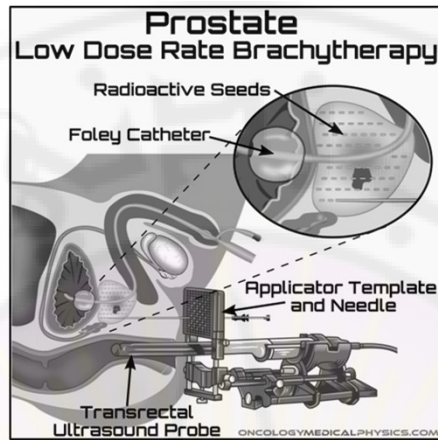


تعقيم المواد الغذائية والأدوات الجراحية. يمكن أن يؤدي التعرض لجرعة عالية من أشعة جاما إلى قتل جميع الميكروبات، لذلك يتم الاحتفاظ بالطعام طازجًا لفترة أطول وستكون الأدوات نظيفة للعمليات.

د.م. يحيى لحفي

تطبيقات النشاط الإشعاعي

32

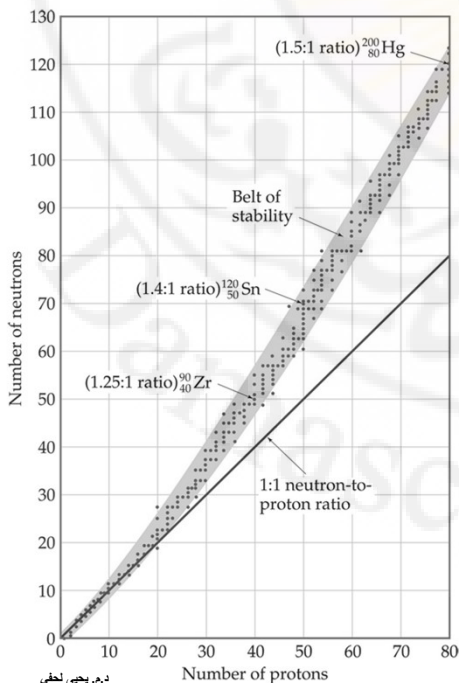


العلاج الإشعاعي - علاج السرطان بأشعة جاما. يتم توجيه الجرعات العالية من أشعة جاما فقط لقتل الخلايا السرطانية، مع تقليل الضرر الذي يلحق بالخلايا السليمة المحيطة.

د.م. يحيى لحفي

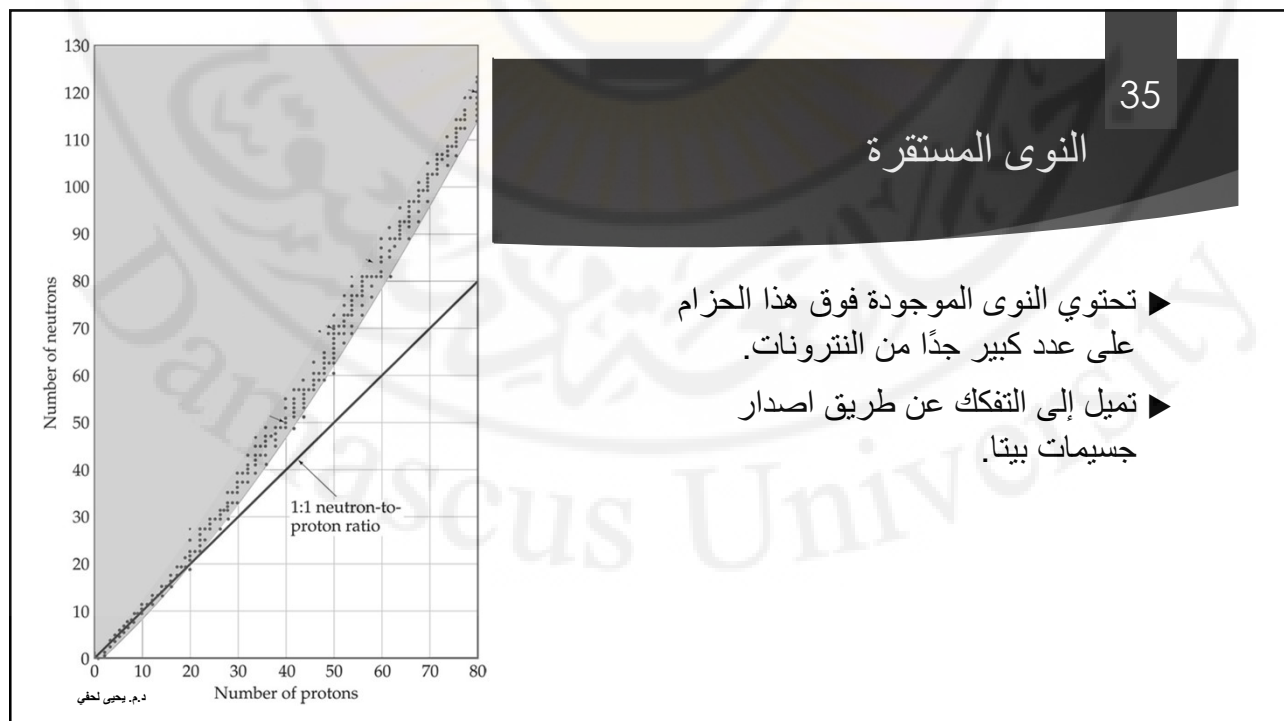
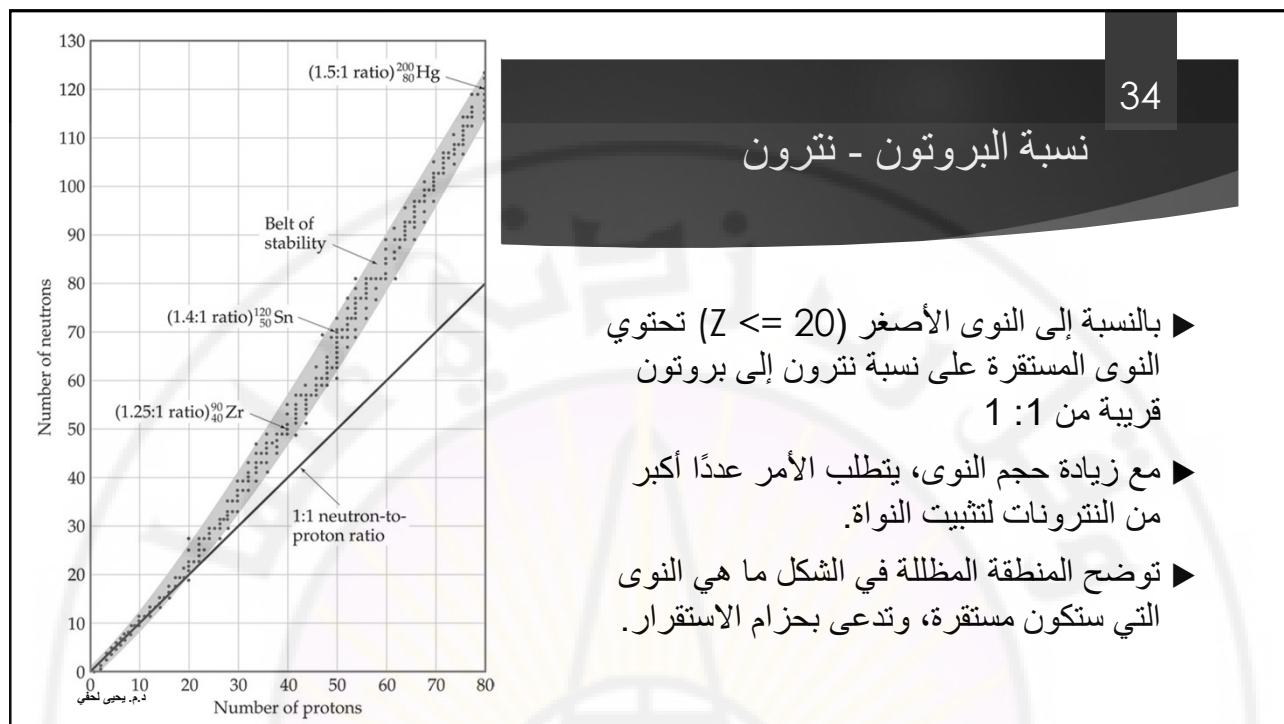
33

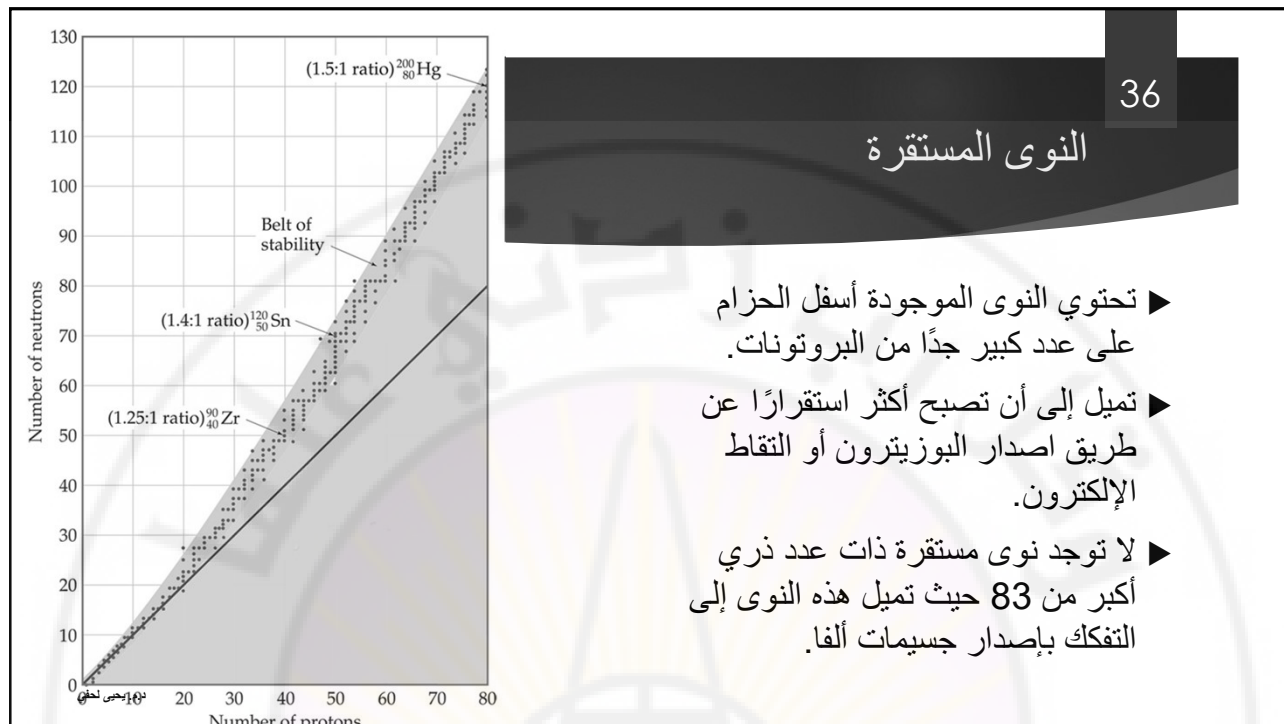
نسبة البروتون - نوترون



د.م. يحيى لحفي

- ▶ أي عنصر يحتوي على أكثر من بروتون (أي عنصر ما عدا الهيدروجين) سيكون له تنافر بين البروتونات في النواة.
- ▶ تساعد القوة النووية القوية في الحفاظ على النواة من التناثر.
- ▶ تلعب النوترونات دوراً رئيسياً في استقرار النواة.
- ▶ لذلك، فإن نسبة النوترونات إلى البروتونات تكون عاملاً مهماً.





37

النوى المستقرة

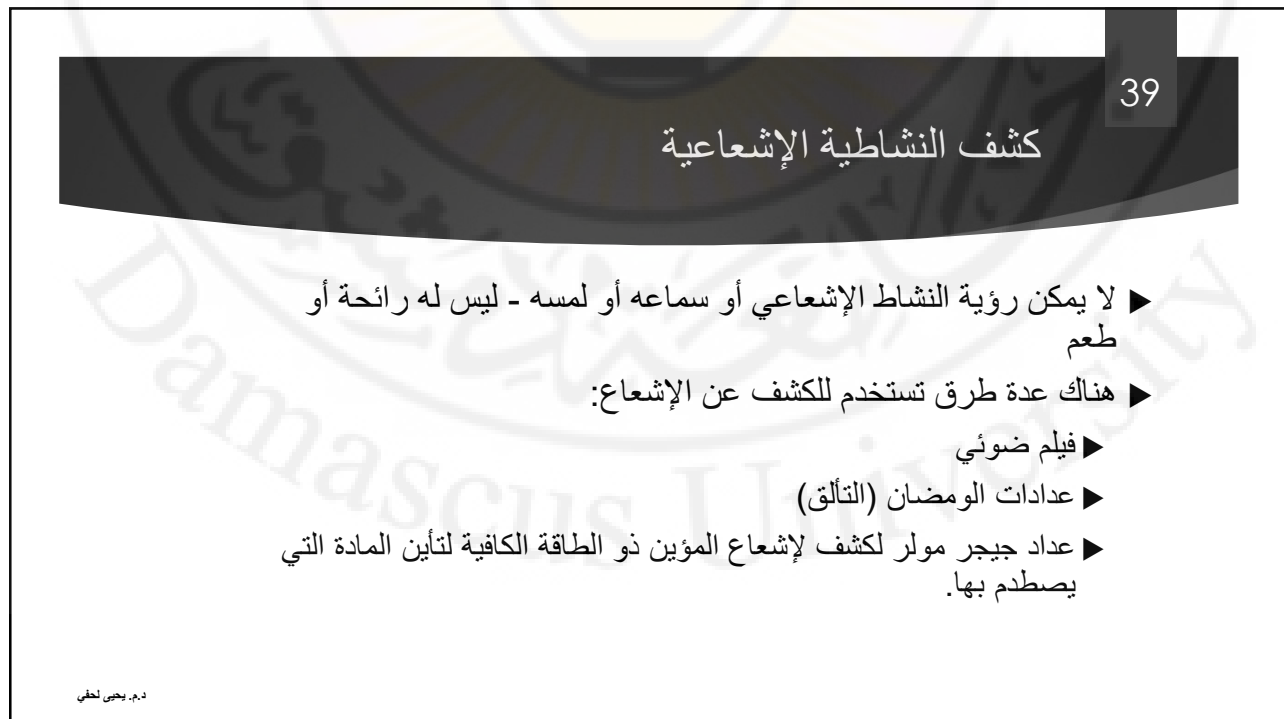
Number of Stable Isotopes	Protons	Neutrons
157	Even	Even
53	Even	Odd
50	Odd	Even
5	Odd	Odd

د.م. يحيى لحفي

- ▶ تميل النوى التي تحتوي على عدد زوجي من البروتونات والنيوترونات إلى أن تكون أكثر استقرارًا من النكليدات التي تحتوي على أعداد فردية من هذه النكليونات.
- ▶ تميل النوى التي تحتوي على 2 أو 8 أو 20 أو 28 أو 50 أو 82 بروتونًا أو 2 أو 8 أو 20 أو 28 أو 50 أو 82 نوترونًا إلى أن تكون أكثر استقرارًا من النيوترونات التي تحتوي على عدد مختلف من النيوترونات.



- ▶ لا يمكن أن تستقر النوى المشعة الكبيرة من خلال الخضوع لتحول نووي واحد فقط.
- ▶ لذلك تخضع لسلسلة من التفككات حتى تصل إلى نواة مستقرة (غالبًا نواة الرصاص).



40

يتم إرسال إشارة إلى العداد الإلكتروني الذي يسجل العد المستمر لعدد "النقرات".

عندما يدخل جسيم مشع إلى الأنبوب غليغر مولر، فإنه يؤين الغاز بداخله ويحدث انفراغ كهربائي (شرارة) يرافقه سماع صوت النقر.

د.م. يحيى لحفي

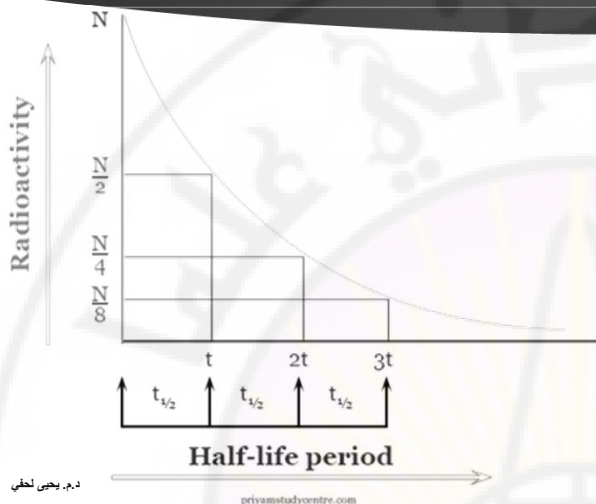
41

Geiger-Muller-Counter

د.م. يحيى لحفي

42

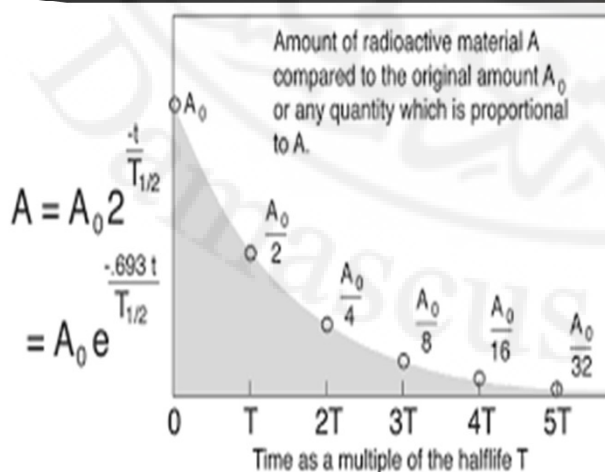
عمر النصف للمادة المشعة



- ▶ لا يمكن تغيير معدل التفكك النووي التلقائي.
- ▶ يقاس معدل التفكك الإشعاعي بنصف عمر.
- ▶ نصف العمر هو الوقت الذي يستغرقه نصف كمية معينة من النظير المشع للخضوع للتفكك ($T_{1/2}$).
- ▶ يمكن أن تكون أجزاء من الثانية أو مليارات السنين

43

عمر النصف للمادة المشعة

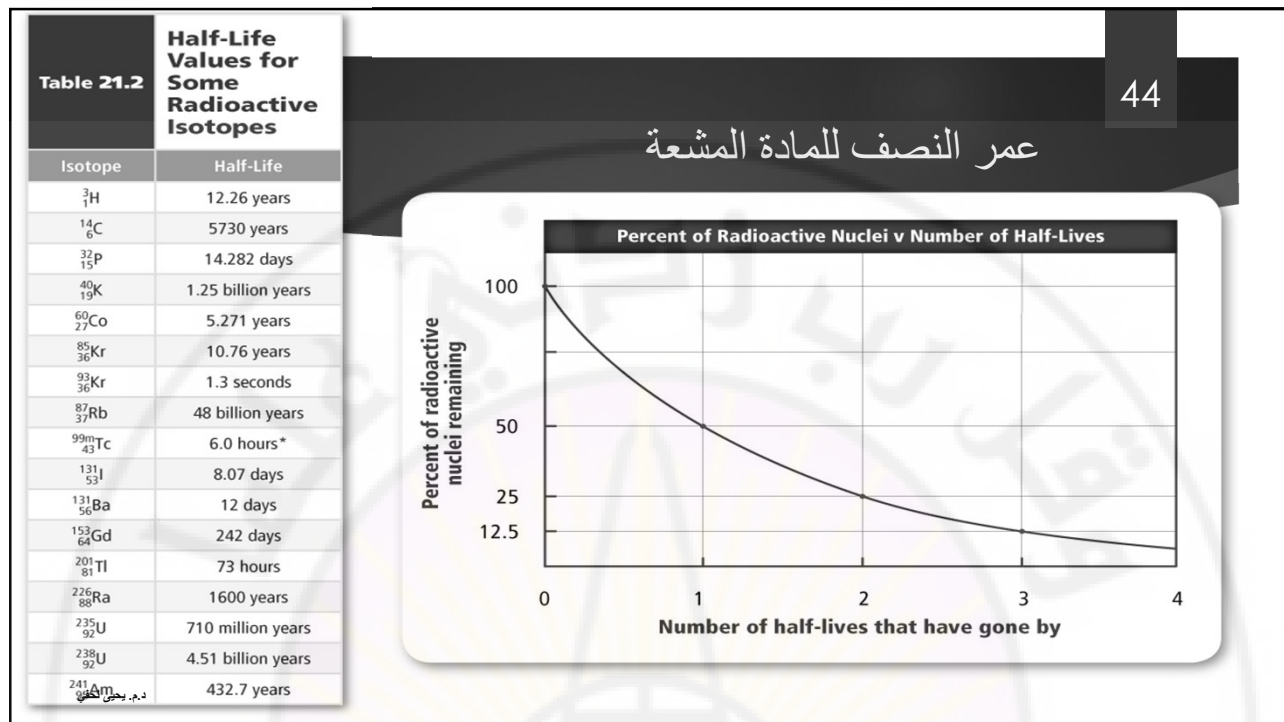


$$activity = \frac{\Delta N}{\Delta t}$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$A = A_0 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} = A_0 e^{-\frac{0.693 t}{T_{1/2}}} = A_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

half-life decay constant average lifetime



45

التأريخ بالعناصر المشعة

- ▶ تأخذ الكائنات الحية الكربون خلال حياتها ولا يدخل أي كربون جديد بعد موتها.
- ▶ يتم قياس كمية C-14 المتبقية مقارنة بكمية المادة عندما كانت على قيد الحياة وبالتالي يمكن تقدير عمر الكائن.
- $T_{1/2}$ of C = 5730 yrs
- K-40 (1.25 billion years),
- U-238 (4.5 billion years),
- Rb-87 (48 billion years)
- ▶ تُستخدم أربعة نظائر مختلفة بشكل شائع لتأريخ الأجسام: الكربون 14 واليورانيوم 238 والروبيديوم 87 والبوتاسيوم 40.
- ▶ يشيع استخدام التأريخ بالكربون 14 لقياس عمر الحفريات.
- ▶ حتى الآن، لا يمكن استخدام التأريخ بالكربون 14 للأشياء التي يزيد عمرها عن 60 ألف عام، نظراً لوجود القليل جداً من الكربون المتبقّي للقياس.

د.م. يحيى لحفي

46

مثال

p. 755 #3 and 4

A rock was analyzed using K-40. The half life of K-40 is 1.25 billion years old. If the rock had only 25% of the K-40 that would be found formed in a rock today – Calculate how long ago the rock was formed.

25% of K-40

$$100\% \rightarrow 50\% \rightarrow 25\%$$

$$\begin{array}{ccc} & 1 & 2 \\ & 1.25 \times 2 = 2.5 \text{ BY} \end{array}$$

د.م. يحيى لحفي

47

مثال

Ash from an early fire pit was found to have 12.5% as much carbon-14 as would be found in a similar sample of ash today. How long ago was the ash formed?

12.5 % of C-14

$$100\% \rightarrow 50\% \rightarrow 25\% \rightarrow 12.5\%$$

$$\begin{array}{ccc} & 1 & 2 & 3 \\ & 5730 \times 3 = 17,190 \text{ yrs} \end{array}$$

د.م. يحيى لحفي

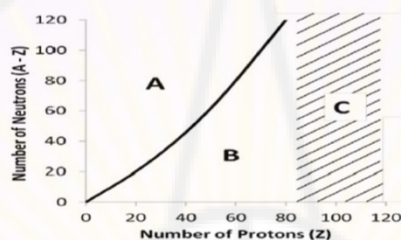
48

PROBLEM

Figure 1.1 shows the nuclear stability curve. Name the types of radioactive decays that tend to happen at regions A, B and C.

Solution

- A: Beta decay
B: Positron emission or electron capture
C: Alpha decay



د.م. يحيى لحفي

49

PROBLEM

Calculate the total number of atoms and total mass present in 370 MBq of Po-210, given the physical half-life of Po-210 is 138.4 days.

Solution

$$\lambda = \frac{\ln 2}{138.4 \text{ d} \times 24 \text{ h} \times 60 \text{ min} \times 60 \text{ s}} = 5.795 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$$

$$A = 370 \text{ MBq} = 3.7 \times 10^8 \text{ Bq} = 3.7 \times 10^8 \text{ dps}$$

- The activity, A , is related to the number of radioactive atoms as the following:

$$A = \lambda N$$

- Hence, $N = \frac{A}{\lambda} = \frac{3.7 \times 10^8 \text{ dps}}{5.795 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}} = 6.38 \times 10^{15} \text{ atoms}$
- Total mass of Po-210 in 370 MBq = $\frac{N}{N_A}$
- Where N_A is the Avogadro's number, $N_A = 6.02 \times 10^{23}$
- Therefore, the total mass of Po-210 = $\frac{6.38 \times 10^{15} \times 210 \text{ g}}{6.02 \times 10^{23}} = 2.23 \times 10^{-6} \text{ g}$
- Hence, 370 MBq Po-210 contains 6.38×10^{15} atoms and the total mass is 2.23 μg .

د.م. يحيى لحفي

50

PROBLEM

If a radionuclide decays at a rate of 25% per hour, what is its physical half-life?

Solution

Decay constant, $\lambda = 0.25 \text{ h}^{-1}$

$$\lambda = \frac{0.693}{t_{1/2}}$$

$$\text{Therefore, the physical half-life, } t_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} = \frac{0.693}{0.25 \text{ h}^{-1}} = 2.77 \text{ h}$$

د.م. يحيى لحفي

51

PROBLEM

How long does it take for a sample of 370 MBq I-123 ($t_{1/2} = 13.2 \text{ h}$) and a sample of 1850 MBq Tc-99m ($t_{1/2} = 6 \text{ h}$) to reach the same activity?

Solution

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$$

$$\lambda_1 = \frac{\ln 2}{13.2 \text{ h}} = 0.0525 \text{ h}^{-1}$$

$$\lambda_2 = \frac{\ln 2}{6 \text{ h}} = 0.1155 \text{ h}^{-1}$$

$$A_1 e^{-\lambda_1 t} = A_2 e^{-\lambda_2 t}$$

$$370 e^{-0.0525t} = 1850 e^{-0.1155t}$$

$$\frac{e^{-0.0525t}}{e^{-0.1155t}} = \frac{1850 \text{ MBq}}{370 \text{ MBq}}$$

$$e^{(-0.0525t) - (-0.1155t)} = 5$$

$$e^{0.063t} = 5$$

$$0.063t = 1.609$$

$$t = 25.5 \text{ h}$$

د.م. يحيى لحفي



كلية العلوم الصحية

النشاط الإشعاعي 2

الدكتور المهندس يحيى لحفي

2023-2022

3

المحتوى

- ☐ عمر النصف الفيزيائي
- ☐ عمر النصف البيولوجي
- ☐ عمر النصف الفعال
- ☐ مسائل

4

عمر النصف

- ▶ هناك ثلاثة أعمار نصف مهمة عند التفكير في استعمال النظائر المشعة للأغراض التشخيصية والعلاجية.
- ▶ في حين أن كل من أنصاف العمر الفيزيائية والبيولوجية مهمة لأنها تتعلق مباشرة باختفاء النشاط الإشعاعي من الجسم عن طريق مسارين منفصلين (التفكك الإشعاعي، التصفية البيولوجية)،
- ▶ لا يوجد نصف عمر مهم في البشر مثل عمر النصف الفعال، فإن نصف العمر هذا لا يأخذ في الحسبان تخلص المادة من الجسم فحسب، بل أيضا التفكك الإشعاعي لها.
- ▶ من أجل الإجابة عن أي سؤال حول النشاط الإشعاعي المتبقي في الجسم ، يستخدم نصف العمر الفعال في حساب في حسابات قياس الجرعات الإشعاعية.

د.م. يحيى لحفي

5

عمر النصف الفيزيائي

- ▶ يُعرّف نصف العمر الفيزيائي بأنه الفترة الزمنية اللازمة لانخفاض مستوى النشاط الإشعاعي للمصدر إلى نصف قيمته الأصلية بالضبط بسبب التفكك الإشعاعي فقط.
- ▶ يتم تحديد نصف العمر المادي t_{phys} أو الأكثر شيوعاً $t_{1/2}$ بشكل افتراضي، يشير المصطلح $t_{1/2}$ إلى عمر النصف الفيزيائي ويتم استخدام t_{phys} عندما يتم تضمين أي من النصفين الآخرين أو كليهما في المناقشة.
- ▶ هناك بعض الأشياء التي يجب ملاحظتها حول نصف العمر الفيزيائي:
- ▶ يمكن قياس نصف العمر الفيزيائي مباشرة عن طريق حساب عينة عند نقطتين زمنيتين مختلفتين ثم حساب فترة نصف العمر.

د.م. يحيى لحفي

6

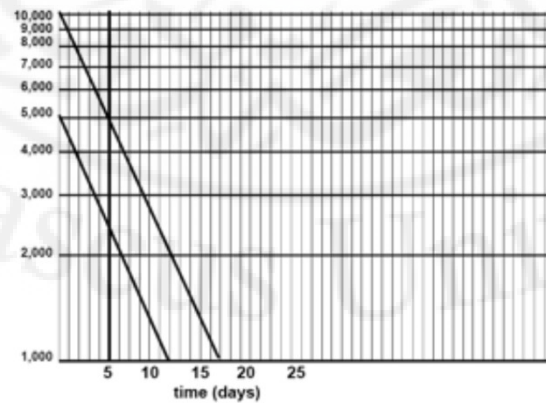
عمر النصف الفيزيائي

- على سبيل المثال، إذا انخفض النشاط الإشعاعي من 100% إلى 25% خلال 24 ساعة ، فإن فترة نصف العمر تكون 12 ساعة ، حيث يشير الانخفاض من 100% إلى 50% إلى 25% إلى انقضاء نصف عمر.
- يمكن تحديد نصف العمر بيانياً. في الرسم البياني أدناه ، كلا الخطين لهما عمر نصف يبلغ 5 أيام ، على الرغم من مستويات نشاطهما مختلف تماماً.

د.م. يحيى لحفي

7

عمر النصف الفيزيائي



د.م. يحيى لحفي

8

عمر النصف الفيزيائي

- ▶ نطاق نصف العمر لا حدود له. هناك نظائر بنصف عمر sec ، msec ، usec ، nsec ، min ، hr ، أيام، أسابيع، شهور، سنوات، قرون، آلاف السنين، وحتى مليار سنة (نصف عمر $K-40 = 1.28 \times 10^9$ سنة).
- ▶ لن تكون معظم هذه الوحدات الزمنية مفيدة جدًا للدراسات التشخيصية أو العلاجية، وفي الواقع، تتراوح جميع النظائر المتاحة تجاريًا من 75 ثانية (Rb-82) إلى 50.5 يومًا (SR-89) ولجميع النظائر الأخرى الموجودة أنصاف أعمار تقع بين هاتين القيمتين.
- ▶ لا يتأثر نصف العمر الفيزيائي بأي شيء يمكننا نحن البشر القيام به تجاه النظير.
- ▶ الضغط الجوي المرتفع أو المنخفض أو درجة الحرارة المرتفعة أو المنخفضة ليس لهما تأثير على معدل تفكك النظائر المشعة.
- ▶ ربما يؤثر أخذ النظير إلى الصفر المطلق أو ضمن درجة من درجة الحرارة على معدل الانحلال.

د.م. يحيى لحفي

9

نصف عمر البيولوجي

- ▶ يتم تعريف نصف العمر البيولوجي على أنه الفترة الزمنية اللازمة لانخفاض كمية الدواء في العضو أو الجسم إلى نصف قيمتها الأصلية بالضبط بسبب التخلص البيولوجي فقط. عادة ما يتم تعيينه t_b أو t_{biol} .
- ▶ هناك بعض النقاط التي يجب ملاحظتها حول عمر النصف البيولوجي:
- ▶ بالنسبة للمركبات المشعة، يتعين علينا حساب t_{biol} لأن كتلة النظير عادة ما تكون على مقياس نانوجرام، وعندما يتم توزيعها في جميع أنحاء الجسم، وخاصة في العضو المستهدف، يكون تركيزها في نطاق picogram / ml ، وبالتالي تكون صغيرة جدًا للقياس المباشر.
- ▶ بالنسبة للمركبات غير المشعة، يمكننا قياس t_{biol} مباشرة. على سبيل المثال، بافتراض أن الشخص ليس لديه حساسية من البنسلين، يمكننا إعطاء 1000 مل غم من الدواء ثم قياس الكمية الموجودة في عينة من الدم والبول منذ أن تناولنا مثل هذه الكمية الكبيرة من الدواء.

د.م. يحيى لحفي

10

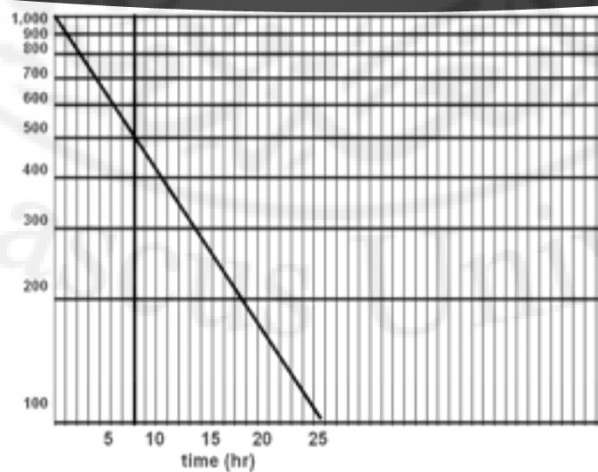
نصف عمر البيولوجي

- يكون نصف العمر البيولوجي t_{biol} للمستحضرات الصيدلانية المشعة المتاحة تجاريًا عادةً في نطاق ثنائية (دراسة التهوية) إلى أيام (عوامل العظام القائمة على الفوسفات).
- يمكن تحديد نصف العمر البيولوجي بيانيًا. في الرسم البياني أدناه ، يبلغ عمر النصف البيولوجي للدواء 7 ساعات على عكس t_{phys} الذي لا حدود له.

د.م. يحيى لحفي

11

نصف العمر البيولوجي



د.م. يحيى لحفي

12

نصف العمر البيولوجي

- ▶ يتأثر نصف العمر البيولوجي بالعديد من العوامل الخارجية. ولعل أهم وظيفتين هما وظائف الكبد والكلية. إذا كانت الكلية لا تعمل بشكل جيد ، فإننا نتوقع أن نرى نشاطاً عالياً في الخلفية في فحوصاتنا. من المهم أيضاً مستوى الترطيب.
- ▶ المريض الذي يعاني من نقص الماء ، حتى مع وظائف الكلية الطبيعية ، سيكون له نشاط خلفية مرتفع نظراً لإنتاج البول المحدود مما يجعل من الصعب التخلص من النظائر غير المتوضعة في العضو المستهدف.
- ▶ كل عضو في الجسم له نصف العمر البيولوجي الخاص به وللجسم بأكمله نصف عمر بيولوجي أيضاً يمثل المتوسط الموزن لأعمار النصف البيولوجية لجميع الأعضاء الداخلية وكتلة الدم. لذلك من المهم جداً وجود إطار مرجعي له. على سبيل المثال، هل نحتاج إلى معرفة نصف العمر البيولوجي للدواء في الكبد أم في الجسم كله؟

د.م. يحيى لحفي

13

نصف العمر البيولوجي

- ▶ تحتوي جميع الأدوية على نصف عمر بيولوجي وليس فقط الأدوية المشعة. وغالباً ما يشار إلى ذلك بنصف الوقت الذي سيستغرقه تخليص الدواء من كتلة الدم أو من خلال الكلية.
- ▶ قيمة نصف العمر البيولوجي لكامل الجسم لن تساوي أبداً قيمة نصف العمر البيولوجي لأي من أعضاء الجسم الداخلية.
- ▶ من المغالطة الاعتقاد بأن نصف العمر الفيزيائي والبيولوجي لا يمكن أن يتساوى مع بعضهما البعض. مثال على ذلك (Tc-99m MAA macroaggregated albumin) حيث يتساوى نصفا العمرين عند قيمة 6 ساعات.
- ▶ أمثلة: بالنسبة لـ Technetium-99m sulfur colloid ، يكون t_{biol} له طويلاً إلى ما لا نهاية بينما في غاز الكزنون Xe-133 تكون قيمته للرتنين بالثواني.

د.م. يحيى لحفي

14

عمر النصف الفعال

- يُعرّف عمر النصف الفعال بأنه الفترة الزمنية اللازمة لتقليل مستوى النشاط الإشعاعي لعضو داخل الجسم أو لكامل الجسم إلى نصف قيمته الأصلية بالضبط بسبب كل من التفكك الإطراح. ويرمز إليه t_e أو t_{eff}
- يمكن قياس عمر النصف الفعال مباشرة. على سبيل المثال ، يمكن حمل جهاز كشف على بعد متر واحد من صدر المريض وقياس الزمن حتى تنخفض القراءة إلى نصف القراءة الأولية. علماً بأنه يُسمح للمريض بالذهاب إلى دورة المياه بين القراءات حسب الحاجة.
- يختلف نطاق قيم t_{eff} عادةً من ثانية إلى ساعة.
- يتأثر t_{eff} بنفس العوامل الخارجية التي تؤثر على نصف العمر البيولوجي نظراً لاعتماده عليه بشكل كبير

د.م. يحيى لحفي

15

عمر النصف الفعال

- إذا كان نصف العمر الفيزيائي أكبر بكثير من نصف العمر البيولوجي فإن عمر النصف الفعال يساوي تقريباً نصف العمر البيولوجي
- على سبيل المثال، بالنسبة إلى Xe-133 في دراسة التهوية الرئوية ، حيث $t_{phys} = 5.3 \text{ days}$ و $t_{biol} = 15 \text{ Sec}$ ، تنتهي الدراسة في غضون بضع دقائق. لا يهم ما إذا كان عمر النصف الفيزيائي للـ Xe هو 5 ساعات أو 5 أيام أو 5 أسابيع لأن جميعها طويلة جداً مقارنة بعمر النصف البيولوجي لذلك يمكن اعتبار أن بحيث نصف العمر الفعال يساوي نصف العمر البيولوجي.
- إذا كان نصف العمر البيولوجي أكبر بكثير من نصف العمر الفيزيائي فإن عمر النصف الفعال يساوي تقريباً نصف العمر الفيزيائي
- على سبيل المثال، لفحص الكبد باستخدام Tc-SC ، $t_{phys} = 6 \text{ hours}$ ، نصف العمر البيولوجي طويل بلا حدود. نظرًا لأن Tc-SC لا ينطرح من الكبد أبدًا ، فإن نصف العمر الوحيد المهم هو نصف العمر المادي ،

د.م. يحيى لحفي

16

عمر النصف الفعال

- ▶ إذا كان نصف العمر الفيزيائي يساوي نصف العمر البيولوجي فإن عمر النصف الفعال يساوي نصف قيمة نصف العمر البيولوجي أو الإشعاعي
- ▶ مثال: بالنسبة لـ Tc-MAA لتصوير التروية الرئوي ، $t_{phys} = 6 \text{ hours}$ ، $t_{biol} = 6 \text{ hours}$ ، ثم $t_{eff} = 3 \text{ hours}$

د.م. يحيى لحفي

17

عمر النصف الفعال

- ▶ يشمل نصف العمر الفعال للدواء ثابت تفكك يمثل مجموع ثوابت الطرح البيولوجي و التفكك الإشعاعي الفيزيائي ، كما في الصيغة: $\lambda_e = \lambda_p + \lambda_b$
- ▶ وبالتالي يمكن حساب عمر النصف الفعال من العلاقة: $t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda_e}$
- ▶ غالباً ما يتم تقريب ثابت الطرح البيولوجي حيث يصعب تحديده بدقة أكثر من ثابت التفكك الفيزيائي.
- ▶ بدلاً من ذلك، نظراً لأن التفكك الإشعاعي يساهم في نصف العمر "الفيزيائي (أي المشع)" ، بينما تحدد عمليات الطرح الأيضية نصف العمر "البيولوجي" للنويدات المشعة، يعمل كلاهما كمسارات متوازية للتخلص من النشاط الإشعاعي، يمكن أيضاً تمثيل نصف العمر الفعال بالصيغة

$$\frac{1}{t_{1/2e}} = \frac{1}{t_{1/2p}} + \frac{1}{t_{1/2b}}$$

د.م. يحيى لحفي

18

أمثلة

Problem 1.

I-131 sodium iodide has a t_{biol} of 24 d. What is t_{eff} ?

$$1/t_{\text{eff}} = 1/t_{\text{phys}} + 1/t_{\text{biol}} = 1/8 + 1/24 = 1/6 \text{ so.... } t_{\text{eff}} = 6 \text{ d}$$

د.م. يحيى لحفي

19

أمثلة

Problem 2.

A Tc-99m compound has a $t_{\text{eff}} = 1 \text{ hr}$. What is t_{biol} ?

$$1/t_{\text{biol}} = 1/t_{\text{eff}} - 1/t_{\text{phys}} = 1/1 - 1/6 = 5/6 \text{ so... } t_{\text{biol}} = 1.2$$

د.م. يحيى لحفي

20

أمثلة

Problem 3.

A radiopharmaceutical has a biological half-life of 4.00 hr and an effective half-life of 3.075 hr. What isotope was used?

$1/t_{\text{phys}} = 1/t_{\text{eff}} - 1/t_{\text{biol}} = 1/3.075 - 1/4.00 = 0.0752033$... Therefore $t_{\text{phys}} = 13.3$ hr and the radioisotope is I-123

د.م. يحيى لحفي

21

أمثلة

PROBLEM

An unknown radioactive source found in a nuclear medicine department decays to 1/16 of its original activity after 24 hours. What is the physical half-life of this radioactive source? Based on your answer, suggest a possible name of the radioactive source.

Solution

$\frac{1}{16}$ activity equals to four half-lives.

$$\frac{24 \text{ h}}{4 \text{ half-lives}} = 6 \text{ h}$$

The physical half-life of the source is six hours. The source is most probably Tc-99m, which is the most common radionuclide used in nuclear medicine.

د.م. يحيى لحفي

22

أمثلة

PROBLEM

An unknown radioactive source found in a nuclear medicine department decays to 1/16 of its original activity after 24 hours. What is the physical half-life of this radioactive source? Based on your answer, suggest a possible name of the radioactive source.

Solution

$\frac{1}{16}$ activity equals to four half-lives.

$$\frac{24 \text{ h}}{4 \text{ half-lives}} = 6 \text{ h}$$

The physical half-life of the source is six hours. The source is most probably Tc-99m, which is the most common radionuclide used in nuclear medicine.

د.م. يحيى لحفي

23

أمثلة

PROBLEM

- Explain what is effective half-life.
- If Tc-99m with a physical half-life of six hours is used to radiolabel a compound that clears from the body with a biological half-life of four hours, what is the effective half-life of the radiopharmaceutical?

$$\frac{1}{T_e} = \frac{1}{T_p} + \frac{1}{T_b}$$

$$T_e = \frac{T_p \times T_b}{T_p + T_b}$$

$$\text{Therefore, } T_e = \frac{6 \text{ h} \times 4 \text{ h}}{6 \text{ h} + 4 \text{ h}}$$

$$T_e = 2.4 \text{ h}$$

د.م. يحيى لحفي

24

أمثلة

PROBLEM

Consider 10% of Tc-99m-DTPA is eliminated from the body of a patient by renal excretion, 25% by faecal excretion and 3% by perspiration within six hours. What is the effective half-life of the radiopharmaceutical, given that the physical half-life, T_p , for Tc-99m is six hours?

د.م. يحيى لحفي

25

أمثلة

Solution

- Total biological elimination = 10 + 25 + 3 = 38%
- Given that 38% elimination in six hours.
- To achieve 50% elimination (biological half-life, T_b), it takes:

$$T_b = \frac{50}{38} \times 6 \text{ h} = 7.89 \text{ h}$$

$$T_e = \frac{T_b \times T_p}{T_b + T_p} = \frac{7.89 \text{ h} \times 6 \text{ h}}{7.89 + 6 \text{ h}} = 3.4 \text{ h}$$

- Therefore, the effective half-life, $T_e = 3.4 \text{ h}$

د.م. يحيى لحفي

26

أمثلة

PROBLEM

A patient is injected with 1110 MBq Tc-99m-MDP ($T_{p1/2} = 6.02$ hours) for a whole-body bone scan. Two hours later, the patient is imaged with a gamma camera. Assuming that 20% of the activity has been excreted by the kidneys, how much activity remains at the time of imaging?

د.م. يحيى لحفي

27

أمثلة

Solution

Given:

$$A_0 = 1110 \text{ MBq}$$

$$T_{p1/2} = 6.02 \text{ h}$$

$$T_{b1/2} = \frac{50\%}{20\%} \times 2 \text{ h} = 5 \text{ h}$$

$$T_e = \frac{T_p \times T_b}{T_p + T_b} = \frac{6.02 \times 5}{6.02 + 5} = 2.73 \text{ h}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_e} = \frac{\ln 2}{2.73 \text{ h}} = 0.254 \text{ h}^{-1}$$

$$\begin{aligned} A &= A_0 e^{-\lambda t} \\ &= 1110 \text{ MBq } e^{-0.254 \text{ h}^{-1} (2 \text{ h})} \\ &= 667.88 \text{ MBq} \end{aligned}$$

Therefore, the remaining activity at the time of imaging is approximately 668 MBq.

د.م. يحيى لحفي

28

أمثلة

PROBLEM

A thyroid cancer patient received an oral administration of 3700 MBq radioiodine (I-131), and 50% of the I-131 was excreted from the body after 48 hours. What is the remaining activity in the patient's body on the third day of the treatment? Assume the physical half-life for I-131 is eight days.

د.م. يحيى لحفي

29

أمثلة

Solution

$$T_e = \frac{T_p \times T_b}{T_p + T_b} = \frac{8 \text{ d} \times 2 \text{ d}}{8 \text{ d} + 2 \text{ d}} = 1.6 \text{ d}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_e} = \frac{\ln 2}{1.6 \text{ d}} = 0.433 \text{ d}^{-1}$$

$$\begin{aligned} A &= A_0 e^{-\lambda t} \\ &= 3700 \text{ MBq } e^{-0.433 \text{ d}^{-1} (3 \text{ d})} \\ &= 1009 \text{ MBq} \end{aligned}$$

Therefore, the remaining activity in patient's body on the third day of the treatment is approximately 1009 MBq.

د.م. يحيى لحفي

30

أمثلة

Question,

A sealed container contains 200 g of radioactive iodine. After 24 days, the container has only 25 g of radioactive iodine. What is the half-life of this isotope of iodine?

A. 3 days B. 8 days C. 12 days D. 24 days.

Answer,

How many times has the original 200 g been divided in half to get to 25 g?

1 half-life, $\frac{200}{2} = 100 \text{ g}$ 2 half-lives, $\frac{100}{2} = 50 \text{ g}$ 3 half-lives, $\frac{50}{2} = 25 \text{ g}$

In 24 days, 3 half-lives have past, therefore each half-life is B,

$$\frac{24}{3} = 8 \text{ days.}$$

د.م. يحيى لحفي





تفاعل الإلكترون مع المادة

□ تخضع الجسيمات المشحونة النشطة (مثل e^- أو e^+) للتفاعلات الكولونية مع الذرات الماصة، أي مع:

- الإلكترونات المدارية الذرية
- عن طريق الفقد بالتأين
- النوى الذرية
- عن طريق الفقد بالإشعاع

□ من خلال هذه التصادمات، يمكن للإلكترونات أن:

- تفقد طاقتها الحركية (الاصطدام والفقد بالإشعاع)
- تغيير اتجاه حركتها (التشتت)

4

تفاعل الإلكترون مع المادة

□ تتميز التفاعلات بين جسيم مشحون وذرة ماصة بالمقطع العرضي المحدد (احتمالية حدوث التفاعل) σ

□ يعتمد الفقد الطاقى على

- خصائص الجسيم (الكتلة والشحنة والسرعة والطاقة)
- خصائص الوسط الماص (الكثافة والعدد الذري Z)

5

تفاعل الإلكترون مع المادة

□ يوصف الفقدان التدريجي لطاقة الجسيم المشحون بقوة الإيقاف stopping power

□ توجد فئتان معروفتان من قوة الإيقاف:

- قوة إيقاف التصادم S_{col} الناتجة من التفاعل مع الإلكترونات المدارية للذرة الماصة
- قوة إيقاف الإشعاع S_{rad} الناتجة من التفاعل مع نوى الذرة الماصة

□ إجمالي قوة الإيقاف: $S_{tot} = S_{col} + S_{rad}$

6

تفاعل الإلكترون مع المادة

التفاعلات مع الإلكترونية المدارية Electron-orbital interactions

□ تكون التصادمات غير المرنة بين الإلكترون الساقط والإلكترون المداري عبارة عن تفاعلات كولونية والتي تؤدي إلى:

- تأين الذرة:
- إقتلاع الإلكترون المداري من الذرة الماصة
- تصبح الذرة الماصة أيوناً
- إثارة الذرة:
- تؤدي إلى انتقال الإلكترون المداري الذري من مدار مسموح به (طبقة) إلى مدار ذو مستوى أعلى مسموح به
- تصبح الذرة الماصة مثارة

□ تؤدي الإثارة والتأين الذري إلى ضياعات طاقة تنتج من التصادم والتي يمكن وصفها بقوة إيقاف التصادم (التأين)

7

تفاعل الإلكترون مع المادة

Electron-nucleus interactions التفاعلات مع النواة

□ ينتج عن التفاعلات الكولونية بين الإلكترون الساقط والنواة الماصة:

- تشتت الإلكترون بدون فقدان للطاقة (تصادم مرن) والذي يوصف بقوة التشتت الزاوية
- تشتت الإلكترون وفقدان بعض الطاقة الحركية على شكل أشعة الكبح (فقد إشعاعي) والذي يمكن وصفه بقوة إيقاف الإشعاع

8

تفاعل الفوتونات مع المادة

الامتصاص الأسّي لحزمة الفوتونات ضمن المادة

Exponential absorption of photon beam in absorber

□ إن من أهم المعاملات المستخدمة لتوصيف اختراق الأشعة السينية أو الأشعة غاما في وسط ماص هو معامل التوهين الخطي μ

□ يعتمد معامل التوهين على:

- طاقة الفوتون $h\nu$
- العدد الذري للوسط الماص Z

□ يمكن وصف معامل التوهين الخطي على أنه احتمال تفاعل الفوتون مع الوسط الماص في واحدة الطول للمسار

9

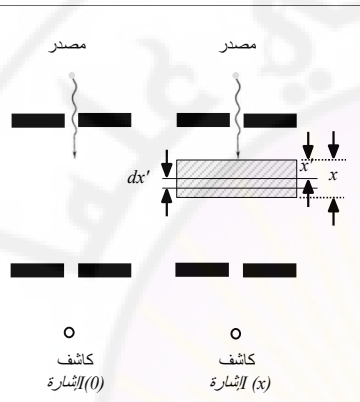
تفاعل الفوتونات مع المادة
الامتصاص الأسّي لحزمة الفوتونات ضمن المادة
Exponential absorption of photon beam in absorber

□ يتم تحديد معامل التوهين μ تجريبياً بواسطة:

- حزمة من الفوتونات أحادية الطاقة والمسددة بشكل ضيق بدقة ($E = h\nu$)
- وضع المادة الماصة بسماعات متفاوتة x بين مصدر الفوتون والكاشف
- السماعة الكلية للمادة الماصة
- القيام بقياس شدة الحزمة $I(x)$ بواسطة كاشف الأشعة

□ كلما زادت x ، تناقصت شدة الحزمة المقاسة بالكاشف

- من $I(x=0)$ تقاس بدون مادة ماصة
- إلى $I(x)$ تقاس مادة ماصة بسماعة $x > 0$



10

تفاعل الفوتونات مع المادة
الامتصاص الأسّي لحزمة الفوتونات ضمن المادة
Exponential absorption of photon beam in absorber

□ تقوم مادة ماصة بسماعة dx بنخفيض شدة الحزمة بالمقدار $dI(x)$

- يتناسب $-dI(x)/I(x)$ مع:
- معامل التوهين μ
- سمك الطبقة dx

$$\frac{-dI(x)}{I(x)} = \mu dx$$

• تشير الإشارة السالبة إلى انخفاض في قيمة $I(x)$ مع ازدياد سماعة المادة الماصة x

11

تفاعل الفوتونات مع المادة

الامتصاص الأساسي لحزمة الفوتونات ضمن المادة

Exponential absorption of photon beam in absorber

□ بإجراء التكامل بحيث:

- سماكة المادة الماصة x من $0 \rightarrow x$
- الشدة من $I(0) \rightarrow I(x)$

$$\int_{I(0)}^{I(x)} \frac{dI(x)}{I(x)} = - \int_0^x \mu dx$$

$$I(x) = I(0)e^{-\mu x}$$

□ ينتج:

- وذلك بفرض أن قيمة μ :
- متماثلة في المادة الماصة
- مستقلة عن x

12

تفاعل الفوتونات مع المادة

خصائص ثخانة المادة الماصة

Characteristic absorber thicknesses

□ تستخدم ثلاث سماكات خاصة لتوصيف حزم الفوتونات:

- طبقة نصف القيمة (HVL أو $x_{1/2}$)
- سماكة المادة الماصة التي تخفض الشدة الأولية $I(x)$ بنسبة 50%
- متوسط المسار الحر (MFP أو $\bar{x}$)
- سماكة المادة الماصة التي تخفض الشدة $I(x)$ بنسبة 36.8% $1/e$
- طبقة عشر القيمة (TVL أو $x_{1/10}$)
- سماكة المادة الماصة التي تخفض الشدة $I(x)$ إلى 10% من قيمتها الأصلية

13

تفاعل الفوتونات مع المادة

خصائص ثخانة المادة الماصة

Characteristic absorber thicknesses

HVL ☐

$$I(x_{1/2}) = 0.5I(0) = I(0)e^{-\mu x_{1/2}}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\mu x_{1/2}} \text{ or } \mu x_{1/2} = \ln 2 = 0.693 \quad \text{HVL} = x_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu}$$

MFP ☐

$$I(\bar{x}) = \frac{1}{e} I(0) = 0.368I(0) = I(0)e^{-\mu \bar{x}}$$

$$\frac{1}{e} = e^{-\mu \bar{x}} \text{ or } \mu \bar{x} = 1 \quad \text{MFP} = \bar{x} = \frac{1}{\mu}$$

14

تفاعل الفوتونات مع المادة

خصائص ثخانة المادة الماصة

Characteristic absorber thicknesses

TVL ☐

$$I(x_{1/10}) = 0.1I(0) = I(0)e^{-\mu x_{1/10}}$$

$$\frac{1}{10} = e^{-\mu x_{1/10}} \text{ or } \mu x_{1/10} = \ln 10 = 2.303 \quad \text{TVL} = x_{1/10} = \frac{\ln 10}{\mu}$$

15

تفاعل الفوتونات مع المادة

خصائص ثخانة المادة الماصة

Characteristic absorber thicknesses

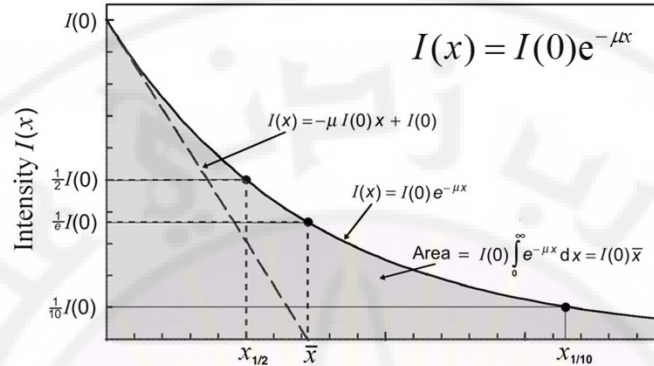


FIG. 1.4. Intensity $I(x)$ against absorber thickness x for a monoenergetic photon beam. Half-value layer $x_{1/2}$, mean free path $\bar{x}$ and tenth-value layer $x_{1/10}$ are also illustrated. The area under the exponential attenuation curve from $x = 0$ to $x = \infty$ is equal to the product $I(0) \bar{x}$ where $I(0)$ is the initial intensity of the monoenergetic photon beam. The slope of the tangent to the attenuation curve at $x = 0$ is equal to $\mu I(0)$ and this tangent crosses the abscissa (x) axis at $x = \bar{x}$.

16

تفاعل الفوتونات مع المادة

معاملات التوهين Attenuation coefficients

بالإضافة إلى معامل التوهين الخطي μ ، تُستخدم معاملات التوهين الأخرى ذات الصلة والمقاطع العرضية من أجل توصيف توهين حزمة الفوتون:

- معامل التوهين الكتلي: μ_m
- المقطع العرضي الذري: $a\mu$
- المقطع العرضي الإلكتروني: $e\mu$

ترتبط معاملات التوهين بما يلي:

$$\mu = \rho \mu_m = n^{\square} a\mu = Zn^{\square} e\mu \quad n^{\square} = \frac{N_a}{V} = \rho \frac{N_a}{m} = \rho \frac{N_a}{A}$$

- كثافة المادة الماصة ρ
- عدد الذرات N_a في حجم V من المادة الماصة
- كتلة المادة الماصة m
- عدد Avogadro N_a
- عدد الإلكترونات لكل وحدة حجم من المادة الماصة $Zn^{\square}$
- العدد الكتلي للمادة الماصة مقدراً بالغرام بالمول A

$$Zn^{\square} = \rho Z \frac{N_a}{A}$$

17

تفاعل الفوتونات مع المادة

معاملات التوهين Attenuation coefficients

$$\mu_{tr} = \mu \frac{\bar{E}_{tr}}{h\nu} \quad \square \quad \text{معامل نقل الطاقة}$$

- $\bar{E}_{tr}$ = متوسط الطاقة المنقولة من الفوتونات إلى الجسيمات المشحونة (e^+ و e^-) في واحدة طول المسار.
- $h\nu$ = طاقة الفوتون الأولية

$$\mu_{ab} = \mu \frac{\bar{E}_{ab}}{h\nu} \quad \square \quad \text{معامل امتصاص الطاقة}$$

- $\bar{E}_{ab}$ = متوسط الطاقة الممتصة في الوسط في واحدة طول المسار
- في الأدبيات العلمية، غالبًا ما يتم استخدام μ_{en} بدلاً من μ_{ab}

18

تفاعل الفوتونات مع المادة

معاملات التوهين Attenuation coefficients

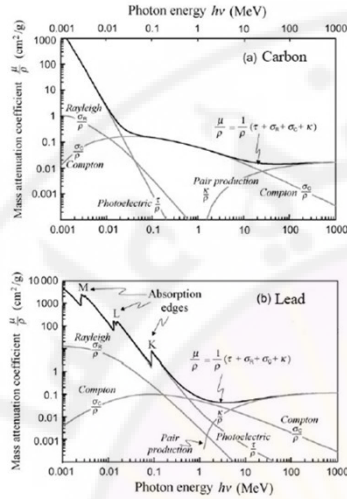
- إن الجسيمات المشحونة الخفيفة (e^+ & e^-) التي يتم إطلاقها / توليدها في الوسط الماص من خلال تفاعلات الفوتون المختلفة ستقوم إما:

- بإيداع الطاقة في الوسط عبر التفاعلات الكولونية مع الإلكترونات المدارية للوسط الماص (يشار أيضًا إلى الفقد بالتصادم على أنه الفقد بالتأين)
- أو إعطاء إشعاع E_K كفوتونات من خلال التفاعلات الكولونية مع نوى الوسط الماص (الفقد بالإشعاع)

19

تفاعل الفوتونات مع المادة

معاملات التوهين Attenuation coefficients



□ أمثلة نموذجية لمعامل التوهين الكتلي μ/ρ موضح كتابع $h\nu$

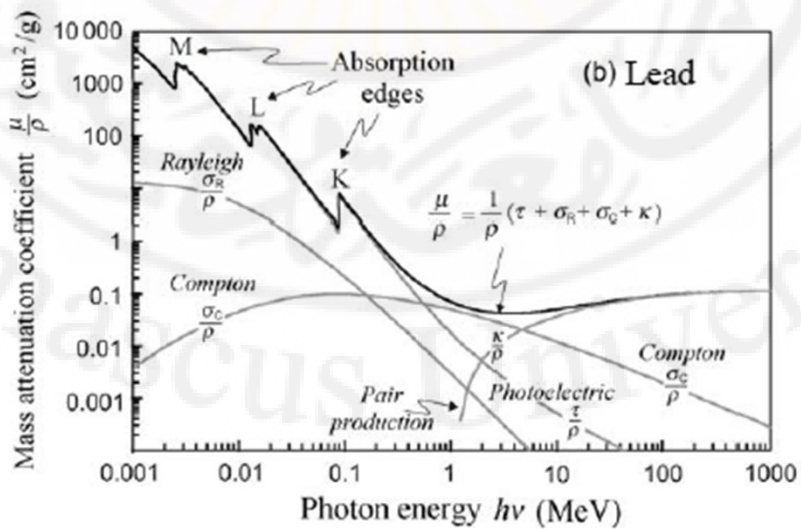
□ يلاحظ من أجل الكربون C (ماص منخفض Z) والرصاص Pb (ماص مرتفع Z) في المجال الطاقى: 0.001 - 1000 MeV أنه:

- في مجال طاقات الفوتون الوسطية (~ 1 إلكترون فولت)
- لديك μ/ρ مماثلة $0.1 \text{ cm}^2/\text{g}$
- في مجال طاقات الفوتون المنخفضة
- $Pb \mu/\rho \gg C \mu/\rho$
- في الطاقات أكبر من 10 ميغا إلكترون فولت
- $C : \mu/\rho$ مسطحة بشكل أساسي
- $Pb : \mu/\rho$ تتزايد مع الطاقة

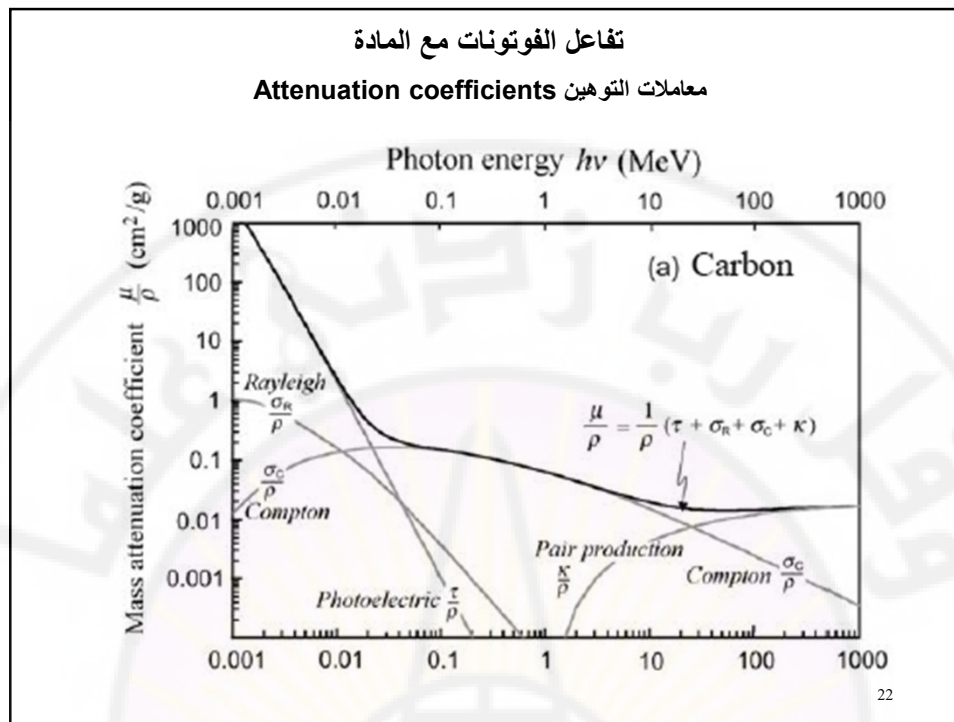
20

تفاعل الفوتونات مع المادة

معاملات التوهين Attenuation coefficients



21



تفاعل الفوتونات مع المادة
تفاعلات الفوتون على نطاق مجهري
Photon interactions on the microscopic scale

□ قد تواجه الفوتونات تفاعلات مختلفة مع ذرات المادة الماصة تتضمن واحدة مما يلي:

- نوى المادة الماصة
- تفاعل نووي ضوئي: تفاعلات مباشرة بين الفوتون والنواة
- إنتاج الأزواج النووي: تفاعلات الفوتون مع المجال الكهروستاتيكي للنواة
- الإلكترونات المدارية للوسط الماص:
- تأثير كومبتون، إنتاج الثلاثيات: تفاعلات الفوتون مع الإلكترون ضعيف الارتباط (السطحي).
- التأثير الكهروضوئي، تشتت رايلي: تفاعلات الفوتون مع الإلكترون شديد الارتباط (الداخلي).

23

تفاعل الفوتونات مع المادة

تفاعلات الفوتون على نطاق مجهري

Photon interactions on the microscopic scale

□ الإلكترون ضعيف الارتباط

- طاقة الارتباط $E_B \ll E_\gamma = h\nu$
- تعتبر التفاعلات بين الفوتون والإلكترون "الحر" (أي غير المنضم)

□ الإلكترون المرتبط بإحكام

- طاقة الارتباط E_B أكبر من أو أصغر قليلاً من $E_\gamma = h\nu$
- تحدث التفاعلات إذا كان E_B أصغر قليلاً من $E_\gamma = h\nu$
- $E_B \leq h\nu$
- تعتبر التفاعلات بين الفوتون والذرة ككل

24

تفاعل الفوتونات مع المادة

تفاعلات الفوتون على نطاق مجهري

Photon interactions on the microscopic scale

□ نتيجتان محتملتان للفوتون بعد التفاعل مع الذرة

- يختفي الفوتون ويتم امتصاصه بالكامل
- التأثير الكهروضوئي
- إنتاج الأزواج النووية
- إنتاج الثلاثيات
- تفاعل نووي ضوئي
- يتناثر الفوتون ويغير اتجاهه ولكنه يحافظ على طاقته (تشتت رايلي) أو يفقد جزءاً من طاقته (تأثير كومبتون)

25

تفاعل الفوتونات مع المادة

تفاعلات الفوتون على نطاق مجهري

Photon interactions on the microscopic scale

- أهم تفاعلات الفوتون مع ذرات المادة الماصة هي
- التفاعلات مع الإلكترونات نشطة المحررة من الذرات الماصة (وتبقى شواغر الإلكترونية):
 - تأثير كومبتون
 - التأثير الكهروضوئي
 - إنتاج زوج إلكتروني (إنتاج ثلاثيات)
 - التفاعلات بجزء من طاقة الفوتون الساقط المستعملة لإنتاج إلكترونات حرة وبوزيترونات
 - إنتاج الأزواج نووية
 - التفاعلات النووية الضوئية
- تتحرك كل هذه الجسيمات المشحونة الخفيفة عبر المادة الماصة وبحيث:
- إما أن تودع E_K فيها (الجرعة)
 - أو أن تحول جزء من E_K إلى إشعاع الكبح bremsstrahlung

26

تفاعل الفوتونات مع المادة

تفاعلات الفوتون على نطاق مجهري

Photon interactions on the microscopic scale

- الفراغات (الشواغر) الإلكترونية الناتجة من تفاعلات الفوتون مع الذرات الماصة
- e^- من الطبقات الأعلى تملأ الشواغر من الطبقات الأدنى
 - الطاقة الانتقالية المنبعثة عن ذلك تكون واحدة مما يلي:
 - الأشعة السينية المميزة (وتسمى أيضا الفوتون التفلوري)
 - الكترون أوجيه Auger electron
 - تستمر هذه العملية حتى ينتقل الفراغ إلى الطبقات الخارجية لذرة الماص
 - تملأ الإلكترونات الحرة من الوسط الفراغات الموجودة في المدارات الخارجية
 - يعود الأيون الماص إلى ذرة محايدة في الحالة القاعدية

27

تفاعل الفوتونات مع المادة

تفاعلات الفوتون على نطاق مجهري

Photon interactions on the microscopic scale

□ تأثير أوجيه: ينتج إلكترون أوجيه عن ذرة مثارة

- كل انتقال أوجيه يحول فراغ واحد إلى فراغين
- يؤدي إلى تعاقب من إلكترونات أوجيه منخفضة الطاقة المنبعثة من الذرة
- يكون لإلكترون أوجيه مدى قصير جداً في الأنسجة
- قد ينتج عنه كثافة تأين مماثلة لتلك الموجودة في مسار ألفا
- ويعد ضار بيولوجيا

28

تفاعل الفوتونات مع المادة

تفاعلات الفوتون على نطاق مجهري

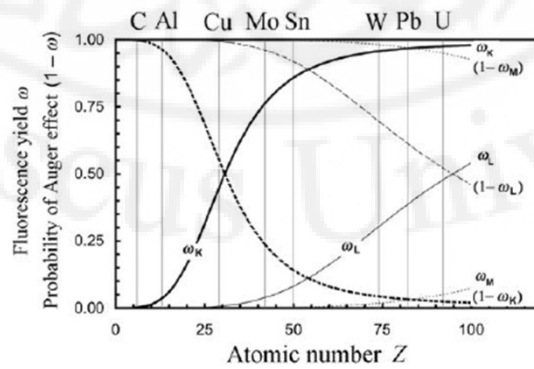
Photon interactions on the microscopic scale

□ التفرع بين أشعة γ المميزة وإلكترون أوجيه تحكمها الفلورة الناتجة ω

□ ω = عدد تالقات الفلورة γ المنبعثة من كل شاغر في طبقة معينة

• تعرف ω أيضاً على أنها احتمال انبعاث فوتون تالقي من شاغر معين في الطبقة

• $(\omega - 1)$ يعطي احتمالية انبعاث Auger e من فراغ في طبقة معينة



29

تفاعل الفوتونات مع المادة Photoelectric effect التأثير الكهروضوئي

□ التأثير الكهروضوئي:

- يحدث فقط إذا كانت طاقة الفوتون $E_\gamma = h\nu > E_B$
- تكون احتمالية حدوث ذلك أعلى عندما تكون $h\nu$ أقرب إلى E_B
- يتفاعل γ مع إلكترون مرتبط بإحكام، أي مع ذرة كاملة
- يختفي الفوتون
- يقذف الإلكترون المداري من الذرة على شكل إلكترون ضوئي
- يمتلك الإلكترون المقذوف على طاقة حركية E_K

$$E_K = h\nu - E_B$$

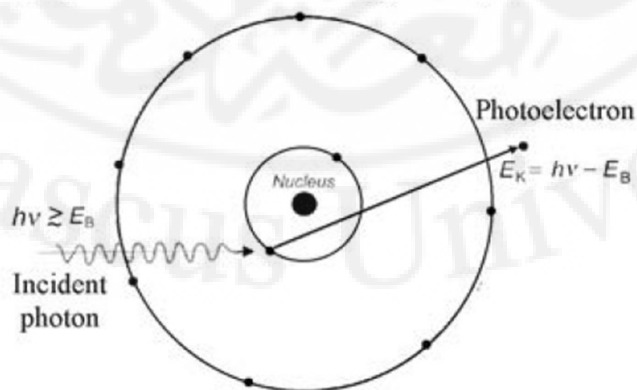
- $h\nu$ = طاقة الفوتون الساقط
- E_B = طاقة الارتباط للإلكترون الضوئي

30

تفاعل الفوتونات مع المادة Photoelectric effect التأثير الكهروضوئي

□ رسم تخطيطي للتأثير الكهروضوئي

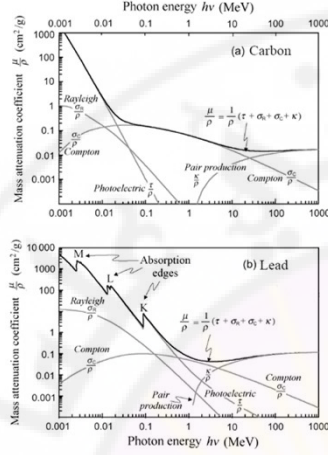
- يتفاعل الفوتون مع إلكترون مداري
- ينبعث الإلكترون من الذرة كإلكترون ضوئي



31

تفاعل الفوتونات مع المادة

التأثير الكهروضوئي Photoelectric effect



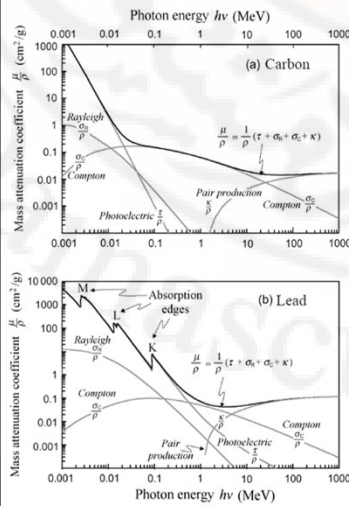
□ معامل التوهين الكتلي الكهروضوئي τ/ρ موضح من أجل C & Pb (والمكون من معامل التوهين الكلي μ/ρ)

- حواف الامتصاص:
- الانقطاعات الحادة عندما تكون $E_B = h\nu$ لطبقة معينة
- على سبيل المثال: حافة امتصاص K.
- من أجل الرصاص: $E_B = 88 \text{ keV}$

32

تفاعل الفوتونات مع المادة

التأثير الكهروضوئي Photoelectric effect



□ معاملات التوهين الذري الكهروضوئي

- الذري: $\tau_a \sim Z^5/(h\nu)^3$
- الكتلي: $\tau_m = \tau/\rho \sim Z^4/(h\nu)^3$

□ التأثير الكهروضوئي هو المساهم الرئيسي في μ/ρ عند

- قيمة منخفضة نسبياً لطاقة الفوتون $E_\gamma = h\nu \sim E_B$ من أجل الطبقة K

- $E_\gamma < 0.1 \text{ MeV}$

□ عند الطاقات الأعلى، يكون المساهمون الرئيسيون في

- μ/ρ هم
- تأثير كومبتون ($E_\gamma \sim 1 \text{ MeV}$)
- إنتاج الأزواج ($E_\gamma > 10 \text{ MeV}$)

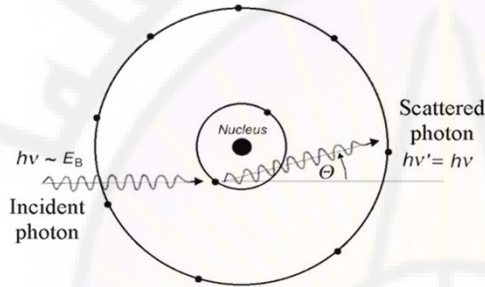
33

تفاعل الفوتونات مع المادة

تبعثر رايلي (المترابط) Rayleigh (coherent) scattering

□ تبعثر رايلي (المترابط)

- في تبعثر (رايلي) المترابط، يتفاعل الفوتون مع الإلكترونات المدارية الذرية المرتبطة بإحكام في الذرة الماصة
- يعد تبعثراً مرناً
- لا يفقد الفوتون أيًا من طاقته الأساسية $h\nu$
- ينتثر الفوتون من خلال زاوية صغيرة فقط θ

(b) Rayleigh scattering (σ_R)

يساهم في معامل التوهين

34

تفاعل الفوتونات مع المادة

تبعثر رايلي (المترابط) Rayleigh (coherent) scattering

□ تبعثر رايلي (المترابط)

- يساهم في μ/ρ من خلال عملية التشتت المرن
 - معامل التوهين الذري رايلي
 - $\sigma_R \sim Z^2/(h\nu)^2$
 - معامل التوهين الكتلي رايلي
 - $\sigma_R/\rho \sim Z/(h\nu)^2$
- لا يعد مهماً في قياس الجرعات الإشعاعية لأنه لا يوجد فيه نقل للطاقة من الفوتونات إلى الجسيمات المشحونة في الذرة الماصة
- يشكل نسبة مئوية قليلة فقط من إجمالي μ/ρ ، ولكن لا ينبغي إهماله في حسابات التوهين

35

تفاعل الفوتونات مع المادة

أثر كومبتون (التبعثر الغير مترابط) ("incoherent scattering") Compton effect

□ تأثير كومبتون ("التبعثر غير المترابط" أو "تشتت كومبتون")

- عبارة عن تفاعل بين فوتون γ بطاقة $E_\gamma = h\nu$ و إلكترون ضعيف الارتباط "حر".
- "حر" لأن $E_\gamma \gg E_B$

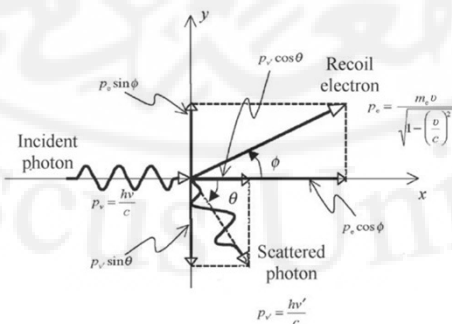
□ جزء من الطاقة $E_\gamma = h\nu$ المنقولة إلى الإلكترون المداري "الحر" تنبعث من الذرة على شكل إلكترون كومبتون

36

تفاعل الفوتونات مع المادة

أثر كومبتون (التبعثر الغير مترابط) ("incoherent scattering") Compton effect

- يتشتت الفوتون من خلال زاوية التشتت θ وطاقته $E'_\gamma = h\nu'$ أقل من طاقة الفوتون الوارد $E_\gamma = h\nu$
- تمثل الزاوية ϕ الزاوية بين اتجاه الفوتون الوارد γ واتجاه الكترون كومبتون (المرتد)



37

تفاعل الفوتونات مع المادة
Compton effect ("incoherent scattering") (أثر كومبتون (التبعثر الغير مترابط))

38

تفاعل الفوتونات مع المادة
Compton effect ("incoherent scattering") (أثر كومبتون (التبعثر الغير مترابط))

39

الحفاظ على الطاقة □

$$h\nu + m_e c^2 = h\nu' + m_e c^2 + E_K$$

$$h\nu = h\nu' + E_K$$

الحفاظ على كمية الحركة (المحور x) □

$$p_v = \frac{h\nu'}{c} \cos \theta + \frac{m_e v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cos \phi$$

الحفاظ على كمية الحركة (المحور y) □

$$0 = -\frac{h\nu'}{c} \sin \theta + \frac{m_e v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \sin \phi$$

حيث

- $m_e c^2$ طاقة الإلكترون في وضعية الراحة (0.511 MeV)
- E_K الطاقة الحركية للإلكترون كومبتون
- v سرعة الإلكترون كومبتون المرتد
- c سرعة الضوء في الفراغ (3×10^8 م / ث)

تفاعل الفوتونات مع المادة

أثر كومبتون (التبعثر الغير مترابط) ("incoherent scattering") Compton effect

□ معادلة كومبتون الأساسية (يشار إليها أيضاً باسم معادلة كومبتون لطول الموجة) والمتوافقة مع الحفاظ على الطاقة وكمية الحركة:

$$\lambda' - \lambda = \Delta\lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta) = \lambda_c (1 - \cos \theta)$$

$\lambda =$ الطول الموجي للفوتون الساقط (C/v)

$\lambda' =$ الطول الموجي للفوتون المتناثر (C/v')

$\Delta\lambda =$ انزياح الطول الموجي في تأثير كومبتون ($\lambda' - \lambda$)

$\lambda_c =$ طول موجة كومبتون للإلكترون $= 0.024\text{\AA}$

40

تفاعل الفوتونات مع المادة

أثر كومبتون (التبعثر الغير مترابط) ("incoherent scattering") Compton effect

□ العلاقة بين طاقة الفوتون المبعثر E_γ و الوارد E_γ هو:

$$h\nu'(h\nu, \theta) = h\nu \frac{1}{1 + \varepsilon(1 - \cos \theta)} \quad \varepsilon = \frac{h\nu}{m_e c^2}$$

□ العلاقة بين طاقة الإلكترون المرتد E_K والفوتون الوارد E_γ هو:

$$E_K^C(h\nu, \theta) = h\nu - h\nu' = h\nu - h\nu \frac{1}{1 + \varepsilon(1 - \cos \theta)} = h\nu \frac{\varepsilon(1 + \cos \theta)}{1 + \varepsilon(1 - \cos \theta)} \quad \varepsilon = \frac{h\nu}{m_e c^2}$$

□ ترتبط زوايا التشتت θ و الارتداد ϕ على النحو التالي:

$$\cot \phi = (1 + \varepsilon) \tan \frac{\theta}{2} \quad \varepsilon = \frac{h\nu}{m_e c^2}$$

41

تفاعل الفوتونات مع المادة

أثر كومبتون (التبعثر الغير مترابط) ("incoherent scattering") Compton effect

طاقة: □

$$h\nu|_{\theta=0} = h\nu \quad \bullet \text{ الفوتونات المتناثرة إلى الأمام } (\theta = 0)$$

$$h\nu|_{\theta=\pi/2} = \frac{h\nu}{1+\varepsilon} \quad \bullet \text{ الفوتونات المتناثرة الجانبية } (\theta = \pi/2)$$

$$h\nu|_{\theta=\pi} = \frac{h\nu}{1+2\varepsilon} \quad \bullet \text{ الفوتونات المتناثرة إلى الخلف } (\theta = \pi)$$

عندما $h\nu \rightarrow \infty$ □

$$h\nu|_{\theta=0} = h\nu \quad \bullet \theta = 0$$

$$h\nu|_{\theta=\pi/2} = m_e c^2 \quad \bullet \theta = \pi/2$$

$$h\nu|_{\theta=\pi} = \frac{m_e c^2}{2} \quad \bullet \theta = \pi$$

42

تفاعل الفوتونات مع المادة

أثر كومبتون (التبعثر الغير مترابط) ("incoherent scattering") Compton effect

□ σ_c (معامل التوهين الإلكتروني كومبتون)• يتناقص بنبات مع زيادة $h\nu$ • القيمة النظرية = 0.665×10^{-24} سم²/إلكترون (مقطع طومسون العرضي) من أجل E_γ منخفضة• 0.21×10^{-24} سم²/إلكترون عند $h\nu = 1$ MeV• 0.008×10^{-24} سم²/إلكترون عند $h\nu = 100$ MeV

• مستقل عن Z

• من أجل الكربون C(Z = 6) والرصاص Pb(Z = 82) وعند الطاقة $E_\gamma \sim 1$ MeV يكونأثر كومبتون هو الطاغي وكلاهما عند $0.1 \text{ cm}^2/\text{electron}$ بغض النظر عن Z□ σ_c^a (معامل التوهين الذري كومبتون)

• يعتمد بشكل خطي على العدد الذري للذرة الماصة Z (نظراً لتفاعل كومبتون مع الإلكترون الحر)

43

تفاعل الفوتونات مع المادة

أثر كومبتون (التبعثر الغير مترابط) ("incoherent scattering") Compton effect

□ جزء الطاقة العظمى المنقولة في كومبتون $(f_C)_{\max}$:

- يحدث نقل الطاقة الأعظمى إلى الإلكترون الارتدادي عندما يكون الفوتون مبعثراً للخلف ($\theta = \pi$)

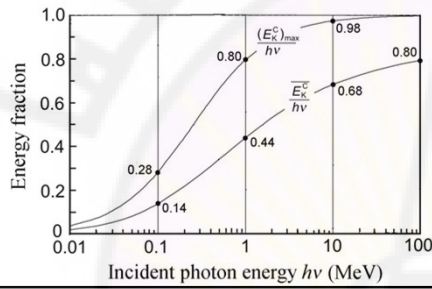
$$(f_C)_{\max} = \frac{(E_K^C)_{\max}}{h\nu} = \frac{2\varepsilon}{1+2\varepsilon}$$

□ متوسط الطاقة المنقولة إلى إلكترون كومبتون بالنسبة $h\nu$

- مهم جداً في قياس الجرعات الإشعاعية
- يكون جزء الطاقة المنقول $\bar{f}_C$ إلى الإلكترون المرتد مساوياً إلى:

$$\bar{f}_C = 0.02 \text{ at } h\nu = 0.01 \text{ MeV}$$

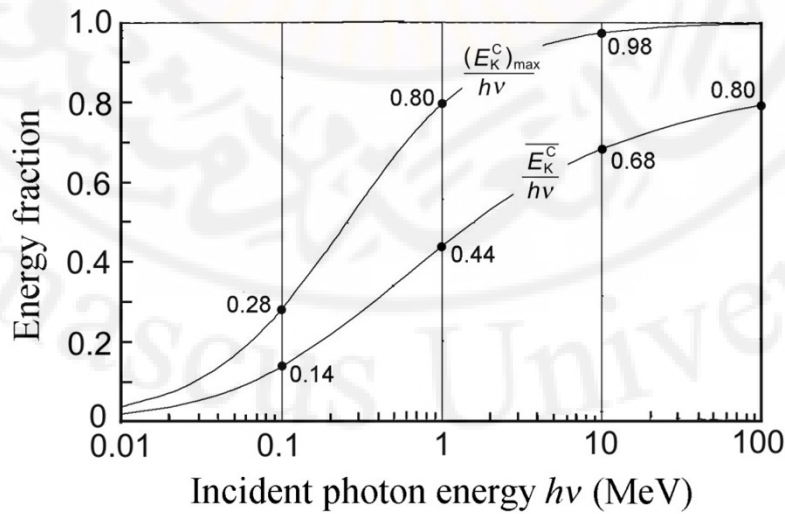
- يرتفع ثم يصل مقارباً للواحد عند ارتفاع $h\nu$



44

تفاعل الفوتونات مع المادة

أثر كومبتون (التبعثر الغير مترابط) ("incoherent scattering") Compton effect



45

تفاعل الفوتونات مع المادة

إنتاج الأزواج Pair production

□ إنتاج الأزواج

- يتولد زوج $e^+ - e^-$ عند الامتصاص الكامل للفوتون الساقط بواسطة ذرة الوسط الماص
- يحدث إذا كان: $E_\gamma = h\nu > 2m_e c^2 = 1.022 \text{ MeV}$ ، حيث $m_e c^2 =$ طاقة الإلكترون في وضعية الراحة

□ يحافظ على:

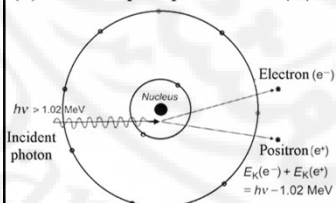
- الطاقة
- الشحنة
- كمية الحركة

46

تفاعل الفوتونات مع المادة

إنتاج الأزواج Pair production

□ يُوجد نوعان من إنتاج الأزواج:

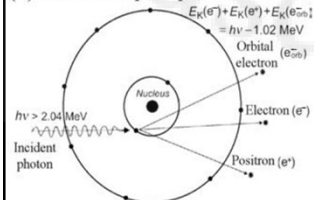
(d) Nuclear pair production (κ_N)

• إنتاج زوج نووي

- الجزء المصدوم هو نواة الذرة للمادة الماصة
- يوصف بـ: $E_\gamma > 2m_e c^2 = 1.022 \text{ MeV}$

• إنتاج زوج إلكتروني أو إنتاج الثلاثيات

• أقل احتمالا

(e) Electronic pair production (κ_e)

- يتم إنتاج أزواج في الحقل الكولوني للإلكترون المداري في ذرة المادة الماصة
- يحدث عند عتبة: $E_\gamma > 4m_e c^2 = 2.044 \text{ MeV}$

47

تفاعل الفوتونات مع المادة

إنتاج الأزواج Pair production

□ معاملات توهين إنتاج الأزواج:

- يكون عادة معامل واحد من أجل إنتاج الأزواج النووية والإلكترونية
- يساهم إنتاج الأزواج النووية فيه بأكثر من 90%
- معامل التوهين الذري لإنتاج الأزواج κ_a
- $\kappa_a \sim Z^2$
- معامل التوهين الكتلي لإنتاج الأزواج κ/ρ
- $\kappa/\rho \sim Z$

□ احتمالية إنتاج الأزواج

- صفر من أجل $E_\gamma < 2m_e c^2 = 1.022 \text{ MeV}$
- يزيد بسرعة مع زيادة طاقة الفوتون $E_\gamma > \text{threshold}$

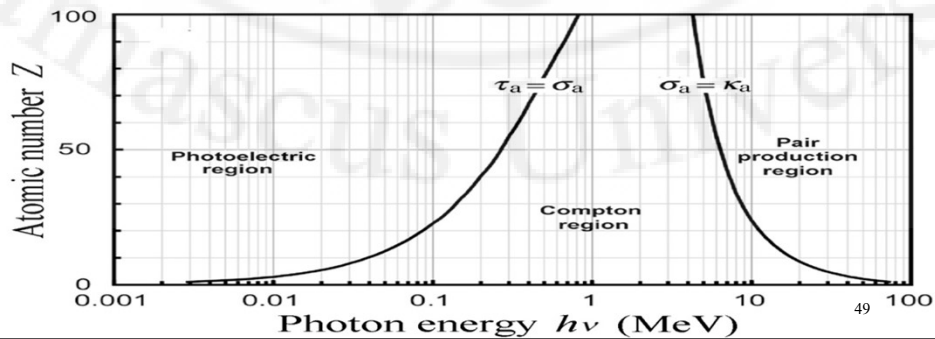
48

تفاعل الفوتونات مع المادة

السيطرة النسبية للتأثيرات الفردية Relative predominance of individual effects

□ يعتمد احتمال خضوع الفوتون لأي من التفاعلات المختلفة مع ذرة المادة الماصة على:

- طاقة الفوتون $h\nu$
- العدد الذري للمادة الماصة Z
- يكون إنتاج الأزواج عند الطاقة E_γ المرتفعة
- يسود التأثير الكهروضوئي بشكل عام عند الطاقات المنخفضة E_γ
- يسود تأثير كومبتون بشكل عام عند الطاقات المتوسطة E_γ



تفاعل الفوتونات مع المادة معامله التوهين الماكروسكوبية

□ بالنسبة إلى $h\nu$ و Z :

- معامل التوهين الخطي μ
- معامل نقل الطاقة الخطي μ_{tr}
- معامل امتصاص الطاقة الخطي μ_{ab} (غالباً ما يشار إليه μ_{en})
وتُعطى كمجموع معاملات لتفاعلات الفوتون الفردية

$$\mu = \rho \frac{N_A}{A} (\tau + \sigma_R + \sigma_C + \kappa)$$

$$\mu_{tr} = \rho \frac{N_A}{A} [\tau_{tr} + (\sigma_C)_{tr} + \kappa_{tr}] = \rho \frac{N_A}{A} [\tau \bar{f}_{PE} + \sigma_C \bar{f}_C + \kappa \bar{f}_{PP}]$$

$$\mu_{ab} = \mu_{en} = \mu_{tr} (1 - \bar{g})$$

$\bar{g}$ = جزء من متوسط الطاقة المنقولة من الفوتونات إلى
الجسيمات المشحونة والتي فقدت لاحقاً بواسطة
الجسيمات المشحونة من خلال الإشعاع

50

المراجع

محاضرة مقتبسة من العروض التقديمية المرافقة لكتاب
فيزياء الطب النووي - الدليل الشامل للأساتذة والطلاب
من منشورات الوكالة الدولية للطاقة الذرية
ISBN (2-143810-0-92-978)



منشأ النوى المختلفة

منشأ النوى المختلفة

أصل المادة

- ☐ منذ تشكل كوكب الأرض، خضعت معظم النوى الذرية لتحولات نحو تشكيلات أكثر استقراراً (غير مشعة).
- ☐ ومع ذلك، بقي بعضاً غير مستقر مثل النوى ذوات أنصاف العمر الطويلة جداً مثل ^{204}Pb ، ^{40}K ، ^{232}Th والنظائر الطبيعية لليورانيوم.

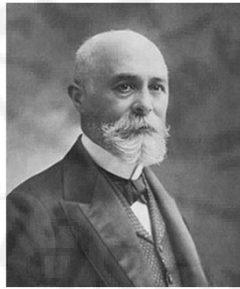
منشأ النوى المختلفة مقدمة

الخطوات الأولى في تاريخ النشاط الإشعاعي

- ☐ اكتشاف النشاط الإشعاعي التلقائي.
- ☐ فصل النظائر المشعة وتوضيح خصائصها.
- ☐ بيان الاستخدامات العملية للعناصر المشعة.

منشأ النوى المختلفة

اكتشاف النشاط الإشعاعي الطبيعي أو التلقائي



هنري بيكريل (15 ديسمبر 1852-25 أغسطس 1908)

- ☐ ولد هنري بيكريل في باريس عام 1852 لعائلة من العلماء.
- ☐ ويعد هذا الفيزيائي الفرنسي أحد الرواد في تاريخ النشاط الإشعاعي .
- ☐ تقاسم جائزة نوبل في الفيزياء عام 1903 مع ماري سكودوفسكا كوري وبيير كوري لاكتشافه النشاط الإشعاعي .

منشأ النوى المختلفة

عزل النظائر المشعة



ماري سكلودوفسكا كوري (7 نوفمبر 1867-4 يوليو 1934)

- ❑ قادت ماري سكلودوفسكا كوري (7 نوفمبر 1867-4 يوليو 1934)، المولودة في وارسو، بولندا، أبحاثاً رائدة في النشاط الإشعاعي، وعزلت أولى النظائر المشعة.
- ❑ اكتشفت البولونيوم والراديوم، وأصبحت أول امرأة تفوز بجائزة نوبل، والشخص الوحيد الذي يفوز بها في علوم متعددة (الفيزياء والكيمياء).

منشأ النوى المختلفة

المتفقيات المشعة والتمثيل الغذائي



جورج كارل فون هيفسي (1 أغسطس 1885-5 يوليو 1966)

- ❑ جورج هيفسي هو أخصائي الكيمياء الإشعاعية المولود في بودابست هنغاريا عام 1885.
- ❑ حصل على جائزة نوبل، وتم الاعتراف به في عام 1943 لدوره الرئيسي في تطوير أدوات التفقي الإشعاعي في دراسة العمليات الكيميائية مثل التمثيل الغذائي للحيوانات.

استخدامات النشاط الإشعاعي عند البشر



هيرمان بلومغارت (1895-1977)

- ❑ قام هيرمان إل بلومجارت وزميله في العمل أوتو سينز في عام 1925 بقياس وقت جريان الدم من ذراع إلى ذراع باستخدام كاشف حجرة سحابية معدل.

منشأ النوى المختلفة نشاط الإشعاعي المستحث

منشأ النوى

النشاط الإشعاعي المستحث النشاط الإشعاعي المستحث

اكتشاف النشاط الإشعاعي الصناعي



إيرين وماريا كوري

❑ حصلت إيرين جوليو كوري (12 سبتمبر 1897 - 17 مارس 1956) المولودة في باريس، وهي ابنة ماريا وبيير كوري، بالاشتراك مع زوجها فريدريك جوليو على جائزة نوبل في الكيمياء عام 1935 لاكتشافهما النشاط الإشعاعي الصناعي.

❑ أدى تشعيع النظائر المستقرة بجزيئات مشحونة إلى ظهور نظائر غير مستقرة، مما أدى إلى إنتاج مواد مشعة صناعية.



إيرين كوري وفريدريك جوليو

منشأ النوى

النشاط الإشعاعي المستحث النشاط الإشعاعي المستحث



إرنست أورلاندو لورانس (8 أغسطس 1901 - 27 أغسطس 1958)

اختراع السيكلوترون

- ❑ صمم لورنس سيكلوترونًا (مسرّع حلقي) قادر على تسريع الديترونيات حتى حوالي 3 ميغا إلكترون فولت.
- ❑ سرعان ما أبلغ عن إنتاج الأيونات 13 ذو عمر النصف الذي يبلغ 10 دقائق.
- ❑ بعد ذلك، تم استخدام السيكلوترون لإنتاج العديد من النوى المشعة الأخرى المهمة بيولوجياً مثل الكربون 11 والفوسفور 32 والصوديوم 22

منشأ النوى

النشاط الإشعاعي المستحث النشاط الإشعاعي المستحث

سلسلة التفاعلات النووية



إرنيكو فيرمي (29 سبتمبر 1901 - 28 نوفمبر 1954)

- ❑ أدرك فيرمي أن النيوترون مفيد في إنتاج النوى المشعة لذلك صنع مصدراً قوياً للنيوترونات عن طريق إغلاق غاز ^{232}Ra مع مسحوق البريليوم داخل حجرة زجاجية.
- ❑ تسبب جسيم ألفا المنبعث من ^{232}Ra في حدوث تفاعل نووي في البريليوم وانبعثت نيوترون $^{9}\text{Be}(\alpha, n)^{12}\text{C}$.
- ❑ في غضون أسابيع قليلة قام بتشجيع 60 عنصراً وقام بتوليد نشاط إشعاعي في 40 عنصراً منهم.
- ❑ بعد سنوات، أشرف فيرمي أيضاً على تصميم وتشغيل أول مفاعل نووي صناعي في العالم (Chicago Pile-1)

منشأ النوى المختلفة

مخطط النوى وحزام الاستقرار النووي

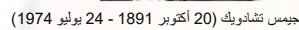
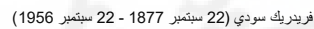
منشأ النوى

مخطط النوى وحزام الاستقرار النووي وخط الاستقرار النووي

تصنيف العناصر

- ☐ اعتمد تنظيم النظام الدوري على عدد البروتونات (العدد الذري) في النواة.
- ☐ في أوائل عام 1900، كان لدى الكيميائيين فهم جيد لكيفية تصنيف العناصر وفقاً للجدول الدوري.
- ☐ ومع اكتشاف النشاط الإشعاعي، نشأ تناقضاً بسبب العناصر التي لها نفس السلوك الكيميائي ولكن يمكن أن تختلف في خصائصها الفيزيائية.

مخطط النوى وحزام الاستقرار النووي وخط الاستقرار النووي



☐ للتغلب على التناقض السابق، جرى تطوير مفهوم جديد.

تم تقديم مفهوم "النظائر" أو العناصر التي تحتل "نفس المكان" في النظام الدوري بواسطة Soddy في عام 1913.

لكن التفسير الكامل لذلك تأخر حتى اكتشاف تشادويك للنترون في عام 1932.

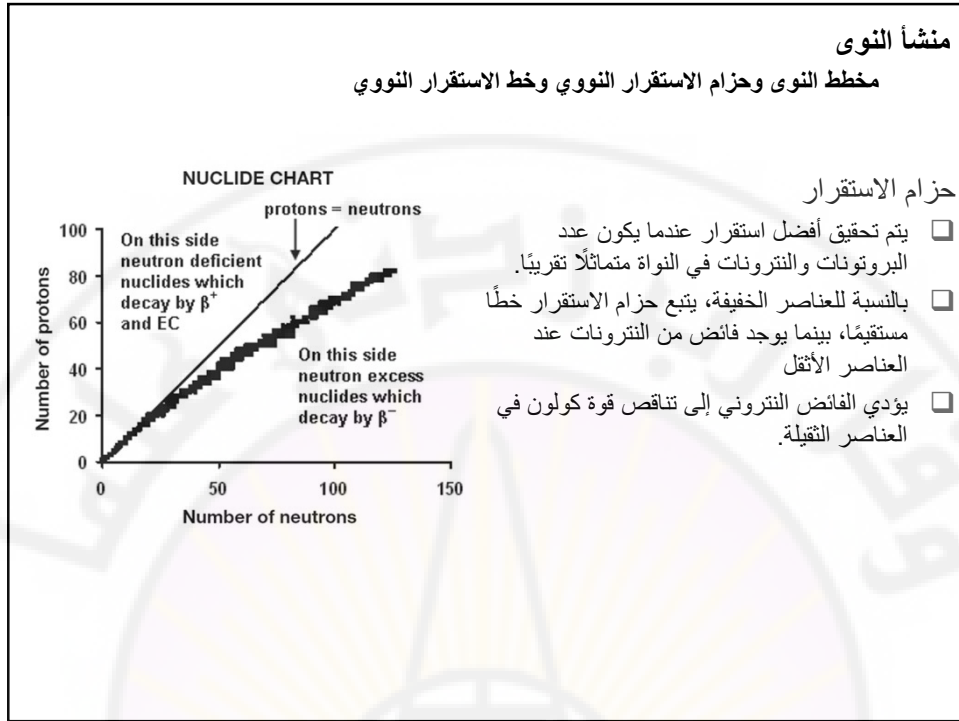
مخطط النوى وحزام الاستقرار النووي وخط الاستقرار النووي

Number of protons	9									¹⁷ F	¹⁸ F	¹⁹ F	²⁰ F	²¹ F	²² F	²³ F	²⁴ F	²⁵ F
	8						¹³ O	¹⁴ O	¹⁵ O	¹⁶ O	¹⁷ O	¹⁸ O	¹⁹ O	²⁰ O	²¹ O	²² O	²³ O	²⁴ O
	7						¹² N	¹³ N	¹⁴ N	¹⁵ N	¹⁶ N	¹⁷ N	¹⁸ N	¹⁹ N	²⁰ N	²¹ N	²² N	²³ N
	6				⁹ C	¹⁰ C	¹¹ C	¹² C	¹³ C	¹⁴ C	¹⁵ C	¹⁶ C	¹⁷ C	¹⁸ C	¹⁹ C	²⁰ C		
	5			⁸ Be		¹⁰ B	¹¹ B	¹² B	¹³ B	¹⁴ B	¹⁵ B		¹⁷ B					
	4			⁷ Be	⁸ Be	⁹ Be	¹⁰ Be	¹¹ Be	¹² Be		¹⁴ Be							
	3			⁶ Li	⁷ Li	⁸ Li	⁹ Li		¹¹ Li									
	2		³ He	⁴ He		⁶ He		⁸ He										
	1	¹ H	² H	³ H														
	0		n															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	

Number of neutrons
مخطط نوى العناصر الخفيفة

□ تمثل الحقول المظلمة في المخطط نوى العناصر المستقرة.

❑ تعاني النوى الموجودة على يسار النوى المستقرة من نقص في النيوترونات بينما تكون تلك الموجودة على اليمين غنية بالنيوترونات.



منشأ النوى
مخطط النوى وحزام الاستقرار النووي وخط الاستقرار النووي

نظام بروتون - نوترون

يوجد بين البروتون والنوترون قوة نووية تبلغ 2.225 MeV.

وتشكل هذه النكليونات تركيبة مستقرة تسمى الديتيريوم، وهو نظير للهيدروجين.

Hydrogen Isotopes

H Hydrogen

D Deuterium

منشأ النوى
مخطط النوى وحزام الاستقرار النووي وخط الاستقرار النووي

نظام بروتون - بروتون

في نظام مكون من بروتونين، يكون للقوة النووية بنفس المقدار عند نوترون-بروتون، لكن تكون قوى كولون التنافرية أكبر. وبالتالي، لا يمكن لهذا النظام أن يوجد.

منشأ النوى
مخطط النوى وحزام الاستقرار النووي وخط الاستقرار النووي

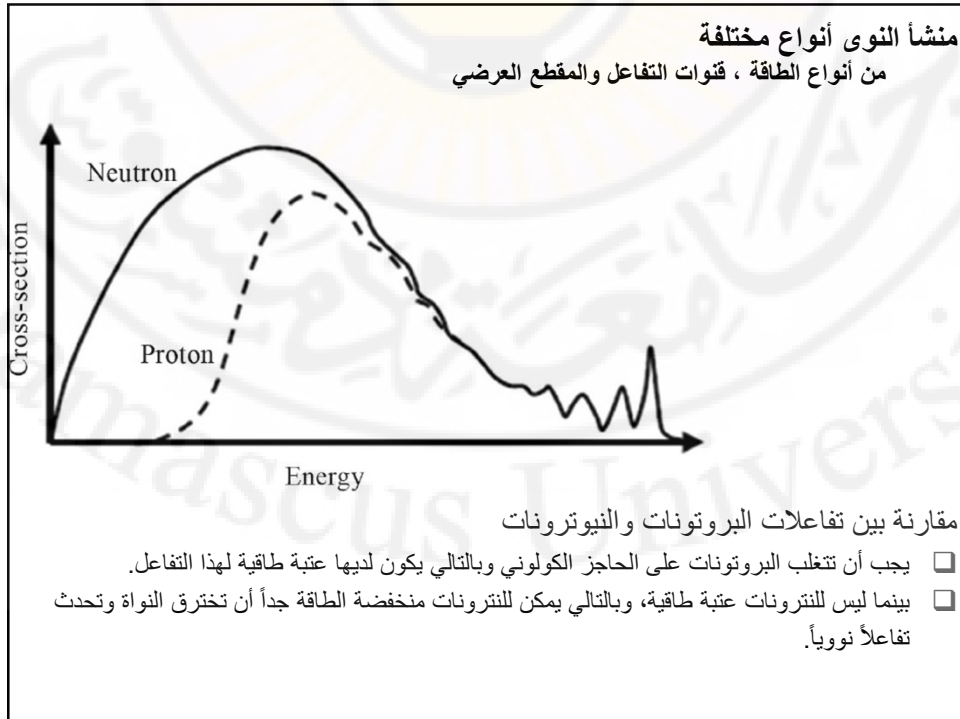
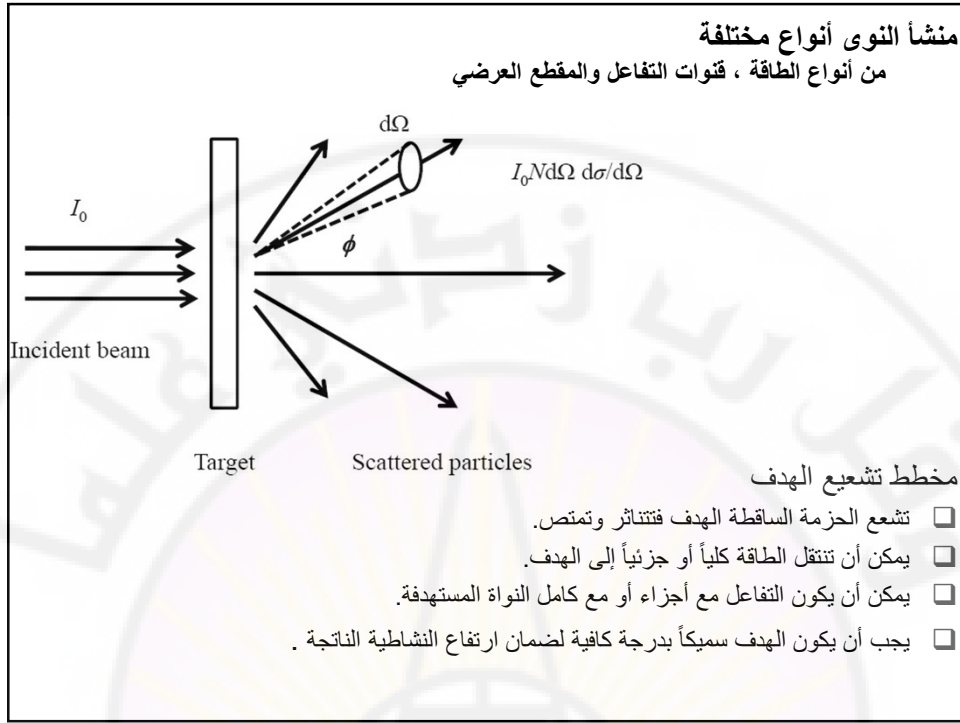
نظام نترون-نترون

تكون القوة النووية بين نترونين متساوية في القوة ولا توجد قوة كولون. ومع ذلك، لا يمكن أن يوجد هذا النظام بسبب قوى التنافر الأخرى، نتيجة لقواعد أزواج الكواركات.

Proton: U = "up" quark $+\frac{2}{3}e$, D = "down" quark $-\frac{1}{3}e$

Neutron: U = "up" quark $+\frac{2}{3}e$, D = "down" quark $-\frac{1}{3}e$

منشأ النوى المختلفة
أنواع العرض النووية ، قنوات التفاعل والمقطع



منشأ النوى أنواع مختلفة

من أنواع الصور ، قنوات التفاعل والمقطع العرضي

المعادلة العامة للتفاعل النووي



a: الجسيم الوارد.

A: نواة الهدف في الحالة القاعدية (قناة الدخول).

b: الجسيمات الصادرة.

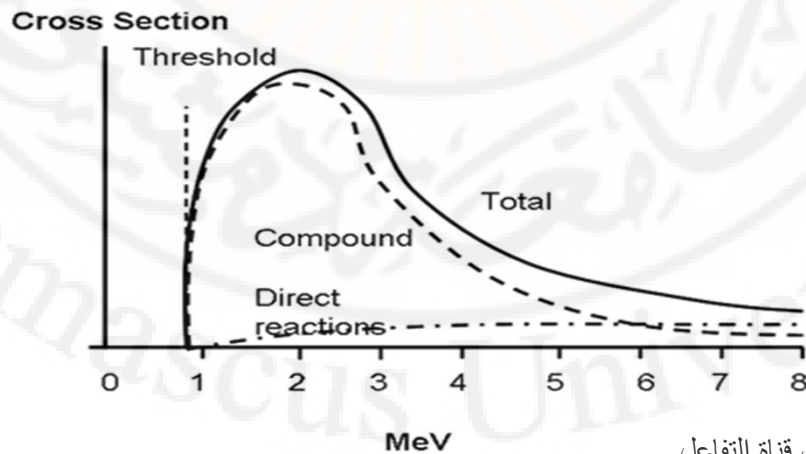
B: باقي النواة.

Q: طاقة التفاعل (موجبة أو سالبة).

بالاعتماد على الطاقة والجسيمات المعنية، قد تحدث العديد من التفاعلات النووية، مما يؤدي إلى تكوين قناة خرج، لكل منها احتمالية خاصة بها (مقطع عرضي).

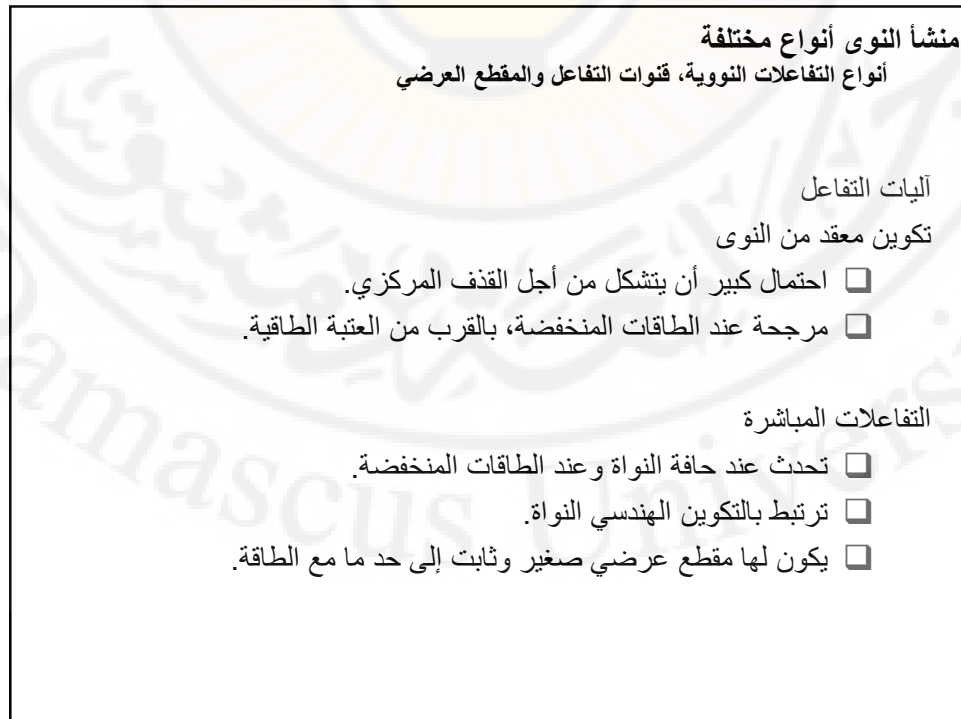
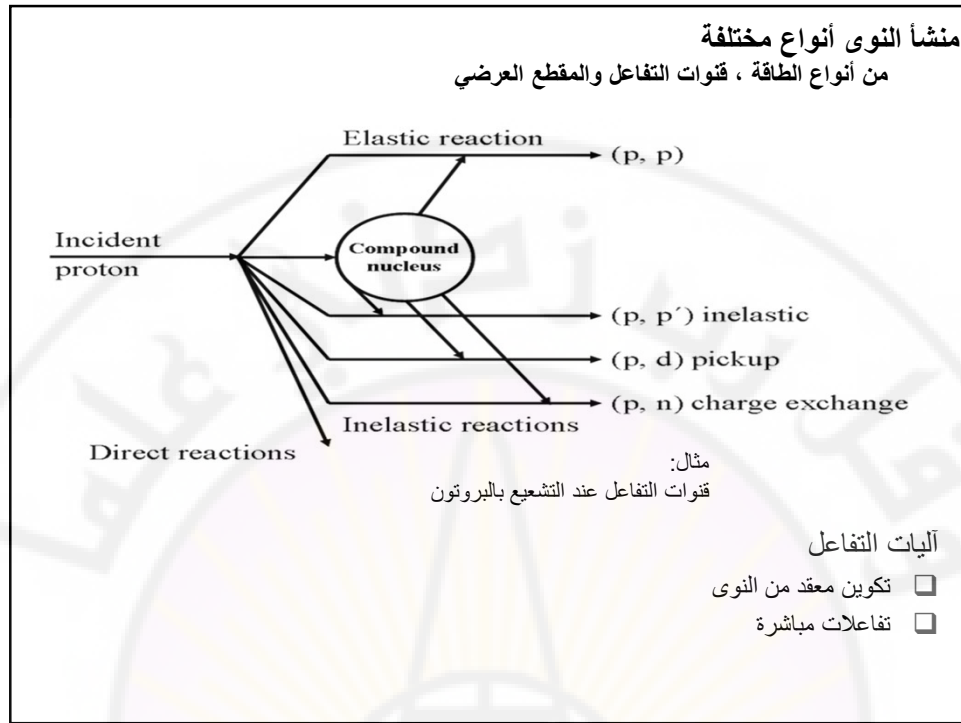
منشأ النوى أنواع مختلفة

من أنواع الطاقة ، قنوات التفاعل والمقطع العرضي



خصائص قناة التفاعل

- ☐ العتبة الطاقية: هي الطاقة التي تجعل من التفاعل النووي ممكناً.
- ☐ تختلف احتمالية التفاعل (المقطع العرضي) تبعاً لطاقة الجسيم الوارد.



إنتاج النوى المشعة في المفاعلات النووية

إنتاج النوى المشعة

- هناك طريقتان رئيسيتان لإنتاج النوى المشعة: إما استخدام المفاعلات (النترونات) أو مسرعات الجسيمات (البروتونات، الديوترونات، جسيمات ألفا أو الأيونات الثقيلة).
- نظراً لأن الهدف يكون عبارة عن نواة مستقرة، فسيولد إما نواة مشعة غنية بالنترونات (ينتج ذلك في المفاعل) أو نواة مشعة تعاني من نقص في النترونات (ينتج في المُسرّع).

إنتاج النوى المشعة في المفاعلات النووية

الطرق الرئيسية لإنتاج النويدات المشعة

جهاز الإنتاج	جزيئات	النوى المشعة الناتجة
المفاعلات	النترونات	غنية بالنترونات
مسرعات	البروتونات الديوترونات جسيمات ألفا الأيونات الثقيلة	فقيرة بالنترونات

إنتاج النوى المشعة في المفاعلات النووية

مبدأ العمل وطيف النوترونات

إنتاج النوى المشعة في المفاعلات النووية مبدأ العمل وطيف النوترونات مبدأ التشغيل والطيف النيوتروني

خصائص المفاعل

- ☐ المفاعل النووي هو منشأة تخضع فيها نواة ذرية انشطارية (^{235}U , ^{239}Pu ، أو ^{241}Pu) للانشطار بعد التشعيع باستخدام نوترونات منخفضة الطاقة.
- ☐ ينتج المفاعل نوترونات سريعة ذات طاقات تصل إلى حوالي 10 ميغا إلكترون فولت (طيف نوتروني انشطاري).

إنتاج النوى المشعة في المفاعلات النووية

مبدأ العمل وطيف النترونات مبدأ التشغيل والطيف النيوتروني

خصائص المفاعل

□ تنظيم المفاعل

- يجري إبطاء النترونات في مواد موهنة (عادة الماء) وتبدأ النترونات المبطننة في انشطار نووي جديد.
- من خلال تنظيم سلسلة التفاعلات النووية، نحصل على إنتاج ثابت من النترونات الحرارية بتدفق نتروني نموذجي في حدود 1410 نترون • سم⁻² • ثانية⁻¹.

□ تشعيع الهدف

- توضع الأهداف في مواقع مختلفة بحيث تكون معرضة لنترونات ذات طاقات مختلفة.
- تشعيع السحابة النترونية الهدف بشكل متماثل المناحي isotropically.
- تكون مواقع التشعيع ذات درجة حرارة عالية قد تصل بسهولة إلى 200 درجة مئوية.

إنتاج النوى المشعة في المفاعلات النووية

مبدأ العمل وطيف النترونات مبدأ التشغيل والطيف النيوتروني

خصائص المفاعلات

□ الطيف الطاقي

□ التدفق (نترونات • سم⁻² • ث⁻¹)

□ درجة الحرارة (في موضع التشعيع)

حقائق مهمة

□ تستخدم معظم المفاعلات في العالم

فقط لإنتاج الطاقة.

□ عادةً ما تكون فقط مفاعلات البحث

مرنة بدرجة كافية لاستخدامها في إنتاج النظائر المشعة.

إنتاج النوى المشعة في المفاعلات النووية

تفاعلات النيوترونات السريعة والحرارية

إنتاج النوى المشعة في المفاعلات النووية

لتفاعلات النيوترونات السريعة والحرارية تفاعلات نيوترونية حرارية وسريعة

تفاعلات النيوترونات

☐ التفاعل النيوتروني الأكثر شيوعاً هو تفاعل (n, γ)

مثال: $^{59}\text{Co}(n, \gamma)^{60}\text{Co}$

☐ النوى المشعة المنتجة هي من نفس عنصر الهدف.

☐ لا يعد إنتاج النوى المشعة مفيداً في أغراض الوسم labelling بسبب النشاط النوعي المنخفض، لذلك عادة ما يتم استخدام تفاعلات أخرى، سواء مع النيوترونات الحرارية أو السريعة.

إنتاج النوى المشعة في المفاعلات النووية لتفاعلات النوات السريعة والحرارية تفاعلات نيوترونية حرارية وسريعة

تفاعلات النيوترونات

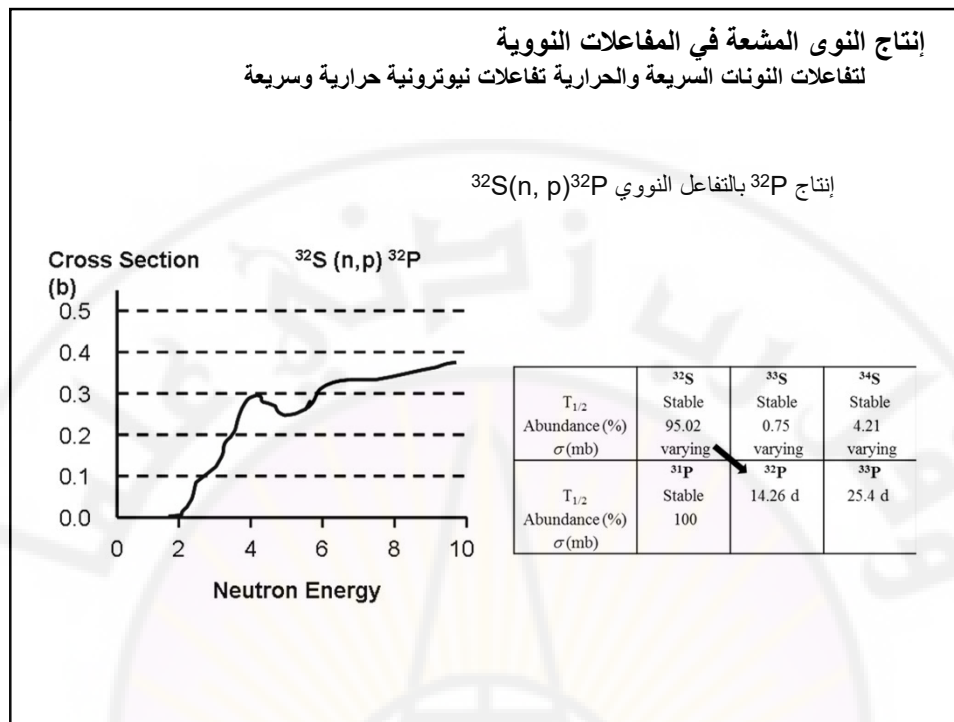
التفاعلات النووية النموذجية في المفاعل من أجل إنتاج النوى المشعة

Type of neutrons	Nuclear reaction	Half-life $T_{1/2}$	Cross-section σ (mb)
Thermal	$^{59}\text{Co}(n, \gamma)^{60}\text{Co}$	5.3 a	2000
	$^{14}\text{N}(n, p)^{14}\text{C}$	5730 a	1.75
	$^{33}\text{S}(n, p)^{33}\text{P}$	25 d	0.015
	$^{35}\text{Cl}(n, \alpha)^{32}\text{P}$	24 d	0.05
Fast	$^{24}\text{Mg}(n, p)^{24}\text{Na}$	15 h	1.2
	$^{35}\text{Cl}(n, \alpha)^{32}\text{P}$	14 d	6.1

إنتاج النوى المشعة في المفاعلات النووية لتفاعلات النوات السريعة والحرارية تفاعلات نيوترونية حرارية وسريعة

إنتاج ^{32}P

- ☐ عادةً ما تحتوي التفاعلات التي تشتمل على نيوترونات سريعة على مقاطع عرضية من مرتبة الملي بارن، والتي تؤدي، إلى جانب تدفق النيوترونات المنخفض بشدة عند طاقة أعلى مقارنة بالتدفقات الحرارية للنيوترونات، إلى إنتاجية أقل.
- ☐ بالنسبة لـ ^{32}P ، فإن عتبة التفاعل هي 0.51 MeV. ومع ذلك فلا يوجد عائد كبير حتى الوصول إلى طاقة تبلغ حوالي 2 ميجا فولت.
- ☐ يمكن حساب المقطع العرضي العملي بحوالي 60 الملي بارن.
- ☐ البارن barn واحدة مساحة تساوي 10^{-28} m^2



إنتاج النوى المشعة في المفاعلات النووية
الانشطار النووي ونواتج الانشطار الانشطاري النووي ومنتجات الانشطار

النوى المشعة الطبية

☐ يتم إنتاج بعض النوى المشعة المهمة طبييا عن طريق الانشطار، مثل ^{90}Sr (علاجي) و $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (تشخيصي).

$^{90}\text{Sr} (28.5 \text{ a}) \rightarrow ^{90}\text{Y} (2.3 \text{ d})$

☐ ولا يتم إنتاجها بشكل مباشر ولكن عن طريق نظام المولد.

$^{99}\text{Mo} (2.7 \text{ d}) \rightarrow ^{99\text{m}}\text{Tc} (6 \text{ h})$

☐ يوجد منتج مهم آخر للتشخيص والعلاج هو ^{131}I .

إنتاج النوى المشعة في المسرعات

إنتاج النوى المشعة في المسرعات

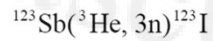
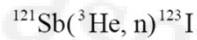
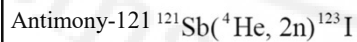
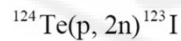
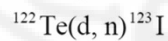
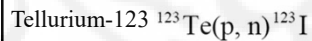
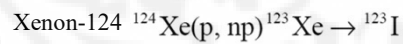
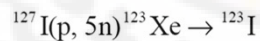
تفاعلات الجسيمات المشحونة

❑ تحتاج الجسيمات المشحونة إلى

التسريع للتغلب على الحاجز الكولوني.

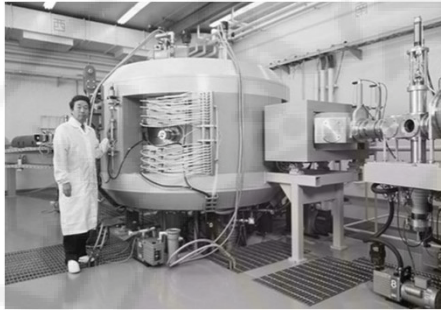
❑ يمكن تسريعها بسهولة إلى طاقات

أعلى من النترونات السريعة في المفاعل، مما يجعل من الممكن فتح المزيد من قنوات التفاعل.



تفاعلات مختلفة مع الجسيمات المشحونة التي تنتج ^{123}I

إنتاج النوى المشعة في المسرعات



مسرعات إنتاج النوى المشعة

❑ تكون أصغر من تلك المستخدمة في تجارب فيزياء الجسيمات.

❑ يتطلب تسريع الجسيمات إلى طاقات منخفضة نسبياً من أجل إنتاج النظائر المشعة.

إنتاج النوى المشعة في المسرعات

خصائص مسرعات إنتاج النوى المشعة

طاقة البروتون (MeV)	الجسيمات المسرعة	التطبيق
10>	جسيم واحد يشكل أساسي p أو d	PET
20-10	عادة p و d	PET
40-30	p و d ، ^3He و ^4He قد يكون متاحاً	PET ، للإنتاج التجاري
500-40	عادة p فقط	غالباً ما يتم وضعها في المراكز الوطنية ولديها العديد من المستخدمين

إنتاج النوى المشعة في المسرعات

مزايا إنتاج المسرع

- ☐ من السهل عادة الحصول على التفاعلات التي تختلف فيها العناصر المنتجة عن الهدف.
- ☐ وبالتالي، يمكن الحصول على نشاطية محددة عالية (والذي يعد هاماً من أجل وسم الجزيئات الحيوية).

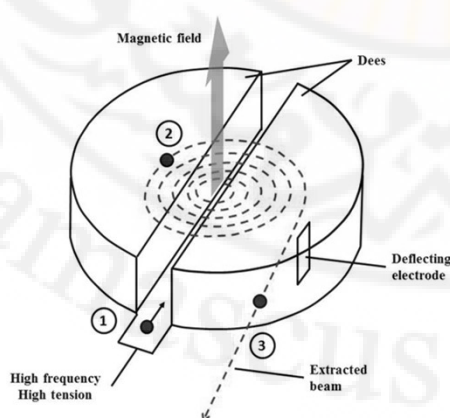
إنتاج النوى المشعة في المسرعات

سلبيات إنتاج المسرع

- ☐ يتم إيقاف الجسيمات المشحونة بكفاءة أعلى من النترونات.
- وبالتالي سوف تتبخر الأهداف إذا لم يتم تبريدها بكفاءة.
- ☐ يحدث التسارع في الفراغ بينما يتم تشعيع الهدف عند الضغط الجوي أو أعلى منه (من أجل الأهداف الغازية).
- من أجل فصل الفراغ عن الهدف تخترق الحزمة الرقائق التي يتم تنشيطها أيضاً.

إنتاج النوى المشعة في المسرعات السيكلترون ، مبدأ العمل ، الأيونات السالبة والموجبة

إنتاج النوى المشعة في المسرعات
السيكلترون ، مبدأ العمل ، الأيونات السالبة والموجبة

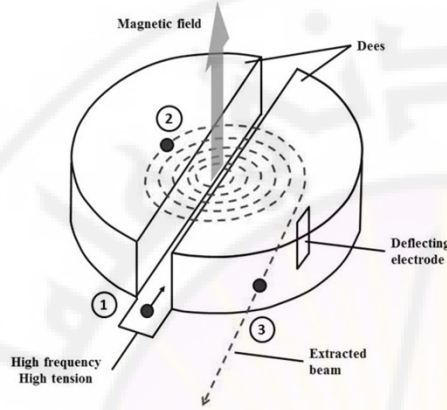


مبدأ السيكلترون (المسرّع الحلقي)

- ☐ ضمن حقل مغناطيسي قوي ناتج عن مغناطيس كهربائي، يتم حقن أيون في الفجوة بين قطبين كهربائيين متقابلين يأخذ كل منهم شكل حرف D (1).
- ☐ يجري تطبيق حقل كهربائي متناوب عبر الفجوة، مما يؤدي إلى تسريع الأيون.

إنتاج النوى المشعة في المسرعات السيكلترون ، مبدأ العمل ، الأيونات السالبة والموجبة

مبدأ السيكلترون



- ☐ القوة المغناطيسية المؤثرة على الشحنة المتحركة تجبرها على الانحناء في مدار دائري (2).
- ☐ يتم تسريع الجسيم المشحون في كل مرة يصل فيها إلى الفجوة نظراً لانعكاس شحنة الحقل الكهربائي المقابل له. تدفع الطاقة العالية الأيون إلى الخارج في دائرة مدار نصف قطره متزايد حتى يخرج منها في النهاية (3).

إنتاج النوى المشعة في المسرعات السيكلترون ، مبدأ العمل ، الأيونات السالبة والموجبة

أنماط استخلاص الحزمة

☐ لا ينطبق

موضع الهدف

☐ الأهداف الداخلية

- تستخدم في المسرعات التجارية ذات التيارات عالية للحزمة

☐ الأهداف الخارجية

- تستخدم في المسرعات ذات تيار الحزمة الأقل من $100\mu A$ (مثل أنظمة PET في المستشفيات)

☐ الأيونات الموجبة

- انحرافات (حقل ثابت)

☐ الأيونات السالبة

- رقائق الكربون لتجريد الإلكترونات

إنتاج النوى المشعة في المسرعات
السيكلترون ، مبدأ العمل ، الأيونات السالبة والموجبة

الاعتبارات التقنية

- ☐ يتم فصل الهدف عن الفراغ بواسطة رقائق معدنية (يجب أن تتحمل فرق الضغط والحرارة المتولدة من طاقة الحزمة).
- ☐ يتم استخدام تدفق من الهيليوم بين الرقائق كعامل تبريد.

إنتاج النوى المشعة في المسرعات
الإنتاج التجاري (الطاقة العالية والمنخفضة)

إنتاج النوى المشعة في المسرعات الإنتاج التجاري (الطاقة العالية والمنخفضة)

الاعتبارات التقنية

- ☐ بالنسبة لطاقة البروتون الأعلى من 30 MeV، تميل الجسيمات إلى أن تكون نسبية.
- ☐ وقد يؤدي استخدام حقل تسريع ثابت التردد إلى خروج الأيونات عن الطور.
- ☐ لذلك تم إدخال أساليب جديدة لتغلب على هذه الآثار.

إنتاج النوى المشعة في المسرعات الإنتاج التجاري (الطاقة العالية والمنخفضة)

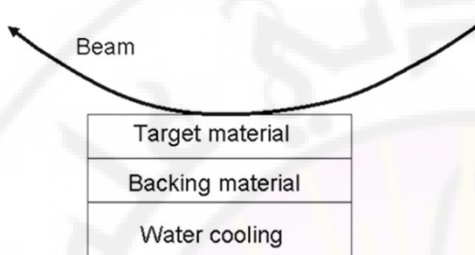
طرق التعويض

- ☐ زيادة الحقل المغناطيسي كتابع لنصف قطر السيكلوترون (isochronic cyclotrons).
- ☐ تخفيض تردد الحقل الكهربائي المتناوب أثناء التسريع (synchrocyclotrons).

إنتاج النوى المشعة في المسرعات
الإنتاج التجاري (الطاقة العالية والمنخفضة)

استخدام الأهداف الداخلية

- ☐ تستخدم في معظم المسرعات التجارية التي يكون تيار الحزمة فيها من مرتبة عدة مللي أمبيرات.
- ☐ يجري تبريد الهدف بالماء، والذي يسهل انتشار الحزمة بمساحة كبيرة.



إنتاج النوى المشعة في المسرعات
الإنتاج التجاري (الطاقة العالية والمنخفضة)

النظائر المشعة المنتجة بالسيكلوترون

- ☐ النظائر المشعة المستخدمة في التصوير المقطعي بإصدار الفوتون الوحيد SPECT
 - ^{67}Ga
 - ^{111}In
 - ^{123}I
 - ^{201}Tl
- ☐ النظائر المشعة المستخدمة في التصوير البوزيتروني PET
 - ^{18}F , ^{11}C , ^{15}O , ^{13}N
 - ^{124}I
 - ^{68}Ge (بشكل أساسي لمولدات ^{68}Ga)
 - ^{52}Fe , ^{61}Cu (تنتج فقط في السيكلوترونات ذوات الطاقة $E > 30\text{ MeV}$)

إنتاج النوى المشعة في المسرعات الإنتاج والمخصص الطاقة والمخصص لتطبيقات التصوير البوزيتروني

إنتاج النوى المشعة في المسرعات الإنتاج والمخصص الطاقة والمخصص لتطبيقات التصوير البوزيتروني

خصائص المسرعات التجارية المخصصة للنظائر المشعة في PET

- ☐ طاقة أقل من 20 ميغا إلكترون فولت
- ☐ تيار الحزمة أقل من $100\mu A$
- ☐ مادة الهدف إما غازية أو من الماء (أهداف خارجية)
- ☐ لا يوجد مشكلة في الفصل
- ☐ يعد اختيار التفاعل الصحيح ومادة الهدف أمراً بالغ الأهمية

إنتاج النوى المشعة في المسرعات الإنتاج والمخصص الطاقة والمخصص لتطبيقات التصوير

التفاعلات النووية المختلفة لإنتاج ^{18}F

$^{20}\text{Ne}(d, \alpha)^{18}\text{F}$	The nascent ^{18}F will be highly reactive. In the noble gas Ne, it will diffuse and stick to the target walls; difficult to extract.
$^{21}\text{Ne}(p, \alpha)^{18}\text{F}$	Same as above; in addition, the abundance of ^{21}Ne is low (0.27%) and needs enrichment.
$^{19}\text{F}(p, d)^{18}\text{F}$	The product and target are the same element; poor specific radioactivity.
$^{16}\text{O}(\alpha, d)^{18}\text{F}$	Cheap target but accelerators that can accelerate α particles to 35 MeV are expensive and not common.
$^{16}\text{O}(d, \gamma)^{18}\text{F}$	Small cross-section and no practical yields can be obtained.
$^{18}\text{O}(p, n)^{18}\text{F}$	Expensive enriched target material but the proton energy is low (low cost accelerator), which makes this the nuclear reaction of choice.

إنتاج النوى المشعة في المسرعات الإنتاج والمخصص الطاقة والمخصص لتطبيقات التصوير

اختيار التفاعل النووي

- ☐ يعد الماء المخصب ^{18}O مادة الهدف المختارة لأن ^{18}O تعد نواة مهيمنة ولا يساهم الهيدروجين في أي نشاط إشعاعي غير مرغوب فيه.
- ☐ عادة لا توجد حاجة لفصل الهدف حيث يمكن استخدام الماء الذي يحتوي على ^{18}F بشكل مباشر في كيمياء الوسم.
- ☐ يمكن أيضا حقن الماء الهدف، بعد تمديده بمحلول ملحي، مباشرة عند المرضى، من أجل على سبيل المثال فحص العظام PET.

إنتاج النوى المشعة في المسرعات الإنتاج والمخصص الطاقة والمخصص لتطبيقات التصوير

مشاكل في العناية ...

☐ تعد الحرارة مشكلة عندما يتم إيقاف الحزمة في بضع مل من الماء الهدف.

☐ الحلول لهذه المشكلة هي:

- استخدام أهداف ذات ضغط عالي تجبر الماء على البقاء سائلاً (تيار الحزمة أقل من $40\mu A$).
- استخدام أهداف غازية وصلبة كي تتحمل تيارات حزمة مرتفعة.

إنتاج النوى المشعة في المسرعات الإنتاج والمخصص الطاقة والمخصص لتطبيقات التصوير

النوى المشعة المستخدمة بكثرة في التصوير البوزيتروني

Radionuclide	Nuclear reaction	Yield (GBq)
Oxygen-15	$^{14}\text{N}(d, n)^{15}\text{O}$ gas target	15
Nitrogen-13	$^{16}\text{O}(p, \alpha)^{13}\text{N}$ liquid target	5
Carbon-11	$^{14}\text{N}(p, \alpha)^{11}\text{C}$ gas target	40
Fluorine-18	$^{18}\text{O}(p, n)^{18}\text{F}$ liquid target	100

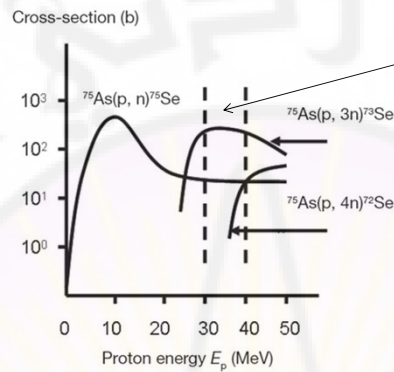
إنتاج النوى المشعة في المسرعات الاستهداف ، تحسين الإنتاج من حيث العائد والشوائب

إنتاج النوى المشعة في المسرعات الاستهداف ، تحسين الإنتاج من حيث العائد والشوائب

- معاملات مهمة للتحكم في إنتاج النظائر المشعة
- ☐ طاقة الجسيمات المدخلة.
 - ☐ سماكة الهدف.
 - ☐ المقاطع العرضية لقناة التفاعل لطاقات الجسيم في الهدف.
 - ☐ 10 ميغا إلكترون فولت طاقة من أجل كل نكلون صادر

إنتاج النوى المشعة في المسرعات الاستهداف ، تحسين الإنتاج من حيث العائد والشوائب

مثال: إنتاج ^{73}Se بواسطة تفاعلات $^{75}\text{As}(p, xn)^{72,73,75}\text{Se}$



الطاقة المثلى لإنتاج ^{73}Se تكون باستخدام طاقة بروتون تبلغ 40 ميغا فولت والتي تنخفض إلى 30 ميغا فولت في الهدف.

إنتاج النوى المشعة في المسرعات الاستهداف ، تحسين الإنتاج من حيث العائد والشوائب

شوائب النوى المشعة غير المرغوب فيها

- ☐ عند الطاقة المنخفضة، هناك إنتاج غير مرغوب فيه لـ ^{75}Se ، وإذا تم استخدام طاقة بروتون عالية بشكل مفرط، يتم إنتاج شوائب أخرى غير مرغوب فيها أيضاً من النوى المشعة، وهي ^{72}Se .
- ☐ يمكن تجنب إنتاج هذه الشوائب الأخيرة تماماً عن طريق تقييد طاقة البروتون إلى طاقة أقل من عتبة تفاعل $(p, 4n)$.

إنتاج النوى المشعة في المسرعات الاستهداف ، تحسين الإنتاج من حيث العائد والشوائب

التقليل من إنتاج الشوائب

❑ لا يمكن تجنب الشوائب الناتجة عن تفاعل (p, n) ولكن يمكن تقليلها باستخدام سماكة مناسبة للهدف والتي تمنع طاقات البروتون المنخفضة (ذات المقاطع العرضية المرتفعة للتفاعلات (p, n)).

مولدات النوى المشعة

مولدات النوى المشعة

تعريف مولد النوى المشعة

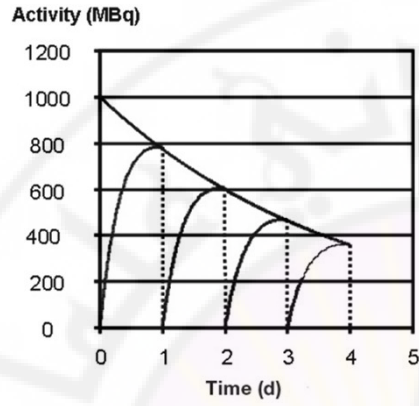
- ☐ عندما تتحلل نواة مشعة (الأم) إلى نواة مشعة أخرى (ابنة)، فإن هذا يسمى مولد النوى المشعة.
- ☐ عادة ما يتم النظر في حالة خاصة حيث تلد الأم طويلة العمر ابنة قصيرة العمر، والتي يتم إعطاؤها للمريض بعد الوسم المناسب لها.

مولدات النوى المشعة

المولدات المستخدمة في الطب النووي

- ☐ يتم إنتاج العديد من النوى المشعة المستخدمة في الطب النووي بواسطة أنظمة المولدات مثل مولد ^{99}Mo لإنتاج $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ، والذي يتحلل لاحقاً إلى ^{99}Tc .
- ☐ يكون عمر النصف للوالد (2.7 يوم) وهو مناسب للنقل والتسليم، أما عمر النصف للابنة (6 ساعات) ويكون مناسب لتصوير المريض.

مولدات النوى المشعة



شطف مولد $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$
 يتم شطف $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ذو النشاطية
 القريبة من نشاطية العنصر الأم
 ^{99}Mo يومياً.
 بعد الشطف، ستكون النشاطية
 صفر تقريباً ولكن مع مرور
 الوقت، سيتولد $^{99\text{m}}\text{Tc}$ من تفكك
 ^{99}Mo وستكون النشاطية مرة
 أخرى قريبة من نشاطية ^{99}Mo
 في اليوم التالي.

مولدات النوى المشعة

مبدأ عمل مولدات النوى المشعة

مولدات النوى المشعة

مبدأ عمل مولدات النوى المشعة

خصائص أنظمة المولدات

- ☐ تتطلب أنظمة المولدات القدرة على الإنتاج المتكرر لنواة مشعة مفيدة في التطبيقات الطبية النووية وجود نواة مشعة (الأم) ذات عمر النصف الطويل بالنسبة للنواة المشعة البنت.
- ☐ عادة ما يتم إنتاج النواة الأم بواسطة مفاعل أو مسرع،
- ☐ يجب فصل النواة المشعة البنت بسهولة عن النواة الأم
- ☐ يمكن استخدام نظام المولد أيضاً عندما تكون النواة الأم أقصر عمراً من النواة البنت ولكن ليس بشكل متكرر.

مولدات النوى المشعة

مبدأ عمل مولدات النوى المشعة

فصل النوى المشعة عن المولد

- ☐ تستخدم معظم المولدات في الطب النووي أعمدة التبادل الأيوني نظراً لبساطتها في التعامل معها.
- ☐ في مولد $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ ، يتم ادمصاص ^{99}Mo على الألومنيوم.
- ☐ يؤدي شطف ^{99}Mo المثبت على العمود بواسطة المحلول الملحي الفسيولوجي إلى إزالة $^{99\text{m}}\text{Tc}$ القابل للذوبان في بضعة مليمترات من السائل.

مولدات النوى المشعة

مبدأ عمل مولدات النوى المشعة

المولدات المهمة في تطبيقات الطب النووي

الطب النووي العام	$^{99}\text{Mo}-^{99\text{m}}\text{Tc}$	☐
وسم الببتيدات	$^{68}\text{Ge}-^{68}\text{Ga}$	☐
المعالجة بجسيمات بيتا	$^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$	☐
الدراسات التنفسية والقلبية	$^{81}\text{Rb}-^{81\text{m}}\text{Kr}$	☐
التصوير البوزيتروني	$^{82}\text{Sr}-^{82}\text{Rb}$	☐
المعالجة بجسيمات ألفا	$^{225}\text{Ac}-^{213}\text{Bi}$	☐

المراجع

محاضرة مقتبسة من العروض التقديمية المرافقة لكتاب
 فيزياء الطب النووي - الدليل الشامل للأساتذة والطلاب
 من منشورات الوكالة الدولية للطاقة الذرية
 ISBN (2-143810-0-92-978)



كلية العلوم الصحية

الكواشف الإشعاعية

الدكتور المهندس يحيى لحفي

2023-2022

3

المحتوى

- ❑ مقدمة
- ❑ مواد ومبدأ عمل الكواشف الإشعاعية
- ❑ الكواشف الغازية
- ❑ حجيرات التأين
- ❑ العدادات التناسبية
- ❑ أنبوب غايغر مولر
- ❑ الكواشف الومضانية
- ❑ كواشف وميض السائل
- ❑ الكواشف الأخرى
- ❑ كواشف أنصاف النواقل
- ❑ الأفلام الشعاعية - كواشف التآلق الحرارية
- ❑ معايرة أجهزة القياس

د.م. يحيى لحفي

مقدمه

- ▶ تعد الكواشف ركيزة أساسية في جميع الممارسات المتعلقة بالإشعاع المؤين
- ▶ تعد معرفة إمكانات الأجهزة بالإضافة إلى حدودها أمراً ضرورياً للتفسير الصحيح للقياسات

د.م. يحيى لحفي

مواد الكواشف الإشعاعية

- ▶ أي مادة تبدي أثر قابل للقياس عند تعرضها للإشعاع المؤين يمكن أن تكون كاشفاً إشعاعياً.
 - ▶ تغيير الألوان
 - ▶ التغيرات الكيميائية
 - ▶ انبعاث الضوء المرئي
 - ▶ الشحنة الكهربائية
 - ▶
- ▶ تصنف الكواشف الإشعاعية إلى:
 - ▶ الكواشف الفعالة Active detectors: تعطي قياس فوري للأثر المتعلق بالإشعاع.
 - ▶ الكواشف المنفعلة Passive detectors: تحتاج إلى معالجة قبل القراءة

5

د.م. يحيى لحفي

مبدأ عمل الكواشف الإشعاعية

▶ الكواشف الغازية

- ▶ حجيرات التأين
- ▶ العدادات التناسبية
- ▶ أنابيب غايغر - مولر

Geiger Müller (GM) - tubes

▶ الكواشف الومضانية

- ▶ الصلبة
- ▶ السائلة

▶ الكواشف الأخرى

- ▶ كواشف أنصاف النواقل
- ▶ الأفلام
- ▶ كواشف التآلق الحراري
- ▶ Thermoluminescence detectors (TLD)

6

د.م. يحيى لحفي

أنماط الكواشف الإشعاعية

أنماط الكواشف الإشعاعية



7

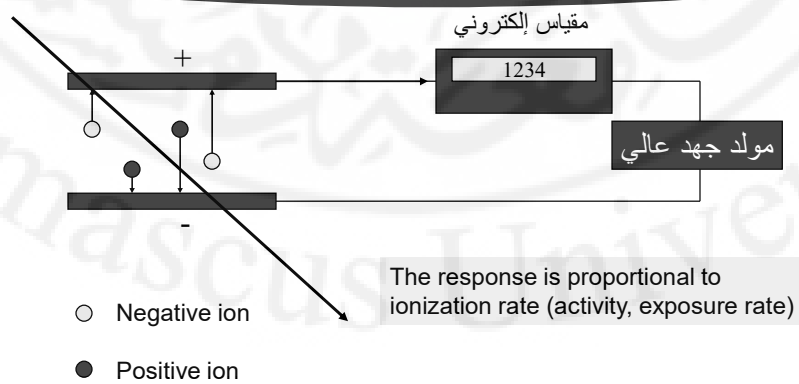
د.م. يحيى لحفي

الكواشف الغازية

8

د.م. يحيى لحفي

حجيرات التأين



9

د.م. يحيى لحفي

حجيرات التأين: تطبيقات في الطب النووي

- Activity Meter مقياس النشاطية
- Monitoring Instruments/
Survey Meters أجهزة المراقبة و/أو المسح الإشعاعي

10

د.م. يحيى لحفي

حجيرات التأين: الخصائص العامة

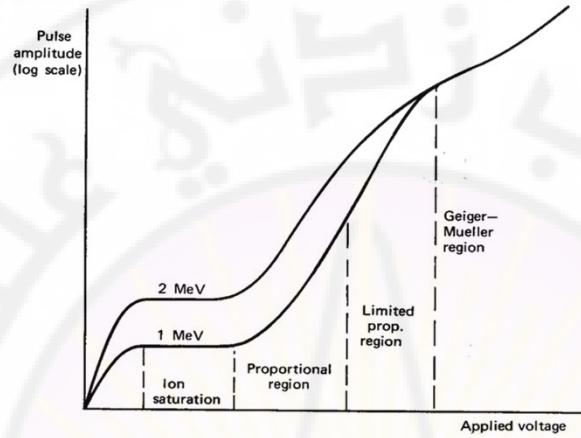
- High accuracy
- Stable
- Relatively low sensitivity
- دقة عالية
- استقرارية
- حساسية منخفضة نسبياً

11

د.م. يحيى لحفي

12

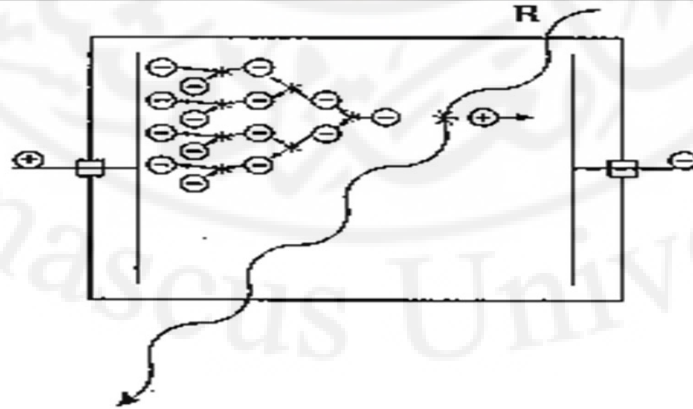
مناطق العمل في الكواشف الغازية



يوضح الشكل عدد الأزواج الأيونية وبالتالي فإن حجم الإشارة المتولدة في الكاشف الغازي يعتمد على الجهد المطبق

د.م. يحيى لحفي

العدادات التناسبية



يوجد تضاعف بأحداث الناتجة عن الأيونات الثانوية والتي تتناسب مع الجهد المطبق وكذلك مع عدد الأيونات الأولية التي يحدثها الجسيم أو الفوتون.

د.م. يحيى لحفي

13

العدادات التناسبية: تطبيقات في الطب النووي

- أدوات المراقبة
- Monitoring Instruments

14

د.م. يحيى لحفي

العدادات التناسبية: الخصائص العامة لها في أجهزة المراقبة

- حساسية أعلى بقليل من حجيرة التأين
- تستخدم من أجل الجسيمات والفوتونات منخفضة الطاقة
- A little higher sensitivity than the ionization chamber
- Used for particles and low energy photons

15

د.م. يحيى لحفي

16

مبدأ عمل أنبوب غايغر مولر

يتسبب الجسيم الواحد في إحداث تأين كامل

د.م. يحيى لحفي

17

مبدأ عمل أنبوب غايغر مولر

- في أنبوب GM، يتم وضع حقل كهربائي عالٍ جدًا بالقرب من القطب المركزي الرقيق.
- يتسبب التأين الأولي في حدوث سيل من التأينات الثانوية.
- في هذه العملية سيكون هناك انبعاث لفوتونات من الأشعة فوق البنفسجية ذات طاقة عالية بما يكفي لإحداث تأينات جديدة.
- ستكون النتيجة تفريغًا كاملاً للكاشف يولد نبضة كهربائية يمكن قياسها دون الحاجة لأي تضخيم إضافي.

د.م. يحيى لحفي

أنبوب غايغر مولر: تطبيقات في الطب النووي

- أجهزة مراقبة التلوث
- Contamination Monitor
- قياس الجرعات الإشعاعية (إذا تمت معايرته)
- Dosemeter (if calibrated)

18

د.م. يحيى لحفي

أنبوب غايغر مولر: الخصائص العامة

- حساسية عالية
- High Sensitivity
- دقة منخفضة
- Lower Accuracy

د.م. يحيى لحفي

Scintillation Detectors

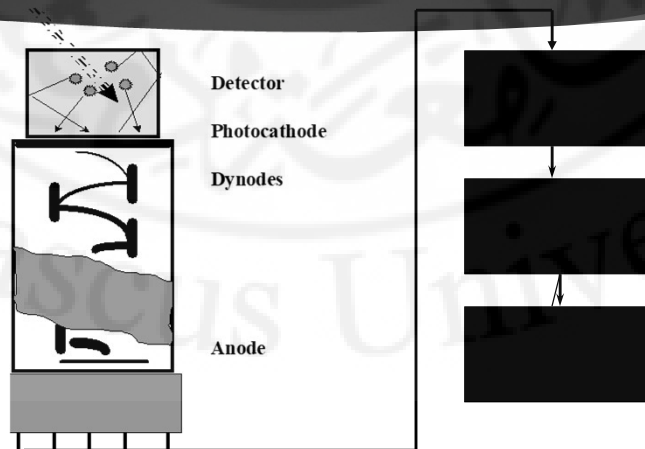
الكواشف الومضانية

20

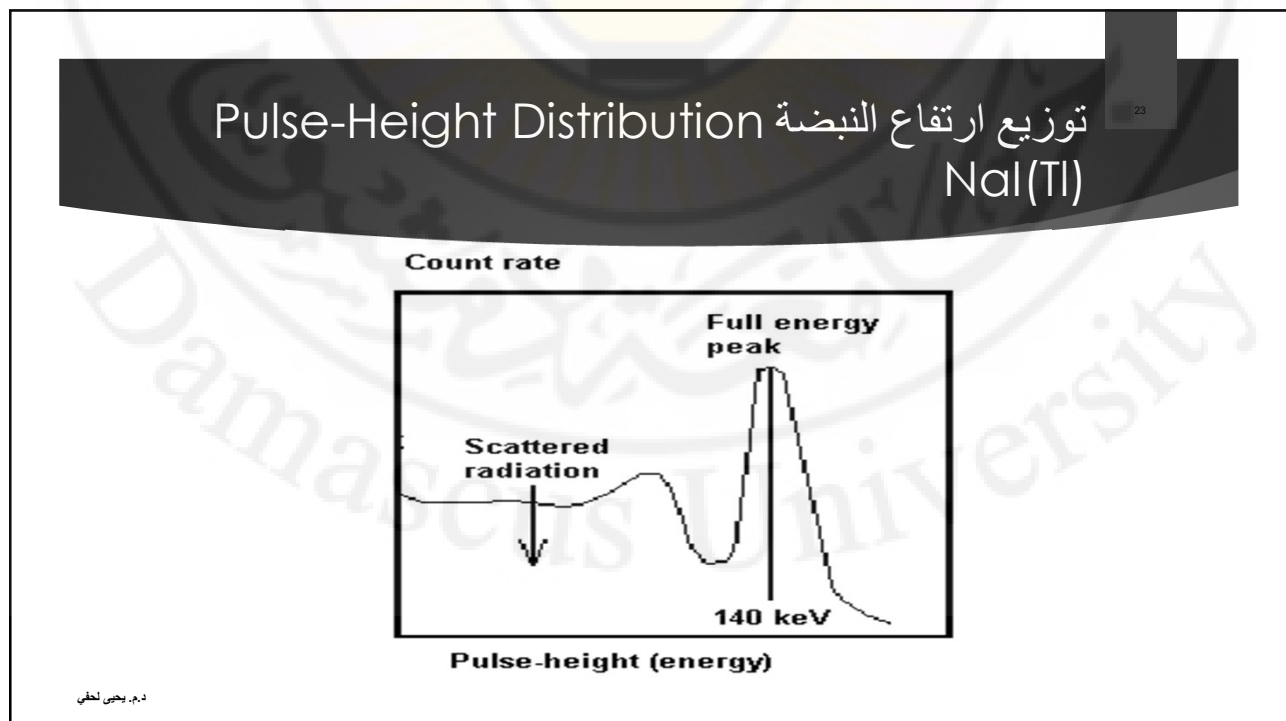
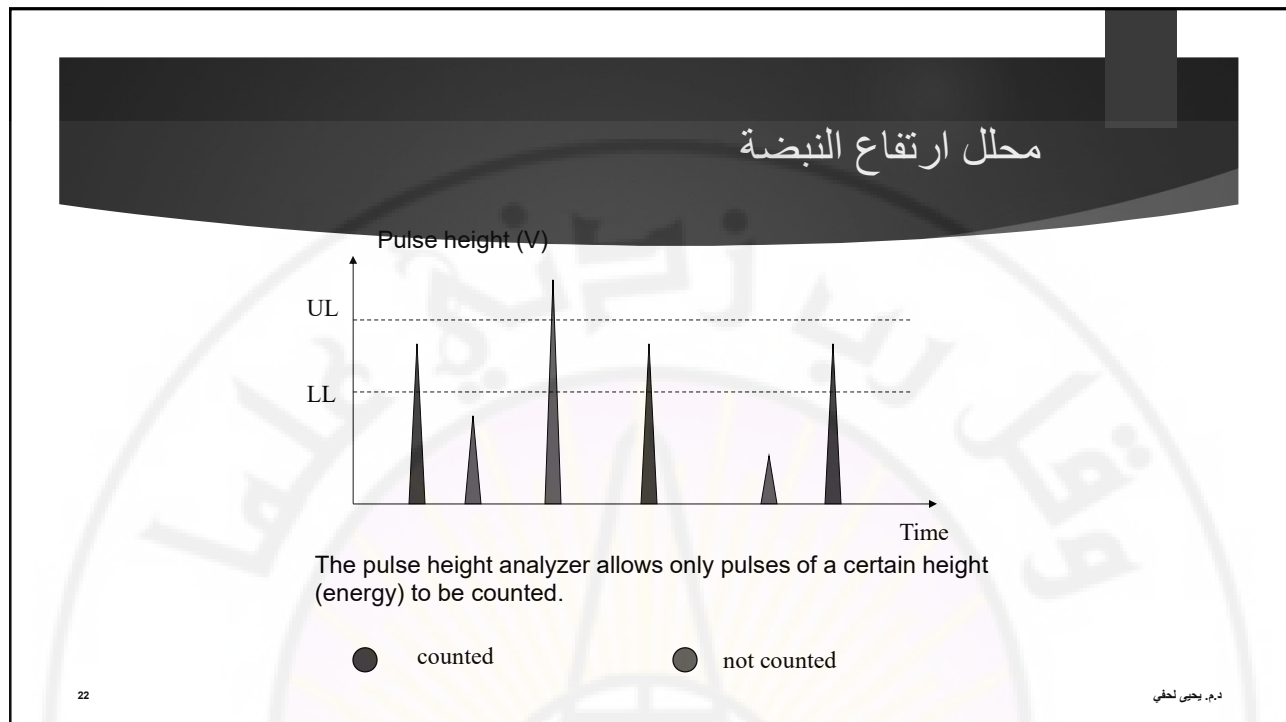
د.م. يحيى لحفي

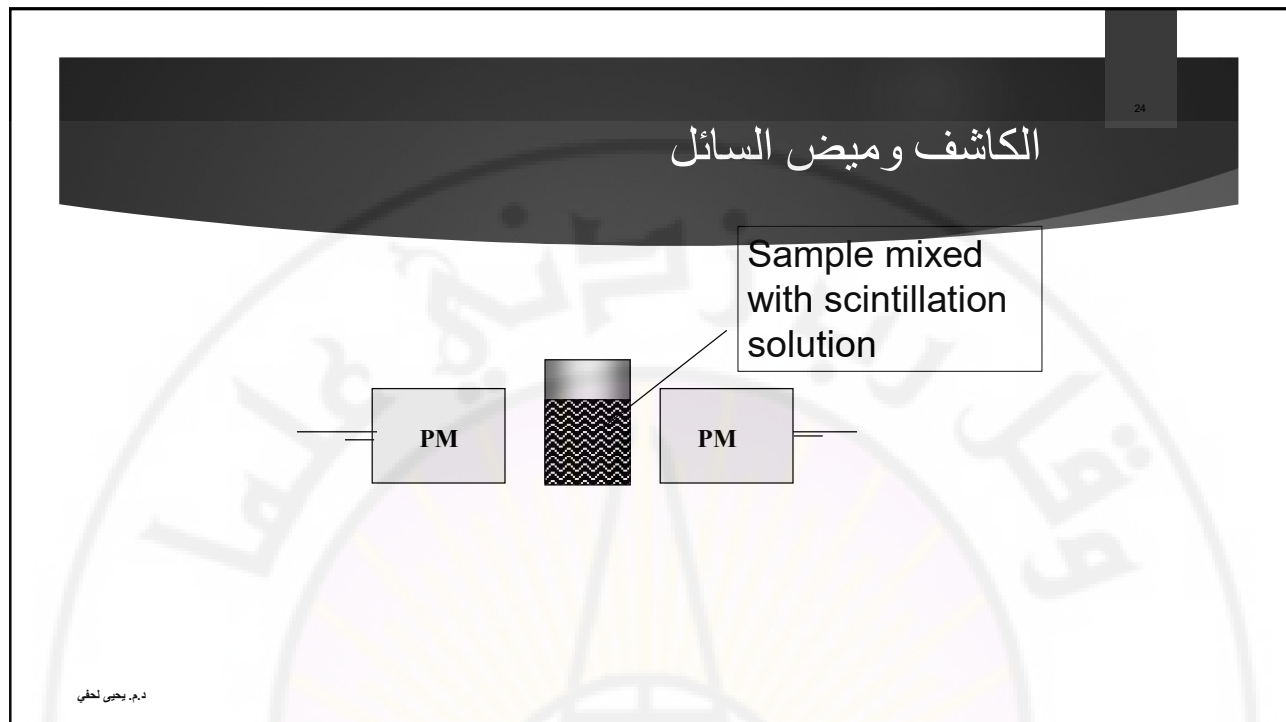
الكواشف الومضانية

21



د.م. يحيى لحفي





25

الكواشف الومضانية: تطبيقات في الطب النووي

- عدادات العينة
- أنظمة أحادية ومتعددة المجسات
- أدوات المراقبة
- كاميرا جاما
- ماسحات التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني
- Sample counters
- Single- and multi-probe systems
- Monitoring instruments
- Gamma camera
- PET Scanners

د.م. يحيى لحفي

Other Detectors

كواشف أخرى

26

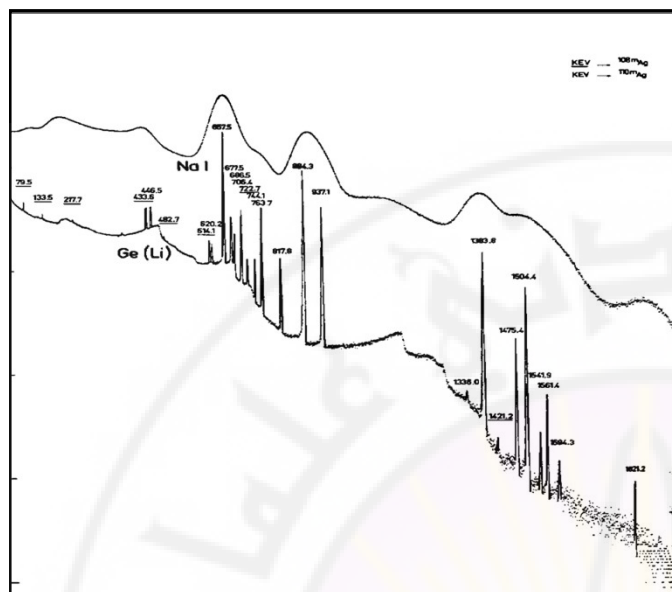
د.م. يحيى لحفي

كواشف أنصاف النواقل كمطيافية

- ▶ كاشفات الجرمانيوم الصلب أو كاشفات Ge (Li)
- ▶ المبدأ: أزواج ثقب -إلكترون (مماثلة لأزواج الأيونات في أجهزة الكواشف الغازية)
- ▶ دقة تميز طاقة ممتازة

27

د.م. يحيى لحفي



كواشف أنصاف النواقل

► التفسير الأفضل لدقة التمييز الطاقية في كاشف أنصاف النواقل هو أن الطاقة اللازمة لإنشاء زوج ثقب أيوني أقل بكثير من الطاقة اللازمة لإنتاج فوتون ضوئي في كاشف الوميض. وبالتالي ستكون التقلبات الإحصائية وعرض ذروة الطاقة الكاملة أقل بكثير.

كواشف أنصاف النواقل: تطبيقات في الطب النووي

- Identification of nuclides
- Control of radionuclide purity

- التعرف على النوى
- ضبط عملية كشف نقاء النوى المشعة

الأفلام الشعاعية



د.م. يحيى لحفي

- ▶ المبدأ: مماثل لمبدأ أفلام التصوير الشعاعية
- ▶ حبيبات هاليد الفضة الموجودة في أي فيلم فوتوغرافي عادي ، تتطور إلى الفضة المعدنية عن طريق التغيرات الناتجة عن التشعيع.
- ▶ التطبيق في الطب النووي: مقياس الجرعات الشخصي

الأفلام الشعاعية

- ▶ تتطلب معالجة --- مشاكل في إعادة الإنتاج
- ▶ مقياس جرعة ثنائي البعد
- ▶ دقة مكانية عالية
- ▶ عدد ذري مرتفع -> اختلافات في الاستجابة تبعاً لجودة الإشعاع

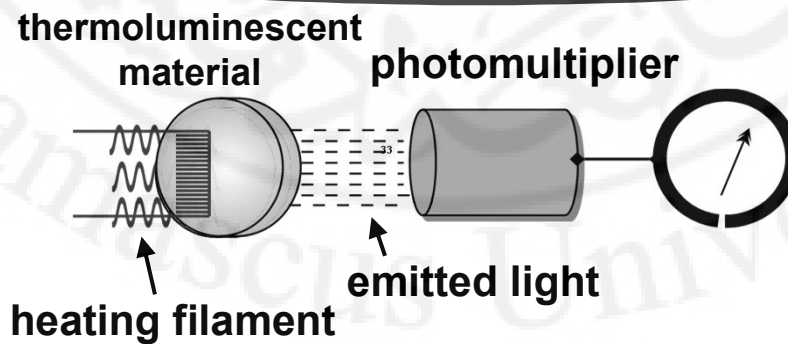
الأفلام الشعاعية

- يتكون الفيلم الإشعاعي عادةً من قاعدة بوليستر شفافة مغطاة على أحد الوجهين أو كليهما بمستحلب حساس للإشعاع.
- تتكون الطبقة الحساسة عادةً من بلورات هاليد الفضة (الأكثر شيوعاً بروميد) (قطرها 0.2 - 2 مم) مدمجة في الجيلاتين.
- يتسبب امتصاص الإشعاع المؤين في التفاعل

32

د.م. يحيى لحفي

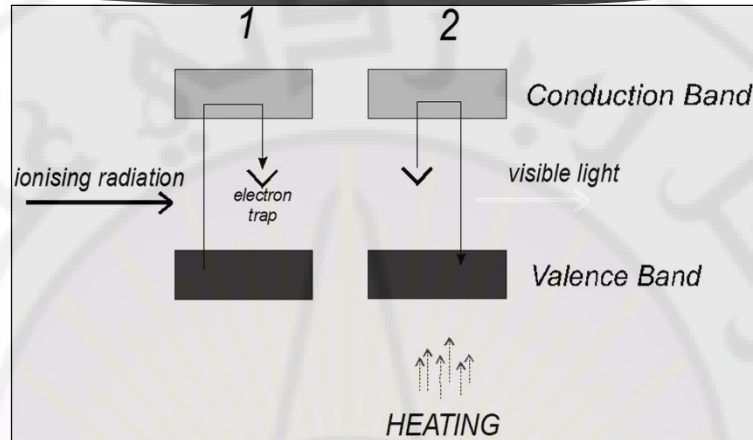
مبدأ عمل كواشف التآلق الحراري TLD



مقاييس جرعات التآلق الحراري (TLDs) هي بلورات يمكنها تخزين بعض الطاقة المودعة فيها بواسطة الإشعاع المؤين في شكل قابل للاسترجاع.

د.م. يحيى لحفي

مبدأ عمل كواشف التآلق الحراري TLD



د.م. يحيى لحفي

كواشف التآلق الحراري TLD

- ▶ ينبعث الضوء المنبعث عن الكاشف بشكل يتناسب مع الإشعاع الممتص فيه،
- ▶ يختلف ثابت التناسب باختلاف طاقة الإشعاع ، والجرعة الإجمالية ، ومواد TLD
- ▶ يتم استخدام TLD في الغالب كطريقة نسبية لقياس الجرعات حيث يتم من خلالها مقارنة الجرعة المراد تحديدها بجرعة معروفة مماثلة تُعطى لنفس كاشف TL أو مماثل له.
- ▶ تتمتع TLDs بمزايا الحجم المادي الصغير وعدم الحاجة إلى الكابلات أثناء التشعيع.
- ▶ على هذا النحو فهي مناسبة بشكل خاص للقياسات داخل مكافئات الأجسام الصلبة وقياس الجرعات في الجسم الحي.
- ▶ تتمثل العيوب الرئيسية في التأخير الزمني بين التشعيع وعملية القراءة بالإضافة إلى تعقيد عملية تهيئة TLD بالكامل.

35

د.م. يحيى لحفي

Thermoluminescence Dosimetry (TLD)

- ▶ Small crystals
 - ▶ Tissue equivalent
 - ▶ Passive dosimeter - no cables required
 - ▶ Wide dosimetric range (μGy to 100s of Gy)
 - ▶ Many different applications
- ▶ كريستالات صغيرة
 - ▶ مكافئة للنسج الحية
 - ▶ مقياس الجرعات منفعل - لا يتطلب وجود كبلات
 - ▶ مدى واسع لقياس الجرعات من μGy حتى 100s منها
 - ▶ تطبيقات مختلفة عديدة

36

د.م. يحيى لحفي

كواشف التألق الحراري: تطبيقات في الطب النووي

- قياسات الجرعة الشخصية (جسم , أصابع...)
- قياسات خاصة

د.م. يحيى لحفي

38

عمل كواشف التألق الحراري: السلبيات

السلبيات:

- استهلاك الوقت
- لا يوجد سجل دائم

د.م. يحيى لحفي

39

كيفية معايرة أجهزة القياس

- يوضع المقياس ضمن الشروط المرجعية للمعايرة
Calibration Reference Conditions (CRC)
(نوع وطاقة الإشعاع، المسافة من المصدر إلى الكاشف SDD، المعدل،)
- مقارنة استجابة الجهاز المطلوب معايرته مع استجابة جهاز آخر (يعطي استجابة مطلقة أو معيار).
- الحصول على عامل المعايرة

$$F = \frac{\text{استجابة جهاز مرجعي}}{\text{استجابة الجهاز المطلوب معايرته}}$$

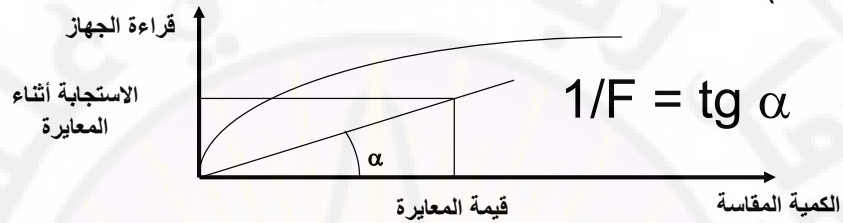
معامل المعايرة

د.م. يحيى لحفي

40

مجال الاستعمال

- بفرض أن قراءة جهاز القياس هي تابع معين معروف للكمية المقاسة (وتكون عادة خطية ضمن المجال المحدد للقياس)

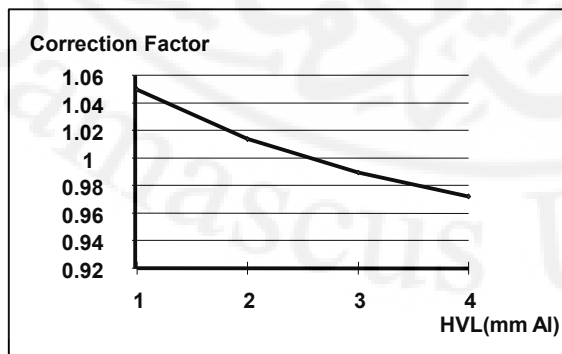


- القيمة المقاسة بجهاز القياس عند شروط المعايرة المرجعية وضمن مجال الاستعمال تحدد بالعلاقة:
 $Q = F \text{ (قراءة الجهاز)} \times R \text{ (معامل المعايرة)}$

د.م. يحيى لحفي

41

معاملات التصحيح عند الاستخدام خارج شروط المعايرة المرجعية



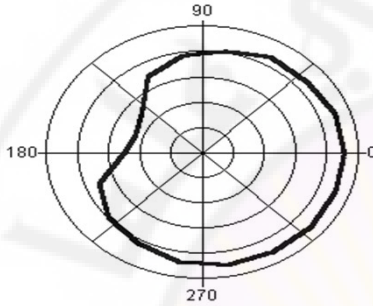
1- معامل تصحيح الطاقة

د.م. يحيى لحفي

42

معاملات التصحيح عند الاستخدام خارج شروط المعايرة المرجعية

2- معامل تصحيح الاتجاه



د.م. يحيى لحفي

43

معاملات التصحيح عند الاستخدام خارج شروط المعايرة المرجعية

3- معامل تصحيح كثافة الهواء لحجرة التأين

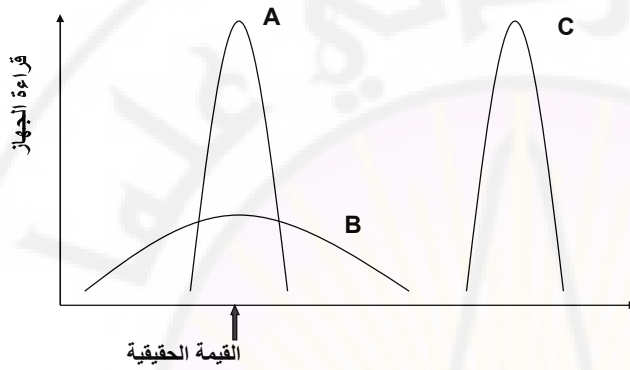
$$K_D = \frac{p_0 (t + 273)}{p (t_0 + 273)}$$

p_0, t_0 القيم العيارية

د.م. يحيى لحفي

44

الدقة Accuracy والإحكام precision في جهاز مُعاير

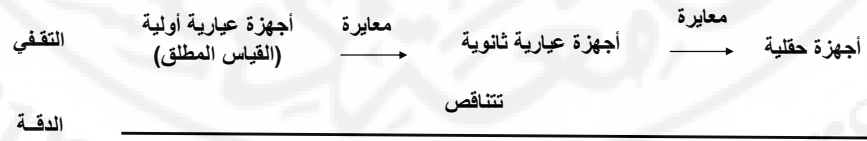


المنحني A: الجهاز يتمتع بالدقة والإحكام
 المنحني B: الجهاز يتمتع بالدقة وليس بالإحكام
 المنحني C: الجهاز يتمتع بالإحكام وليس بالدقة

د.م. يحيى لحفي

45

الدقة Accuracy والإحكام precision في جهاز مُعاير



$$r_q \geq 2r_{RC}^2 + r_{RR}^2$$

الخطأ النسبي المرافق لكمية الجرعة المقاسة Q:

حيث:

 r_{RC} هو الخطأ النسبي في قراءة الجهاز المعيار r_{RR} هو الخطأ النسبي في قراءة جهاز القياس

د.م. يحيى لحفي

46

مقياس الجرعة: حجرة التأين



د.م. يحيى لحفي

47

حجيرات التأين

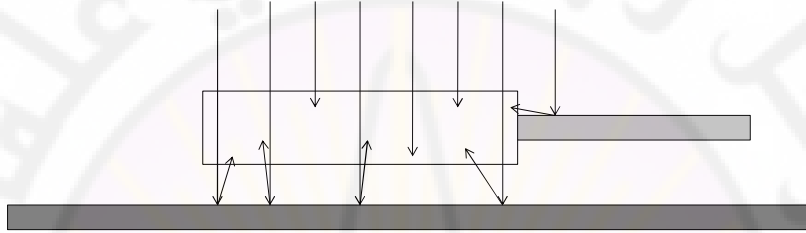
- تجمع الأيونات الناتجة عن تفاعلات فوتونات الأشعة السينية في الهواء.
- تماثل ذرات الأوكسجين (8) O والنيتروجين (7) N الموجودة في الهواء ذرات الأوكسجين (8) O والكربون (6) C الموجودة في الأنسجة من حيث أعدادها الذرية.
- تكون تفاعلات الفوتونات في الهواء والأنسجة متماثلة.
- تستخدم حجيرات التأين الكبيرة لقياس الجرعات الإشعاعية المنخفضة والتي تنتج شحنات كهربائية قليلة.

د.م. يحيى لحفي

48

حجيرات التأين

تتكون حجيرات التأين من جدران رقيقة تسمح بالكشف عن الأشعة من جميع الجهات.



د.م. يحيى لحفي

49

الكواشف نصف الناقلة



❖ تتثير فوتونات الأشعة السينية الإلكترونات في أنصاف النواقل.

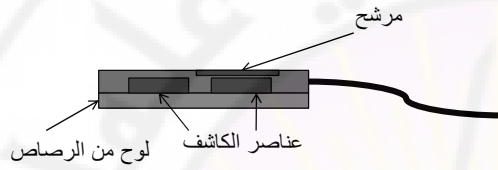
❖ تمتلك ذرة السيليسيوم (Si) 14 عدداً ذرياً أعلى من الكربون (C) 6

❖ وبالتالي تختلف تفاعلاتها المعتمدة على طاقة الفوتونات مقارنة بتفاعلاتها ضمن الأنسجة.

د.م. يحيى لحفي

50

الكواشف نصف الناقلة

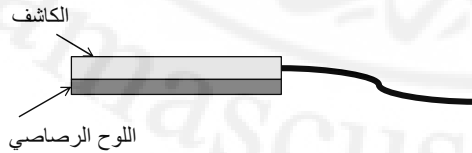


د.م. يحيى لحفي

- ❖ يتطلب الحصول على استجابة مع طاقة الفوتون باستخدام عنصرين أو أكثر للكاشف الواحد.
- ❖ يوضع عنصر واحد أو أكثر خلف طبقة ترشيح معدنية رقيقة.
- ❖ تجمع قراءات عناصر الكاشف باستخدام خوارزمية لإعطاء استجابة مشابهة لطاقة الفوتون في النسيج

51

الكواشف نصف الناقلة

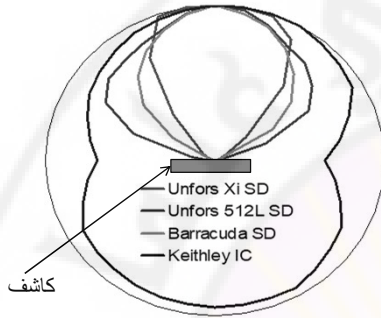


د.م. يحيى لحفي

- ❖ توضع المرشحات أمام عناصر الكاشف
- ❖ توضع الكواشف على لوح من الرصاص لتخميد الأشعة الساقطة المرتدة والتي يمكن أن تغير من نسبة الأشعة الساقطة على عناصر الكاشف
- ❖ يؤثر اللوح الرصاصي بالتالي على الاستجابة الزاوية للكواشف

52

مخطط الاستجابة القطبية لأنواع المختلفة من الكواشف الإشعاعية



تؤثر الاستجابة الزاوية للكواشف على قياسات الجرعة الإشعاعية

- حجيبة تأين (IC) Keithley
 - كواشف نصف ناقلة (SDs) Unfors Xi, 512L
- تتوضع كواشف Unfors Xi, 512L على لوح رصاص

د.م. يحيى لحفي



كلية العلوم الصحية

النظائر المشعة في الطب النووي

الدكتور المهندس يحيى لحفي

2023-2022

3

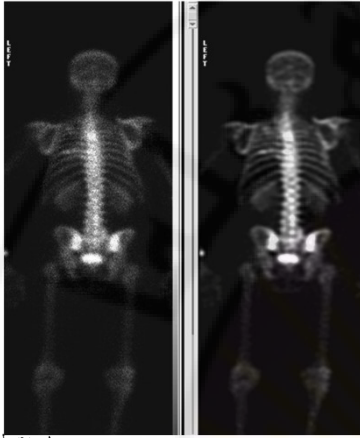
المحاور الرئيسية

- ▶ الطب النووي وأهدافه
- ▶ المواد الصيدلانية المشعة
- ▶ مولدات المواد الصيدلانية المشعة
- ▶ حساب النشاطية المطلوبة
- ▶ مولد التكنيشيوم ^{99m}Tc
- ▶ مقياس النشاطية: المبدأ - ضبط الجودة
- ▶ أجهزة المسح الإشعاعي والعدادات المستعملة في الطب النووي

د.م. يحيى لحفي

4

ما هو الطب النووي؟



- ▶ الطب النووي هو تخصص طبي يستخدم المواد المشعة من أجل تشخيص وعلاج الأمراض من خلال توثيق وظيفة جهاز ما و أو هيكله.
- ▶ يستخدم كميات صغيرة نسبياً من المواد المشعة القادرة على التوضع في أعضاء محددة أو أنسجة معينة.

د.م. يحيى لحفي

5

ما هو الطب النووي؟

- ▶ يمكن الكشف عن معظم المواد المشعة المستخدمة في إجراءات الطب النووي خارجياً باستخدام أجهزة الكشف الخاصة بها
- ▶ كاميرات غاما، ماسحات التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني.
- ▶ تعمل هذه الكواشف جنباً إلى جنب مع أجهزة الحاسب لتكوين صور تعطي بيانات ومعلومات حول العضو أو منطقة الجسم المصورة.
- ▶ إن جرعة الإشعاع التي يتم تلقيها من إجراء الطب النووي التشخيصي مماثلة لتلك المتلقاة من بعض فحوصات الأشعة السينية التشخيصية

د.م. يحيى لحفي

6

ما هو الطب النووي؟

- ▶ هناك ما يقرب من 100 إجراء تصوير مختلف للطب النووي قيد الاستخدام اليوم ، بما في ذلك: -.
- ▶ تشخيص وعلاج فرط نشاط الغدة الدرقية.
- ▶ اختبارات الإجهاد القلبي لتحليل وظائف القلب.
- ▶ مسح العظام للنمو المنتشر.
- ▶ مسح الرئة لجلطات الدم.
- ▶ إجراءات الكلى والكبد والمرارة لتشخيص الوظائف الغير طبيعية أو الانسدادات فيها.

د.م. يحيى لحفي

7

أهداف الطب النووي

- ▶ بالنسبة لإجراءات التشخيص فالهدف هو:
- ▶ الحصول على البيانات السريرية المتعلقة بتوزيع المادة المشعة التي تعكس مزيجاً من تدفق الدم ونفاذية الشعيرات الدموية والطرح من الأنسجة
- ▶ تشكيل صور توزيع النشاطية لتحديد وظيفة العضو الهدف (على سبيل المثال ، تحديد تدفق الدم الدماغي ، وظيفة البطين ، امتصاص الغدة الدرقية).
- ▶ بالنسبة للإجراءات العلاجية الهدف هو:
- ▶ إعطاء جرعة الإشعاع الموصوفة للأنسجة المستهدفة للحصول على التأثير المطلوب (على سبيل المثال تقليل حجم الورم).

د.م. يحيى لحفي

8

الاستخدامات الشائعة للمواد الصيدلانية المشعة

- ▶ النظير المشع الأول المستخدم في إجراءات الطب النووي التشخيصية هو Technetium-99m (^{99m}Tc).
- ▶ النظير المشع الأول المستخدم في إجراءات الطب النووي العلاجي هي اليود (^{131}I).

د.م. يحيى لحفي

المصادر المفتوحة المستعملة في الطب النووي Unsealed sources in nuclear medicine

Nuclide	Half-life	Decay	Particle energy (max) (MeV)	Photon energy (MeV)	Max activity (MBq)
H-3	12.4 y	β^-	0.016 (100%)	-	10
C-14	5730 y	β^-	0.156 (100%)	-	0.5
Na-24	15 h	β^-	1.39 (100%)	1.37 (100%) 2.75 (100%)	1
S-35	87.2 d	β^-	0.17 (100%)	-	8
K-42	12.45 h	β^-	2.0 (18%) 3.6 (82%)	1.52 (18%)	1
K-43	22 h	β^-	0.47 (8%) 0.83 (87%) 1.24 (3.5%)	0.370 (85%) 0.390 (18%) 0.610 (81%)	1
Ca-45	163 d	β^-	0.25 (100%)	-	0.8
Ca-47	4.5 d	β^-	0.66 (83%)	0.480 (6%)	0.8
Cr-51	27.8 d	EC	(100%)	0.323 (8%)	5
Fe-59	45 d	β^-	0.27 (46%) 0.46 (53%) more	1.10 (56%) 1.29 (44%) more	0.05
Co-57	270 d	EC	(100%)	0.122 (88%) 0.136 (10%)	0.3
Co-58	71 d	EC β^-	(85%) 0.47 (15%)	0.81 (101%) 0.51 (30%)	0.3
Cu-64	12.8 h	β^- β^- EC	0.57 (38%) 0.66 (19%) (43%)	0.51 (38%) more	20
Zn-65	64 d	EC, β^-	(98.5%) 0.33 (1.5%)	1.115 (51%)	0.5
Se-75	121 d	EC	(100%)	0.140 (54%) 0.270 (56%) more	0.4
I-125	60 d	EC	(100%)	0.035 (8%) X (138%)	5

د.م. يحيى لحفي

المصادر المفتوحة المستعملة في الطب النووي Unsealed sources in nuclear medicine

Nuclide	Half-life	Decay	Particle energy (max) (MeV)	Photon energy (MeV)	Max activity (MBq)
P-32	14.3 d	β^-	1.71 (100%)	-	200
Sr-89	50.5 d	β^-	1.46 (100%)	0.909 (1%)	150
Y-90	64.2 h	β^-	2.27 (100%)	-	5000
I-131	8.04 d	β^-	0.33 (9%) 0.61 (87%) more	0.365 (80%) 0.640 (9%) more	20000
Er-169	9.3 d	β^-	0.03 (100%)	-	50
Re-186	90 h	β^-	0.93 (23%) 1.07 (73%)	0.137 (10%) 0.122 (1%)	150
Au-198	2.7 d	β^-	0.96 (99%) more	0.412 (96%) more	2000

د.م. يحيى لحفي

المصادر المفتوحة المستعملة في الطب النووي Unsealed sources in nuclear medicine

Nuclide	Half-life	Decay	Particle energy (max) (MeV)	Photon energy (MeV)	Max activity (MBq)
C-11	20.4 m	β^-	0.39 (mean)	0.511 (A)	1000
O-15	2.2 m	β^-	0.72 (mean)	0.511 (A)	3500
F-18	110 m	β^-	0.25 (mean)	0.511 (A)	500
Ga-67	78.3 h	EC	(100%)	X (38%) 0.185 (24%) 0.300 (17%) more	250
Se-75	121 d	EC	(100%)	0.140 (54%) 0.270 (56%) 0.280 (23%) more	10
Kr-81m	13 s	IT	-	0.191 (66%)	6000
Tc-99m	6 h	IT	-	0.140 (90%)	1000
In-111	2.8 d	EC	(100%)	0.171 (91%) 0.245 (94%)	200
In-113m	1.66 h	EC	(100%)	0.393 (64%)	20
I-123	13.2 h	EC	(100%)	X (86%) 0.159 (83%)	400
I-125	60 d	EC	(100%)	X (138%) 0.035 (7%)	10
I-131	8.04 d	β^-	0.33 (9%) 0.61 (87%) more	0.365 (80%) 0.640 (9%) more	100
Xe-133	5.27 d	β^-	0.34 (100%)	0.081 (35%)	500
Tl-201	73 h	EC	(100%)	X (95%) 0.167 (10%) more	150

د.م. يحيى لحفي

المواد الصيدلانية المشعة

يمكن تصنيف المواد الصيدلانية الإشعاعية المستخدمة في الطب النووي على النحو التالي:

▶ الأدوية المشعة الجاهزة للاستخدام

▶ ^{131}I - MIBG, ^{131}I -iodide, ^{201}Tl -chloride, ^{111}In - DTPA

▶ الكيماويات الفورية لتحضير المنتجات

▶ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HIDA, ^{111}In -Octreotide

▶ كيماويات تتطلب التدفئة

▶ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAG3, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI

▶ المنتجات التي تتطلب معالجة كبيرة

▶ واسمات خلايا الدم د.م. يحيى لحفي

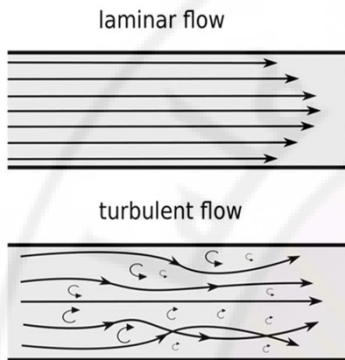
12

تطبيقات الطب النووي بحسب نوع النوى المشعة

Radionuclide	Diagnostics	Therapy
• Pure γ emitter e.g. ; $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{111}In , ^{67}Ga , ^{112}In	×	(-)
• Positron emitters (β^+) e.g. : ^{18}F	×	-
• γ , β^- emitters e.g. : ^{131}I , ^{153}Sm	×	×
• Pure β^- emitters e.g. : ^{89}Sr , ^{90}Y , ^{169}Er	-	×
• α emitters e.g. : ^{211}At , ^{213}Bi	-	×

د.م. يحيى لحفي

المواد الصيدلانية المشعة



► يتم انجاز وسم المواد الصيدلانية المشعة وفقاً لما يلي:

► لوائح السلامة من الإشعاع

► متطلبات ممارسات التصنيع الجيد GMP

► تتعارض متطلبات هذه اللوائح في بعض الأحيان مع:

► الحاجة لمعالجة المواد المشعة في منطقة مغلقة تحت ضغط هواء سلبي

► الحاجة لتصنيع المستحضرات المعقمة والقابلة للحقن تحت ضغط الهواء إيجابي ومرشح (التدفق الرقائقي)

14

د.م. يحيى لحفي

السمية الإشعاعية RADIOTOXICITY

تصنف المصادر المشعة بحسب سميتها الإشعاعية إلى أربع مجموعات رئيسية:

Class A. Very high
e.g. Am-241, Cf-252

Class C. Medium
e.g. C-14, F-18, P-32, Cr-51,
Co-57, Ga-67, Se-75, Mo-99,
In-111, I-123, Au-198, Tl-201

Class B. High
e.g. Na-22, Ca-45, Mn-54,
Co-60, Sr-89, I-125, I-131

Class D. Low
e.g. H-3, C-11, N-13, O-15,
Tc-99m, Xe-133

15

د.م. يحيى لحفي

المواد الصيدلانية المشعة

Radionuclide Pharmaceutical Organ Parameter

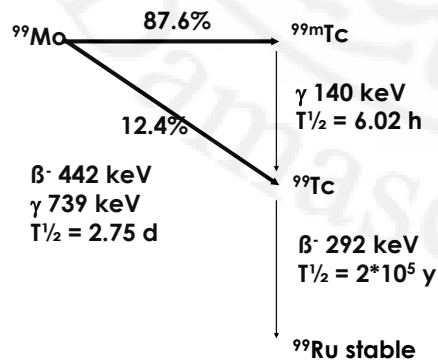
Tc-99m	+ colloid	Liver	RES
	+ MAA	Lungs	Regional perfusion
	+ DTPA	Kidneys	Kidney function

يمكن استخدام نفس المادة المشعة في وسم المركبات المختلفة مما ينتج عنه أدوية مشعة بخصائص مختلفة

د.م. يحيى لحفي

17

مولدات المواد الصيدلانية المشعة



► مبنية على مبدأ علاقة نمو التفكك بين النواة المشعة الأم ذات نصف العمر الطويل وابنتها المشعة ذات نصف العمر القصير.

► على سبيل المثال، يُسمح للنواة الأم طويلة نصف العمر بالتحلل إلى نواة قصيرة نصف العمر، ومن ثم يتم فصل الأخيرة كيميائياً.

► ^{99}Mo ($T_{1/2} = 66.6 \text{ hours}$) $\Rightarrow$ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ($T_{1/2} = 6 \text{ hours}$)

► سهولة النقل

► ويمكن أن تكون بمثابة مصدر للنوى المشعة قصيرة نصف العمر لاستعمالها في المشافي والمراكز الواقعة في المناطق النائية.

د.م. يحيى لحفي

18

التغنيسيوم ^{99m}Tc

- ▶ يتمتع التغنيسيوم ^{99m}Tc بالخصائص الفيزيائية والإشعاعية التالية:
- ▶ نصف عمر فيزيائي لمدة 6 ساعات
- ▶ عدم وجود إصدار لأشعة β مما يسمح بتقديم نشاطية عالية من رتبة GBq لأغراض التشخيص من دون جرعة إشعاعية كبيرة للمريض.
- ▶ يصدر فوتونات أشعة غاما بطاقة 140 كيلو فولت من الفوتونات التي يمكن تسديدها بسهولة لإعطاء صور ذات دقة مكانية فائقة

د.م. يحيى لحفي

19

التغنيسيوم ^{99m}Tc



- ▶ متوفر بسهولة في حالة معقمة وخالية من البيروجن وخالية من النواقل الحرة الناتجة عن مولدات $^{99}\text{Mo} - ^{99m}\text{Tc}$.
- ▶ يتم إنتاج ^{99m}Tc من المستحضرات الصيدلانية المشعة بسهولة عن طريق إضافة $^{99m}\text{TcO}_4$ إلى العديد من "الكيتات الباردة".

د.م. يحيى لحفي

20

التغنيسيوم 99m Technetium

► يضاف $99m\text{TcO}_4$ إلى قارورة تحتوي على مركب كيميائي يرتبط بالنواة المشعة. والنتيجة هي مستحضر صيدلاني مشع يتم قبضه في العضو الهدف من أجل التصوير (أو التحليل) بكاميرا غاما.



د.م. يحيى لحفي



21

اليود المشع Iodine 131



د.م. يحيى لحفي

- يتم إنتاجه في المفاعل النووي
- يستخدم في إجراءات التشخيص التي تشمل الغدة الدرقية وكذلك لعلاج اضطرابات الغدة الدرقية.
- يمكن أن ينتج على شكل كبسولة أو محلول سائل
- يتطلب احتياطات خاصة ليتم تنفيذها أثناء إعطاؤه للمريض.

22

مبدأ القبط Uptake

- ▶ تتكون المستحضرات الصيدلانية المشعة من مكونين أساسيين:
 - ▶ النواة المشعة
 - ▶ المستحضر الصيدلاني.
- ▶ عند تصميم المستحضرات الصيدلانية المشعة، يتم اختيار المستحضرات الصيدلانية أولاً على أساس درجة امتصاص التفضيلي (قبطها) من قبل عضو معين أو مشاركتها في الوظيفة الفيزيولوجية في هذا العضو وبالتالي يمكن تقييم شكله و/أو وظيفته.

د.م. يحيى لحفي

23

حساب النشاطية المطلوبة

- ▶ يوصف النشاط الإشعاعي للمستحضرات الصيدلانية المشعة وفقاً للوثائق الدونة مكتوب في دليل الإجراءات السريرية التشخيصية
- ▶ يقوم التقني الشعاعي بتحديد حجم المستحضرات الصيدلانية المشعة المراد سحبها إلى المحقنة؛ وبسبب قصر نصف العمر 99mTc يتم حساب التركيز المحدد للمستحضرات الصيدلانية المشعة في وقت التقديم للمريض.
- ▶ a 10 ml solution containing 1.85 GBq will have a concentration of 0.185 GBq/ml.
- ▶ يمكن بعد ذلك استخدام كلاً من التركيز المحدد وثابت تفكك 99mTc من أجل حساب الحجم الدقيق الذي سيتم سحبه للوصول إلى النشاطية الموصوفة الذي سيتم إعطاؤها للمريض.
- ▶ يجب أيضاً قياس هذه النشاطية من أجل كل جرعة قبل تقديمها للمريض.

د.م. يحيى لحفي

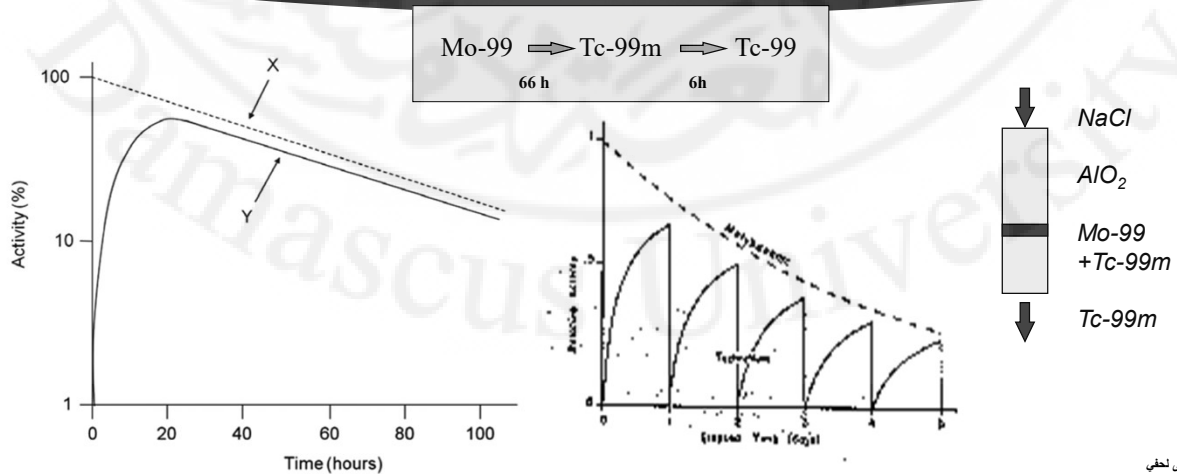
24

ممارسات التصنيع الجيدة Good Manufacturing Practice

- ▶ نظرًا لأن الأدوية المشعة مخصصة للاستعمال البشري، فمن الضروري أن يخضع تصنيعها لإجراءات صارمة لمراقبة الجودة
- ▶ تتضمن إجراءات مراقبة الجودة العديد من الاختبارات والقياسات المحددة التي تضمن نقاء وفعالية وهوية المنتج والسلامة البيولوجية وفعالية المستحضرات الصيدلانية المشعة.
- ▶ تنقسم اختبارات مراقبة جودة الأدوية المشعة إلى فئتين:
- ▶ الاختبارات الفيزيوكيميائية: والتي تشير إلى مستوى النوى المشعة والشوائب الكيميائية الإشعاعية وتحديد الأس الهيدروجيني والقوة الأيونية والأسموزية والحالة الفيزيائية للعينة.
- ▶ الاختبارات البيولوجية : التي تشير إلى إثبات العقم أو عدم القدرة على إحداث الحمل وكذلك سمية هذه المواد.

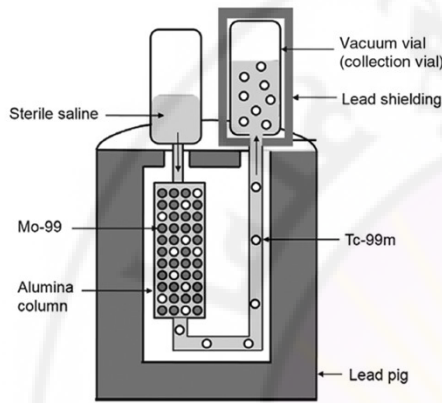
د.م. يحيى لحفي

مولد التغنيسيوم



د.م. يحيى لحفي

مولد التغنيسيوم



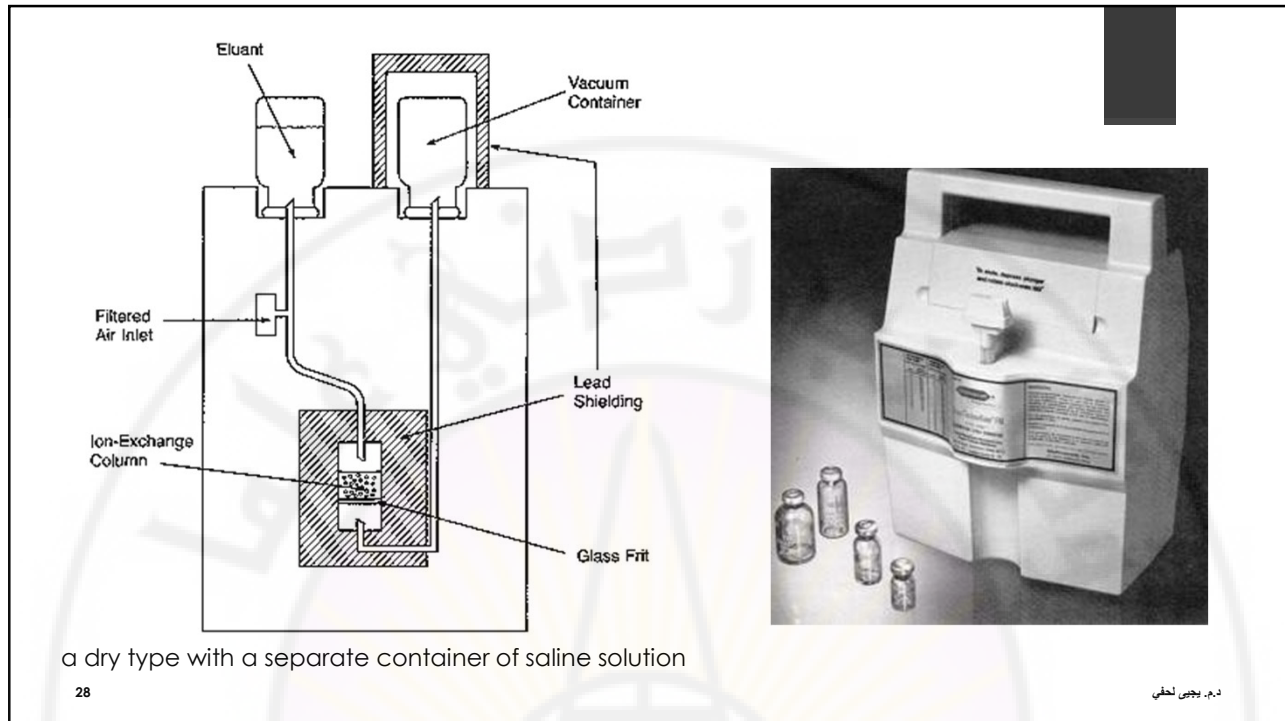
- المولد محمي بشكل كبير في حاوية من الرصاص تعلاف باسم "lead pig".
- يتم تحميل Mo-99 المنقى كيميائيًا في شكل موليبدينات الأمونيوم ($\text{NH}_4 + \text{MoO}_4^-$) على عمود مسامي يحتوي على 5-10 غ من راتنج الألومنيوم (Al_2O_3).
- ترتبط موليبدينات الأمونيوم بسطح جزيئات الألومينا من خلال الامتزاج. ويتم تعديل pH العمود إلى درجة الحموضة لتعزيز الارتباط.
- عندما يتحلل Mo-99 فإنه يشكل مادة بيرتكتيت (TcO_4^-) والتي تكون أقل ارتباطًا بإحكام بالألمنيوم مقارنة بـ Mo-99 بسبب شحنتها الفردية.
- يتم إزالة Tc-99m أو غسله من العمود عن طريق تمرير محلول ملحي عادي (كلوريد الصوديوم) فوق العمود، وجري تجميعه بالضغط السلبي في فيال مفرغة من الهواء توضع في منفذ التجميع على شكل بيرتكتينات الصوديوم (NaTcO_4).
- توضع الفيال المفرغة من الهواء داخل واقي من الرصاص لأغراض الوقاية من الإشعاع.

د.م. يحيى لحفي

مولد التغنيسيوم الجاف والرطب

- يحتوي النظام الرطب على خزان للسائل الملحي متصل بأنابيب إلى أحد طرفي العمود،
- يقوم الفيال المفرغ من الهواء بسحب المحلول الملحي عبر العمود وبالتالي الحفاظ على العمود رطبًا. أثناء الشطف، ويوضع الفيال في منفذ الخروج لتجميع شطف Tc-99m.
- لا يحتوي النظام الجاف على خزان للسائل الملحي في المولد؛ لذلك يتطلب وجود عبوة صغيرة تحتوي على محلول ملحي عادي ليتم تثبيتها في منفذ الدخول وفيال مفرغ من الهواء في منفذ التجميع أثناء الشطف.

د.م. يحيى لحفي



مولد التغنيسيوم



Example of a transport container for a Tc generator

extra shielding of the generator should be used, as well as shielding of the elution vial

د.م. يحيى لحفي

31

مبدأ عمل الكاشف الومضاني

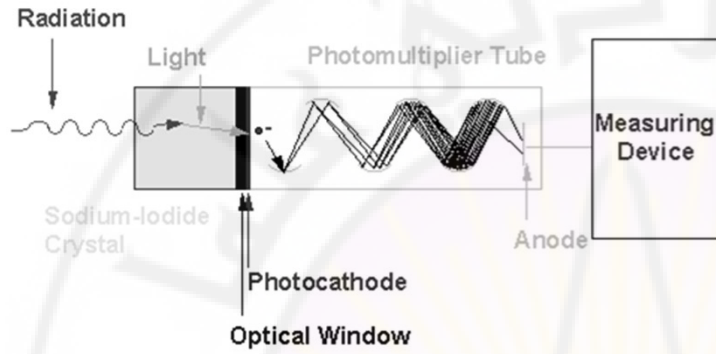


د.م. يحيى لحفي

- ▶ تصدر النوى المشعة فوتونات طاقة منفصلة يمكن إما امتصاصها بالكامل أو امتصاصها جزئياً أو تفويتها تماماً بواسطة كاشف الومض.
- ▶ عند امتصاص فوتون أشعة غاما من قبل الكاشف فإن طاقته تتحول إلى وميض من الضوء.
- ▶ يتم تحويل وميض الضوء إلى نبضة كهربائية يتم تضخيمها وتحليلها لاحقاً.
- ▶ اعتماداً على الطاقة الممتصة في البداية وعلى كيفية قيام المشغل بإعداد كاشف الومضاني، يتم عد الفوتون أو رفضه.

32

مكونات الكاشف الومضاني



يتألف الكاشف الومضاني من:

- ▶ بلورة
- ▶ أنبوب مضاعف ضوئي
- ▶ مولد الجهد العالي
- ▶ مضخم أولي
- ▶ المضخم
- ▶ محلل ارتفاع النبض
- ▶ جهاز العرض

د.م. يحيى لحفي

مقياس النشاطية Activity meter

يقوم مقياس الجرعة (أو النشاطية) بقياس كمية المادة المشعة في المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية المعدة قبل إعطائها للمريض.



33



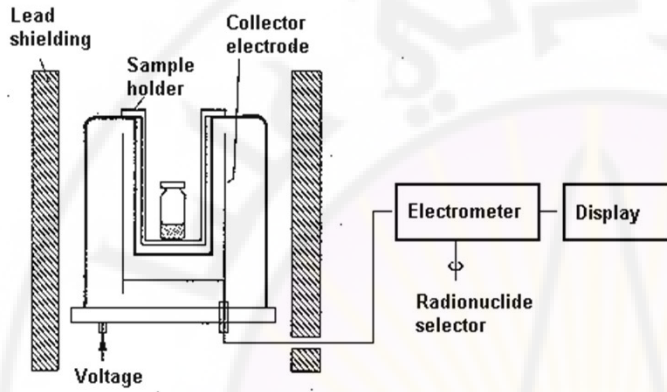
CRC® - 712M
Dose Calibrator
Item # 5130 - 3054



CRC-15W
Item # 5130-3113

د.م. يحيى لحفي

مكونات مقياس النشاطية Activity meter



34

- ▶ غرفة تأين بئرية الشكل مليئة بغاز له عدد ذري مرتفع (مثل Xenon) محفوظ تحت ضغط مرتفع وضغط وبحيث يوجد تناسب بين عدد الفوتونات المنبعثة والتيار التأين
- ▶ مولد الجهد العالي المطبق على الأقطاب الكهربائية
- ▶ إعدادات لتحديد طاقة محددة للنوى المشعة المختلفة
- ▶ شاشة إظهار لقراءة النشاطية (على سبيل المثال في MBq، GBq، إلخ).

د.م. يحيى لحفي

مقياس النشاطية Activity meter

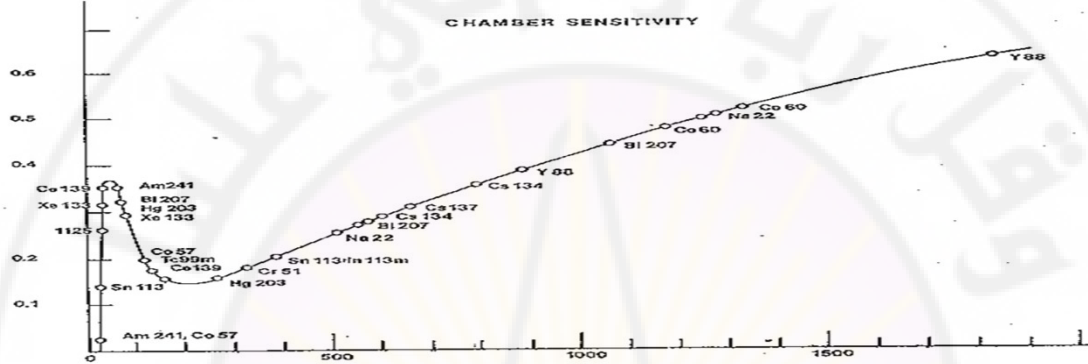
- ▶ تعتمد استجابة الكاشف على:
- ▶ النوى المشعة (الطاقة ووفرة الفوتونات).
- ▶ هندسة الكاشف.
- ▶ هندسة المصدر.
- ▶ حالة الجهاز (ضبط الجودة له)

35

د.م. يحيى لحفي

مقياس النشاطية Activity meter

يجب إجراء معايرة مقياس النشاطية في المصنع باستخدام مصادر مشعة مرجعية يمكن عزوها إلى مخبر عياري



36

the relative sensitivity for different photon energies for a certain activity meter

د.م. يحيى لحفي

قياس النشاطية

Setting	Measured activity
Tc-99m	1.00
Co-57	1.19
In-111	2.35
Tl-201	1.76
Ga-67	1.12
I-123	2.19
I-131	1.43

إذا كانت العينة المراد قياسها تحتوي على Tc99m وكان إعداد مقياس النشاط على سبيل المثال I-123 سيكون النشاط المقاس 2.19 ضعف القيمة الصحيحة.

37

د.م. يحيى لحفي

الكفاءة الهندسية

تزايد الكفاءة الهندسية

الفعالية: عدد الفوتونات التي تصل إلى الكاشف على عدد الفوتونات المنبعثة من العينة

د.م. يحيى لحفي

38

حامل العينة
تكرارية هندسية متماثلة

د.م. يحيى لحفي

39

مقياس النشاطية Activity meter

الاعتبارات التشغيلية

إعدادات النظير المشع
الخلفية
التكرارية

40

د.م. يحيى لحفي

ضبط جودة عمل مقياس النشاطية

	يومي عند بدء التشغيل		شهري	سنوي
High voltage/display	P	T	T	P
Zero adjust	P	T	T	P
Background	P	T	T	P
Accuracy	P			P
Precision	P		T	P
Relative responses	P		T	P
Subsidiary calibrations	P			
Linearity	P			P
Electrical safety	P		P	
Leakage radiation	P			P

The accuracy should be +/- 5%
Traceability to a national standard.
Interlaboratory comparisons.

P: الفيزيائي الطبي
T: التقني الشعاعي

41

د.م. يحيى لحفي

المصادر المغلقة المستعملة في الطب النووي Sealed sources in nuclear medicine



المصادر المختومة المستخدمة للمعايرة ضبط جودة المعدات

Co-60 ، Co57 ، Mn-54 ، Na-22)
Ba- ، I-129 ، Cd-109 ، Cs137 ،
المصادر النقطية Am-241). 133
والعلامات التشريحية (Au-195 ، Co-57)
تكون نشاطية هذه المصادر في نطاق kBq-
11GBq

42

د.م. يحيى لحفي

المصادر المختومة لمعايرة مقاييس النشاطية



نصف عمر طويل
مجال من طاقات الفوتونات
مجال من قيم النشاطية
معايرة في حدود 5%

Radionuclide	Photon energy (keV)	Half-life	Activity (MBq)
Co-57	122	271 d	185
Ba-133	81, 356	10.7 y	9.3
Cs-137	662	30 y	7.4
Co-60	1173, 1332	5.27 y	1.9

Co57, Barium-133 (Ba133), Cs137, Co60

43

د.م. يحيى لحفي

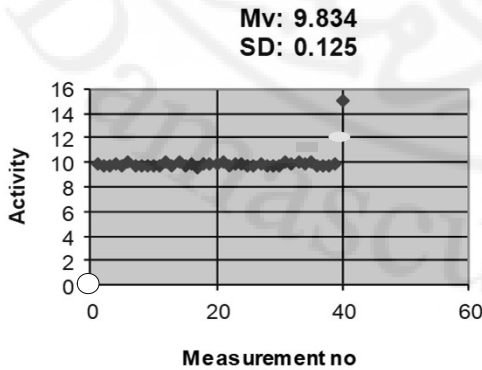
قياس الدقة والإحكام

- ▶ المصدر (مختوم): Co-57 أو Cs-137
- ▶ الإجراء:
- ▶ حدد إعدادات النوى المشعة المستعملة واضبط نشاطية الخلفية.
- ▶ أدخل المصدر في الحامل وقم بإجراء 10 قياسات.
- ▶ تحليل البيانات:
- ▶ من أجل تقييم الإحكام precision: احسب من أجل كل مصدر وكل قياس مقدار الفرق كنسبة مئوية بين النشاط المقاس ومتوسط قيم القياسات يجب أن تكون النتيجة ضمن المجال ($\pm 5\%$) من القيمة المتوسطة
- ▶ من أجل تقييم الدقة accuracy: احسب الفرق كنسبة مئوية بين متوسط النشاطية المقاسة ومقدار النشاط المعتمد للمصدر، يجب أن تقع ضمن المجال ($\pm 10\%$).

44

د.م. يحيى لحفي

قياس الثباتية

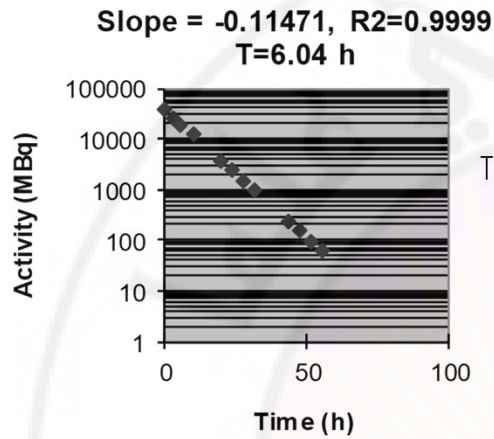


- ▶ قس نشاط مصدر مرجعي مختوم كل صباح مثلاً.
- ▶ استخدم إعدادات Tc-99m.

45

د.م. يحيى لحفي

قياس الخطية



- ▶ استخدم نوى مشعة ذات عمر نصفي قصير، على سبيل المثال Tc-99m
- ▶ قم بإجراء قياسات تكرارية خلال عدة أنصاف عمر.

46

د.م. يحيى لحفي

قياس الخطية

- ▶ طريقة المصدر المتدرج Graded source method:
 - ▶ استعمل حجوم متزايدة من محلول يحتوي على نشاطية واحدة حوالي (10, 5, 370 MBq/ml) 2, 1, 0.5, .2, 0.1 ml وأتمم الحجم حتى 20ml وسجل النشاطية لكل عينة.
 - ▶ طريقة صفائح التوهين:
 - ▶ استخدم مجموعة من صفائح الرصاص التي تمت معايرتها لتوهين انسياب الفوتون من Tc-99m بطريقة معروفة ومن ثم احسب النشاطية الناتجة عن وجودها وقس وسجل قيمة النشاطية الموافقة
- $$A=A_0 \exp (-\mu d)$$

47

د.م. يحيى لحفي

48

أجهزة المسح الإشعاعي والعدادات

► تشمل على

- حجيرات التأين
- العدادات التناسبية
- الأنابيب غايغر موللر
- الكواشف الومضانية
- تستخدم في مهام مختلفة بما في ذلك:
 - أجهزة مراقبة مسح معدل الجرعة المحيطة
 - أجهزة مسح التلوث القابل للإزالة
 - عدادات العينات

د.م. يحيى لحفي

49

أجهزة المسح والعد الإشعاعية

- تستخدم عدادات المسح Geiger-Mueller (G-M) من أجل الكشف عن التلوث منخفض النشاطية في
 - إجراء مسوحات للغرف ومراقبة الموظفين وتحديد متى يمكن إطلاق سراح المريض الذي تلقى علاجاً بـ مواد مشعة من المستشفى
 - مسح شحنات المواد المشعة الواردة
- تكون أجهزة المسح بحجيرات التأين أقل اعتماداً على الطاقة من عدادات غايغر موللر ولكنها لا تستخدم غالباً في الطب النووي.

د.م. يحيى لحفي

50

أجهزة المسح والعد الإشعاعية

تستخدم بشكل رئيسي للعد أثناء دراسات امتصاص الغدة الدرقية.



د.م. يحيى لحفي

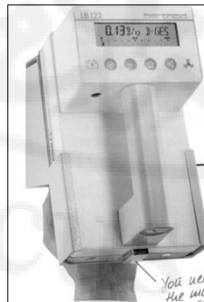


51

أجهزة المسح والعد الإشعاعية



د.م. يحيى لحفي



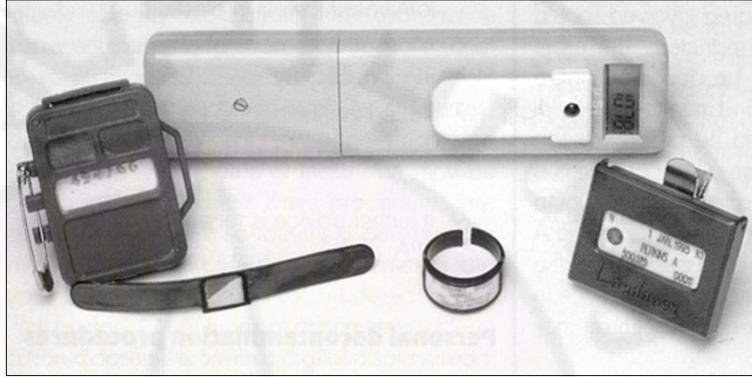
52

كواشف المراقبة الإشعاعية الفردية



Electronic dosimeter, with or without alarm

د.م. يحيى لحفي



Film badge, electronic dosimeter, ring badge, TLD

53

كواشف المراقبة الإشعاعية الفردية

تستخدم لقياس الجرعة الإشعاعية الخارجية

- **Thermoluminescent (TLD) or Optically Stimulated Luminescence (OSL) dosimeter**
 - Gamma, X and beta radiation
- **Film dosimeter**
 - Gamma, X and beta radiation

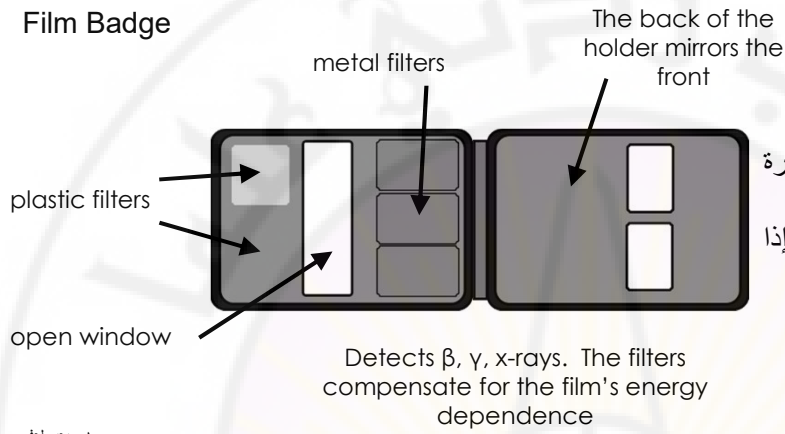
د.م. يحيى لحفي



54

كواشف المراقبة الإشعاعية الفردية

Film Badge



د.م. يحيى لحفي

قد تواجه الأفلام مشاكل متعلقة بالحرارة والرطوبة التي تؤثر على حساب الجرعة ومع ذلك ، لا ينبغي أن تكون هذه مشكلة إذا تم استخدامها (وتخزينها) في بيئة مناسبة.

55

كواشف المراقبة الإشعاعية الفردية

TLDs



د.م. يحيى لحفي

56

كواشف المراقبة الإشعاعية الفردية

Film or TLD / OSL?

Film

الإيجابيات

نطاق واسع من التعرضات
الاستقلالية عن معدل الجرعة
يقدم معلومات عن نوع الإشعاع
؛ صغيرة وغير مكلفة نسبيًا ؛
سجل دائم للجرعة

TLD/OSL

حساسية عالية
منحنى الاستجابة الخطية للجرعات على مدى واسع من الجرعات
استجابة الجرعة بغض النظر عن معدل الجرعة
قابلة لإعادة الاستخدام.

د.م. يحيى لحفي

57

كواشف المراقبة الإشعاعية الفردية

Film or TLD / OSL?

Film

السلبيات

لا قراءة مباشرة للمستخدم
تعتمد النتيجة على الطاقة الإشعاعية وزاوية السقوط ودرجة الحرارة والرطوبة البيئية
تتطلب المعالجة والتفسير لضبط جودتها

TLD/OSL

يؤدي تسخين مقياس الجرعات إلى تدمير معلومات قياس الجرعات (قراءة لمرة واحدة)
مكلفة نسبيًا للشراء
تتطلب خبراء ماهرين ومدربين لتشغيل الخدمة.

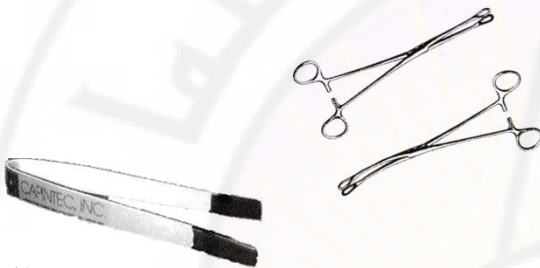
د.م. يحيى لحفي

58

ضمان الوقاية الإشعاعية



الابتعاد عن المصدر المشع باستخدام أدوات مناسبة كالملاقط.



د.م. يحيى لحفي

59

ضمان الوقاية الإشعاعية

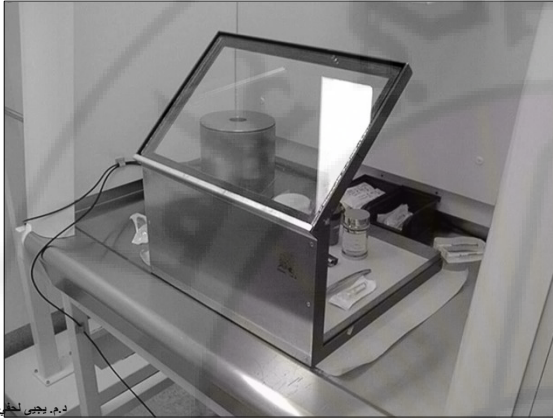


د.م. يحيى لحفي

60

ضمان الوقاية الإشعاعية

Bench top shields



Vial shields





كلية العلوم الصحية

مقدمة في فيزياء المعالجة الإشعاعية -1

الدكتور المهندس يحيى لحفي

2023-2022

3

المحاور الرئيسية

- ▶ تعريف المعالجة الإشعاعية وأهدافها واستطباباتها
- ▶ خيارات إيصال الجرعة
- ▶ العلاج الإشعاعي الخارجي
- ▶ المعالجة عن قرب
- ▶ مكونات قسم العلاج الإشعاعي
- ▶ تفاعل الإشعاع مع المادة: الفوتونات والإلكترونات
- ▶ خصائص جرعة العمق

د.م. يحيى لحفي

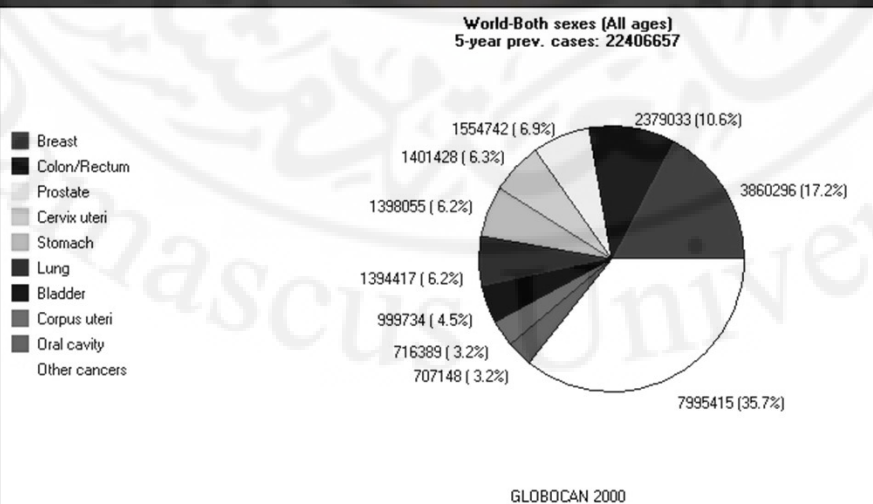


د.م. يحيى لحفي

المعالجة الإشعاعية

- ▶ إحدى طرق العلاج الرئيسية لمرض السرطان (غالبًا مع تترافق مع العلاجات الكيميائية والجراحية)
- ▶ بشكل عام يستفيد 50 إلى 60% من مرضى السرطان من العلاج الإشعاعي عموماً
- ▶ عادةً ما يكون العلاج الإشعاعي طريقة علاج فعالة للغاية من حيث التكلفة.
- ▶ تلعب دور ثانوي بشكل متزايد في علاج بعض الأمراض الأخرى غير الخبيثة ومن الأمثلة على ذلك المعالجة عن قرب بالقثطار (endovascular brachytherapy) للوقاية من عودة تضيق الشرايين التاجية للقلب والأوعية الدموية للأطراف بعد أن تم فتح التضيق الأصلي أو الانسداد عن طريق رأب الوعاء.

الإصابة بالسرطان (WHO)



د.م. يحيى لحفي

الاستطبابات الرئيسية للعلاج الإشعاعي

- ▶ سرطانات الرأس والرقبة
- ▶ السرطانات النسائية (مثل عنق الرحم)
- ▶ سرطان البروستات
- ▶ الأورام الخبيثة الأخرى في الحوض (المستقيم والمثانة)
- ▶ علاج الثدي المساعد
- ▶ سرطانات المخ
- ▶ التسكين

د.م. يحيى لحفي

أنواع المعالجات الإشعاعية

- ▶ العلاج الإشعاعي التلطيفي **Palliative radiotherapy**: يستخدم لتخفيض الألم ومعالجة الأعراض الحادة - على سبيل المثال النقائل العظمية ، ضغط الحبل الشوكي ، ...
- ▶ العلاج الإشعاعي الأساسي **Radical radiotherapy**: كطريقة أولية للعلاج - على سبيل المثال في حالات سرطانات الرأس والرقبة
- ▶ العلاج المساعد **Adjuvant treatment** بالتزامن مع الجراحة - على سبيل المثال في حالات سرطان الثدي

د.م. يحيى لحفي

الهدف

Patient

Critical organs

Beam directions

target

- ▶ قتل جميع الخلايا السرطانية القابلة للحياة
- ▶ إيصال أكبر قدر ممكن من الجرعة إلى الخلايا السرطانية الهدف مع أخفض جرعة مرافقة إلى الأنسجة السليمة المحيطة
- ▶ تتمحور الفكرة الأساسية للعلاج الإشعاعي في التركيز على أنه نهج لعلاج السرطان الموضعي، حيث غالباً ما يكون العلاج الكيميائي، الذي يهاجم الخلايا السرطانية بشكل أساسي مكملاً للعلاج الموضعي الذي تقدمه الجراحة أو العلاج الإشعاعي.
- ▶ يجب أن تكون الدقة المكانية لإيصال الإشعاع عالية قدر الإمكان من أجل نجاح العلاج الشعاعي في النهج الموضعي
- ▶ تكون دقة تقنيات توصيل الإشعاع الحديثة أفضل من بضعة ملليمترات، كما هو الحال في الجراحة الإشعاعية التجسيمية.

د.م. يحيى لحفي

Prognostic Factors

survival

Cumulative survival (%)

time

Years after treatment for HD

Good prognosis

Bad prognosis

— OVERALL: 1121 pts. — 1970: 339 pts. — 1970: 782 pts.

Fig. 1. Corrected cumulative survival (Kaplan Meier) and period of treatment (before and after 1970): 1121 patients consecutively treated in Florence.

د.م. يحيى لحفي

- ▶ نوع ومرحلة السرطان
- ▶ أداء المريض
- ▶ جرعة الإشعاع
- ▶ العمر
- ▶ الجنس
- ▶ ..

يجب أن تكون الجرعة دقيقة

- ▶ للخلايا الهدف:
- ▶ إذا انخفضت 5% عن قيمتها الصحيحة - قد تؤدي إلى انخفاض سريريًا في السيطرة على الأورام (مثل سرطان الرأس والعنق: 15%)
- ▶ للأنسجة الطبيعية:
- ▶ إذا زادت 5% عن قيمتها الصحيحة - قد تؤدي إلى زيادة ملحوظة في احتمالية حدوث مضاعفات للأنسجة الطبيعية = آثار جانبية غير مقبولة

د.م. يحيى لحفي

"الانحرافات عن الجرعة المحددة"

- ▶ قد تنطوي على عواقب وخيمة أو حتى مميتة
- ▶ وفقاً لمعايير الأمان الأساسية الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية فإنها تتطلب تحقيقاً سريعاً من قبل المرخص لهم في حالة التعرض الطبي العرضي

د.م. يحيى لحفي

خيارات إيصال الجرعة

- العلاج الإشعاعي الخارجي External beam radiotherapy: الجرعة يتم إيصالها من خارج المريض باستخدام الأشعة السينية أو أشعة غاما أو الإلكترونات عالية الطاقة.
- المعالجة عن قرب Brachytherapy: يتم إيصال الجرعة من مصادر مشعة مزروعة في المريض بالقرب من النسيج الهدف (brachys تعني باليونانية لمسافة قصيرة)

د.م. يحيى لحفي

13

العلاج الإشعاعي الخارجي External radiotherapy



د.م. يحيى لحفي

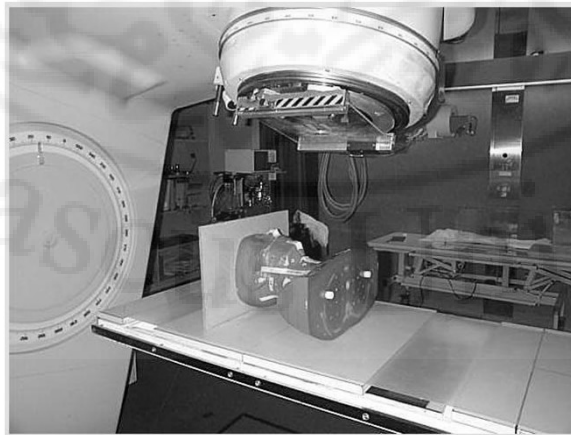
14

المعالجة عن قرب Brachytherapy



د.م. يحيى لحفي

العلاج الإشعاعي الخارجي



د.م. يحيى لحفي

العلاج الإشعاعي الخارجي

- يكون عادة مجزاً على عدد من الجرعات - على سبيل المثال 30 جرعة كل منها 2 غراي يومياً للحصول على جرعة إجمالية مقدارها 60 غري
- الفوتونات السطحية Superficial/orthovoltage photons: (من 50 حتى 400 كيلو فولت) تستخدم من أجل معالجة الجلد أو الآفات السطحية.
- فوتونات الجهد الميجا فولت Megavoltage photons: (60-Co أو المسرعات الخطية linacs) تستخدم لمعالجة الأورام العميقة.
- إلكترونات الجهد الميغا فولت المولدة من المسرعات الخطية linacs تستخدم لمعالجة المزيد من الآفات السطحية

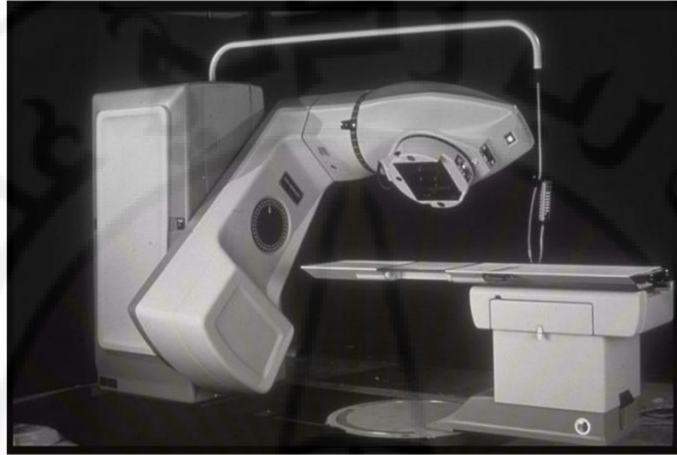
د.م. يحيى لحفي

وحدة الفوتونات السطحية Superficial/orthovoltage photons



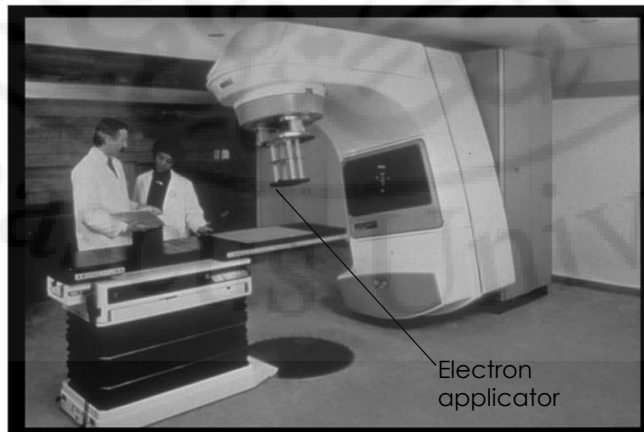
د.م. يحيى لحفي

وحدة المعالجة بالكوبالت 60



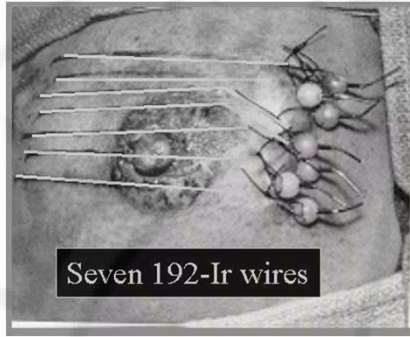
د.م. يحيى لحفي

المسرّع الخطي مع مخروط الإلكترونات



د.م. يحيى لحفي

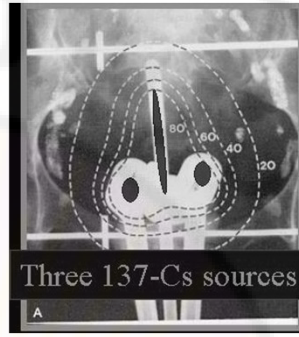
المعالجة عن قرب Brachytherapy



Seven 192-Ir wires

Interstitial implant for breast radiotherapy

د.م. يحيى لحفي



Three 137-Cs sources

Intracavitary gynecological implant

المعالجة عن قرب Brachytherapy

- ▶ زرع مواد مشعة (مثل ^{137}Cs ، ^{192}Ir) بالقرب من المنطقة المستهدفة
- ▶ تستخدم إما على شكل مطبقات سطحية أو داخل التجويفات
- ▶ وتقسم المعالجة عن قرب إلى:
 - ▶ معدل جرعات منخفض LDR: 60 غراي في حوالي 5 أيام
 - ▶ معدل جرعات عالي HDR: عدة أجزاء من عدة Gy في دقائق قليلة لكل منها

د.م. يحيى لحفي

Example for HDR Brachytherapy

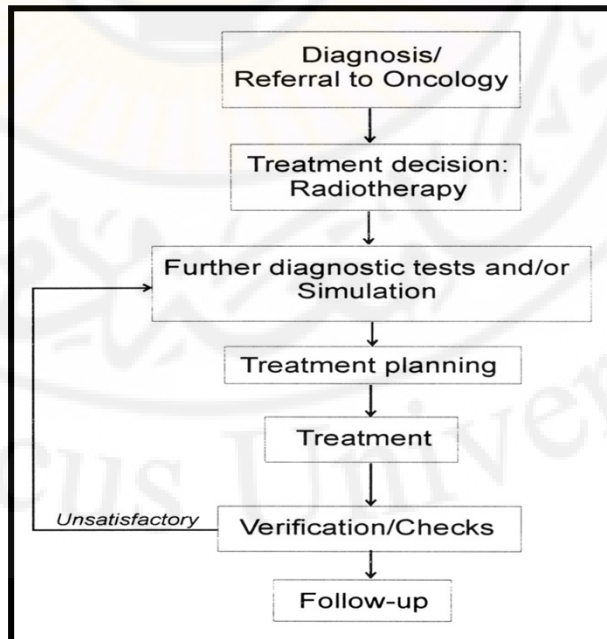


د.م. يحيى لحفي

- غرسة اللسان تتم معالجتها باستخدام جهاز تحكم عن بعد لمعدل الجرعات العالية من نوكلترون HDR
- يجري تجهيز الوحدة بمصدر وحيد من ^{192}Ir بنشاطية 10 Ci
- ينتقل المصدر عبر أنابيب النقل إلى القالب عبر قناة واحدة في كل مرة.

مسار المريض في العلاج الشعاعي Patient Flow in Radio-therapy

Add other complicating issues such as surgery or medical oncology (chemotherapy)



د.م. يحيى لحفي

...not necessarily a straightforward process

مسار المريض في العلاج الشعاعي

► يعتمد على:

- مكان المرض والمرحلة
- بروتوكولات المعالجة
- الطبيب المعالج
- الموارد المتاحة

د.م. يحيى لحفي

مكونات قسم العلاج الإشعاعي

- مرافق التشخيص (التصوير المقطعي المحوسب ، التصوير بالرنين المغناطيسي ، ...)
- جهاز محاكاة
- غرفة صب القوالب
- تخطيط العلاج
- وحدات المعالجة الإشعاعية الخارجية
- معدات المعالجة عن قرب
- غرف العيادات
- غرف المرضى ...

د.م. يحيى لحفي

مميزات العلاج الإشعاعي

- ▶ تقديم جرعة عالية وقد تكون مميتة لعلاج السرطان
- ▶ بيئة عالية التقنية
- ▶ نهج العلاج فردي
- ▶ تجهيزات للعلاج المعقد

د.م. يحيى لحفي

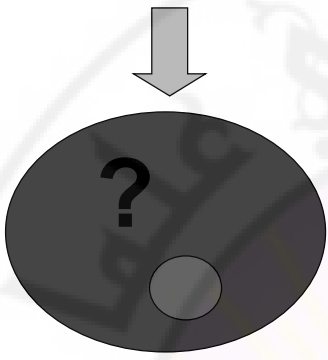
أنواع الإشعاع Types of Radiation

- ▶ إشعاع ذو التأيين المباشر Directly ionizing radiation - يودع الجسم الطاقة مباشرة في المادة (إلكترونات ، بروتونات)
- ▶ الإشعاع ذو التأيين غير المباشر Indirectly ionizing radiation - الجسم الأولي ينقل الطاقة إلى جسيمات لثانوية والتي تتسبب بدورها في إحداث التأين (الفوتونات والنيوترونات)

د.م. يحيى لحفي

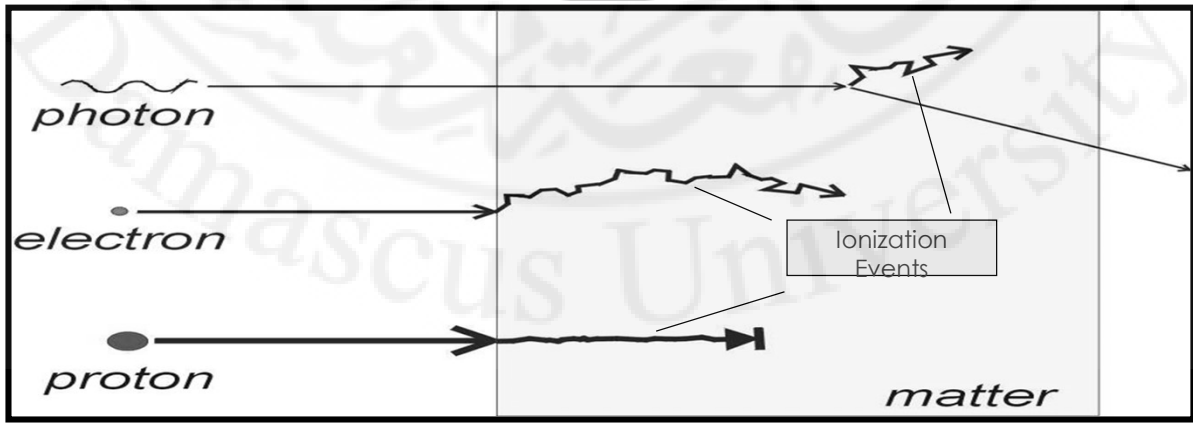
تفاعل الإشعاع مع المادة

► يحدد مقدار الاختراق (مقدار الإشعاع الذي يصل إلى الهدف)
 ► يحدد الجرعة المودعة في الهدف



د.م. يحيى لحفي

أنواع الإشعاع



د.م. يحيى لحفي

أنواع الإشعاع

► الفوتونات:

► يكون التوهين بشكل أسي في المادة - التفاعل مع الإلكترونات ينتج عنه إلكترون ثانوي يودع الطاقة في المادة

► الإلكترونات:

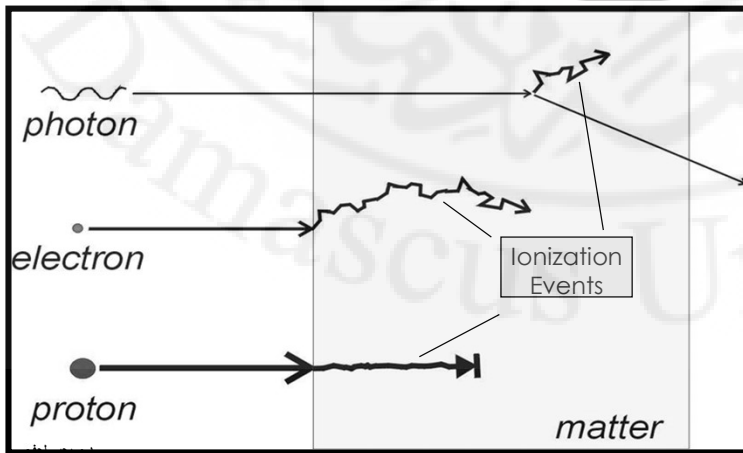
► يحصل التفاعل مع الإلكترونات الأخرى مع نقل صغير للطاقة عادةً وبالتالي يحدث التباطؤ المستمر. وبعد أن يتم نقل كامل الطاقة إلى المادة يتم امتصاص الإلكترون موضعياً وهذا يؤدي إلى مسار محدود للإلكترونات في المادة.

► البروتونات:

► تشبه الإلكترونات من حيث تفاعلها مع المادة ولكنها تكون ذات كثافة تأينية أعلى ويتطلب ذلك طاقة أعلى من أجل نفس المدى في المادة مقارنة بالإلكترونات. وبما أنه جسيم ثقيل فإنه لا ينحرف عن مساره الأولي وبالتالي نحصل على انحراف زواي أخفض مع انتشار جانبي أقل للحزمة

د.م. يحيى لحفي

أنواع الإشعاع



الفوتون هو المسؤول عن التأيين بشكل غير مباشر - ينقل أجزاء من طاقته إلى الإلكترون "الثانوي" الذي يقوم بعد ذلك بتوزيع الطاقة في المادة.

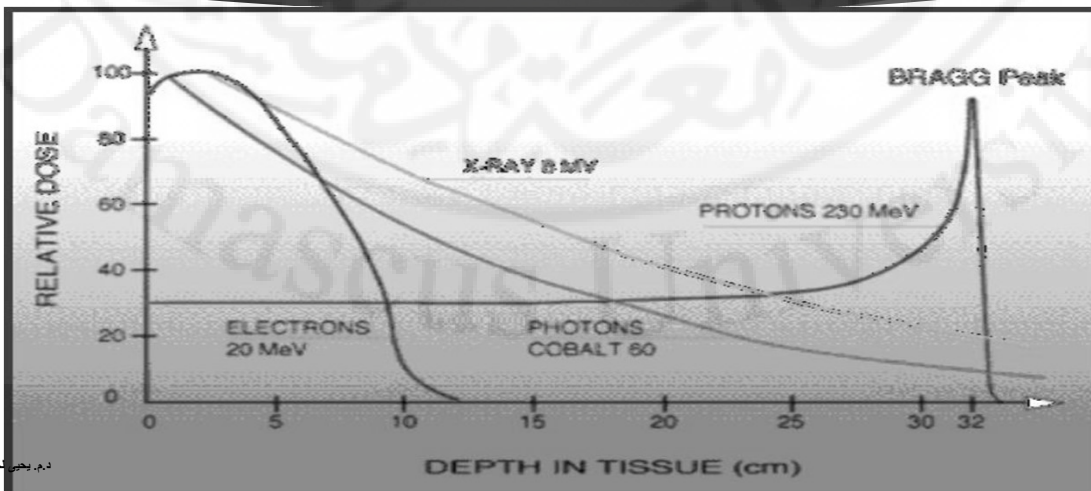
د.م. يحيى لحفي

مقارنة خصائص جرعة العمق Comparison of depth dose characteristics

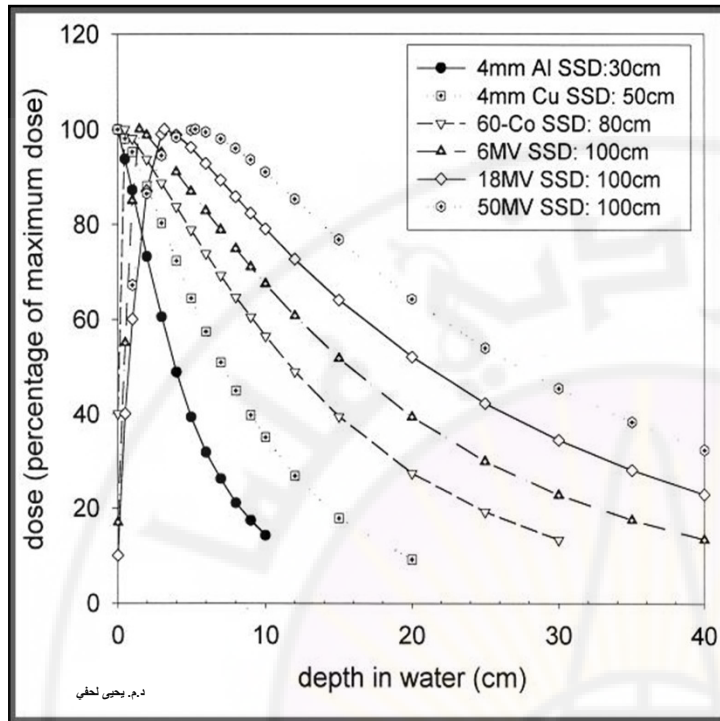
- ▶ يتم توهين الإشعاع ذو التأيين غير المباشر بشكل أسي ضمن المادة كما هو الحال عندما يحصل التفاعل مع مواد التدريع وبالتالي لن يتم "امتصاص" شعاع الفوتون تمامًا في المادة أبدأً. بينما يكون للإشعاع ذو التأيين المباشر نطاق محدود ضمن المادة يعتمد على طاقة الجسيم الساقط.
- ▶ في سياق العلاج الإشعاعي -تتراوح سماكة (أبعاد) المريض النموذجية بين 20 سم (للرأس) و 30-40 سم (جذع) وبالتالي يمكن تحديد النسبة المئوية للجرعة التي يتم تودعها أنواع الإشعاع المختلفة في هذه الأعماق ضمن الجسم

د.م. يحيى لحفي

مقارنة خصائص جرعة العمق Comparison of depth dose characteristics



د.م. يحيى لحفي

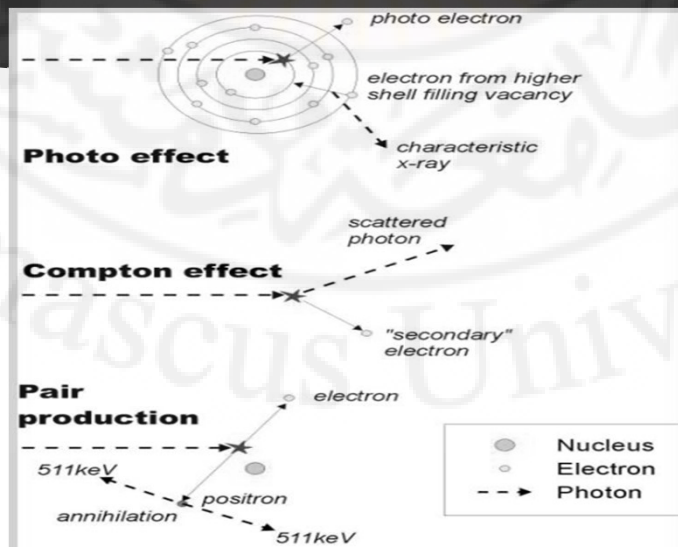


تستعمل الحزم الفوتونية عادة في المعالجة الإشعاعية

لا يرتبط الاستخدام الواسع الانتشار للفوتونات في المعالجة الإشعاعية بالضرورة بخصائص جرعة العمق لأن البروتونات ستكون مرغوبة أكثر منها عندئذ، ومع ذلك فالفوتونات أسهل وأرخص أنواع الإشعاع المخترق المتاح..

35

تفاعل الفوتونات مع المادة



تفاعل الفوتونات مع المادة

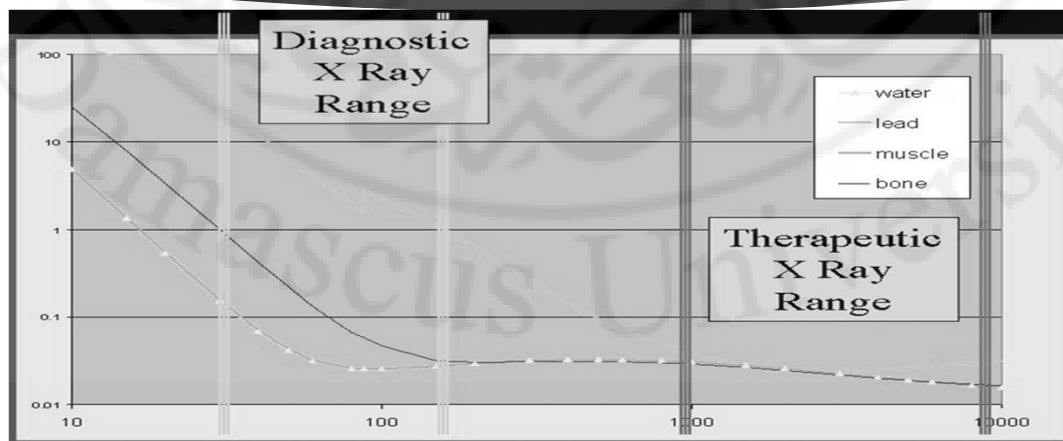
Photon interaction with matter for the energy range of gamma and x-radiation (Z = atomic number, A = atomic mass, except for hydrogen one can use as a first approximation $A = 2Z$). The atomic number and energy dependence is an approximation only and varies with each other.

Interaction type	dependence on atomic number	dependence on photon energy	secondary particles
Classical scattering	$Z^{2.5}/A$	E^{-2}	
Photo effect	Z^4/A	E^{-3}	electrons, characteristic x-rays, Auger-electrons
Compton effect	Z/A	$E^{-1/2}$	electrons, scattered photons
Pair production	Z^2/A	$E > 1022\text{keV}$ $\log E$	electrons, positrons, annihilation radiation
Nuclear photo effect	depends on material	$E > \text{threshold for particular material}$	neutrons, protons, fission, ...

د.م. يحيى لحفي

تغير التوهين مع العدد الذري

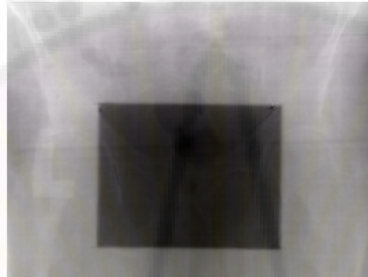
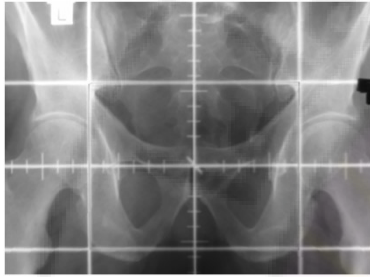
Variation of attenuation with atomic number



د.م. يحيى لحفي

التوهين

- Reference simulator film
- Check portal film

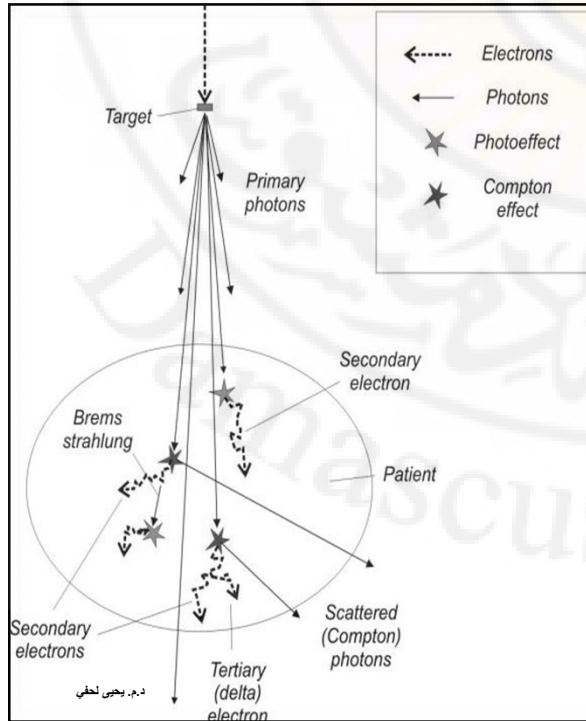


Simulator (kV) and portal image (MV) of the same anatomical site (prostate)

د.م. يحيى لحفي

- يكون التدريع من مادة الرصاص فعال للغاية في طاقات الفوتون المنخفضة (التشخيص).
- يصعب توهين الفوتونات بشكل عام، لا سيما في نطاق الجهد الضخم المستخدم في العلاج الشعاعي.
- تكون فوتونات الميغافولت أقل ملائمة للتصوير.

الجسيمات الثانوية والثالثية في حزمة الفوتون الميغافولت



تودع الإلكترونات فقط (= الإشعاع المؤين مباشرة) كميات كبيرة من الطاقة في المادة.

د.م. يحيى لحفي

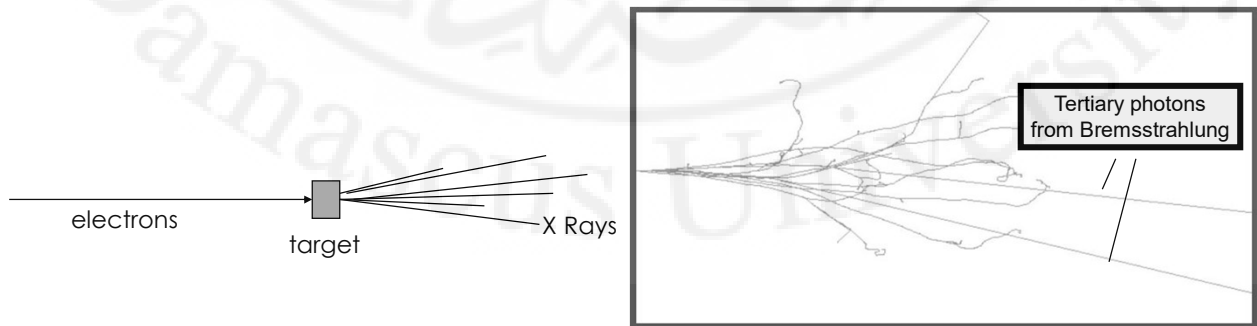
تفاعل الإلكترونات في المادة

- ▶ تكون أحداث التأين وإثارة الذرات على طول مسار الإلكترون في المادة.
- ▶ تكون إبداعات الطاقة الفردية صغيرة وقد يودع الإلكترون ذو الميغافولت في أكثر من 10000 موقع
- ▶ في إشعاع الكبح يفقد الإلكترون طاقته على شكل أشعة سينية لأنه ينحرف حول النوى

د.م. يحيى لحفي

إشعاع الكبح Bremsstrahlung

- ▶ تكون الفعالية الأكبر للإلكترونات ذات الطاقة العالية جدًا في المواد ذات العدد الذري العالي (المعادن) حيث تحصل عملية إنتاج الأشعة السينية في المقام الأول ...



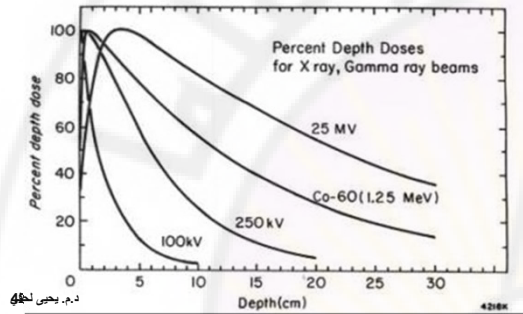
Monte Carlo calculation (EGS4) of the dose deposition of a 12MeV electron beam.

د.م. يحيى لحفي

Photons vs. Electrons

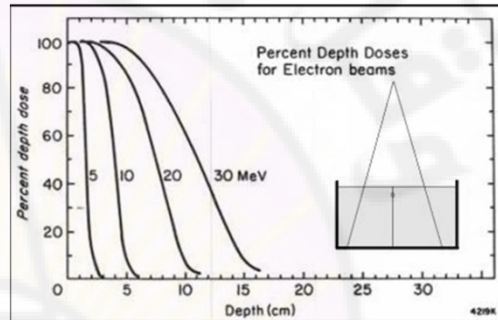
الفوتونات

- توهين أسي
- تأيين غير مباشر

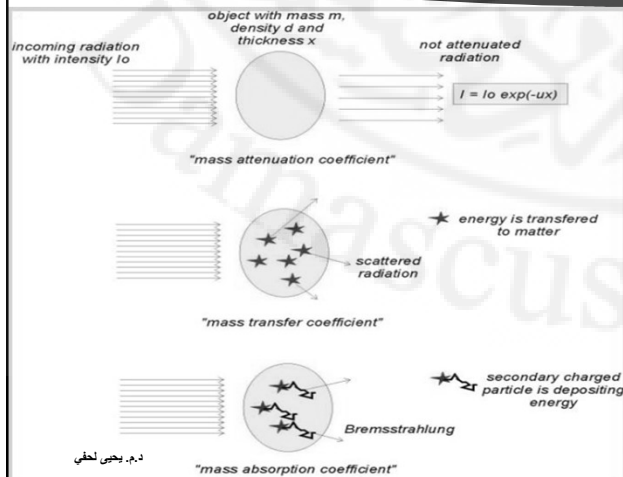


الإلكترونات

- نطاق محدود
- تأيين مباشر



من الإشعاع إلى إيداع الطاقة في حزمة الفوتون



▶ نأخذ في الاعتبار التفاعلات التي تنقل الطاقة بالفعل إلى المادة أي نستبعد جميع عمليات التبعثر المرن مثل تبعثر تومسون و ينتج عن ذلك إجمالي الطاقة المودعة في المادة أو TERMA.

▶ ومع إهمال الفوتونات المتناثرة والتي تترك الجسم بعد فقدان بعض الطاقة (تبعثر كومبتون) نحصل على الطاقة التي يتم نقلها فعلياً من الفوتون إلى الإلكترونات (أو/ و النوى) ويُطلق على ذلك اسم الطاقة الحركية المودعة في المادة أو KERMA والمعامل الذي يصف ذلك يسمى معامل نقل الكتلة.



كلية العلوم الصحية

مقدمة في فيزياء المعالجة الإشعاعية -2

الدكتور المهندس يحيى لحفي

2023-2022

3

المحاور الرئيسية

- ▶ قياس الجرعات المطلق والنسبي
- ▶ قياس جرعة العمق المؤتية
- ▶ معاملات الخرج الإشعاعي
- ▶ بيئة قياس الجرعات الإشعاعية
- ▶ فانتوم المسح المائي
- ▶ فانتومات على شكل شرائح
- ▶ الفانتومات المجسمة

قياس الجرعات المطلق والنسبي Absolute and relative dosimetry

- قياس الجرعات المطلق هو تقنية تعطي معلومات مباشرة عن الجرعة الممتصة في وحدة Gy. يشار إلى هذا القياس المطلق للجرعات أيضاً بالمعايرة.
- تتم مقارنة جميع القياسات اللاحقة بقيمة هذه الجرعة المعروفة في ظل ظروف مرجعية أي يتم تنفيذ قياس الجرعات النسبية.
- بشكل عام، لا تكون معاملات التحويل أو عوامل التصحيح مطلوبة في قياس الجرعات النسبية نظراً لأنها مجرد مقارنة بين قراءتين لمقياس الجرعات تتم إحداها في ظروف مرجعية.

4

قياس الجرعات المطلق

- تحدد من أجل كل جودة لحزمة الإشعاع
- يجري تحديد الجرعة الممتصة (بالغري) عند نقطة مرجعية واحدة داخل الفانتوم.
- تتطلب بيئة هندسية محددة بشكل جيد (مثال للمسرّع الخطي: القياسات في الماء، عند 100 سم FSD، حجم الحقل 10x10 سم 2، عمق 10 سم)
- تتطلب اتباع بروتوكولات محددة
- من الأهمية بمكان بحيث إذا كان قياس الجرعات المطلق غير صحيح فكل القياسات النسبية المعتمدة عليها ستكون خاطئة

5

قياس الجرعات النسبي

- ▶ يربط الجرعة في ظل ظروف غير مرجعية بالجرعة المقاسة في ظل الظروف المرجعية
- ▶ عادةً ما يلزم إجراء قياسين على الأقل:
- ▶ واحد في الشروط التي سيتم فيها تحديد الجرعة
- ▶ واحد في الشروط التي تكون فيها الجرعة معروفة

6

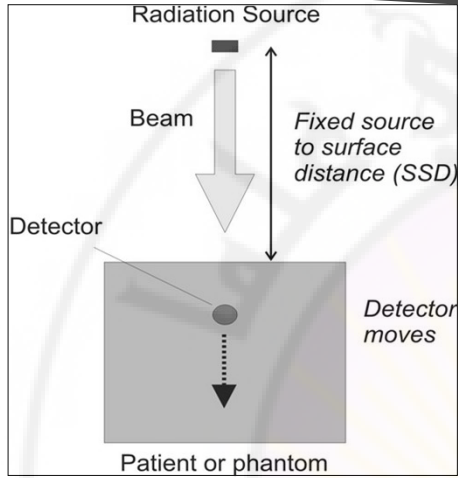
أمثلة على قياس الجرعات النسبي

- ▶ توصيف الحزمة الإشعاعية:
- ▶ جرعة العمق المثوية، النسب القصوى للنسيج أو ما شابه ذلك
- ▶ مساقط الحزمة profiles
- ▶ تحديد العوامل التي تؤثر على الخرج الإشعاعي:
- ▶ عوامل قياس الحقل الإشعاعي
- ▶ عوامل المطبقات applicators
- ▶ عوامل التصفية، عوامل الإسفين wedges
- ▶ عوامل خاصة بالمريض

7

قياس جرعة العمق المئوية

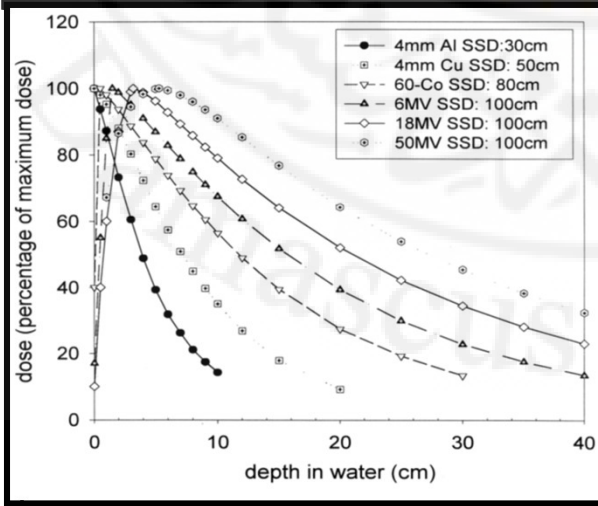
Percentage depth dose measurement



► يشمل تغيير الجرعة في الوسط (الماء عادةً) مع العمق

► يتضمن التوهين ومحددات قانون التربيع العكسي

جرعة العمق المئوية



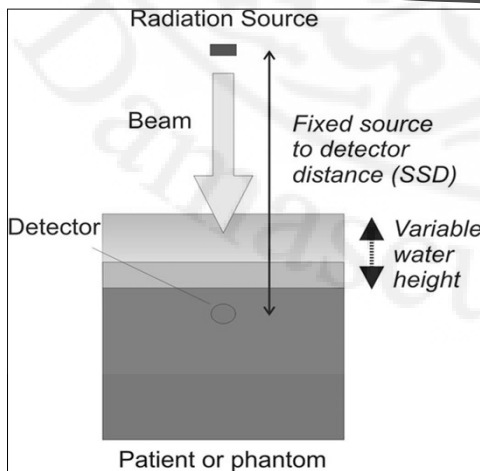
تعطي مقدار الجرعة الإشعاعية في أعماق مختلفة في الماء (أو المريض) مقارنة بالجرعة عند عمق الجرعة القصوى

TAR, TMR, TPR

- ▶ تستخدم قياسات الجرعات النسبية عند إعداد العلاج المتساوي البعد عن المركز isocentric
- ▶ يمكن تحويل جميع القياسات إلى جرعة عمق النسبة المئوية.
- ▶ Tissue-Air Ratio (TAR): هي نسبة الجرعة في الفانتوم مع x سم من النسيج المضاف إلى الجرعة الأنسجة عند نفس النقطة في الهواء.
- ▶ Tissue Maximum Ratio (TMR): هي نسبة الجرعة مع x سم من النسيج المضاف إلى الجرعة عند الجرعة القصوى (موضع مكان الكاشف).
- ▶ Tissue Phantom Ratio (TPR): تشبه TMR ولكنها تحسب على أساس النسبة للجرعة عند نقطة مرجعية (مثل 10 سم من النسيج المضاف).

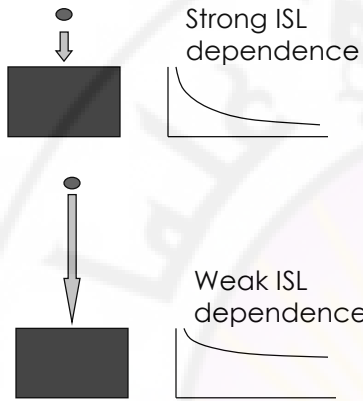
10

TMR, TPR



- ▶ تحاكي ظروف عند البعد المتساوي عن المركز
- ▶ TMR هو حالة خاصة لـ TPR بحيث يكون العمق المرجعي في الفانتوم هو نفسه عمق الجرعة القصوى

PDD and TMR



- ▶ تتغير جرعة العمق بالنسبة المئوية PDD مع المسافة بين المريض ومنبع الإشعاع بسبب الاختلافات وفقاً لقانون التربيع العكسي ISL
- ▶ بينما لا تتغير TMR TAR TPR مع المسافة بين المريض ومنبع الإشعاع

معاملات الخرج الإشعاعي

- ▶ تجري مقارنة الجرعة المقاسة مع الجرعة في ظل الظروف المرجعية من حيث:
 - ▶ أحجام الحقول المختلفة
 - ▶ معامل الأسفين wedge
 - ▶ معامل المطبق applicator
 - ▶ معامل انقطاع الإلكترون

معامل الأسفين wedge

يمكن أن تتضمن أيضًا أحجام حقول مختلفة و / أو أعماق مختلفة للكاشف ضمن الفانتوم

14

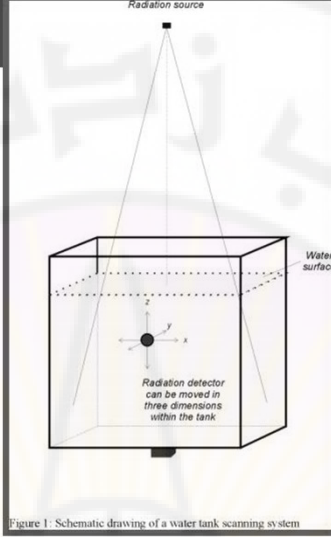
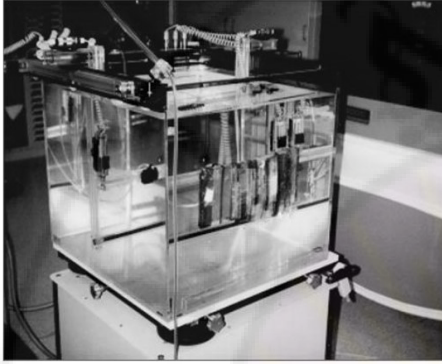
بيئة قياس الجرعات The dosimetric environment

► مكافئات الجسم (الفانتومات Phantoms):

- يمثل الفانتوم خصائص الإشعاعية للمريض ويسمح بإدخال كاشف إشعاع ضمن هذه البيئة، وهي المهمة التي ستكون مستحيلة الإجراء على مريض حقيقي.
- مثال مهم للغاية هو المسوحات للجرعة ضمن فانتوم مائي.
- بدلاً من ذلك، يمكن صنع الفانتوم من ألواح من مادة تحاكي الأنسجة أو حتى على شكل جسم بشري (مجسم) (anthropomorphic).

15

Scanning water phantom الفانتوم المسح المائي



الفانتوم المائي هو جزء أساسي من مجموعة فيزياء العلاج الإشعاعي. يتم استخدامه لمسح الحزمة وهو مطلوب لتشغيل معدات الإشعاع وكذلك أنظمة تخطيط المعالجة نظراً لأن المياه ملائمة للاستخدام - فهي متوفرة بسهولة ورخيصة وواضحة.

16

Slab phantoms فانتومات على شكل شرائح



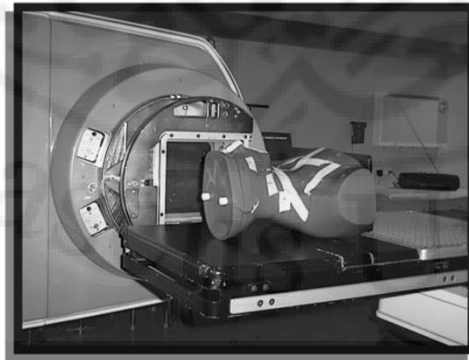
17

المواد المكافئة للأنسجة Tissue equivalent materials

- ▶ العديد من المواد المصنعة على وجه التحديد مثل المياه الصلبة، والمياه البيضاء، والمياه البلاستيكية،...
- ▶ البوليسترين (جيد للحزم الإشعاعية عالية الطاقة من مرتبة الميغافولت، وليس مثالياً من أجل الفوتونات منخفضة الطاقة)
- ▶ البرسيكس Perspex (أسماء أخرى: PMMA، Plexiglas) - تركيبة مكافئة للأنسجة ولكن مع كثافة فيزيائية أعلى

18

الفانتومات المجسمة Anthropomorphic phantom



the body
phantom: ART

19

الفانتومات المجسمة Anthropomorphic phantom

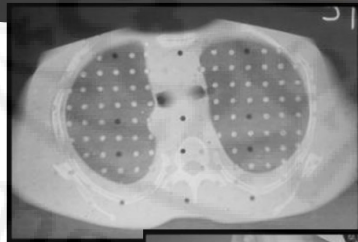


Includes
inhomogeneities

تسمح بوضع أجهزة الكشف عن الإشعاع في الفانتوم (الموضح هنا هو (TLDs)

20

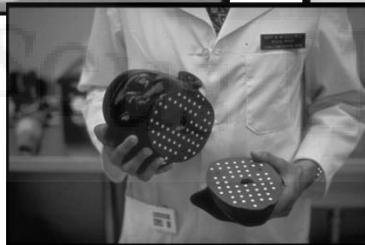
RANDO phantom



CT slice
through lung

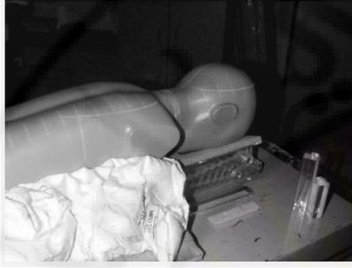


Head with
TLD holes



21

Pediatric phantom



22

بعض الملاحظات على الفانتومات

- ▶ من الضروري أن يتم اختبار الفانتومات قبل استخدامها من حيث:
- ▶ القياسات الفيزيائية: الوزن والأبعاد
- ▶ القياسات الإشعاعية: الأشعة المقطعية ، اختبارات التوهين
- ▶ يمكن أيضاً استخدام بدائل أرخص ثمناً:
- ▶ الشمع لتشكيل فانتومات بشرية
- ▶ الفلين كمكافئ للرننتين
- ▶ طالما أن خصائصها وقبورها معروفة - فهي مفيدة

23



كلية العلوم الصحية

المعالجة الإشعاعية الخارجية

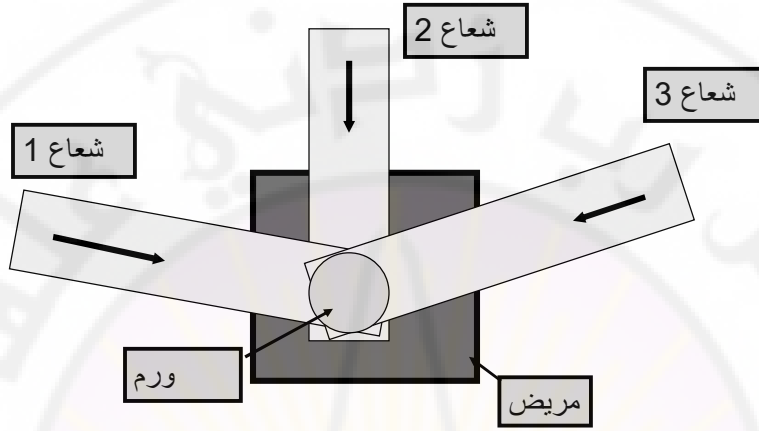
الدكتور المهندس يحيى لحفي

2023-2022

المحاور الرئيسية

- مميزات ومخطط المعالجة الإشعاعية الخارجية
- التشخيص
- المحاكاة
- التخطيط
- فيزياء أساليب العلاج بالأشعة الخارجية
- الأشعة السينية السطحية
- الأشعة السينية التقويمية
- وحدات المعالج الغماوية (كوبالت – سيزيوم)
- فوتونات أشعة السينية عالية الطاقة (ميجا فولت)
- المعالجة بالحزم الإلكترونية
- الجسيمات المشحونة الثقيلة

معالجة الإشعاعية بالحزمة الخارجية

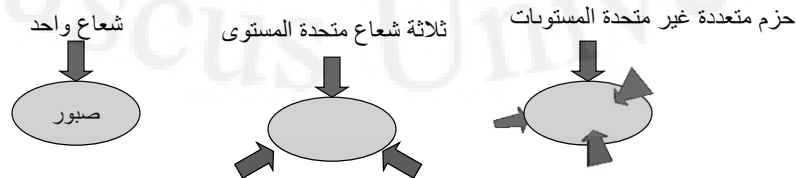


يجري توصيل الإشعاع من خارج المريض

4

مميزات المعالجة الإشعاعية الخارجية (EBT)

- غير تدخلية
- يعد مكان توضع الهدف مهم بالرغم من أن توضع الشعاع قد يكون صعباً
- تستعمل عادة حزم أشعاعية متعددة لوضع الهدف في بؤرة جميع الحزم



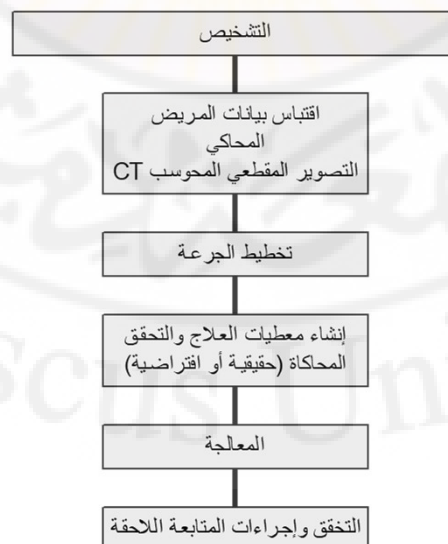
تستخدم الحزم متعددة المستويات بسبب التناظر شبه الأسطواني لجسم الإنسان

العلاج الإشعاعي الخارجي

- يتم علاج أكثر من 90٪ من جميع مرضى العلاج الإشعاعي باستخدام العلاج الإشعاعي الخارجي EBT
- يتم علاج معظم هؤلاء المرضى باستخدام الأشعة السينية التي تتراوح من 20 كيلو إلكترون فولت إلى 20 ميغا إلكترون فولت في ذروة الطاقة
- تشمل خيارات العلاج الإشعاعي الخارجي EBT الأخرى وحدات المعالجة (Co-60 و C-137) ، والإلكترونات المولدة من المسرعات الخطية والمسرعات للجسيمات المشحونة الثقيلة مثل البروتونات

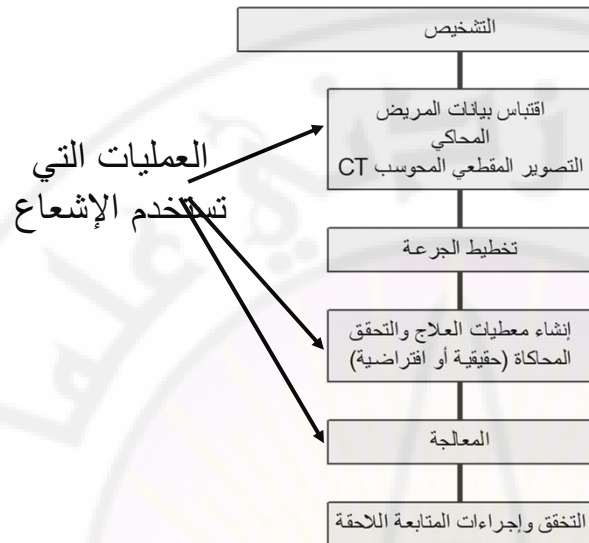
6

مخطط المعالجة الإشعاعية الخارجية



7

مخطط المعالجة الإشعاعية الخارجية



8

ملاحظات حول دور التشخيص

- مسؤولية الأطباء
- بدون التشخيص المناسب يكون تبرير العلاج مشكوك فيه
- التشخيص مهم لتصميم الهدف والجرعة المطلوبة للمعالجة الشفائية أو التلطيفية

9

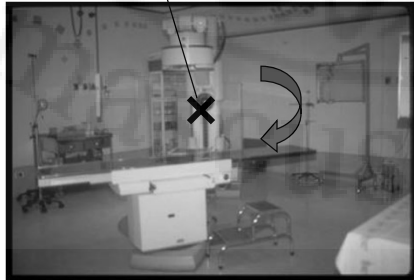
ملاحظة حول دور المحاكاة

- يستخدم المحاكى غالباً مرتين في عملية العلاج الإشعاعي
- عند اقتباس بيانات المريض – تحديد مكان الهدف، ومحيطه، والخطوط العريضة
- عند التحقق - هل يمكن تنفيذ الخطة؟ اقتباس الصور المرجعية لاستخدامها في عملية التحقق لاحقاً
- يمكن استبدال المحاكى بمعدات تشخيصية أخرى أو بواسطة المحاكاة الافتراضية

10

المحاكي

- يمكن إجراء جلسة محاكاة جيدة باستخدام وحدة الأشعة السينية التشخيصية لتحديد الهدف ووحدة معالجة للتحقق
- يمكن استبدال بعض الوظائف بوحدة X Ray التشخيصية الأخرى بشرط أن يكون موقع مجال X Ray يمكن تحديده على المريض بشكل لا لبس فيه، ويمكن بعد ذلك محاكاة وظائف أخرى في وحدة المعالجة
- مهم من أجل محاكاة (تقليد) بيئة المعالجة المتساوية isocentric



11

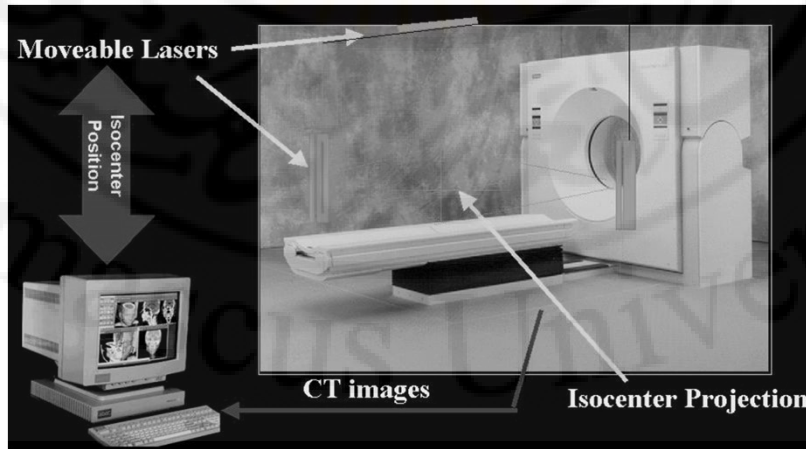
المحاكاة الافتراضية

- يتم تنفيذ جميع جوانب عمل المحاكاة على مجموعة بيانات ثلاثية الأبعاد للمريض
- يتطلب ذلك الحصول على بيانات مقطعية ثلاثية الأبعاد عالية الجودة للمريض في وضع العلاج
- يمكن إجراء التحقق باستخدام الصور الشعاعية المُعاد بناؤها رقميًا (DRRs)
- يمكن أن تكون المحاكاة الافتراضية أرخص من شراء جهاز محاكاة في حالة توفر فحص بالأشعة المقطعية للمريض.

12

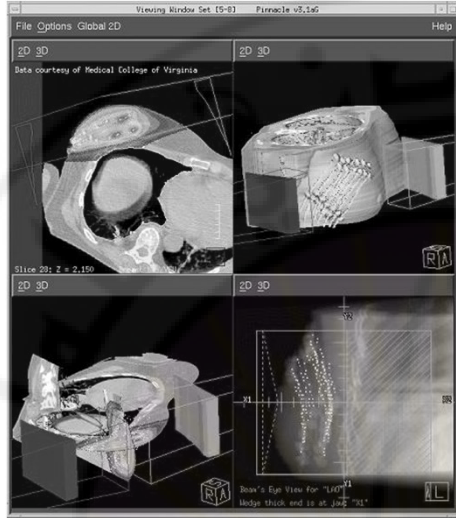
محاكاة بالتصوير المقطعي (ADAC)

توضع العلامات على المريض بالفعل أثناء التصوير المقطعي



13

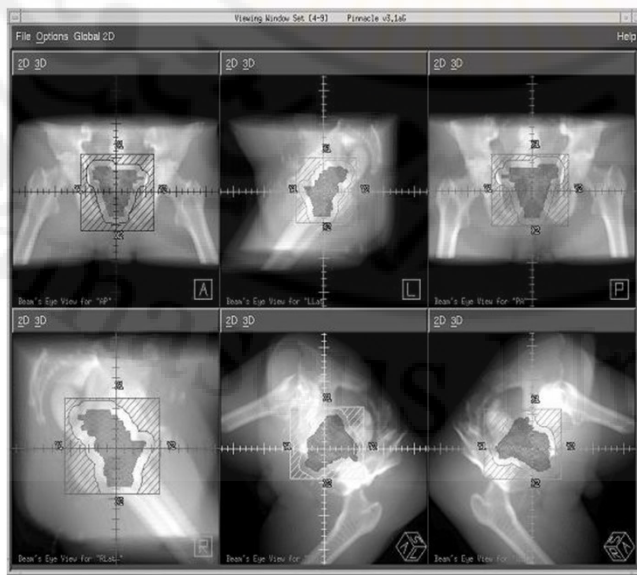
المحاكاة الافتراضية



نموذج ثلاثي الأبعاد
للمريض وأجهزة
المعالجة

14

الصور الشعاعية المعاد بناؤها رقميًا كصورة مرجعية للتحقق



عرض وطباعة
DRRs لجميع
الحقول المخططة:
تحسين الثقة في
التخطيط وتعد
كمراجع للتحقق

15

ملاحظة حول دور تخطيط العلاج

- يربط الوصفة بالواقع
- تعد جوهر العلاج الإشعاعي
- يصبح أكثر فأكثر تعقيداً وتعقيداً

16

أساليب العلاج بالأشعة الخارجية (EBT)

- الأشعة السينية السطحية
- الأشعة السينية التقويمية
- وحدات المعالج الغماوية (كوبالت – سيزيوم)
- فوتونات أشعة السينية عالية الطاقة (ميجا فولت)
- المعالجة بالحزم الإلكترونية
- الجسيمات المشحونة الثقيلة
- طرق أخرى

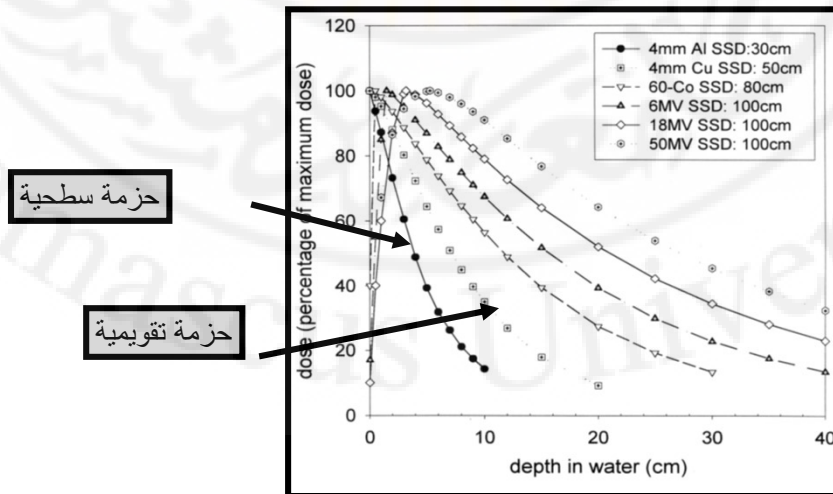
17

نهج العلاج الإشعاعي الخارجي (EBT)

- الأشعة السينية السطحية □ 40 إلى 120 كيلو فولت
- الأشعة السينية التقويمية □ من 150 إلى 400 كيلو فولت
- وحدات المعالجة بالعناصر □ Co-60 و Cs-137
- أشعة إكس ميجا فولت □ السرعات الخطية
- الإلكترونات □ السرعات الخطية
- الجسيمات المشحونة □ البروتونات من السيكلوترون ، C ، Ar ،
الثقيلة ، ...
- آخرون □ النترونات والبيونات

18

مقارنة جرعة العمق عند حزم الفوتونات المختلفة



19

العلاج الإشعاعي السطحي

- من 50 إلى 120 كيلو فولت - على غرار صفات الأشعة السينية التشخيصية
- اختراق ضعيف في الجسم
- يقتصر على معالج الآفات الجلدية باستخدام حزمة شعاعية واحدة
- مناسبة من أجل الحقول الإشعاعية الصغيرة
- أدوات التطبيق مطلوبة لتجميع الشعاع على جلد المريض
- مسافة قصيرة بين البقعة المحرقة للأشعة السينية والجلد

20

العلاج الإشعاعي السطحي



مسافة قصيرة جدًا تبلغ 10 سم من البقعة المحرقة إلى الجلد

21

معوقات العلاج الإشعاعي السطحي

- بسبب المسافة القصيرة FSD يكون الخرج الإشعاعي كبيراً وبتأثير كبير وفقاً لقانون التربيع العكسي
- صعوبة في المعايرة (تدرج جرعات قوي نظراً للمسافة القصيرة FSD من 10 حتى 25 سم، تلوث إلكتروني)
- يجري تحديد الجرعة بواسطة مؤقت زمني (تشغيل / إيقاف)
- قد يحصل تلوث لحزمة الفوتون بالإلكترونات نتيجة لوجود جهاز التطبيق applicator

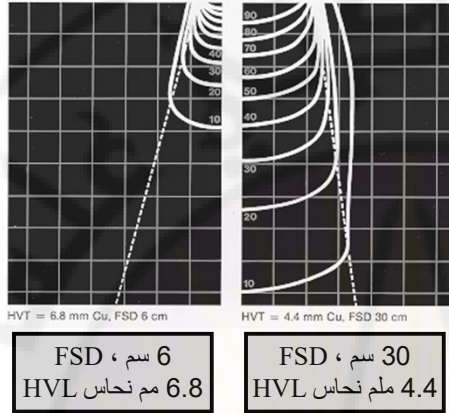
22

العلاج الإشعاعي باستخدام الجهد التقويمي

- 150 - 400 كيلو فولت
- اختراق كافٍ للمعالجة التلطيفية للآفات العظمية القريبة نسبياً من السطح (الأضلاع ، الحبل الشوكي)
- يجري استبدالها إلى حد كبير بطرق العلاج الأخرى

23

معدات الجهد التقويمي (150 - 400 كيلو فولت)



□ جرعة العمق
تتأثر بشكل كبير
بالمسافة FSD

24

اعداد المريض للمعالجة بالجهد التقويمي



□ كما هو الحال في وحدات
التشعيع السطحية ، يتم
تثبيت الحزمة باستخدام
قمع مباشر على جلد
المريض

25

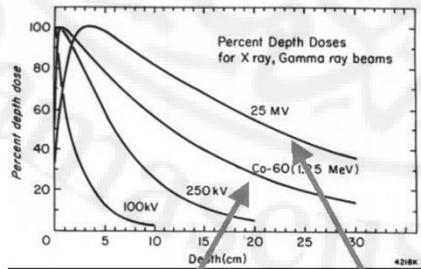
العلاج الإشعاعي بالفوتونات عالية الطاقة الميجا فولت



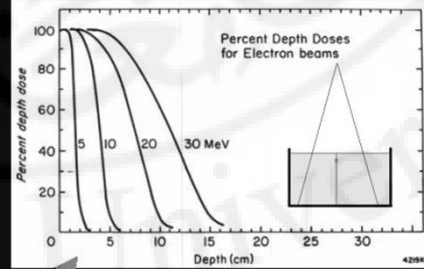
- كوبالت 60 (طاقة 1.25 ميجا إلكترون فولت)
- المسرعات الخطية (4 إلى 25 ميجا فولت)
- تجنب الجلد في الأشعة الفوتونية
- مسافة نموذجية FSD من 80 إلى 100 سم
- توضع بشكل متساوي Isocentrically

مقارنة جرعة عمق نسبة الفوتون

□ الفوتونات



□ الإلكترونات

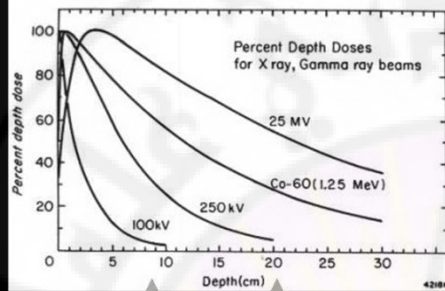


60-Co

Linac beams

المواقع النموذجية للورم والأنسجة الطبيعية

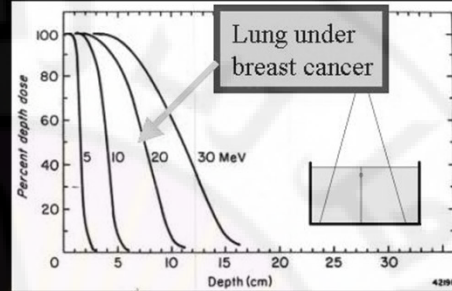
□ الفوتونات



Brain tumor

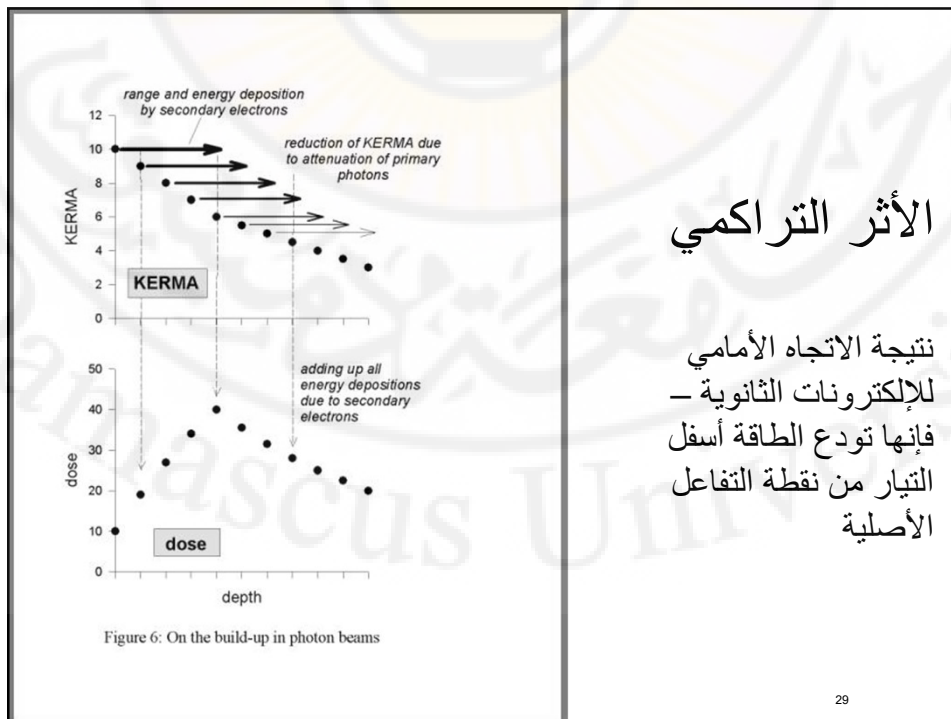
Prostate

□ الإلكترونات



Spinal cord in head and neck treatment

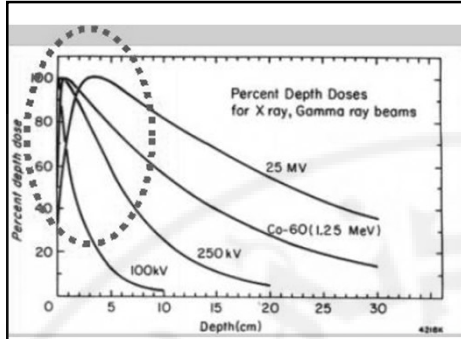
28



الأثر التراكمي

نتيجة الاتجاه الأمامي
للإلكترونات الثانوية -
فإنها تودع الطاقة أسفل
التيار من نقطة التفاعل
الأصلية

29



الأثر التراكمي

□ يعد هاماً من الناحية السريرية لأن جميع الحزم الإشعاعية في العلاج الإشعاعي الخارجي تمر عبر الجلد

□ ينخفض أثره في الحقول الإشعاعية الكبيرة وعند استخدام حزم مائلة وعند وضع الصفائح في الحزمة

□ يمكن تجنبه عن طريق استخدام مخمدات bolus على المريض عند علاج الجلد أو الندبات

مقدار التأثير:

Co-60 حوالي 50% ، تراكم كامل على عمق 1 سم
MV6 حوالي 20% ، تراكم كامل عند 1.5 سم
18 ميغا فولت حوالي 10% تراكم كامل عند 3.5 سم.

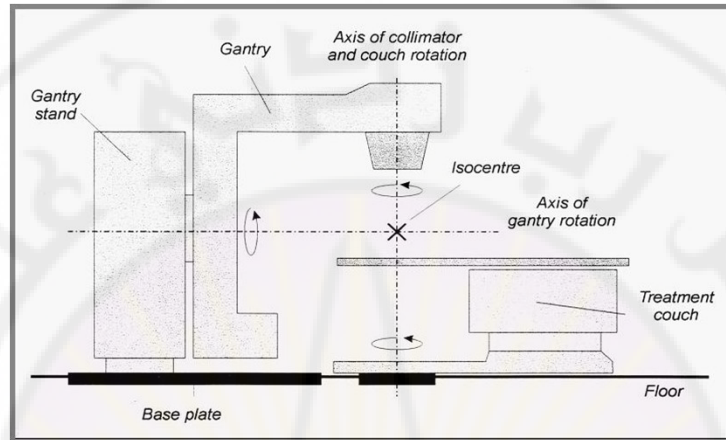
إعداد Isocentric



□ يعد الوصول إلى مسافات FSDs كبيرة ممكناً باستعمال المعدات الحديثة

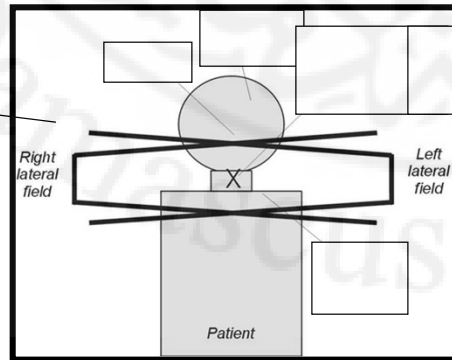
□ يوضع الورم في المركز - يمكن تجهيز حزم إشعاعية متعددة بسهولة لتوصيل الإشعاع من عدة اتجاهات إلى الهدف

إعداد Isocentric



32

التقنيات الشائعة للمعالجة بالفوتونات



□ حقلان متوازيان متعاكسان

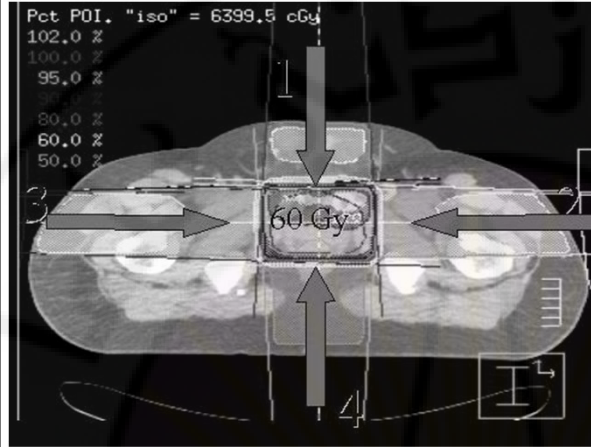
□ رئة

□ صدر

□ الرأس والرقبة

33

التقنيات الشائعة للمعالجة بالفوتونات



□ أربعة حقول "مربع"

□ عنق الرحم

□ البروستات

34

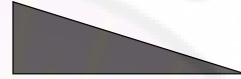
متساوي Isocentric أم لا؟

- يمكن إعداد جميع ترتيبات الحزم التي تمت مناقشتها حتى الآن بمسافة ثابتة (على سبيل المثال 80 سم) من جلد المريض أو بشكل متساوي isocentrically مع مسافة ثابتة إلى مركز الهدف.

35

تغيير حزمة الفوتون

- الكتلة
- أسافين
- المعوضات



36

كتل التدريع



كتلة التدريع المخصصة

□ تساعد في إعطاء شكل للحزمة بحيث تطابق منطقة الجرعة العالية مع الهدف إما عن طريق:

□ كتل ثابتة

□ كتل مخصصة مصنوعة من سبيكة منخفضة

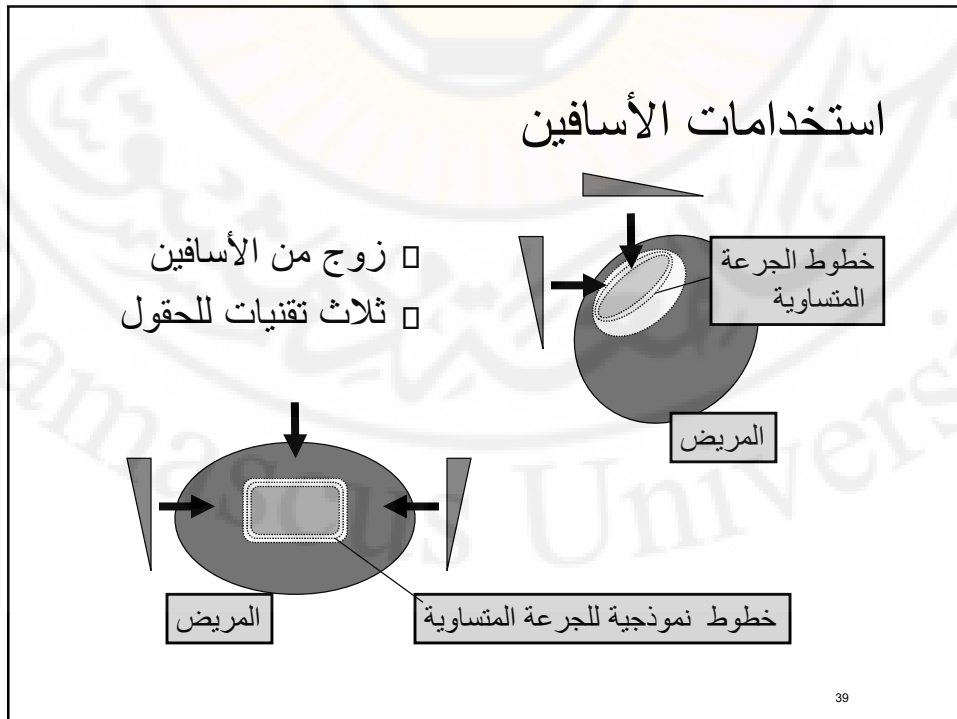
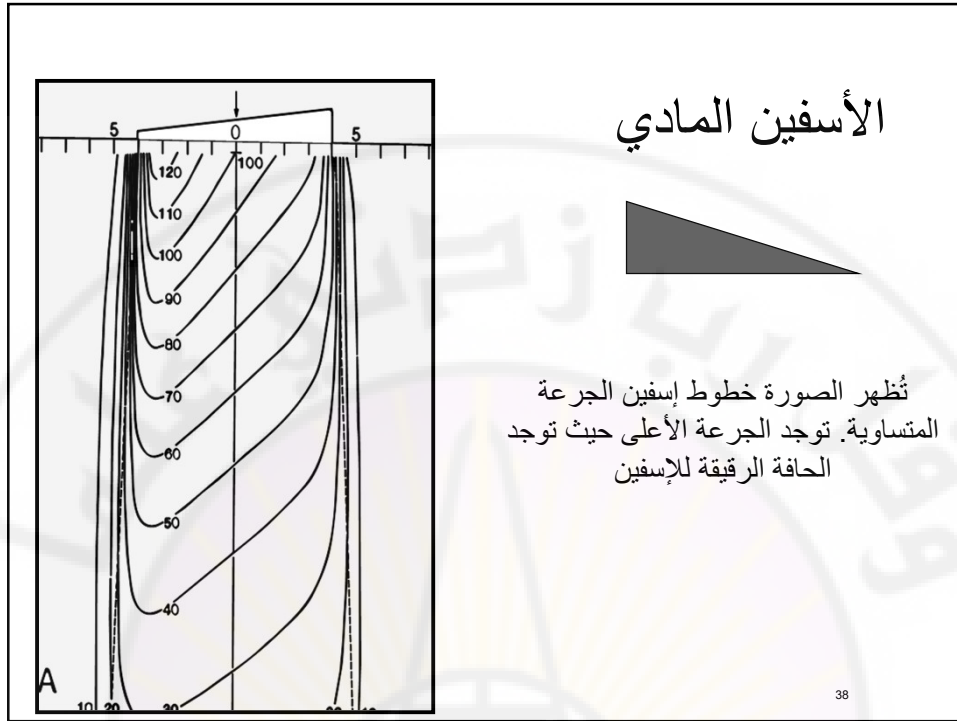
الانصهار (LMA)

□ تم استبداله جزئياً الآن بالمحددات متعددة

الوريات (MLC) Multi Leaf Collimator



37





المعوضات

- الهدف من جميع المعوضات هو تعديل تأثير الفوتون في أجزاء مختلفة من الحزمة. وتكون ثنائية الأبعاد وليست ذات بعد واحد كما في حالة الإسفين.
- على غرار الإسفين، هناك أيضًا نماذج مادية من المعوضات، مثلًا المعوضات التي تتشكل في MLC وهذا ما يسمى بالعلاج الإشعاعي المعدل الشدة (IMRT)

40



المعوضات



- المعوضات المادية
- صفائح الرصاص
- كتل نحاسية
- خلائط حسب الطلب
- معدلات الشدة
- عدة حقول ثابتة
- أقواس
- ديناميكي MLC

41

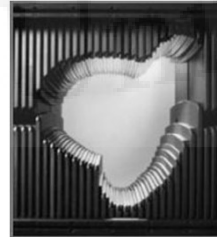
معدلات الشدة

- يسمح بتحسين توزيع الجرعة
- يجعل الجرعة في الهدف متجانسة
- يخفض الجرعة خارج الهدف
- يعتمد على عدد من التقنيات المختلفة:
 - المعوضات المادية
 - معدلات الشدة باستخدام المحددات متعددة الوريقات

42

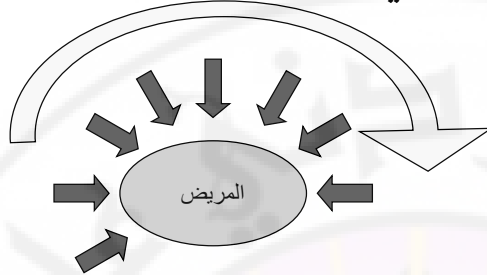
معدلات الشدة

- تم تحقيقه باستخدام محدد متعدد الوريقات (MLC)
- يمكن تغيير شكل الحقل
- إما خطوة بخطوة أو
- بشكل ديناميكي خلال تقديم الجرعة



43

تقنيات العلاج الديناميكي

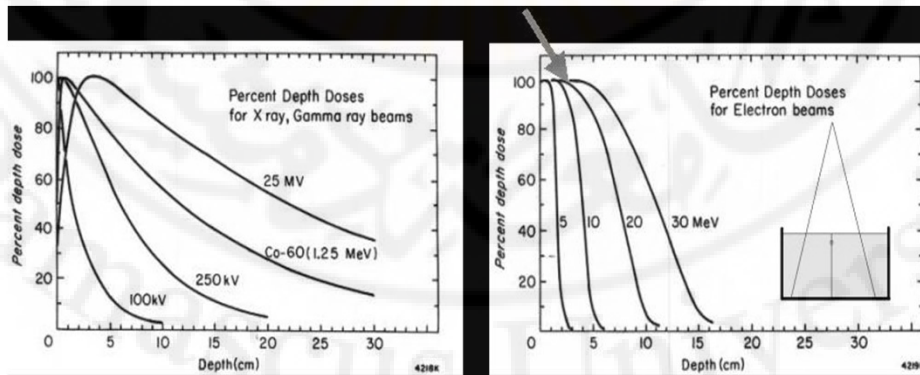


- أقواس
- إسفين ديناميكي
- ديناميكي MLC

- زيادة التعقيد مع زيادة المرونة في إعطاء الجرعات.
- يصبح التحقق ضروريا

44

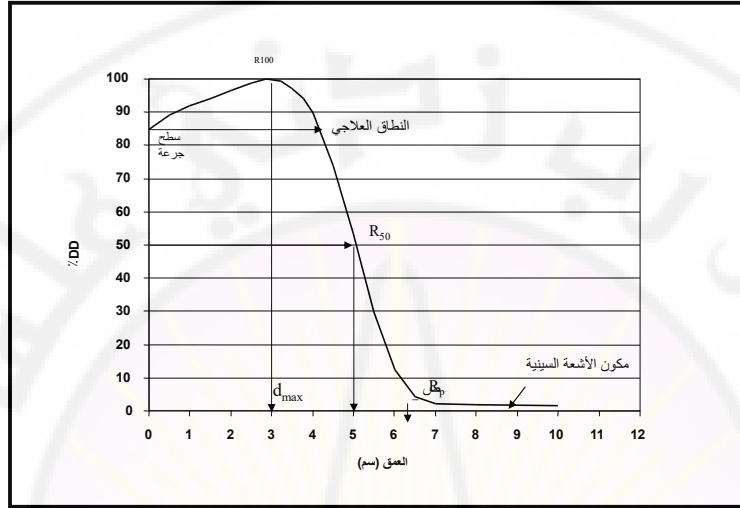
العلاج الإشعاعي بالإلكترونات



- نطاق محدود
- انخفاض سريع للجرعة مع العمق

45

خصائص حزمة الإلكترونات



46

استخدام الإلكترونات

- الآفات الجلدية
- تقوية الندبات
- تجنب البنى الحساسة العميقة (مثل النخاع الشوكي)

47

المزيد من المعوقات المتعلقة باستخدام الإلكترونات في العلاج الإشعاعي

- أكثر صعوبة من حيث التنبؤ الحاسوبي لتوزيع الجرعة
- يصعب التنبؤ بالحقول الصغيرة
- يعد قياس الجرعات أكثر صعوبة إلى حد ما من الفوتونات بسبب التدرجات القوية للجرعة وتباين طاقة الإلكترون مع العمق



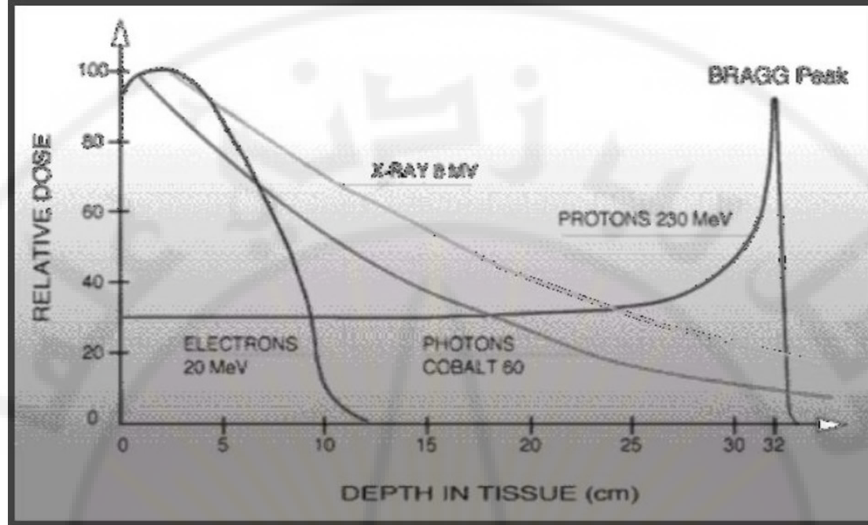
48

أنواع الإشعاع الأخرى

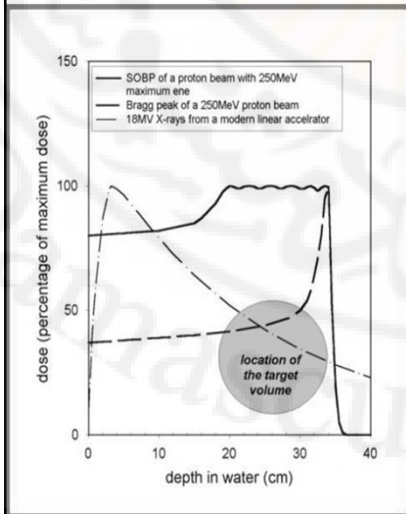
- النوترونات
- معقدة من ناحية البيولوجيا الإشعاعية
- تفاعلاتها معقدة
- تتميز باحتمال معالجة الأورام المقاومة للأكسجين hypoxic والأورام المقاومة للإشعاع
- لا تستخدم على نطاق واسع
- البروتونات - ربما تكون أكثر أنواع الإشعاع الأخرى الواعدة

49

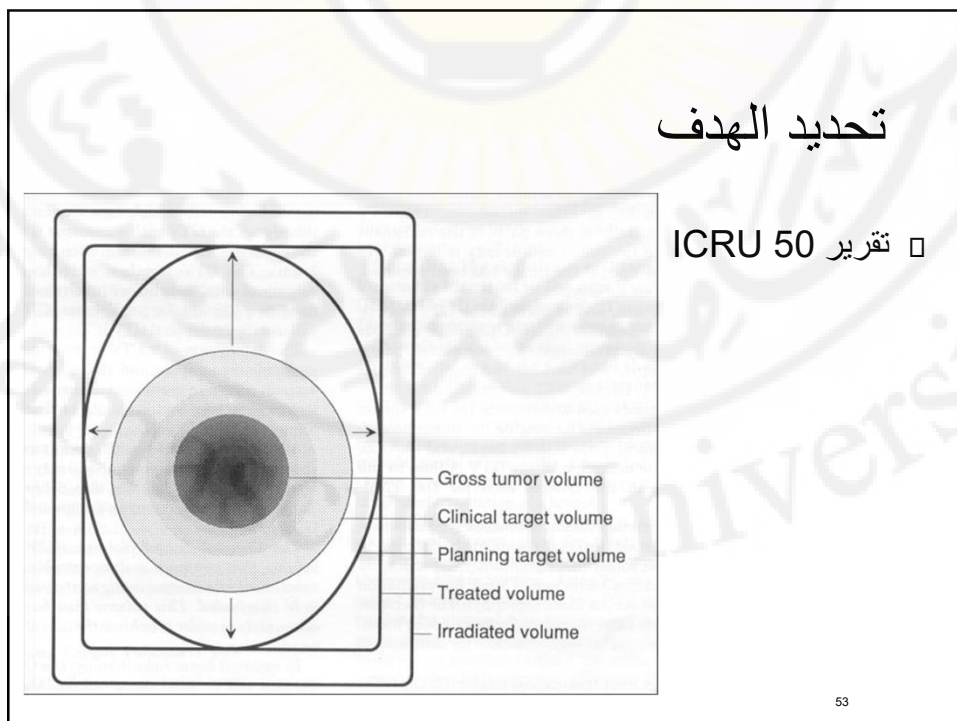
مقارنة بأنواع الإشعاع الأخرى



50

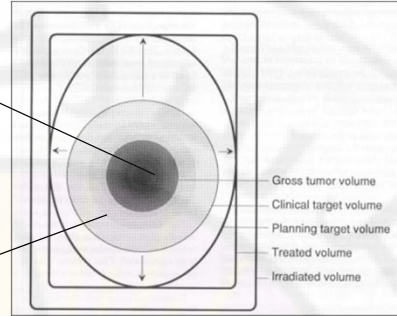


- إن قمة براغ المنتشرة هي عبارة عن تجميع للعديد من الحزم ذات الطاقات المختلفة مما ينتج عنه أعماق مختلفة لقمة براغ، وبإضافة التوجيه الصحيح، فإن الحزمة الناتجة لها هضبة مسطحة تقريباً في العمق.
- تعود التموجات الصغيرة إلى استخدام قمم براغ فردية.
- يمكن تلخيص الميزة المحتملة للعلاج الإشعاعي بالبروتون بتخفيض مقدار الجرعة قبل الهدف وخلفه بسبب قمة براغ



التعاريف من التقرير ICRU 50

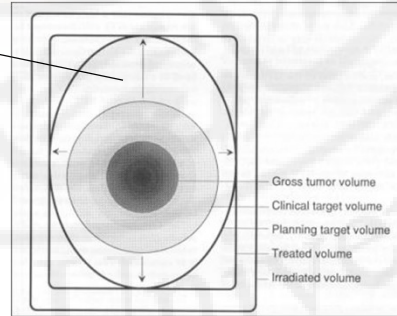
- حجم الورم الإجمالي
(GTV) = الورم المثبت سريرياً
- الحجم المستهدف سريرياً
+ VTG = (VTC)
المنطقة المعرضة للخطر
(مثل العقد الليمفاوية التي
يحتفل أن تكون مصابة)



54

التعاريف من التقرير ICRU 50

- حجم الهدف في تخطيط
المعالجة (PTV) = الحجم
المخطط لمعالجته CTV
+ هامش ارتياحات الإعداد و
حركة الأعضاء الممكنة



تعتمد الهوامش على جودة المعدات المستخدمة، وعلى الارتياحات في الإعداد والحركة الداخلية للأعضاء. يشار إلى أن الهوامش ليست بالضرورة موحدة إذا كان العضو يتحرك في اتجاه معين في الغالب (على سبيل المثال الكبد مع التنفس)، فقد تعكس الهوامش ذلك.

55

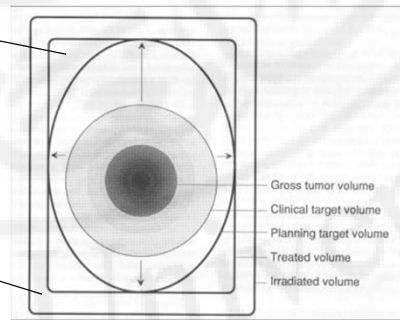
استراتيجيات الهوامش

- تعد الهوامش أكثر أهمية للعلاج الإشعاعي السريري - فهي تعتمد على:
 - هامش داخلي : حركة العضو
 - هامش خارجي: إعدادات المريض ومحاذاة الحزمة
- يمكن أن تكون الهوامش غير موحدة ولكن يجب أن تكون ثلاثية الأبعاد
- من الطرق المعقولة للتفكير: "اختر الهوامش بحيث يكون الهدف في الحقل المعالج على الأقل عند 95% من وقت المعالجة"

56

التعاريف من التقرير ICRU 50

- الحجم المعالج = الحجم الذي يتلقى الجرعة التي تعد كافية للهدف السريري
- الحجم المشع = الجرعة التي تعد غير مهمة للأنسجة الطبيعية



57

5. الإجراءات الخاصة

- تشعيع كامل الجسم
- تشعيع كامل الجلد بالإلكترونات
- الجراحة الإشعاعية التجسيمية

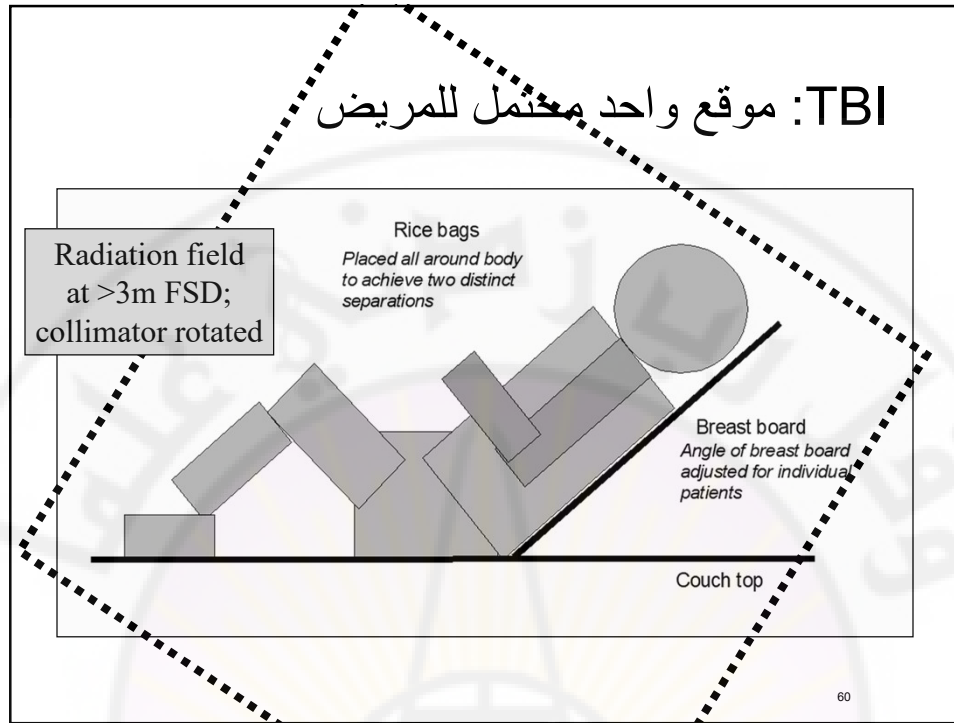


58

تشعيع كامل الجسم (TBI)

- الهدف: نخاع العظم
- التقنيات المختلفة المتاحة:
- حقلين جانبيين مع مسافات FSD موسعة
- AP و PA
- تحريك المريض من خلال الحزمة
- عادة من المستحيل القيام بخطة علاج محوسبة
- تحتاج العديد من القياسات

59



المعوقات في TBI

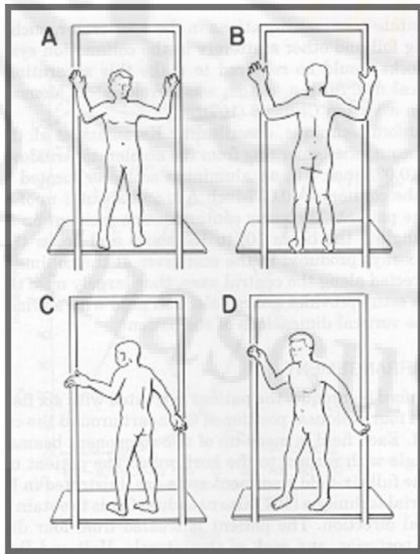
- ضروري في قياس الجرعات في الجسم بشكل آني
- قد تحتاج إلى علاج معدل الجرعات المنخفضة
- حماية الأعضاء الحرجة (مثل الرئة) وأجزاء الجسم الرقيقة
- يمكن أن يكون هذا فقط لأجزاء من العلاج لتحقيق أفضل تجانس ممكن للجرعة (تعديل الشدة)
- غالبًا ما يتم حظر أجزاء رقيقة من الجسم (القدمين والرأس) لجزء من العلاج أو يتم وضع مخفف مناسب في الحزمة: هذا مشابه لـ IMRT مع MLC.

تشعيع كامل الجلد بالإلكترونات

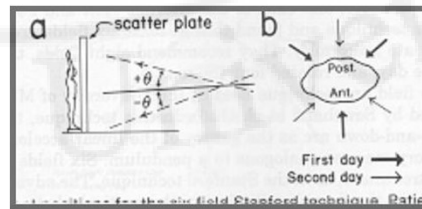
- يعالج كامل سطح الجلد بعمق منخفض للغاية
- من التقنيات المختلفة المتاحة
- 4 أو 6 حقول
- تدوير المريض
- من المستحيل التخطيط للمعالجة باستخدام الحاسب
- يتطلب العديد من القياسات لتوصيف الحزمة

62

تشعيع كامل الجلد بالإلكترونات



- حقول إلكترونية متعددة في مسافات FSD موسعة
- يعد كامل جلد الجسم هدفاً



63

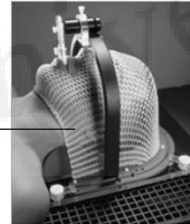
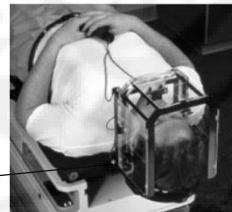
معوقات مع TBSI

- استخدام إلكترونات منخفضة الطاقة (4 أو 6 ميجا إلكترون فولت)
- يحسن وجود مخمد أمام المريض من توزيع الجرعة
- المخمد عبارة عن طبقة رقيقة من البرسيبيكس- ويجب الأخذ بعين الاعتبار تخفيض الطاقة الفعالة للحزمة الإلكترونية.
- حماية الأطراف والعينين
- الحاجة إلى تعزيز بعض المناطق (مثل المناطق تحت الذراعين)

64

الإجراءات التجسيمية Stereotactic procedures

- الدقة المكانية حوالي 1 مم
- جرعة عالية في كل جزء فردي من الجرعة الكلية (على سبيل المثال للتشوهات الشريانية الوريدية) = الجراحة الإشعاعية التجسيمية
- باستخدام إطار رأس مُثبت عن طريق التدخل الجراحي
- أجزاء متعددة من الجرعة الكلية لعلاج الورم = العلاج الإشعاعي التجسمي باستخدام تثبيت الرأس القابل لإعادة التوضع



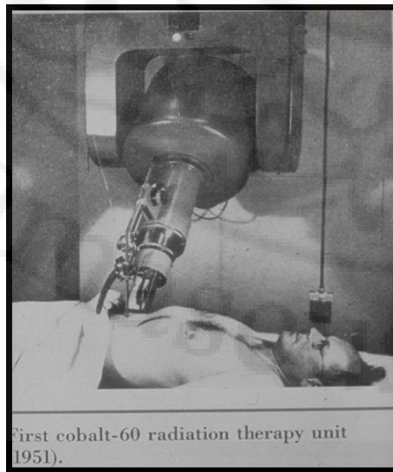
65

أدوات التحقق في المعالجة الإشعاعية الخارجية EBT

- الموقع الصحيح
- أفلام البوابة portal films
- تصوير البوابة الإلكترونية
- الجرعة الصحيحة
- القياسات ضمن الفانتومات
- قياس الجرعات الأنوية في الجسم

66

وحدات المعالجة الغماوية



- مصدر ذو نشاط عالي جداً (أكثر من 1000 كوري)
- تقريبا جميعها تستعمل الكوبالت 60
- بعض الوحدات القديمة تستخدم C-137
- أول علاج للمريض في لندن ، أكتوبر 1951 ،

67



طابع للاحتفال بالذكرى الخمسين
للعلاج الإشعاعي الخارجي
المكون الكزبالت 60

68

وحدات المعالجة الغماوية

- السيزيوم 137
- طاقة الفوتون 0.66MeV
- مصدر كبير نسبياً لنشاط محدد منخفض نسبياً
- متوسط المسافة FSD (حوالي 60 سم)
- لا يوجد تركيب متساوي المركز isocentric - على غرار
- معدات المعالجة بالأشعة السينية التقويمية في الإعداد
- لم تعد تباع بعد الآن ويجب ألا تكون قيد الاستخدام

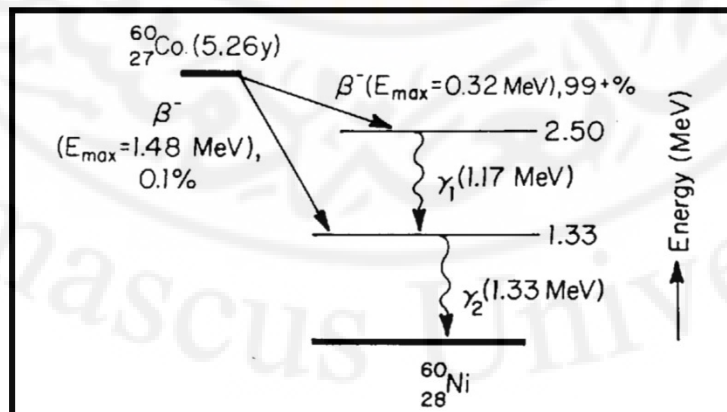
الكوبالت - 60



- طاقة الفوتون حوالي 1.25 ميغا إلكترون فولت
- خطان طاقيان عند 1.17 ميغا فولت و 1.33 ميغا فولت

70

الكوبالت - 60



71



الكوبالت - 60

- طاقة الفوتون حوالي 1.25 ميغا إلكترون فولت
- نشاطية محددة كبيرة بما يكفي لمسافة FSD بطول 80 سم أو حتى 100 سم
- لذلك، يمكن إنشاء مركز متساوي isocentric

72

الكوبالت - 60

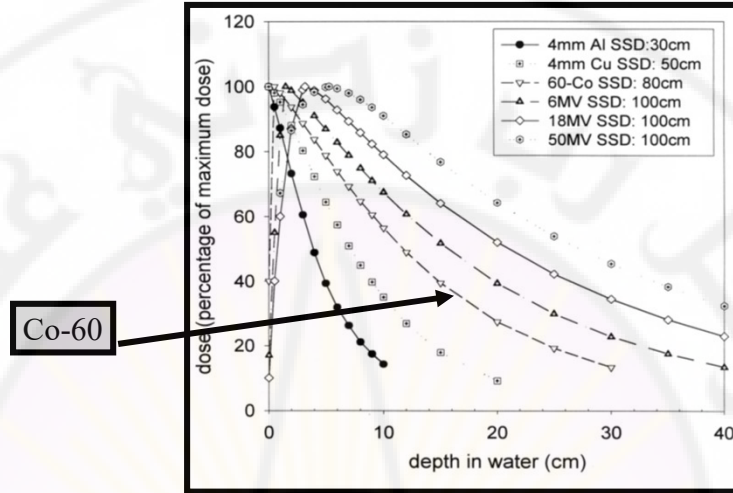
- يسمح الإعداد المتساوي المركز isocentric بحركة جميع المكونات حول نفس المركز



- المحدد
- الغانثري
- طاولة المريض

73

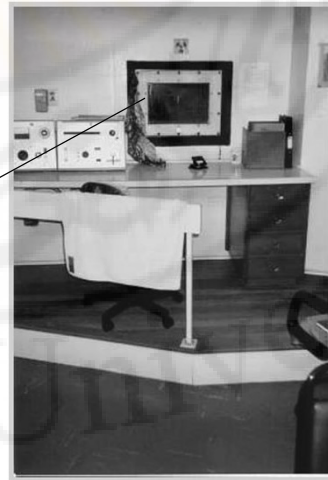
مقارنة جرعة العمق



74

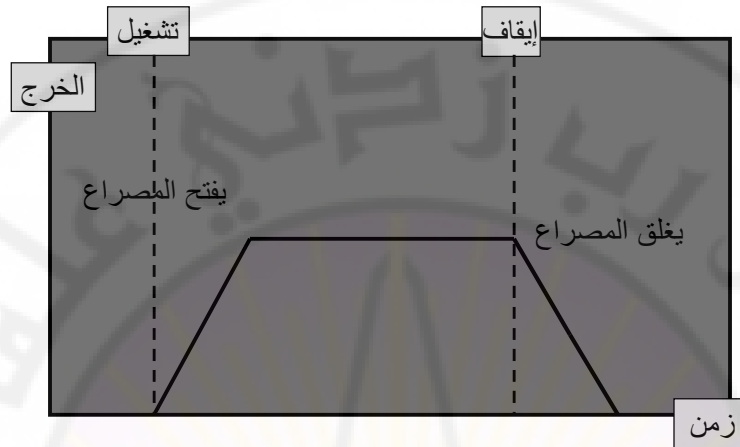
وحدة التحكم في جهاز الكوبالت 60

- مؤقت تحكم مزدوج
- مراقبة المريض
- زجاج رصاصي
- نظام الفيديو



75

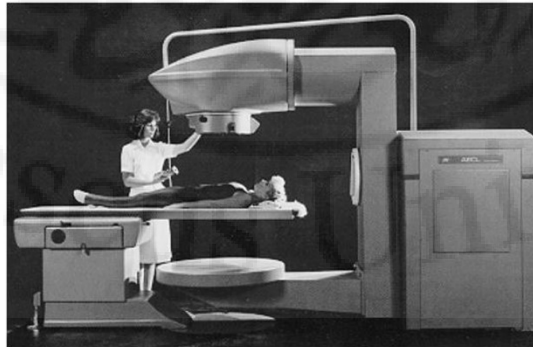
تأثير التشغيل / الإيقاف



76

معدات أشعة جاما

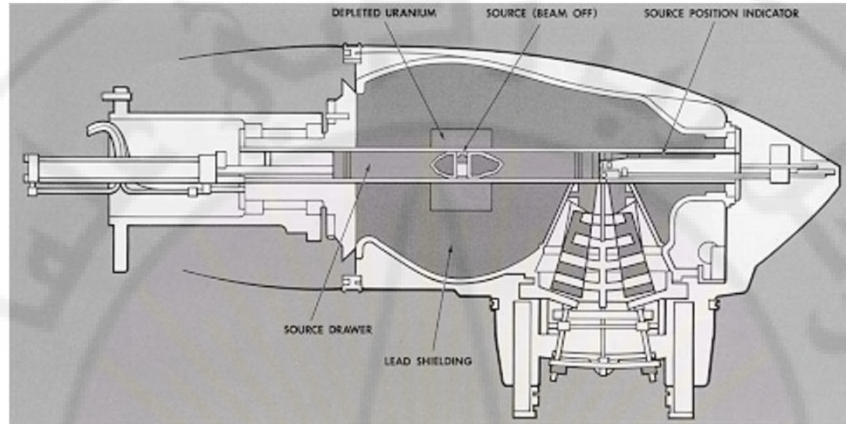
□ وحدة معالجة بالكوبالت - 60



77

معدات أشعة جاما

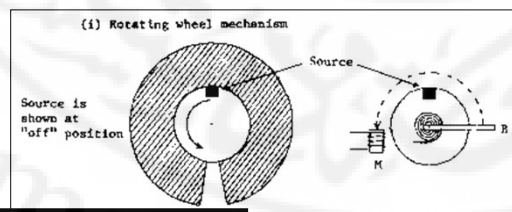
آلية نقل المصدر ضمن الرأس



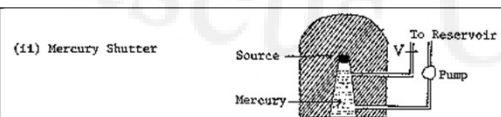
78

معدات أشعة جاما

آليات أخرى لنقل المصدر



تدوير المصدر



مصراع الزئبق
(يعمل في الأول
وحدة 60 كوفي 1951)

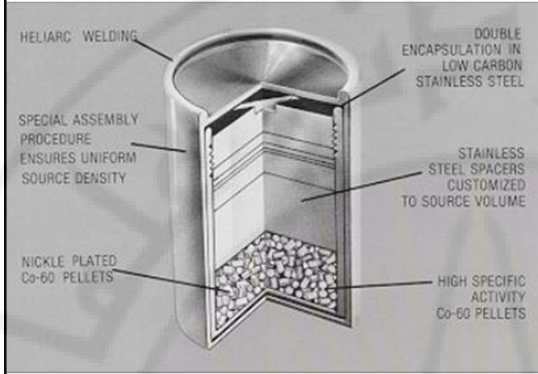
الجزء الخامس، المعاصرة 2: المعدات - البطارية، الاتصالات

79

معدات أشعة جاما

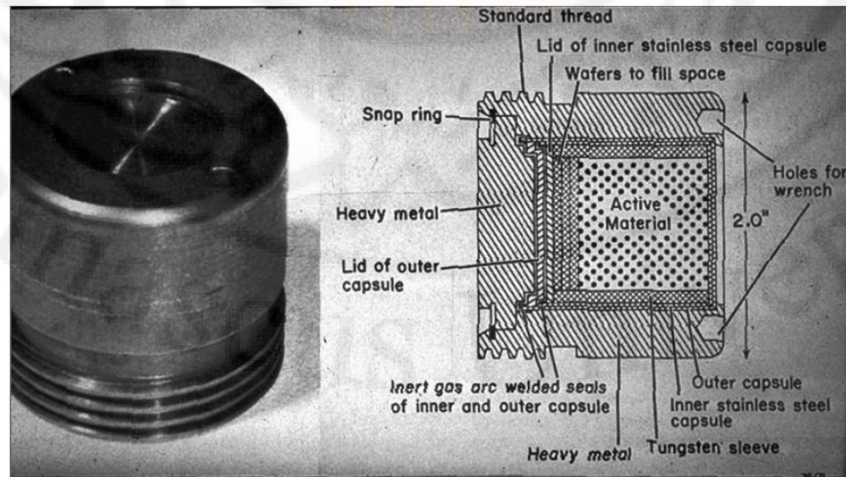
تجميعية المصدر:

- يجب أن يكون المصدر مغلقاً بحيث يمكنه تحمل درجات الحرارة التي يحتمل الحصول عليها في حرائق المباني
- يوصى بالتغليف المزدوج لتجنب التسرب

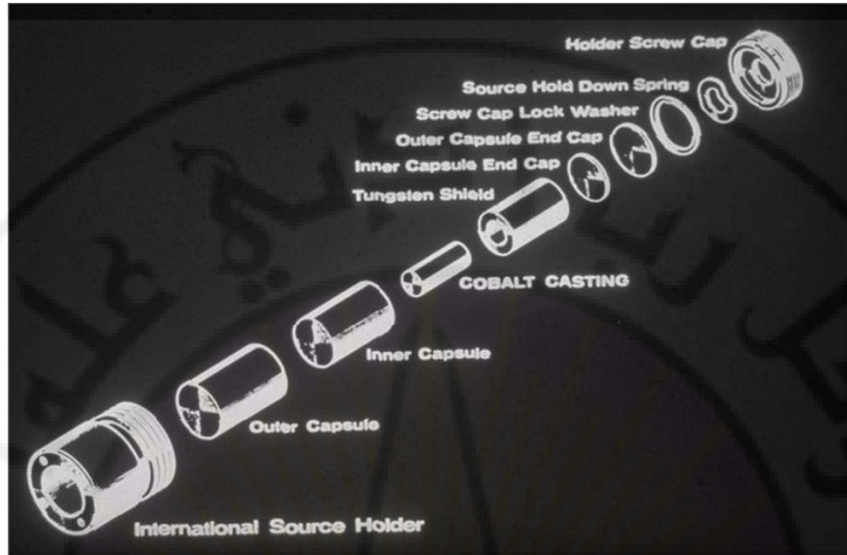


80

تصميم مصدر الكوبالت



81



الجزء الخامس، المحاضرة 2: المعدات - المظلة، الاتصالات

82

معدات أشعة جاما

- عمر النصف للكوبالت 60 هو 5.26 سنة
- يوصى بتغيير المصدر كل 5 سنوات للحفاظ على شدة الخرج

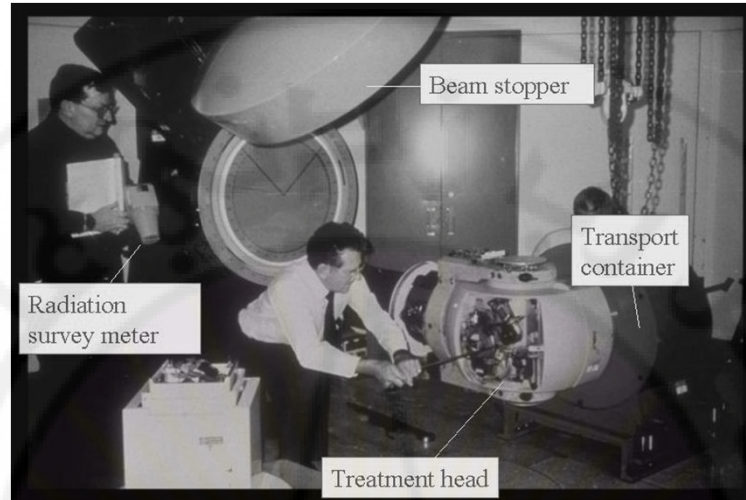
حاوية نقل المصدر

وحدة الرأس



83

صورة تغيير مصدر Co



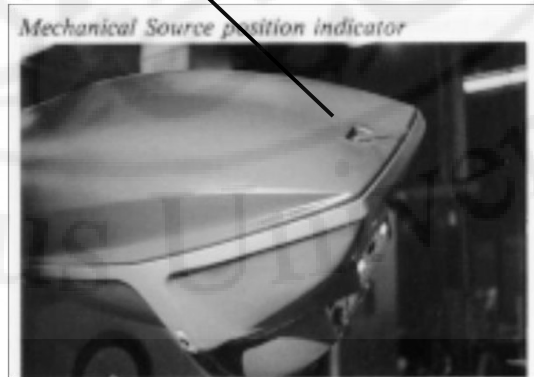
الجزء الخامس، المحاضرة 2: المعدات - المظلة، الاتصالات

84

معدات أشعة جاما

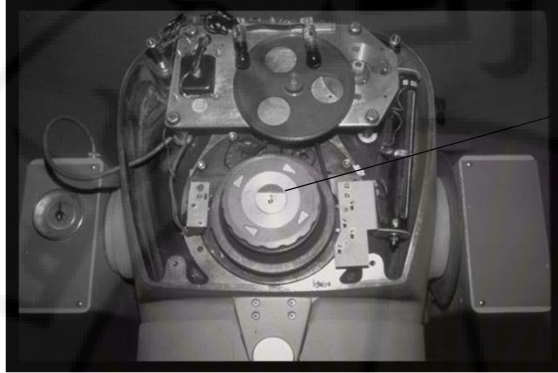
□ مؤشر موقف المصدر الميكانيكي

ضروري لـ:
 • الإشارة فيما إذا كان
 المصدر خارج الأمان
 • غالبًا ما يقترن بجهاز
 ميكانيكي لدفع المصدر
 للخلف إذا كان عالقًا



85

رأس وحدة الكوبالت (مصدر دوار)



شعاع على
مؤشر

إذا كان الجانب الأحمر من الدائرة يشير إلى الأسفل، فإنه يمكن رؤيته من خلال فتحة في غطاء الوحدة ويشير إلى أن المصدر مكشوف

86

معدات أشعة جاما

- يجب أن تكون آلية التحكم في الحزمة من النوع " فشل في الأمان"، وهذا يعني أن المصدر سيعود إلى وضع الإيقاف في حالة:
 - نهاية التعريض العادي
 - أي حالة انهيار
 - انقطاع القوة التي تمسك بالآلية التحكم في الحزمة في وضع التشغيل، على سبيل المثال فشل الطاقة الكهربائية أو مصدر الهواء المضغوط
- تعزز من مفهوم "الدفاع في العمق"
- في حالة فشل المصدر في العودة إلى وضع الإيقاف OFF، سيكون من الممكن مقاطعة التعريض بوسائل أخرى، على سبيل المثال، نظام إرجاع يدوي.

87

معدات أشعة جاما

□ مقدار التسرب الإشعاعي من الرأس والمصدر في وضع الإغلاق لا يزيد عن:

□ $10^{-10} \text{ h yG } \mu$ على بعد 1 متر من المصدر

□ $200^{-10} \text{ h yG } \mu$ عند 5 سم من حاوية رأس الكوبالت

□ يمكن أن يساهم هذا بنسبة كبيرة في الجرعة القصوى المسموح بها للمهنيين

88