الفيزياء الإشعاعية · نظري

المحاضرة 4

تسخين أنبوب الأشعة وتبريده

X-ray Tube Heating and Cooling

إعداد: **محمد الموسوي**

@almusawy_radiology

الفهرس

1. إنتاج الحرارة في أنبوب الأشعة	Heat Production in X-ray Tubes
2. السعة الحرارية والتبريد	Heat Capacity and Cooling
3. العوامل المؤثّرة في السعة الحرارية	Factors Affecting the Heat Capacity
4. المادة وتصميم الأنود	Material Composition & Anode Design
5. الحجم والتبريد وعوامل التشغيل	Size, Cooling & Operational Factors
6. الخلاصة	Summary
7. الأسئلة	MCQs
8. اختبر نفسك	Quiz

1 إنتاج الحرارة في أنبوب الأشعة Heat Production in X-ray Tubes

تسخين أنبوب الأشعة وتبريده X-ray Tube Heating and Cooling

أ. إنتاج الحرارة في أنابيب الأشعة A. Heat Production in X-ray Tubes

1- Heat is generated primarily at the anode due to the bombardment of high-speed electrons.

تتولّد الحرارة أساساً في الأنود بسبب قصفه بالإلكترونات عالية السرعة.

2- When electrons from the cathode strike the anode, their kinetic energy is transformed.

عندما تصطدم الإلكترونات القادمة من الكاثود بالأنود، تتحوّل طاقتها الحركية.

3- A small fraction of this energy produces X-rays through the bremsstrahlung process and characteristic X-ray emission, but the vast majority (about 99%) results in heat.

جزء صغير من هذه الطاقة يُنتج الأشعة السينية بعملية أشعة الكبح (bremsstrahlung) وانبعاث الأشعة السينية المميّزة (characteristic)، لكن الغالبية العظمى (حوالي 99%) تتحوّل إلى حرارة.

4- This high level of heat can cause damage to the anode if not dissipated properly.

هذا المستوى العالي من الحرارة قد يُتلف الأنود إذا لم يُبدَّد بشكل صحيح.

⭐ أهم نقطة

الحرارة تتولّد أساساً في الأنود؛ حوالي 99% من طاقة الإلكترونات تصير حرارة، والجزء الصغير الباقي يُنتج الأشعة (كبح + مميّزة).

2 السعة الحرارية والتبريد Heat Capacity and Cooling 🔊

ب. السعة الحرارية والتبريد B. Heat Capacity and Cooling

1- The heat capacity of the anode refers to the amount of heat it can absorb before its temperature rises to dangerous levels.

السعة الحرارية للأنود (heat capacity) هي كمية الحرارة التي يستطيع امتصاصها قبل أن ترتفع حرارته إلى مستويات خطرة.

2- Anodes are typically made of tungsten due to its high melting point and excellent heat tolerance.

تُصنع الأنودات عادةً من التنغستن بسبب درجة انصهاره العالية وتحمّله الممتاز للحرارة.

3- However, even tungsten anodes require adequate cooling mechanisms.

ومع ذلك، حتى أنودات التنغستن تحتاج إلى آليات تبريد كافية.

4- Cooling can be achieved through conduction (via rotating anodes), convection (circulation of air or oil), or radiation (emitting infrared heat).

يمكن تحقيق التبريد بالتوصيل (conduction) (عن طريق الأنودات الدوّارة)، أو بالحمل (convection) (دوران الهواء أو الزيت)، أو بالإشعاع (بثّ الحرارة على شكل أشعة تحت حمراء).

5- Modern X-ray tubes use several strategies to manage heat, including rotating anodes, which distribute the heat over a larger area, and oil-based cooling systems that dissipate the heat externally.

أنابيب الأشعة الحديثة تستعمل عدة طرق للتحكم بالحرارة، منها الأنودات الدوّارة التي توزّع الحرارة على مساحة أكبر، وأنظمة التبريد بالزيت التي تبدّد الحرارة إلى الخارج.

6- The maximum heat storage of the tube is often expressed in terms of Heat Units (HU), and the cooling rate is essential to ensure the tube's longevity.

أقصى خزن للحرارة في الأنبوب يُعبَّر عنه غالباً بالوحدات الحرارية (HU)، ومعدّل التبريد ضروري لضمان طول عمر الأنبوب.

⭐ **أهم نقطة**

السعة الحرارية = الحرارة التي يمتصّها الأنود قبل الخطر؛ التبريد بالتوصيل أو الحمل أو الإشعاع، وأقصى خزن حراري يُقاس بـ HU.

---

3 العوامل المؤثّرة في السعة الحرارية Factors Affecting the Heat Capacity

العوامل المؤثّرة في السعة الحرارية Factors Affecting the Heat Capacity

1- The heat capacity of an X-ray tube refers to its ability to absorb and store heat without reaching temperatures that could damage the tube components.

السعة الحرارية لأنبوب الأشعة هي قدرته على امتصاص الحرارة وخزنها دون الوصول إلى درجات حرارة قد تُتلف مكوّنات الأنبوب.

2- Heat management is critical in maintaining the functionality and longevity of X-ray tubes.

التحكم بالحرارة أمر حاسم للحفاظ على عمل أنابيب الأشعة وطول عمرها.

3- Several factors affect the heat capacity :

هناك عدة عوامل تؤثّر في السعة الحرارية:

A. Material Composition

أ. تركيب المادة.

B. Anode Design

ب. تصميم الأنود.

C. Size and Surface Area

ج. الحجم ومساحة السطح.

D. Cooling Mechanisms

د. آليات التبريد.

E. Operational Factors

هـ. عوامل التشغيل.

⭐ أهم نقطة

خمسة عوامل تؤثّر في السعة الحرارية: المادة، تصميم الأنود، الحجم والمساحة، التبريد، التشغيل.

4 المادة وتصميم الأنود Material Composition & Anode Design 🔊

أ. تركيب المادة A. Material Composition

1- The materials used in the construction of the X-ray tube, particularly the anode, play a significant role in determining the heat capacity.

المواد المستعملة في صناعة أنبوب الأشعة، خصوصاً الأنود، لها دور كبير في تحديد السعة الحرارية.

2- Tungsten is a common material for the anode because of its high melting point (around 3422°C) and good heat tolerance.

التنغستن مادة شائعة للأنود بسبب درجة انصهاره العالية (حوالي 3422 °م) وتحمّله الجيد للحرارة.

3- Other materials such as molybdenum or graphite can also be used, depending on the specific application and desired heat capacity.

يمكن أيضاً استعمال مواد أخرى مثل الموليبدنوم (molybdenum) أو الغرافيت (graphite)، حسب التطبيق المحدد والسعة الحرارية المطلوبة.

ب. تصميم الأنود (دوّار مقابل ثابت) B.Anode Design (Rotating vs. Stationary)

1- The design of the anode is crucial. Rotating anodes are preferred in high-performance X-ray tubes because they allow the heat to spread over a larger surface area.

تصميم الأنود مهم جداً. الأنودات الدوّارة مفضّلة في أنابيب الأشعة عالية الأداء لأنها تسمح بانتشار الحرارة على مساحة سطح أكبر.

2- This rotation prevents localized overheating and increases the overall heat capacity of the system compared to stationary anodes, which have limited surface area for heat dissipation.

هذا الدوران يمنع السخونة الموضعية الزائدة ويزيد السعة الحرارية الكلية للمنظومة مقارنةً بالأنودات الثابتة التي لها مساحة سطح محدودة لتبديد الحرارة.

⭐ أهم نقطة

التنغستن (انصهار حوالي 3422 °م) شائع للأنود، ويمكن الموليبدنوم أو الغرافيت؛ والأنود الدوّار يوزّع الحرارة على مساحة أكبر ويمنع السخونة الموضعية.

---

5 الحجم والتبريد وعوامل التشغيل Size, Cooling & Operational

ج. الحجم ومساحة السطح C.Size and Surface Area

1- The size of the anode directly affects its heat capacity.

حجم الأنود يؤثّر مباشرةً في سعته الحرارية.

2- A larger anode provides more surface area to distribute and dissipate heat, increasing its ability to handle higher workloads.

الأنود الأكبر يوفّر مساحة سطح أكبر لتوزيع الحرارة وتبديدها، فتزيد قدرته على تحمّل أحمال عمل أعلى.

3- Moreover, the geometry of the anode, such as grooves or other surface modifications, can also enhance heat dissipation and improve the heat capacity.

كما أن شكل الأنود الهندسي، مثل الأخاديد أو التعديلات الأخرى على السطح، يمكن أن يحسّن تبديد الحرارة ويزيد السعة الحرارية.

د. آليات التبريد D. Cooling Mechanisms

1- Effective cooling systems are essential to managing heat capacity.

أنظمة التبريد الفعّالة ضرورية للتحكم بالسعة الحرارية.

2- Most X-ray tubes use oil or air cooling systems to remove heat from the anode.

معظم أنابيب الأشعة تستعمل أنظمة تبريد بالزيت أو الهواء لإزالة الحرارة من الأنود.

3- The efficiency of these cooling mechanisms impacts how quickly the tube can release stored heat, which affects the tube's overall performance.

كفاءة آليات التبريد هذه تؤثّر في سرعة تخلّص الأنبوب من الحرارة المخزونة، وهذا يؤثّر في أدائه العام.

4- Better cooling allows for higher heat capacity, as heat is dissipated more rapidly.

التبريد الأفضل يسمح بسعة حرارية أعلى، لأن الحرارة تتبدّد بسرعة أكبر.

هـ. عوامل التشغيل E. Operational Factors

1- The heat capacity is also influenced by how the X-ray tube is operated.

تتأثّر السعة الحرارية أيضاً بطريقة تشغيل أنبوب الأشعة.

2- High kV (kilovolt) settings and prolonged exposure times generate more heat, putting additional strain on the system.

إعدادات kV (الكيلوفولت) العالية وأزمان التعرّض الطويلة تولّد حرارة أكثر، فتضع عبئاً إضافياً على المنظومة.

3- Using short pulses of radiation or intermittent exposures can help manage the heat load and prevent the tube from exceeding its heat capacity

استعمال نبضات قصيرة من الإشعاع أو تعرّضات متقطّعة يساعد في التحكم بالحمل الحراري ويمنع الأنبوب من تجاوز سعته الحرارية.



The lecture's closing slide: “Thank You” over workers in protective suits, with radiation caution signs (decorative).

الشريحة الختامية للمحاضرة: «شكراً» فوق عاملين يرتدون بدلات واقية، مع علامات التحذير من الإشعاع (صورة زخرفية).

المصدر: محاضرة الأستاذ، ص 6

⭐ أهم نقطة

أنود أكبر وتبريد أفضل (زيت أو هواء) = سعة حرارية أعلى؛ وkV العالي والتعرّض الطويل يولّدان حرارة أكثر، والنبضات القصيرة تساعد.

الخلاصة

1. Heat is generated mainly at the anode; about 99% of the electron energy becomes heat.
الحرارة تتولّد أساساً في الأنود، وحوالي 99% من طاقة الإلكترونات تصير حرارة.

2. Only a small fraction produces X-rays (bremsstrahlung and characteristic).
جزء صغير فقط يُنتج الأشعة (الكبح والمميّزة).

3. Heat capacity: the heat the anode can absorb before dangerous temperatures.
السعة الحرارية: الحرارة التي يمتصّها الأنود قبل الوصول لدرجات خطرة.

4. Cooling: conduction, convection (air or oil), radiation (infrared).
التبريد: التوصيل، الحمل (هواء أو زيت)، الإشعاع (تحت الحمراء).

5. Maximum heat storage is expressed in Heat Units (HU).
أقصى خزن حراري يُعبَّر عنه بالوحدات الحرارية (HU).

6. Tungsten (~3422°C) is common; molybdenum or graphite can also be used.
التنغستن (حوالي 3422 °م) شائع، ويمكن الموليبدنوم أو الغرافيت.

7. Rotating anodes and larger anodes spread heat over a larger area.
الأنود الدوّار والأنود الأكبر يوزّعان الحرارة على مساحة أكبر.

8. High kV and prolonged exposure times generate more heat.
kV العالي وزمن التعرّض الطويل يولّدان حرارة أكثر.

أهم المصطلحات

Heat capacity	السعة الحرارية	**Heat Units (HU)**	الوحدات الحرارية
Bremsstrahlung	أشعة الكبح	**Characteristic X-rays**	الأشعة السينية المميّزة
Conduction / Convection	التوصيل / الحمل	**Tungsten**	التنغستن
Molybdenum / Graphite	الموليبدنوم / الغرافيت	**Stationary / Rotating anode**	الأنود الثابت / الدوّار
Melting point	درجة الانصهار	**Kinetic energy**	الطاقة الحركية

الأسئلة

1 **In the x-ray tube, heat is generated primarily at:**

في أنبوب الأشعة، تتولّد الحرارة أساساً في:

A	The anode	الأنود
B	The glass envelope	الغلاف الزجاجي
C	The high-voltage cables	كابلات الجهد العالي
D	The control panel	لوحة التحكم

✅ **A** **The anode** **الأنود**

💡 المحاضرة: تتولّد الحرارة أساساً في الأنود بسبب قصفه بالإلكترونات عالية السرعة.

2 **About what percentage of the electrons' energy results in heat?**

حوالي كم بالمئة من طاقة الإلكترونات تتحوّل إلى حرارة؟

A	About 1%	حوالي 1%
B	About 99%	حوالي 99%
C	About 50%	حوالي 50%
D	About 10%	حوالي 10%

✅ **B** **About 99%** **حوالي 99%**

💡 المحاضرة: الغالبية العظمى (حوالي 99%) تتحوّل إلى حرارة.

3 **The small fraction of energy that produces X-rays does so through:**

الجزء الصغير من الطاقة يُنتج الأشعة السينية عن طريق:

A	Convection and conduction	الحمل والتوصيل
B	Thermionic emission only	الانبعاث الحراري فقط
C	Bremsstrahlung process and characteristic X-ray emission	عملية الكبح وانبعاث الأشعة المميّزة
D	Rectification	التقويم

✅ **C** **Bremsstrahlung process and characteristic X-ray emission** **عملية الكبح وانبعاث الأشعة المميّزة**

💡 المحاضرة: جزء صغير يُنتج الأشعة عبر أشعة الكبح والانبعاث المميّز.

4 The heat capacity of the anode refers to:

السعة الحرارية للأنود تعني:

A	The speed of anode rotation	سرعة دوران الأنود
B	The number of electrons striking it	عدد الإلكترونات التي تصطدم به
C	The voltage across the tube	الجهد عبر الأنبوب
D	The amount of heat it can absorb before its temperature rises to dangerous levels	كمية الحرارة التي يمتصّها قبل أن ترتفع حرارته لمستويات خطرة

✅ **D** **The amount of heat it can absorb before its temperature rises to dangerous levels** — كمية الحرارة التي يمتصّها قبل أن ترتفع حرارته لمستويات خطرة

💡 المحاضرة: السعة الحرارية للأنود هي كمية الحرارة التي يمتصّها قبل أن ترتفع حرارته إلى مستويات خطرة.

5 Cooling by circulation of air or oil is called:

التبريد بدوران الهواء أو الزيت يُسمّى:

A	Convection	الحمل
B	Conduction	التوصيل
C	Radiation	الإشعاع
D	Rectification	التقويم

✅ **A** **Convection** — الحمل

💡 المحاضرة: الحمل الحراري (دوران الهواء أو الزيت).

6 The maximum heat storage of the tube is often expressed in:

أقصى خزن للحرارة في الأنبوب يُعبَّر عنه غالباً بـ:

A	Kilovolts (kV)	الكيلوفولت
B	Heat Units (HU)	الوحدات الحرارية ({{HU}})
C	Milliamperes (mA)	الملي أمبير
D	Hertz (Hz)	الهيرتز

✅ **B** **Heat Units (HU)** — الوحدات الحرارية ({{HU}})

💡 المحاضرة: أقصى خزن حراري يُعبَّر عنه بالوحدات الحرارية HU.

7 **Cooling by radiation means:**

التبريد بالإشعاع يعني:

A	Circulating oil around the tube	تدوير الزيت حول الأنبوب
B	Rotating the anode	تدوير الأنود
C	Emitting infrared heat	بثّ الحرارة على شكل أشعة تحت حمراء
D	Reducing the kV	خفض الـ {{kV}}

✅ **C** **Emitting infrared heat** **بثّ الحرارة على شكل أشعة تحت حمراء**

💡 المحاضرة: الإشعاع (إطلاق الحرارة على شكل أشعة تحت حمراء).

8 **Which is NOT one of the factors affecting the heat capacity listed in the lecture?**

أي مما يلي ليس من العوامل المؤثّرة في السعة الحرارية المذكورة بالمحاضرة؟

A	Material Composition	تركيب المادة
B	Cooling Mechanisms	آليات التبريد
C	Operational Factors	عوامل التشغيل
D	Patient weight	وزن المريض

✅ **D** **Patient weight** **وزن المريض**

💡 المحاضرة: العوامل: المادة، تصميم الأنود، الحجم والمساحة، آليات التبريد، عوامل التشغيل.

9 **The heat capacity of an X-ray tube refers to its ability to:**

السعة الحرارية لأنبوب الأشعة هي قدرته على:

A	Absorb and store heat without reaching temperatures that could damage the tube components	امتصاص الحرارة وخزنها دون الوصول لدرجات تُتلف مكوّناته
B	Produce more x-rays per second	إنتاج أشعة أكثر في الثانية
C	Convert AC to DC	تحويل {{AC}} إلى {{DC}}
D	Increase the patient dose	زيادة جرعة المريض

✅ **A** **Absorb and store heat without reaching temperatures that could damage the tube components** — **امتصاص الحرارة وخزنها دون الوصول لدرجات تُتلف مكوّناته**

💡 المحاضرة: قدرته على امتصاص الحرارة وخزنها دون الوصول لدرجات حرارة تُتلف مكوّنات الأنبوب.

10 **According to this lecture, the melting point of tungsten is around:**

حسب هذه المحاضرة، درجة انصهار التنغستن حوالي:

A	1000°C	1000 °م
B	3422°C	3422 °م
C	2200°C	2200 °م
D	99°C	99 °م

✅ **B** **3422°C** — **3422 °م**

💡 المحاضرة: التنغستن درجة انصهاره عالية (حوالي 3422 درجة مئوية).

11 **Other anode materials mentioned besides tungsten are:**

مواد الأنود الأخرى المذكورة غير التنغستن هي:

A	Lead or copper	الرصاص أو النحاس
B	Aluminum or glass	الألمنيوم أو الزجاج
C	Molybdenum or graphite	الموليبدنوم أو الغرافيت
D	Barium or iodine	الباريوم أو اليود

✅ **C** **Molybdenum or graphite** — **الموليبدنوم أو الغرافيت**

💡 المحاضرة: مواد أخرى مثل الموليبدنوم أو الغرافيت حسب التطبيق والسعة الحرارية المطلوبة.

12 **Rotating anodes are preferred in high-performance X-ray tubes because they:**

الأنودات الدوّارة مفضّلة في الأنابيب عالية الأداء لأنها:

A	Have a limited surface area	لها مساحة سطح محدودة
B	Need no cooling	لا تحتاج تبريداً
C	Reduce the kV	تقلّل الـ {{kV}}
D	Allow the heat to spread over a larger surface area	تسمح بانتشار الحرارة على مساحة سطح أكبر

✅ **D** **Allow the heat to spread over a larger surface area** — **تسمح بانتشار الحرارة على مساحة سطح أكبر**

💡 المحاضرة: الأنودات الدوّارة تسمح بانتشار الحرارة على مساحة سطح أكبر وتمنع السخونة الموضعية.

13 **A larger anode:**

الأنود الأكبر:

A	Provides more surface area to distribute and dissipate heat	يوفّر مساحة أكبر لتوزيع الحرارة وتبديدها
B	Decreases the heat capacity	يقلّل السعة الحرارية
C	Stops the need for oil cooling	يُلغي الحاجة للتبريد بالزيت
D	Generates more heat	يولّد حرارة أكثر

✅ **A** **Provides more surface area to distribute and dissipate heat** — **يوفّر مساحة أكبر لتوزيع الحرارة وتبديدها**

💡 المحاضرة: الأنود الأكبر يوفّر مساحة سطح أكبر لتوزيع الحرارة وتبديدها.

14 **Most X-ray tubes remove heat from the anode using:**
معظم أنابيب الأشعة تزيل الحرارة من الأنود باستعمال:

A	Water sprays	رذاذ الماء
B	Oil or air cooling systems	أنظمة تبريد بالزيت أو الهواء
C	Lead shielding	التدريع بالرصاص
D	Step-up transformers	المحوّلات الرافعة

✅ **B** **Oil or air cooling systems** — **أنظمة تبريد بالزيت أو الهواء**

💡 المحاضرة: معظم الأنابيب تستعمل أنظمة تبريد بالزيت أو الهواء.

15 **Which operating condition generates more heat in the tube?**
أي ظرف تشغيل يولّد حرارة أكثر في الأنبوب؟

A	Short pulses of radiation	نبضات إشعاع قصيرة
B	Intermittent exposures	تعرّضات متقطّعة
C	High kV settings and prolonged exposure times	إعدادات {{kV}} عالية وأزمان تعرّض طويلة
D	Better cooling	تبريد أفضل

✅ **C** **High kV settings and prolonged exposure times** — **إعدادات {{kV}} عالية وأزمان تعرّض طويلة**

💡 المحاضرة: إعدادات kV العالية وأزمان التعرّض الطويلة تولّد حرارة أكثر.

16 **According to the lecture, better cooling allows for:**
حسب المحاضرة، التبريد الأفضل يسمح بـ:

A	Lower heat capacity	سعة حرارية أقل
B	Longer exposure times only	أزمان تعرّض أطول فقط
C	Smaller anodes only	أنودات أصغر فقط
D	Higher heat capacity	سعة حرارية أعلى

✅ **D** **Higher heat capacity** — **سعة حرارية أعلى**

💡 المحاضرة: التبريد الأفضل يسمح بسعة حرارية أعلى لأن الحرارة تتبدّد أسرع.

✅ اختبر نفسك الآن

اختبار تفاعلي لهذه المحاضرة: الأسئلة نفسها بترتيب جديد كل مرة.

صوّر الرمز بكاميرا الموبايل إذا كان الملف مطبوعاً.

للمزيد: قناة @almusawy_radiology