المحاضرة

4

تسخين وتبريد أنبوب الأشعة السينية

Experiment (4): X-ray Tube Heating and Cooling — Factors Affecting the Heat Capacity

إعداد: **محمد الموسوي**

@almusawy_radiology

الفهرس

Contents

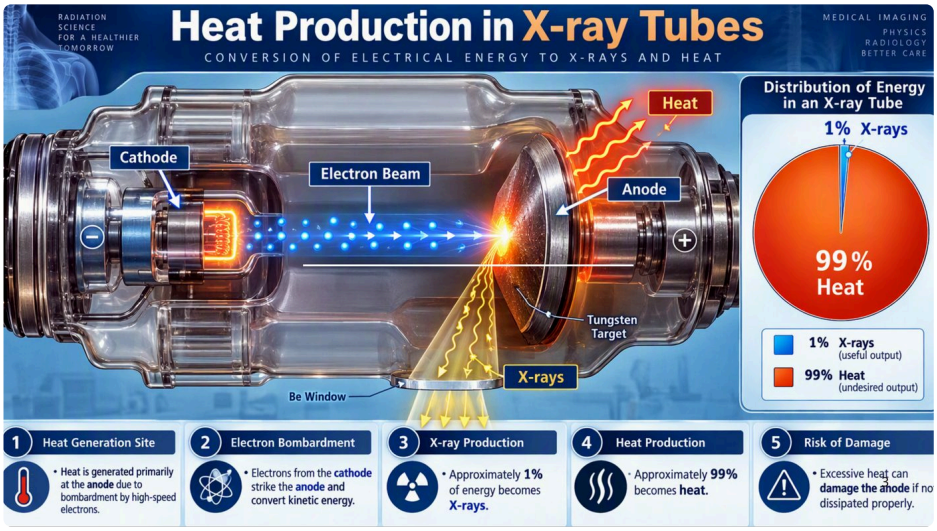
1	إنتاج الحرارة في أنبوب الأشعة	A. Heat Production in X-ray Tubes
2	السعة الحرارية والتبريد	B. Heat Capacity and Cooling
3	العوامل المؤثرة في السعة الحرارية: مادة الأنود	Factors Affecting the Heat Capacity — A. Material Composition
4	تصميم الأنود وحجمه ومساحته السطحية	B. Anode Design and C. Size and Surface Area
5	آليات التبريد	D. Cooling Mechanisms
6	العوامل التشغيلية	E. Operational Factors
7	الخلاصة	Summary
8	الأسئلة	MCQs
9	اختبر نفسك	Quiz

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

التجربة (4): تسخين وتبريد أنبوب الأشعة السينية، والعوامل المؤثرة في السعة الحرارية.	Experiment(4) X-ray Tube Heating and Cooling Factors Affecting the heat capacity

أ. إنتاج الحرارة في أنابيب الأشعة السينية
A. HEAT PRODUCTION IN X-RAY TUBES

تتولّد الحرارة أساساً عند الأنود.	Heat is generated primarily at the anode
عندما تضرب الإلكترونات القادمة من الكاثود الأنود، تتحوّل طاقتها الحركية.	When electrons from the cathode strike the anode, their kinetic energy is transformed.
جزء صغير من هذه الطاقة ينتج الأشعة السينية بعملية أشعة الكبح (Bremsstrahlung) وبانبعاث الأشعة السينية المميّزة، لكن الغالبية العظمى (نحو 99%) تتحوّل إلى حرارة.	Asmall 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.
هذا المستوى العالي من الحرارة قد يتلف الأنود إذا لم تُبدَّد بالشكل الصحيح.	This high level of heat can cause damage to the anode if not dissipated properly.



Heat production in X-ray tubes: conversion of electrical energy to X-rays and heat; distribution of energy in an X-ray tube (1% X-rays, 99% heat); heat generation site, electron bombardment, X-ray production, heat production and risk of damage.

إنتاج الحرارة في أنابيب الأشعة: تحوّل الطاقة الكهربائية إلى أشعة سينية وحرارة؛ توزيع الطاقة في الأنبوب (1% أشعة سينية و99% حرارة)؛ موقع توليد الحرارة، وقصف الإلكترونات، وإنتاج الأشعة، وإنتاج الحرارة، وخطر التلف.

المصدر: محاضرة الأستاذ، ص 3

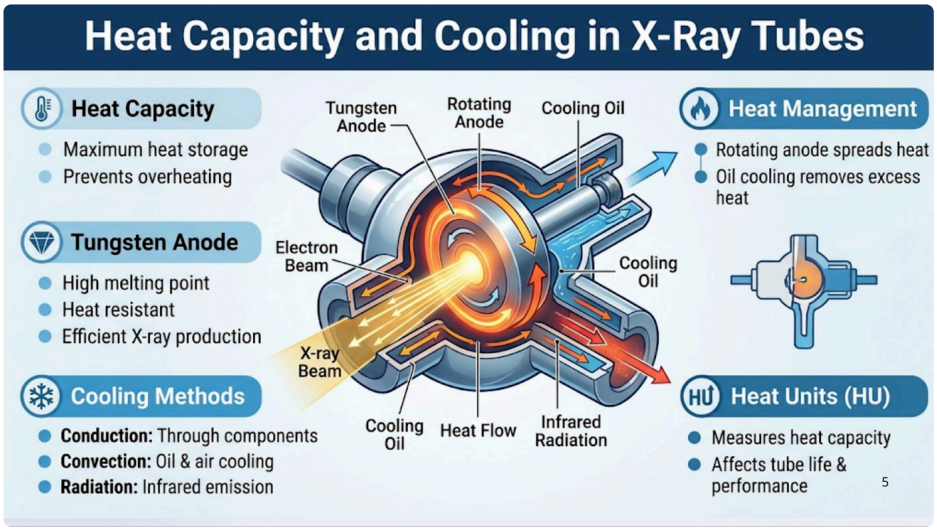
⭐ أهم نقطة

About 99% of the electron energy becomes heat at the anode and only about 1% becomes X-rays; excess heat can damage the anode.

نحو 99% من طاقة الإلكترونات يتحوّل إلى حرارة عند الأنود، و1% فقط أشعة سينية؛ والحرارة الزائدة قد تتلف الأنود.

2 السعة الحرارية والتبريد
B. Heat Capacity and Cooling

B. HEAT CAPACITY AND COOLING	ب. السعة الحرارية والتبريد
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 هي كمية الحرارة التي يستطيع امتصاصها قبل أن ترتفع درجة حرارته إلى مستويات خطرة.
Anodes are typically made of tungsten due to its high melting point and excellent heat tolerance.	تُصنع الأنودات عادةً من التنغستن لارتفاع درجة انصهاره وتحمّله الممتاز للحرارة.
even tungsten anodes require adequate cooling mechanisms	حتى أنودات التنغستن تحتاج إلى آليات تبريد كافية.
Cooling can be achieved through conduction (via rotating anodes), convection (circulation of air or oil), or radiation (emitting infrared heat)	يمكن تحقيق التبريد بالتوصيل (عبر الأنودات الدوّارة)، أو بالحمل (دوران الهواء أو الزيت)، أو بالإشعاع (انبعاث الحرارة بالأشعة تحت الحمراء).
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.	تستعمل أنابيب الأشعة الحديثة عدّة استراتيجيات لإدارة الحرارة، منها الأنودات الدوّارة التي توزّع الحرارة على مساحة أكبر، وأنظمة التبريد بالزيت التي تبدّد الحرارة إلى الخارج.
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	يُعبَّر عن أقصى خزن حراري للأنبوب غالباً بالوحدات الحرارية (HU)، ومعدّل التبريد ضروري لضمان عمر الأنبوب.



Heat capacity and cooling in X-ray tubes: heat capacity, tungsten anode, cooling methods (conduction, convection, radiation), heat management and Heat Units (HU).

السعة الحرارية والتبريد في أنابيب الأشعة: السعة الحرارية، وأنود التنغستن، وطرق التبريد (التوصيل والحمل والإشعاع)، وإدارة الحرارة، والوحدات الحرارية.

المصدر: محاضرة الأستاذ، ص 5

⭐ أهم نقطة

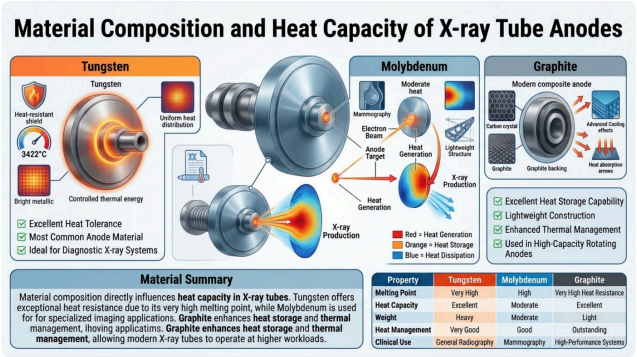
Heat capacity is the heat the anode can absorb before reaching dangerous temperatures; tungsten is the usual material; cooling is by conduction, convection and radiation; heat storage is expressed in HU.

السعة الحرارية = أقصى حرارة يمتصها الأنود قبل الخطر؛ والتنغستن مادته المعتادة؛ والتبريد بالتوصيل والحمل والإشعاع؛ وتُقاس بالوحدات الحرارية (HU).

3 العوامل المؤثرة في السعة الحرارية: مادة الأنود

Factors Affecting the Heat Capacity — A. Material Composition

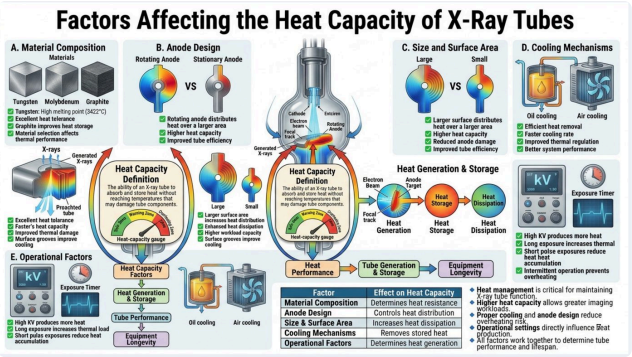
FACTORS AFFECTING THE HEAT CAPACITY	العوامل المؤثرة في السعة الحرارية
The heat capacity of an X-ray tube refers to its ability to absorb and store heat without reaching temperatures that could damage the tube components.	السعة الحرارية لأنبوب الأشعة السينية تعني قدرته على امتصاص الحرارة وخزنها دون الوصول إلى درجات حرارة قد تتلف مكوّنات الأنبوب.
Heat management is critical in maintaining the functionality and longevity of X-ray tubes.	إدارة الحرارة أمر حاسم للحفاظ على وظيفة أنابيب الأشعة السينية وعمرها.
Several factors affect the heat capacity :	تؤثر عدّة عوامل في السعة الحرارية:
• A. Material Composition	• أ. تركيب المادة
• B. Anode Design	• ب. تصميم الأنود
• C. Sizeand Surface Area	• ج. الحجم والمساحة السطحية
• D .Cooling Mechanisms	• د. آليات التبريد
• E .Operational Factors	• هـ. العوامل التشغيلية



Material composition and heat capacity of X-ray tube anodes: tungsten (3422°C, most common anode material, ideal for diagnostic X-ray systems), molybdenum (moderate heat, mammography) and graphite (excellent heat storage, light, used in high-capacity rotating anodes), with a comparison table.

تركيب المادة والسعة الحرارية لأنودات الأنبوب: التنغستن (3422°C، أكثر مواد الأنود شيوعاً، مثالي لأجهزة التشخيص)، والموليبدنوم (حرارة متوسطة، تصوير الثدي)، والغرافيت (خزن حراري ممتاز، خفيف، يُستعمل في الأنودات الدوّارة عالية السعة)، مع جدول مقارنة.

المصدر: محاضرة الأستاذ، ص 8



Factors affecting the heat capacity of X-ray tubes: material composition, anode design, size and surface area, cooling mechanisms and operational factors, with a summary table of each factor's effect on heat capacity.

العوامل المؤثرة في السعة الحرارية لأنابيب الأشعة: تركيب المادة، وتصميم الأنود، والحجم والمساحة السطحية، وآليات التبريد، والعوامل التشغيلية، مع جدول يلخّص تأثير كل عامل في السعة الحرارية.

المصدر: محاضرة الأستاذ، ص 7

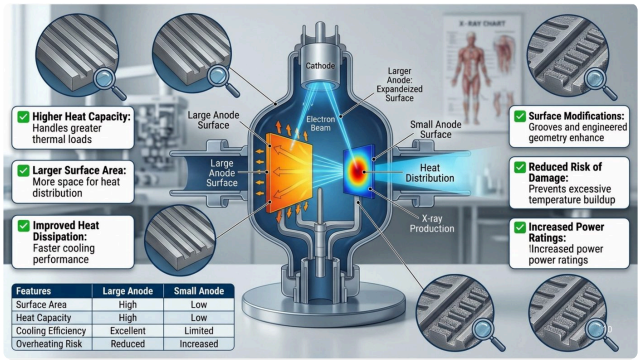
⭐ أهم نقطة

Anode material determines heat tolerance: tungsten is the most common (melting point 3422°C), molybdenum is used in mammography, and graphite improves heat storage.

مادة الأنود تحدّد تحمّله للحرارة: التنغستن الأكثر شيوعاً (انصهار 3422°C)، والموليبدنوم لتصوير الثدي، والغرافيت يحسّن الخزن الحراري.

4 تصميم الأنود وحجمه ومساحته السطحية

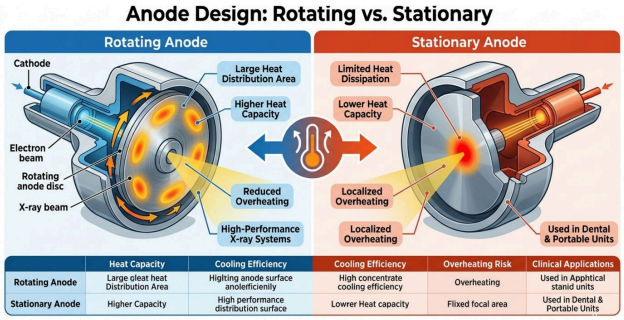
B. Anode Design and C. Size and Surface Area



Size and surface area: a larger anode surface gives higher heat capacity, a larger surface area, improved heat dissipation, reduced risk of damage and increased power ratings; surface grooves and engineered geometry enhance heat distribution.

الحجم والمساحة السطحية: سطح الأنود الأكبر يعطي سعة حرارية أعلى ومساحة أكبر وتبديداً أفضل للحرارة وخطر تلف أقل وقدرة تشغيلية أعلى؛ والأخاديد والهندسة المصمَّمة تعزّز توزيع الحرارة.

المصدر: محاضرة الأستاذ، ص 10



Anode design, rotating versus stationary: the rotating anode has a large heat distribution area, higher heat capacity, reduced overheating and is used in high-performance X-ray systems; the stationary anode has limited heat dissipation, lower heat capacity, localized overheating and is used in dental and portable units.

تصميم الأنود، الدوّار مقابل الثابت: الأنود الدوّار له مساحة كبيرة لتوزيع الحرارة وسعة حرارية أعلى وسخونة أقل ويُستعمل في أجهزة الأشعة عالية الأداء؛ والأنود الثابت تبديد الحرارة فيه محدود وسعته أقل وسخونته موضعية ويُستعمل في أجهزة الأسنان والأجهزة المتنقلة.

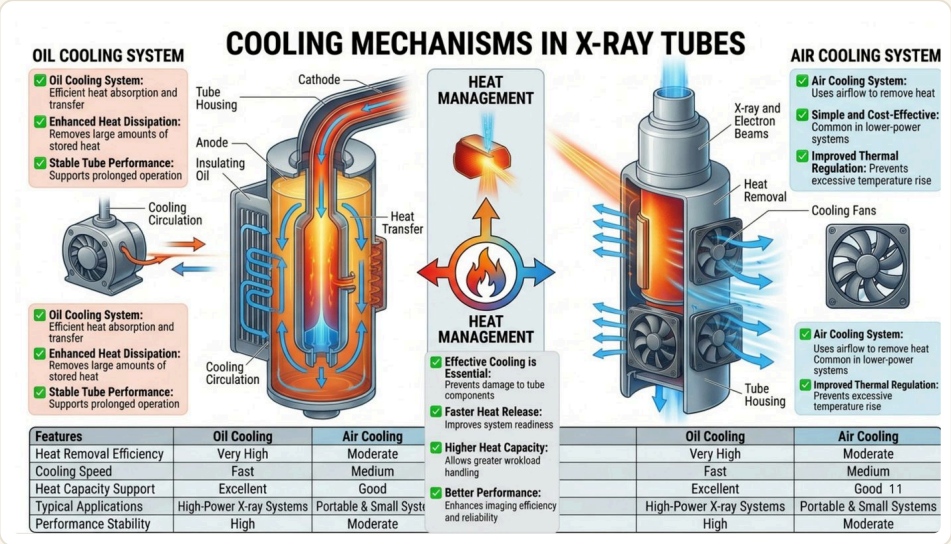
المصدر: محاضرة الأستاذ، ص 9

⭐ أهم نقطة

The rotating anode spreads heat over a larger area so its heat capacity is higher; a larger anode surface increases heat capacity and reduces the risk of damage.

الأنود الدوّار يوزّع الحرارة على مساحة أكبر فسعته الحرارية أعلى؛ وكلما كبر سطح الأنود زادت السعة الحرارية وقلّ خطر التلف.

5 آليات التبريد
D. Cooling Mechanisms



Cooling mechanisms in X-ray tubes: the oil cooling system (efficient heat absorption and transfer, very high heat removal efficiency, fast cooling, used in high-power systems) and the air cooling system (uses airflow and fans, simple and cost-effective, moderate heat removal efficiency, common in lower-power and portable systems).

آليات التبريد في أنابيب الأشعة: نظام التبريد بالزيت (امتصاص ونقل كفوء للحرارة، وكفاءة إزالة حرارة عالية جداً، وتبريد سريع، ويُستعمل في الأنظمة عالية القدرة) ونظام التبريد بالهواء (يستعمل تيار الهواء والمراوح، بسيط وقليل الكلفة، وكفاءة إزالة الحرارة متوسطة، شائع في الأنظمة الأقل قدرة والمتنقلة).

المصدر: محاضرة الأستاذ، ص 11

⭐ أهم نقطة

Oil cooling is the most efficient and fastest and is used in high-power systems; air cooling is simpler and cheaper and is common in lower-power systems.

التبريد بالزيت أكفأ وأسرع ويُستعمل بالأنظمة عالية القدرة؛ والتبريد بالهواء أبسط وأقل كلفة ويشيع بالأنظمة الأقل قدرة.

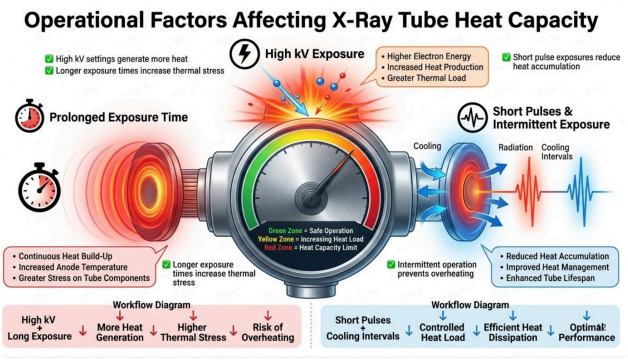
6 العوامل التشغيلية
E. Operational Factors



Closing slide of the lecture: Thank You.

شريحة ختام المحاضرة: شكراً لكم.

المصدر: محاضرة الأستاذ، ص 13



Operational factors affecting X-ray tube heat capacity: high kV settings generate more heat, longer exposure times increase thermal stress, while short pulse exposures and intermittent operation reduce heat accumulation and prevent overheating.

العوامل التشغيلية المؤثرة في السعة الحرارية للأنبوب: إعدادات kV العالية تولّد حرارة أكثر، وأزمنة التعرّض الأطول تزيد الإجهاد الحراري، بينما التعرّضات النبضية القصيرة والتشغيل المتقطّع يقلّلان تراكم الحرارة ويمنعان السخونة الزائدة.

المصدر: محاضرة الأستاذ، ص 12

⭐ أهم نقطة

High kV and long exposure times increase heat; short pulses and intermittent operation reduce heat accumulation.

kV العالي وزمن التعرّض الطويل يزيدان الحرارة؛ والنبضات القصيرة والتشغيل المتقطّع يقلّلان تراكمها.

الخلاصة

Summary

1. About 99% of the electron energy at the anode becomes heat; only about 1% becomes X-rays.
2. Excess heat can damage the anode if it is not dissipated properly.
3. Heat capacity is the amount of heat the anode can absorb before its temperature becomes dangerous.
4. Anodes are typically made of tungsten (melting point 3422°C); molybdenum is used in mammography and graphite improves heat storage.
5. Cooling occurs by conduction, convection and radiation (infrared); heat storage is expressed in Heat Units (HU).
6. A rotating anode spreads the heat over a larger area, so it has a higher heat capacity than a stationary anode.
7. A larger anode surface area increases heat capacity and improves heat dissipation.
8. Oil cooling is very efficient (high-power systems); air cooling is moderate (lower-power and portable systems).
9. High kV and long exposures increase heat; short pulses and intermittent operation reduce heat accumulation.

1. نحو 99% من طاقة الإلكترونات عند الأنود يصبح حرارة، ونحو 1% فقط أشعة سينية.
2. الحرارة الزائدة قد تتلف الأنود إذا لم تُبدَّد بالشكل الصحيح.
3. السعة الحرارية هي كمية الحرارة التي يمتصّها الأنود قبل أن تصبح درجة حرارته خطرة.
4. تُصنع الأنودات عادةً من التنغستن (انصهار 3422°C)؛ والموليبدنوم لتصوير الثدي، والغرافيت يحسّن الخزن الحراري.
5. التبريد بالتوصيل والحمل والإشعاع (الأشعة تحت الحمراء)؛ ويُعبَّر عن الخزن الحراري بالوحدات الحرارية (HU).
6. الأنود الدوّار يوزّع الحرارة على مساحة أكبر، فسعته الحرارية أعلى من الأنود الثابت.
7. كبر مساحة سطح الأنود يزيد السعة الحرارية ويحسّن تبديد الحرارة.
8. التبريد بالزيت كفوء جداً (الأنظمة عالية القدرة)؛ والتبريد بالهواء متوسط (الأنظمة الأقل قدرة والمتنقلة).
9. kV العالي والتعرّض الطويل يزيدان الحرارة؛ والنبضات القصيرة والتشغيل المتقطّع يقلّلان تراكمها.

أهم المصطلحات

KEY TERMS

Heat production	إنتاج الحرارة
Bremsstrahlung	أشعة الكبح
Tungsten	التنغستن
Molybdenum	الموليبدنوم
Conduction	التوصيل الحراري
Heat Units (HU)	الوحدات الحرارية
Stationary anode	الأنود الثابت
Oil cooling	التبريد بالزيت
Heat dissipation	تبديد الحرارة
Heat capacity	السعة الحرارية
Kinetic energy	الطاقة الحركية
Characteristic X-ray	الأشعة السينية المميِّزة
Melting point	درجة الانصهار
Graphite	الغرافيت
Convection	الحمل الحراري
Rotating anode	الأنود الدوّار
Surface area	المساحة السطحية
Air cooling	التبريد بالهواء
Thermal stress	الإجهاد الحراري

الأسئلة

MCQs

1 **Heat in an X-ray tube is generated mainly at the:**

تتولّد الحرارة في أنبوب الأشعة أساساً عند:

A	Cathode	الكاثود
B	Anode	الأنود
C	Tube window	نافذة الأنبوب
D	Oil casing	غلاف الزيت

✅ B **Anode** — **الأنود**

💡 **لماذا:** المحاضرة: تتولّد الحرارة أساساً عند الأنود.

2 **About what percent of the electron energy becomes heat?**

كم نسبة طاقة الإلكترونات التي تتحوّل إلى حرارة تقريباً؟

A	1%	1%
B	25%	25%
C	50%	50%
D	99%	99%

✅ D **99%** — **99%**

💡 **لماذا:** المحاضرة: الغالبية العظمى (نحو 99%) من الطاقة تتحوّل إلى حرارة.

3 **Heat is produced when cathode electrons:**

تتولّد الحرارة عندما تقوم إلكترونات الكاثود بـ:

A	Strike the anode	ضرب الأنود
B	Leave the tube	مغادرة الأنبوب
C	Cross the window	عبور النافذة
D	Heat the oil	تسخين الزيت

✅ A **Strike the anode** — **ضرب الأنود**

💡 **لماذا:** المحاضرة: عندما تضرب الإلكترونات القادمة من الكاثود الأنود تتحوّل طاقتها الحركية.

4 **Anodes are typically made of:**

تُصنع الأنودات عادةً من:

A	Copper	النحاس
B	Aluminum	الألمنيوم
C	Tungsten	التنغستن
D	Lead	الرصاص

✅ C **Tungsten** — **التنغستن**

💡 **لماذا:** المحاضرة: تُصنع الأنودات عادةً من التنغستن لارتفاع درجة انصهاره وتحمّله الممتاز للحرارة.

5 **Radiation cooling emits heat as:**

التبريد بالإشعاع يبعث الحرارة على شكل:

A	Ultraviolet rays	أشعة فوق بنفسجية
B	Infrared rays	أشعة تحت حمراء
C	Visible light	ضوء مرئي
D	Gamma rays	أشعة غاما

✅ B **Infrared rays** — **أشعة تحت حمراء**

💡 **لماذا:** المحاضرة: التبريد بالإشعاع هو انبعاث الحرارة بالأشعة تحت الحمراء.

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

يُعبَّر عن أقصى خزن حراري للأنبوب بـ:

A	Heat Units (HU)	الوحدات الحرارية (HU)
B	Kilovolts	الكيلوفولت
C	Milliamperes	الملي أمبير
D	Seconds	الثواني

✅ A **Heat Units (HU)** — **الوحدات الحرارية (HU)**

💡 **لماذا:** المحاضرة: يُعبَّر عن أقصى خزن حراري للأنبوب غالباً بالوحدات الحرارية (HU).

7 **Rotating anodes distribute heat over a:**

الأنودات الدوّارة توزّع الحرارة على:

A	Single point	نقطة واحدة
B	Thin layer	طبقة رقيقة
C	Smaller area	مساحة أصغر
D	Larger area	مساحة أكبر

✅ D **Larger area** — **مساحة أكبر**

💡 **لماذا:** المحاضرة: الأنودات الدوّارة توزّع الحرارة على مساحة أكبر.

8 **The melting point of tungsten is about:**

درجة انصهار التنغستن تقارب:

A	1000°C	1000°C
B	2000°C	2000°C
C	3422°C	3422°C
D	5000°C	5000°C

✅ C **3422°C** — **3422°C**

💡 **لماذا:** المحاضرة: التنغستن درجة انصهاره عالية (3422°C) وتحمّله للحرارة ممتاز.

9 Which anode material is used in mammography?

أي مادة أنود تُستعمل في تصوير الثدي؟

A	Molybdenum	الموليبدنوم
B	Tungsten	التنغستن
C	Graphite	الغرافيت
D	Copper	النحاس

✅ A **Molybdenum** — **الموليبدنوم**

💡 **لماذا:** المحاضرة: الموليبدنوم يُستعمل في تطبيقات التصوير المتخصصة مثل تصوير الثدي.

10 Graphite in modern anodes enhances:

الغرافيت في الأنودات الحديثة يحسّن:

A	Beam color	لون الحزمة
B	Tube weight	وزن الأنبوب
C	Melting point	درجة الانصهار
D	Heat storage	الخزن الحراري

✅ D **Heat storage** — **الخزن الحراري**

💡 **لماذا:** المحاضرة: الغرافيت يحسّن الخزن الحراري والإدارة الحرارية.

11 Which anode has the higher heat capacity?

أي أنود سعته الحرارية أعلى؟

A	Stationary anode	الأنود الثابت
B	Rotating anode	الأنود الدوّار
C	Both are equal	كلاهما متساويان
D	Neither	ولا واحد منهما

✅ B **Rotating anode** — **الأنود الدوّار**

💡 **لماذا:** المحاضرة: الأنود الدوّار يوزّع الحرارة على مساحة أكبر فسعته الحرارية أعلى.

12 Stationary anodes are used in:

الأنودات الثابتة تُستعمل في:

A	CT scanners	أجهزة المفراس
B	Angiography rooms	غرف القسطرة
C	Dental and portable units	أجهزة الأسنان والأجهزة المتنقلة
D	Fluoroscopy suites	غرف التنظير الشعاعي

✅ C **Dental and portable units** — **أجهزة الأسنان والأجهزة المتنقلة**

💡 **لماذا:** المحاضرة: الأنود الثابت يُستعمل في أجهزة الأسنان والأجهزة المتنقلة.

13

A larger anode surface area gives:

كبر مساحة سطح الأنود يعطي:

A	Higher heat capacity	سعة حرارية أعلى
B	Lower heat capacity	سعة حرارية أقل
C	More overheating	سخونة زائدة أكثر
D	Less cooling	تبريداً أقل

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

💡 **لماذا:** المحاضرة: سطح الأنود الأكبر يوزّع الحرارة على مساحة أكبر فتزداد السعة الحرارية.

14

Which cooling system removes heat most efficiently?

أي نظام تبريد يزيل الحرارة بأعلى كفاءة؟

A	Air cooling	التبريد بالهواء
B	Both are equal	كلاهما متساويان
C	Neither	ولا واحد منهما
D	Oil cooling	التبريد بالزيت

✅ **D Oil cooling** — **التبريد بالزيت**

💡 **لماذا:** المحاضرة: كفاءة إزالة الحرارة بالتبريد بالزيت عالية جداً، وبالهواء متوسطة.

15

Air cooling is common in:

التبريد بالهواء يشيع في:

A	High-power systems	الأنظمة عالية القدرة
B	Lower-power systems	الأنظمة الأقل قدرة
C	Large CT systems	أجهزة المفراس الكبيرة
D	Oil-filled housings	الأغلفة المملوءة بالزيت

✅ **B Lower-power systems** — **الأنظمة الأقل قدرة**

💡 **لماذا:** المحاضرة: التبريد بالهواء بسيط وقليل الكلفة وشائع في الأنظمة الأقل قدرة.

16

High kV settings produce:

إعدادات kV العالية تنتج:

A	Less heat	حرارة أقل
B	No heat	لا حرارة إطلاقاً
C	More heat	حرارة أكثر
D	Cooler anodes	أنودات أبرد

✅ **C More heat** — **حرارة أكثر**

💡 **لماذا:** المحاضرة: إعدادات kV العالية تولّد حرارة أكثر.

17 **Which exposure pattern reduces heat accumulation?**

أي نمط تعرّض يقلّل تراكم الحرارة؟

A	Short pulses	النبضات القصيرة
B	Long continuous	المستمر الطويل
C	High kV only	kV عالٍ فقط
D	No pauses	بلا فترات توقف

✅ **A Short pulses** — **النبضات القصيرة**

💡 **لماذا:** المحاضرة: التعرّضات النبضية القصيرة تقلّل تراكم الحرارة.

18 **Longer exposure times increase:**

أزمنة التعرّض الأطول تزيد:

A	Cooling rate	معدّل التبريد
B	Tube lifespan	عمر الأنبوب
C	Heat capacity	السعة الحرارية
D	Thermal stress	الإجهاد الحراري

✅ **D Thermal stress** — **الإجهاد الحراري**

💡 **لماذا:** المحاضرة: أزمنة التعرّض الأطول تزيد الإجهاد الحراري.

✅ 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