الفصل السادس

الإشعاع الحراري (تحت الأحمر) وإشعاع الجسم الأسود

Infrared Radiation & Blackbody Radiation

د. سهام الطرابيشي

أهداف الفصل

- التعرف على الجسم الأسود الفيزيائي وقوانينه
- تطبيق قوانين الجسم الأسود على جسم الإنسان:

–قياس توزع درجات الحرارة في جسم الإنسان من خلال الإشعاع الصادر من الجسم.

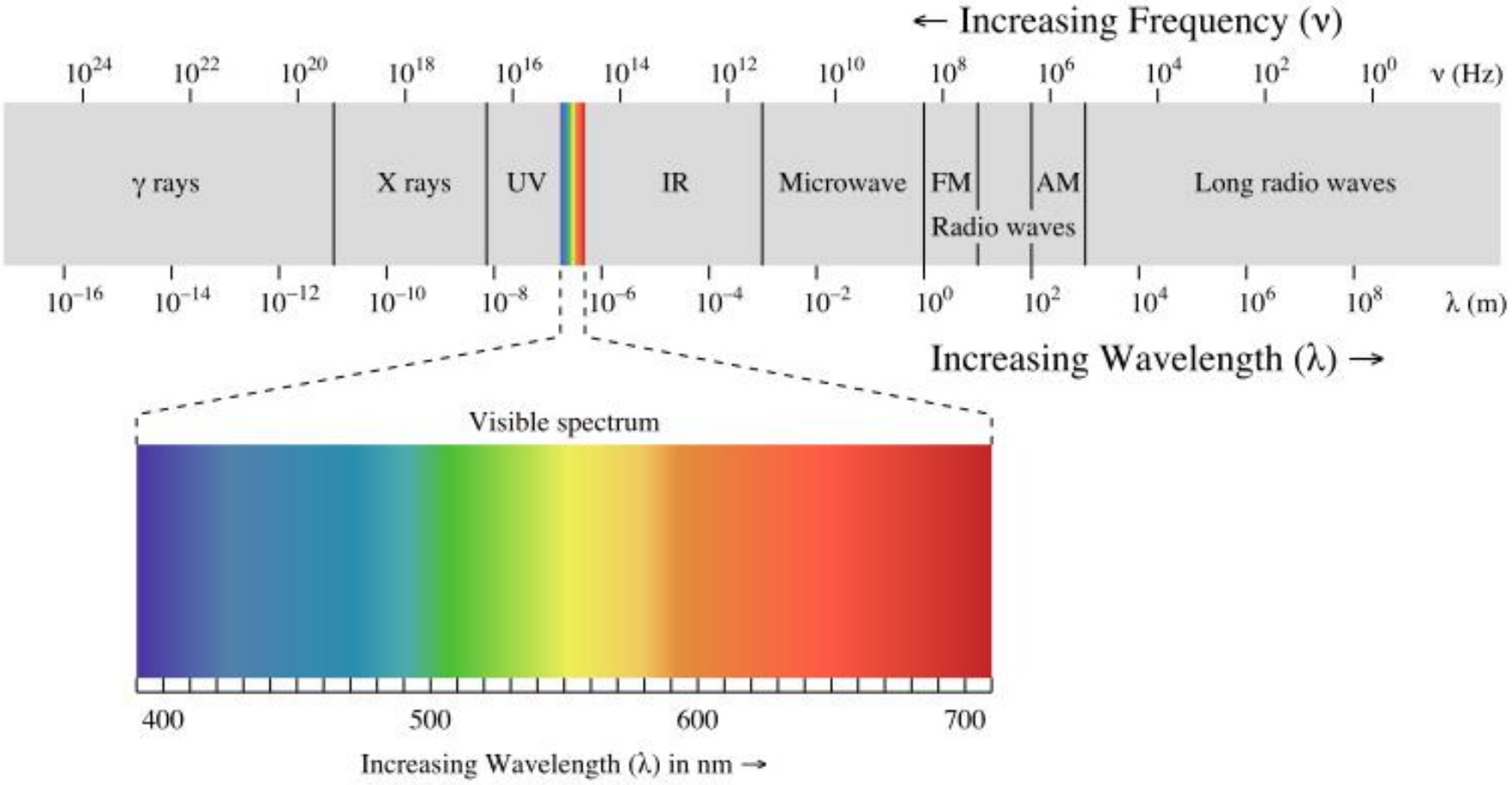
–قياس توزع شدة العمليات الاستقلابية وإمكانية التنبؤ عن وجود إصابة بورم خبيث.

–التعرف على إمكانية استخدام ليزر الأشعة تحت الحمراء كمشرط جراحي.

نلفت الانتباه إلى أننا

1- ندرس الجسم الأسود وإشعاع الجسم الأسود لأن جسم الإنسان يؤدي دور جسم أسود فيزيائي يصدر الإشعاع تحت الأحمر.

موقع الإشعاع تحت الأحمر في الطيف الكهرطيسي



يمتد مجال الـ IRمن نحو 300 GHz إلى (1 mm - 750 nm) 400 THz. ويمكن تقسيمه إلى ثلاثة أجزاء:

لا بد من:

1- الإشارة إلى موقع الإشعاع تحت الأحمر على طيف الإشعاعات الكهرطيسية والتأكيد على اتجاه تزايد تواتر وطاقة فوتونات الإشعاعات الكهرطيسية بدءاً من الأمواج الراديوية والمكروية نحو الأشعة السينية وأشعة غاما .

2- الإشارة إلى أن تواتر الأشعة تحت الحمراء وطاقة فوتوناتها أخفض منها في حالة المجال المرئي وما يليه في اتجاه التواترات الأعلى وأن أطولها الموجية أطول منها في حالة المجال المرئي.

طيف المجال تحت الأحمر

- تحت الأحمر البعيد Far-infrared من 300 GHz إلى 30 THz (1mm - 10µm)
- تحت الأحمر المتوسط Mid-infrared من 30 إلى 120THz (10 – 2.5 µm)
- تحت الأحمر القريب Near-infrared من 120THz إلى 400 THz (2,500 - 750 nm).

1- يشار إلى أن الجزء المنخفض التواتر من مجال تحت الأحمر البعيد يدعى أيضاً (حالياً) أمواج التيراهرتز

2- امتصاص هذا الإشعاع يتم عادة (a) بالأنماط الدورانية في جزيئات الطور الغازي، و (b) بالحركات الجزيئية في السوائل و (c) بالفونونات المقابلة في الأجسام الصلبة. وهو موضوع سبق أن مر معنا في المطيافية في الفصل الثالث (الضوء)

3- يشار إلى أن الطول الموجي المستخدم في الجراحة يقع في المجال المتوسط للأشعة تحت الحمراء

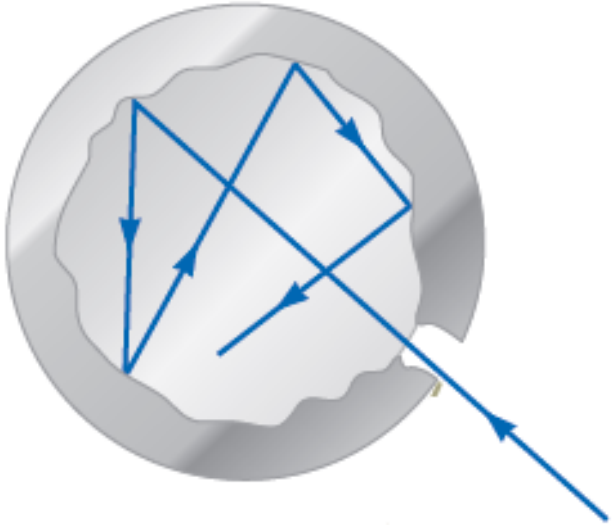
4- يشار إلى أن مجال الأطوال الموجية المستخدم في التصوير بشكل مأمون يقع في مجال تحت الأحمر القريب

الجسم الأسود الفيزيائي

- الجسم الأسود الفيزيائي هو الجسم الذي يمتص كافة الإشعاع الذي يرد إليه ضمن مجال معين، ويعيد إصداره
- يطلق اسم الجسم الأسود على الوسط الذي يتميز بالكثير من المستويات الطاقية المتقاربة فيما بينها، بحيث يمتص كل الفوتونات التي تسقط عليه.

الجسم الأسود الفيزيائي

- يمكن تمثيل الجسم الأسود بثقب صغير في جدار حجرة.
- حيث ينعكس كل شعاع ضوئي يدخل الحجرة من خلال الثقب عدداً كبيراً من المرات قبل مغادرته لها
- كما يمكن أن تمتصَّه الجدرانُ عند كل انعكاس.
- فإذا كانت الجدران سوداء يبدو الثقب أكثر اسوداداً.



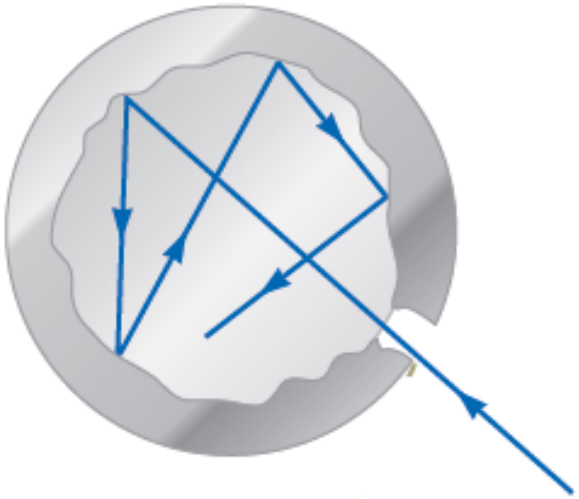
نموذج فيزيائي لجسم أسود يتكون من فتحة في حجرة (تجويف).

الجسم الأسود

نعرّف «إصدارية *emissivity*» سطح جسم معين $e(\lambda)$، بأنها تدل على جزء الإشعاع الذي يمتصه الجسم أو يصدره عند الطول الموجي λ.

إصدارية السطح عند طول موجي معين تساوي الصفر عندما ينفذ منه كامل الإشعاع أو يرتد عنه عند ذلك الطول الموجي.

إصدارية السطح تساوي الواحد عند طول موجي معين عندما يمتصُّ كامل الإشعاع عند ذلك الطول الموجي.



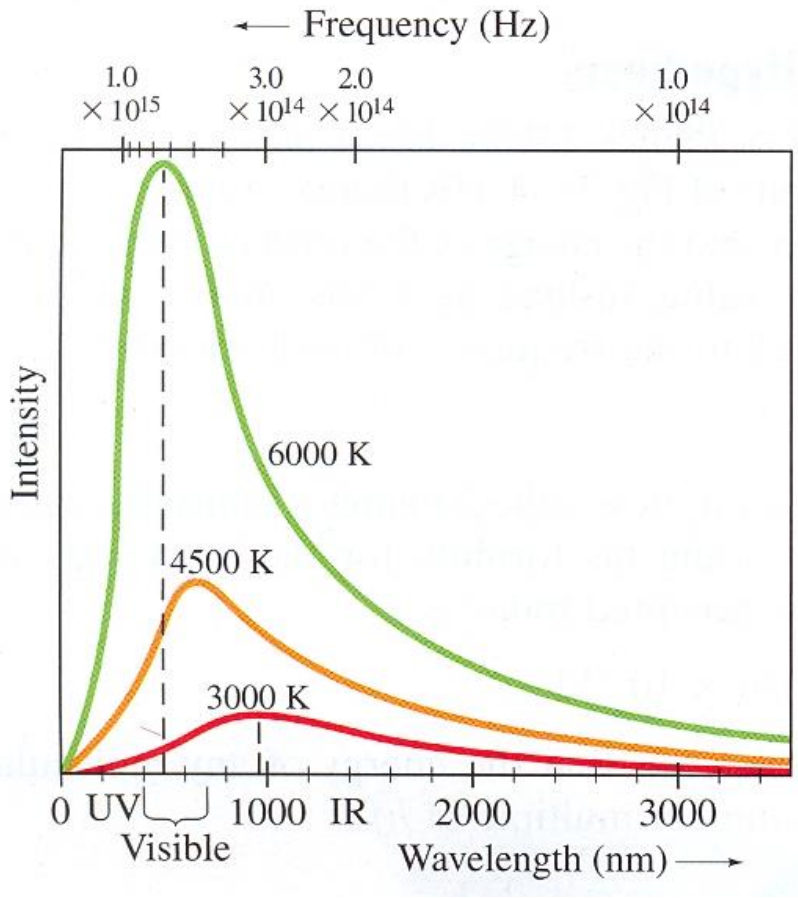
نموذج فيزيائي لجسم أسود يتكون من فتحة في حجرة (تجويف).

1- تعميم الإصدارية على مجال كامل من الأطوال الموجية بأن إصدارية السطح عند مجال من الأطوال تساوي الصفر عندما ينفذ منه كامل إشعاع ذلك المجال أو يرتد عنه.

2- وأن إصدارية السطح تساوي الواحد عند مجال معين من الأطوال الموجية عندما يمتصُّ السطح كامل الإشعاع الذي يرد عليه ضمن ذلك المجال من الأطوال الموجية.

3- نلفت انتباه الطلاب إلى أنه يمكننا التعبير عن الإصدارية بالاعتماد على الامتصاص أو الإصدار.

تابع إشعاع الجسم الأسود



تابع إشعاع الجسم الأسود عند ثلاث درجات حرارة مختلفة.

يطلق تابع إشعاع الجسم الأسود على تغير شدة الإشعاع بدلالة الطول الموجي.

تعرف شدة إشعاع الجسم الأسود بأنها الطاقة الصادرة من واحدة السطوح في الجسم في واحدة الزمن من أجل واحدة الطول الموجي. أي تقدر بالواحدة:

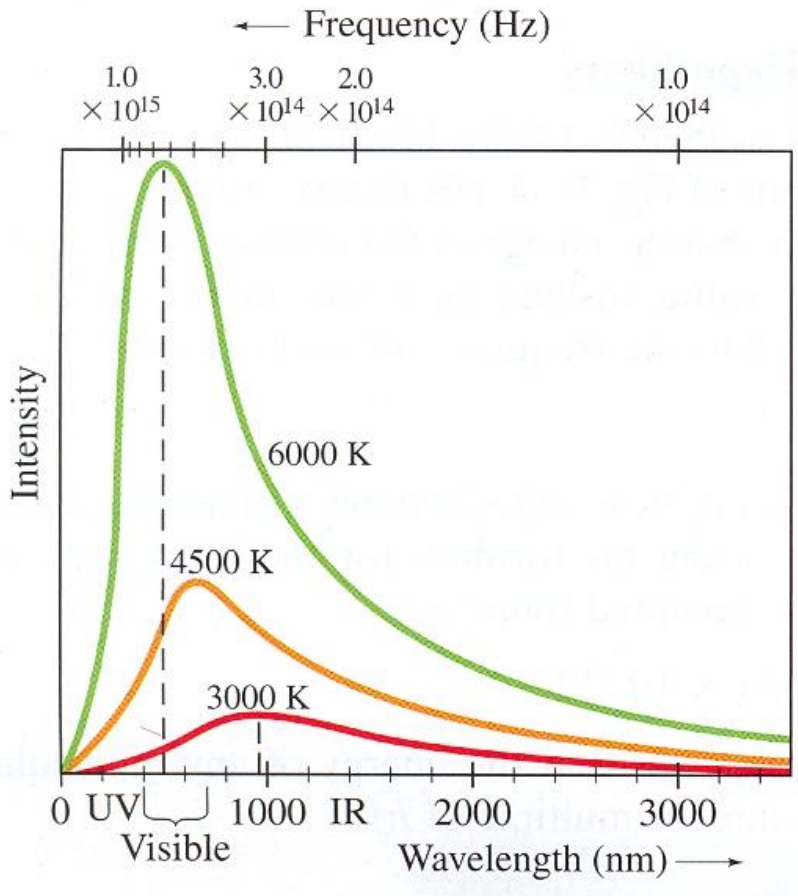
$$watt\,m^{-3}$$

ولو أنه غالباً ما يعبر عنها بوحدة الواط على السنتمتر المربع لكل مكرومتر.

1- على تابع إشعاع الجسم الأسود (الشكل أعلاه) يشار إلى الأطوال الموجية على المحور الأفقي السفلي وإلى التواترات على المحور الأفقي العلوي.

2- الإشارة إلى زيادة شدة إشعاع الجسم الأسود مع ارتفاع درجة الحرارة .

تابع إشعاع الجسم الأسود



تابع إشعاع الجسم الأسود عند ثلاث درجات حرارة مختلفة.

قانون استفان وبولتزمان:

$$W(Watt/m^2) = \sigma T^4$$

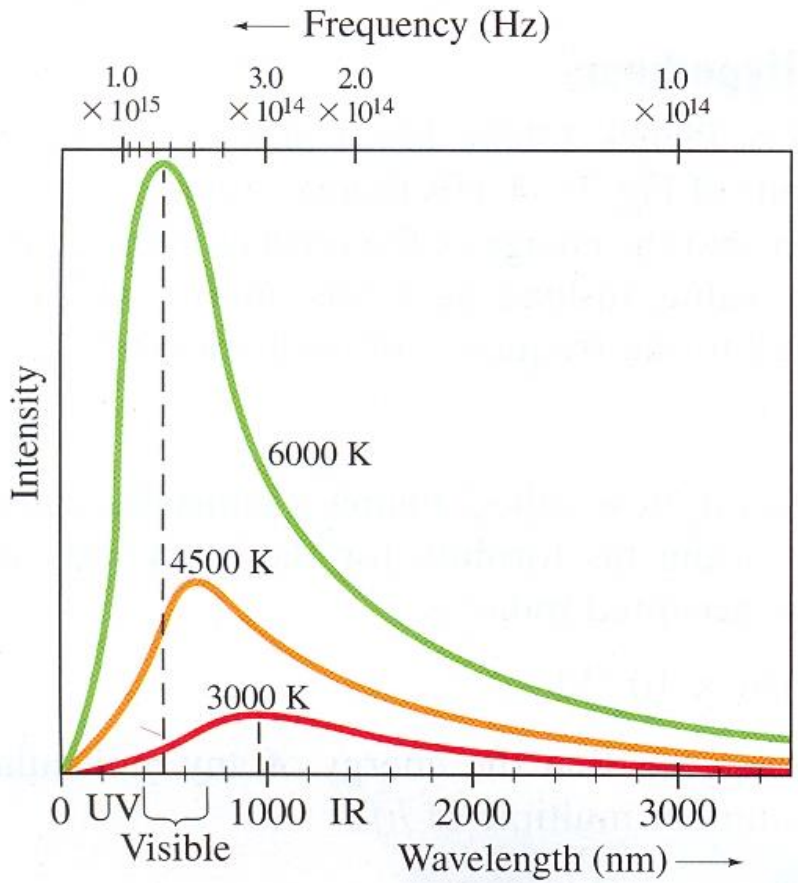
ثابت استفان وبولتزمان

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8}\ Watt\, m^{-2} K^{-4}$$

لا بد من:

1- التأكيد على زيادة شدة إشعاع الجسم الأسود الكلية (أي من أجل كامل مجال الأطوال الموجية) مع ارتفاع درجة الحرارة من خلال قانون استفان وبولتزمان.

تابع إشعاع الجسم الأسود



تابع إشعاع الجسم الأسود عند ثلاث درجات حرارة مختلفة.

علاقة فين:

$$\lambda_{\max} \cdot T = 2.9 \times 10^{-3}\, m^{\circ}K$$

$$T = \frac{2.9 \times 10^{-3}\, m^{\circ}K}{\lambda_{\max}}$$

1- نلفت الانتباه إلى انزياح النهاية العظمى لشدة إشعاع الجسم الأسود نحو الأطوال الموجية الأقصر مع ارتفاع درجة الحرارة

2- نلفت الانتباه إلى العلاقة العكسية بين درجة حرارة الجسم الأسود والطول الموجي الذي يقابل النهاية العظمى لإشعاع الجسم الأسود التي تمثلها علاقة فين

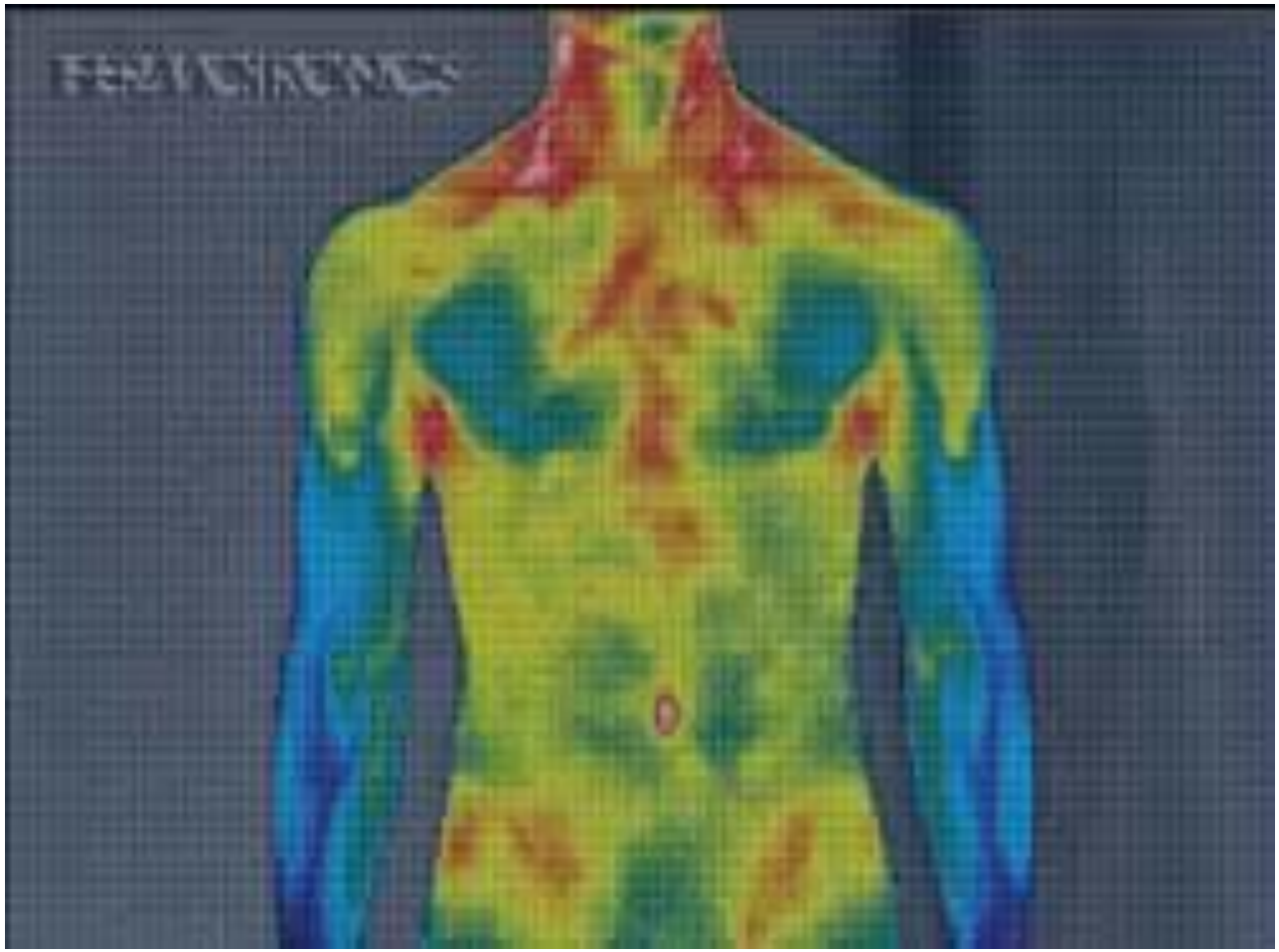
3- نشير إلى أنه إذا قيس الطول الموجي الموافق للإشعاع الحراري الصادر من جسم معين، فيمكن معرفة درجة حرارته

4- بالاعتماد على هذه القاعدة يمكن التعرف على توزع درجات الحرارة

5- فإذا وجد شذوذ في توزع درجات الحرارة فهذا يعني أنه يوجد شذوذ في العمليات الاستقلابية .. يدل الأمر على احتمال الإصابة بورم خبيث.

الإشعاع الحراري الذي يصدر من الجسم نتيجة للعمليات الاستقلابية التي تجري في كل خلية من خلايا الجسم – اللون الأحمر يدل على درجات الحرارة الأعلى

الإشعاع الحراري الذي يصدر من الجسم – اللون الأزرق يدل على درجة الحرارة الأبرد



مجال إصدار وامتصاص جسم الإنسان كجسم أسود

- يقع إصدار وامتصاص جسم الإنسان في المجال تحت الأحمر

$$1\ \mu m \le \lambda \le 14\ \mu m$$

- إصدارية جسم الإنسان

$$e(\lambda) = 0.98 \pm 0.01$$

- الطول الموجي الذي يقابل نهاية الامتصاص العظمى لجسم الإنسان

$$\lambda_{max} = 9.6 \mu m$$

لا بد من:

1- لفت انتباه الطلاب إلى أنه طالما الامتصاص الحراري لجسم الإنسان يقع عند الطول الموجي 9.6um فإنه يمكن الاعتماد على حزمة ليزرية ضيقة لها نفس الطول الموجي في الجراحة.

آليات فقدان الحرارة من الجسم

- الإشعاع
- النقل
- الحمل
- التبخر

"نذكر ا بأن الجسم يؤدي دور مفاعل حراري يولد الحرارة باستمرار. ولابد أن يفقد فائض الحرارة من جسمه ... عن طريق الآليات المذكورة»

آليات فقدان الحرارة من الجسم

- **الإشعاع**

التيار الحراري الإشعاعي الصادر من الجسم:

$$q = Ae\sigma T^4$$

التيار الحراري الإشعاعي الذي يستقبله الجسم من الوسط المحيط:

$$q = Ae\sigma T_s^4$$

فيكون معدل الإشعاع الحراري الصافي:

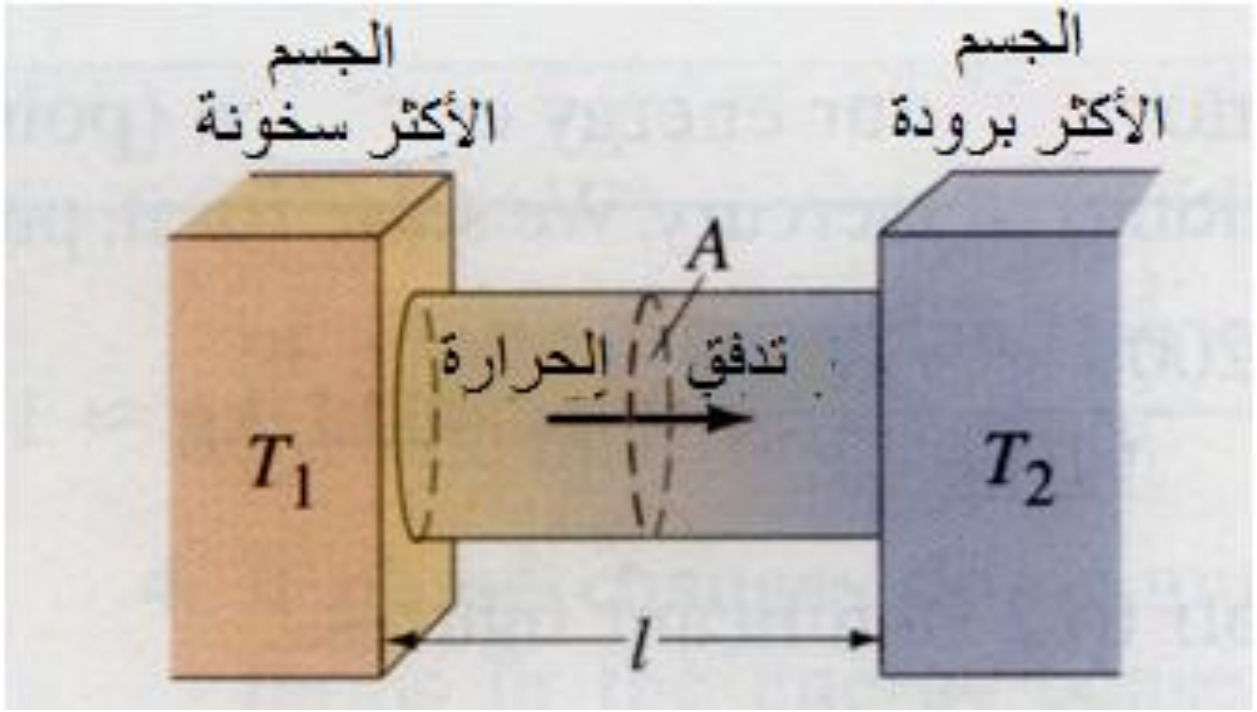
$$q_{net} = Ae\sigma T^4 - Ae\sigma T_s^4 = Ae\sigma(T^4 - T_s^4)$$

1- نذكر بأنه يجب معرفة كل من المقادير الموجودة في العلاقات المذكورة.

2- نشير أنه بقدر ما تكون درجة حرارة الوسط المحيط أخفض يكون التيار الحراري الصادر من الجسم أعلى وبالتالي تفريغ الحرارة بسرعة أكبر.

3- نذكر بمثال الوليد الخديج في الحاضنة الذي يبرد حتى لو كانت درجة حرارة الحاضنة مناسبة لجسمه إذا كانت الحاضنة تقع مقابل نافذة باردة.

آليات فقدان الحرارة من الجسم



- النقل

آلية النقل الحراري بين منبعين حراريين: منبع حار والآخر بارد يصل بينهما ناقل حراري.

$$q_k = \frac{Ak}{l}\left(T_{hot} - T_{cold}\right) = \frac{\Delta T}{l \,/\, Ak}$$

1- التيار الحراري (تدفق الحرارة وهو كمية الحرارة التي تعبر مقطعاً في واحدة الزمن) الذي يسري من المنبع الحار إلى المنبع البارد qk يتناسب طرداً مع الفارق بين درجتي المنبعين.

2- يتناسب التيار الحراري أيضاً مع السطح الفاصل بين المنبعين A

3- يتناسب التيار الحراري بين المنبعين أيضاً طرداً مع معامل الناقلية الحرارية النوعية k للوسط الذي يفصل بين المنبعين

4-يتناسب التيار الحراري عكساً مع البعد l بين المنبعين

5- الجداء Ak/l يمثل الناقلية الحرارية للوسط الذي يفصل بين المنبعين، ومقلوبه يمثل المقاومة الحرارية، فإذا وضعنا المقاومة الحرارية في مقام الفارق بين درجتي المنبعين نحصل على علاقة تشبه قانون أوم في الكهرباء أي أن التيار الكهربائي يساوي حاصل قسمة الكمون على المقاومة الكهربائية

6- سحب عملية فقدان الحرارة بالنقل على جسم الإنسان كأن يقال بأن التيار الحراري الذي يسري من جسم الفرد إلى الوسط المحيط يكون أكبر بقدر ما يكون الفارق بين درجتيهما أكبر. ويكون التيار الحراري أضعف بقدر ما يكون عامل النقل الحراري للوسط الذي يفصل بينهما ضعيفاً (كأن يرتدي بزة من الصوف)

ويكون التيار الحراري أضعف بقدر ما تكون سماكة الوسط الفاصل بين المنبعين أكبر (ارتداء ثياب سميكة مثلاً)، وكلما كان سطح جسم الفرد أكبر يكون التيار الحراري الذي يصدر من الجسم أكبر (ولكن لن يبرد بالضرورة أكثر من الأفراد الصغيري الجسم لأن العمليات الاستقلابية التي تتم في داخل جسمه تكون أشد.

7- من الطريف أن نذكر هنا القول الشعبي: أن النائم يبرد (نظراً لأن سطح التماس بينه وبين الوسط الذي تنتقل إليه الحرارة أكبر منه في حالة الجلوس.

آليات فقدان الحرارة من الجسم

- الحمل

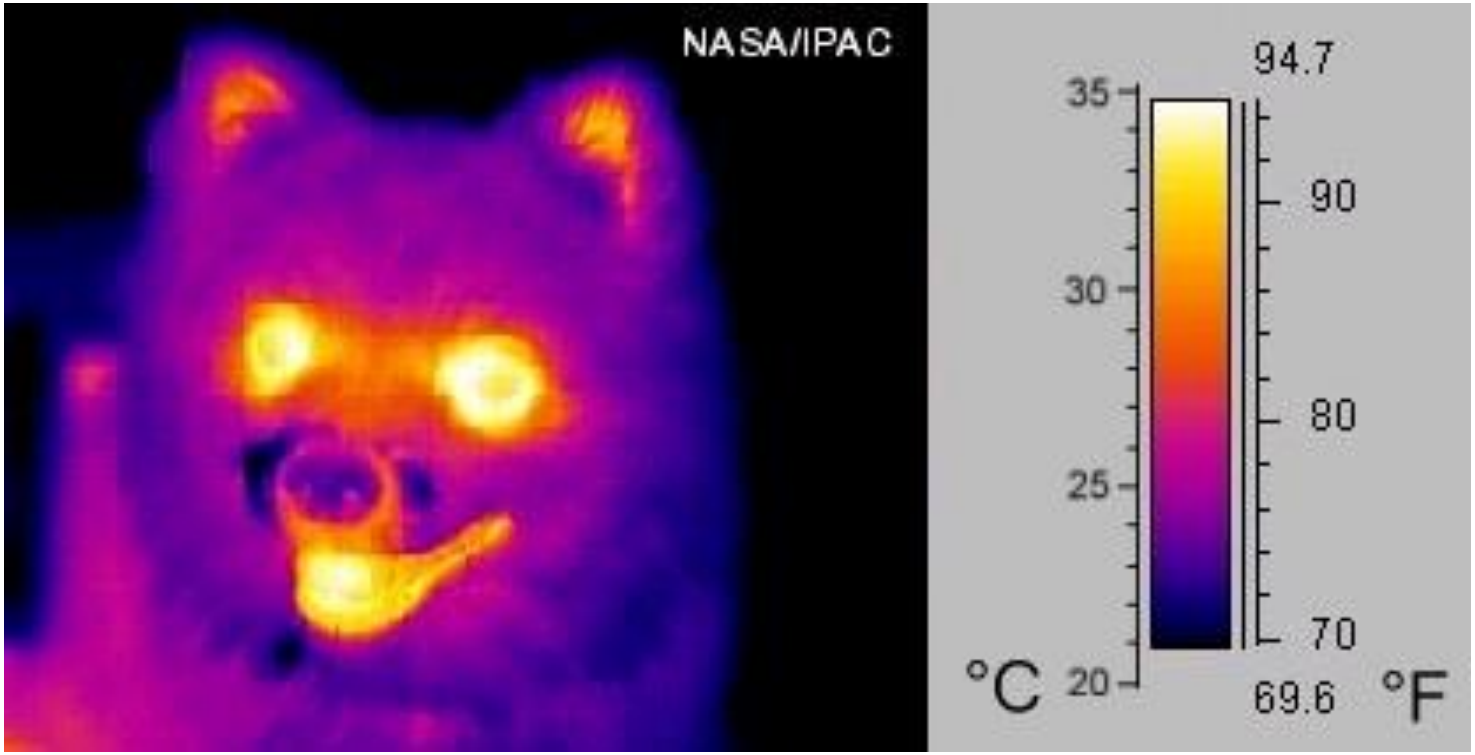
$$q_c = h_c\ A\ \ \Delta T\ (Watt)$$

آليات فقدان الحرارة من الجسم

- التبخر

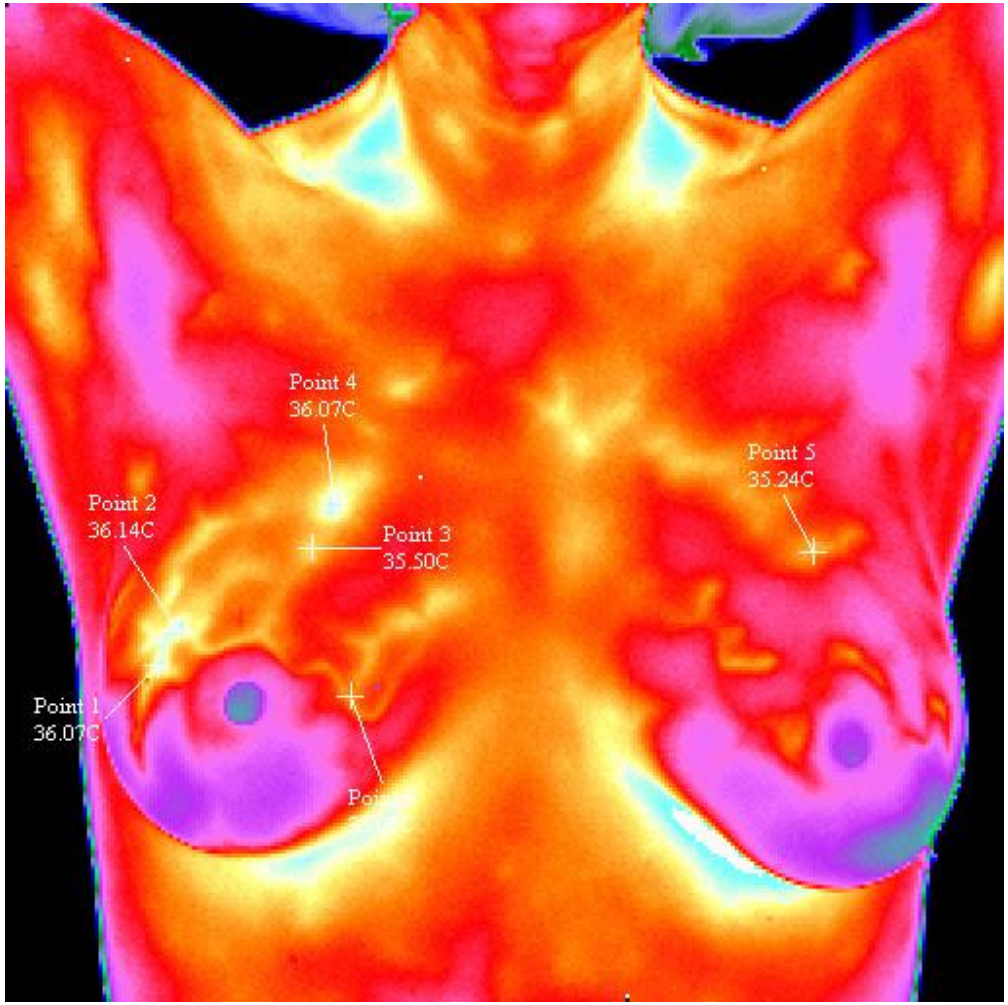
–إن التبخر *Evaporation* هي الطريقة الوحيدة المجدية للمحافظة على درجة حرارة الجسم الداخلية، في الصيف ولدى القيام بجهد فيزيائي كبير. فهو يسمح بتجنب زيادة تسخين العضوية. ويستطيع الإنسان بفضل ملايين الغدد العرقية أن يفرّغ نحو 500Watt.

التصوير الحراري



صورة للإشعاع تحت الأحمر الصادر من مختلف أجزاء الجسم بالألوان الاصطناعية. تكون شدة الإصدار أكبر ما يمكن (الأبيض) من المناطق ذات الحرارة الأعلى، ويكون الإصدار ضعيفاً من المناطق ذات درجة الحرارة الأخفض

التصوير الحراري

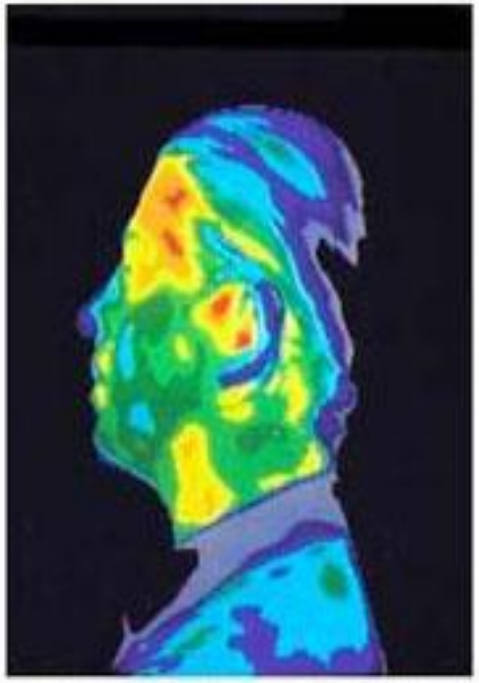


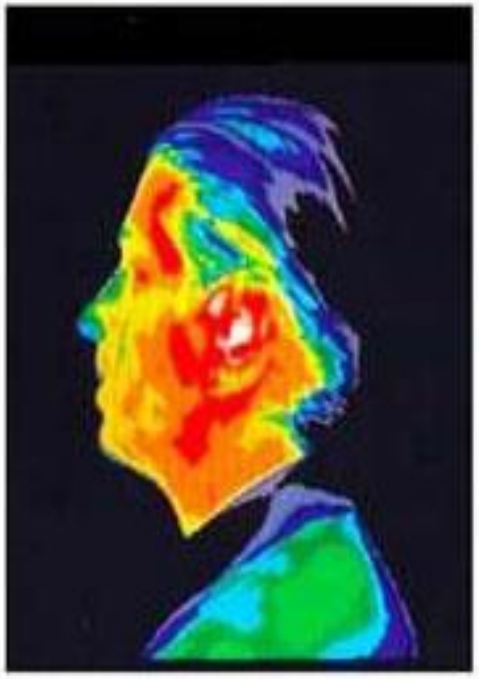
مريضة مصابة بالسرطان في الثدي الأيمن. لاحظ موقع درجة الحرارة العظمى.

- 1- التذكير بقانون فين الذي يربط بين طول موجة الإشعاع الحراري الذي يقابل النهاية العظمى لشدة الإشعاع الذي يصدر من منطقة معينة ودرجة حرارة تلك المنطقة

التصوير الحراري

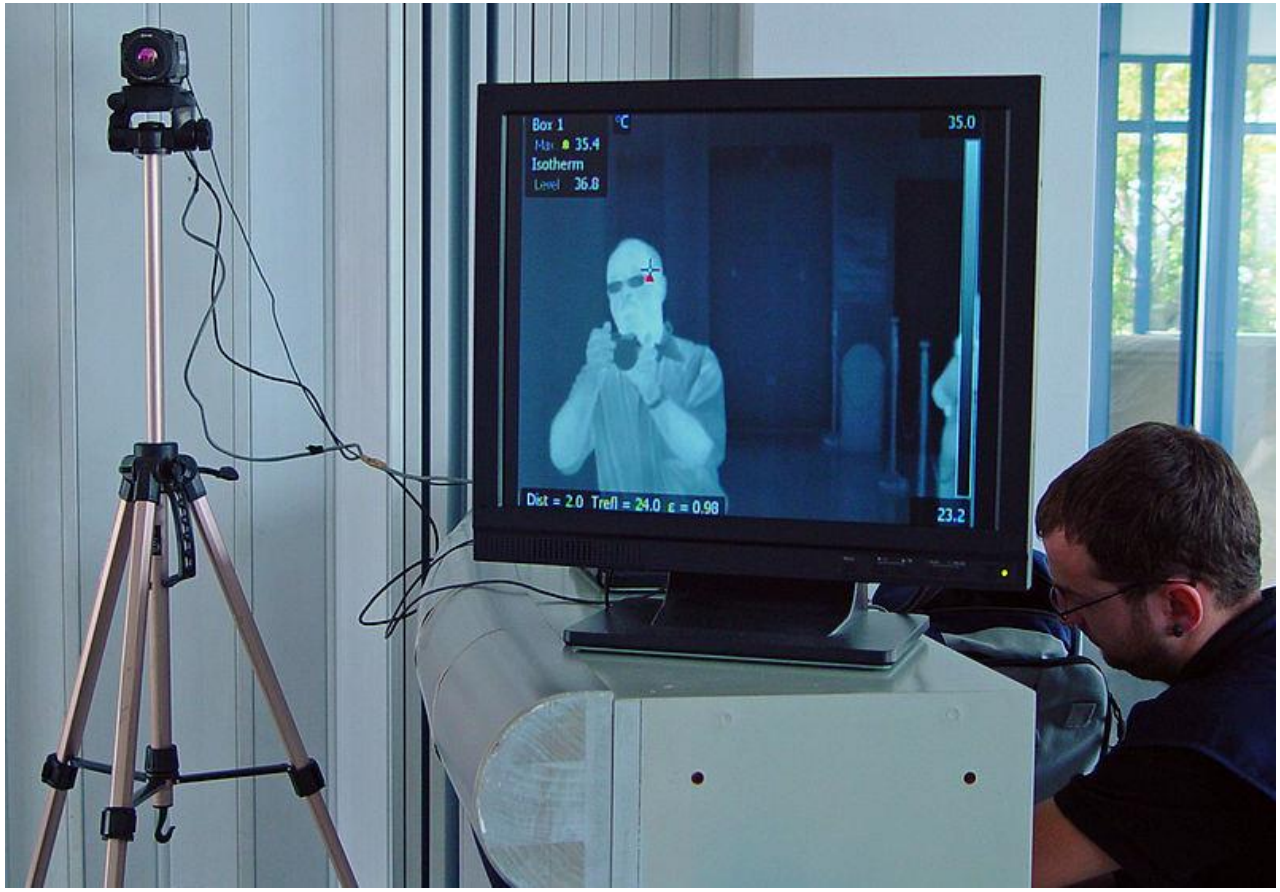
مخطط حراري ليدي شخص سليم بعد تدخين سيكارة يظهر فيها انخفاض درجة الحرارة بسبب ضعف جريان الدم الذي يرافق التدخين.





إلى اليسار صورة حرارية طبيعية، إلى اليمين صورة حرارية للشخص نفسه بعد أن تحدث مدَّةَ خمس عشرة دقيقة باستخدام الهاتف النقال

التصوير الحراري



مصوِّرة حرارية وشاشة في وحدة مراقبة في مطار في اليونان. يمكن للتصوير الحراري أن يكشف عن الحمى أحد أعراض أنفلونز الطيور.

التصوير الحراري

نتائج التصوير بإشعاع تحت أحمر فعال (الشكل الأيمن) ومن دونه (الأيسر)