بِسْمِ اللهِ الرَّحْمَانِ الرَّحِيمِ

دروس في الإشعاع و الطاقة

د. اللبي عبد القادر

قسم الفيزياء – كلية العلوم الدقيقة

جامعة الشّهيد حمّه لخضر – الوادي

الموسم الجامعي 2020 – 2021

بسم الله الرحمن الرحيم

البرنامج

1- عموميات حول الإشعاع الحراري

2- مفاهيم أساسية

3- قوانين الإشعاع الحراري

4- إنبعاثية الأجسام الحقيقية

5- الطاقة الإشعاعية الواردة على سطح ما

6- قانون كيرشوف

7- التدفق الصافي المبثوث لجسم عاتم

8- التبادلات الإشعاعية بين مساحات مفصولة بوسط شفاف

9- الإشعاعات الطبيعية

1

1- عموميات حول الإشعاع الحراري

1 مقدمة

طرق انتقال الحرارة

التوصيل الحراري

- ✓ يكون بواسطة الأجسام الصلبة
- ✓ يتم انتقال الحرارة بدون انتقال للمادة

الحمل الحراري

- ✓ يكون بواسطة الموائع
- ✓ يتم انتقال الحرارة مع انتقال المادة

الإشعاع الحراري

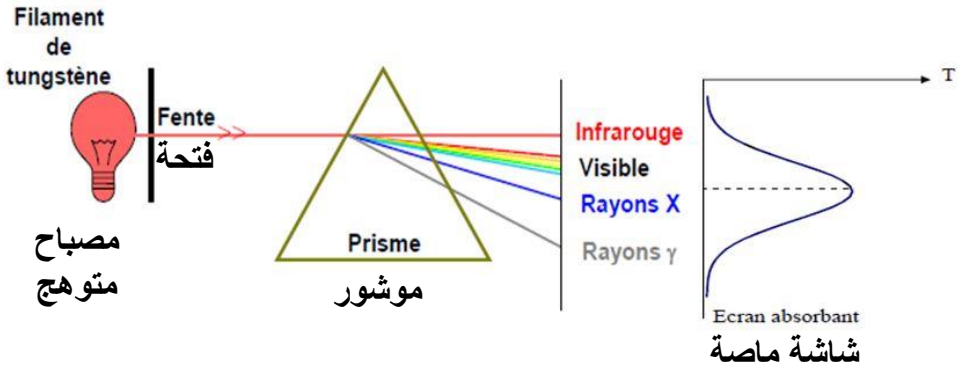
و هو الذي يهمنا هنا حيث:

- ✓ لا يتطلب وجود وسط مادي لانتقال الحرارة
- ✓ نذكر على سبيل المثال انتقال الحرارة من الشمس إلى الأرض عن طريق الإشعاع

1 طبيعة الإشعاع

- ✓ كل الأجسام تبث إشعاعا ذو طبيعة كهرومغناطيسية
- ✓ الطاقة المنبعثة تنجز على حساب الطاقة الداخلية للجسم
- ✓ الإشعاع ينتشر بسرعة الضوء
- ✓ الإشعاع يتكون من إشعاعات مختلفة حسب الطول الموجي كما تبينه تجربة وليام هيرشل :

On peut classer le rayonnement électromagnétique en fonction de la longueur d'onde mesurée



- تجربة وليام هيرشل -

❖ من خلال تجربة وليام هيرشل نستنتج ما يلي:

- ✓ الطاقة المنبعثة هي عظمى من أجل أطوال موجة معيّنة متغيّرة حسب قيمة درجة حرارة المصدر
- ✓ الطاقة لا تنبعث إلا في مجال ذو طول موجي يميّز الإشعاع الحراري

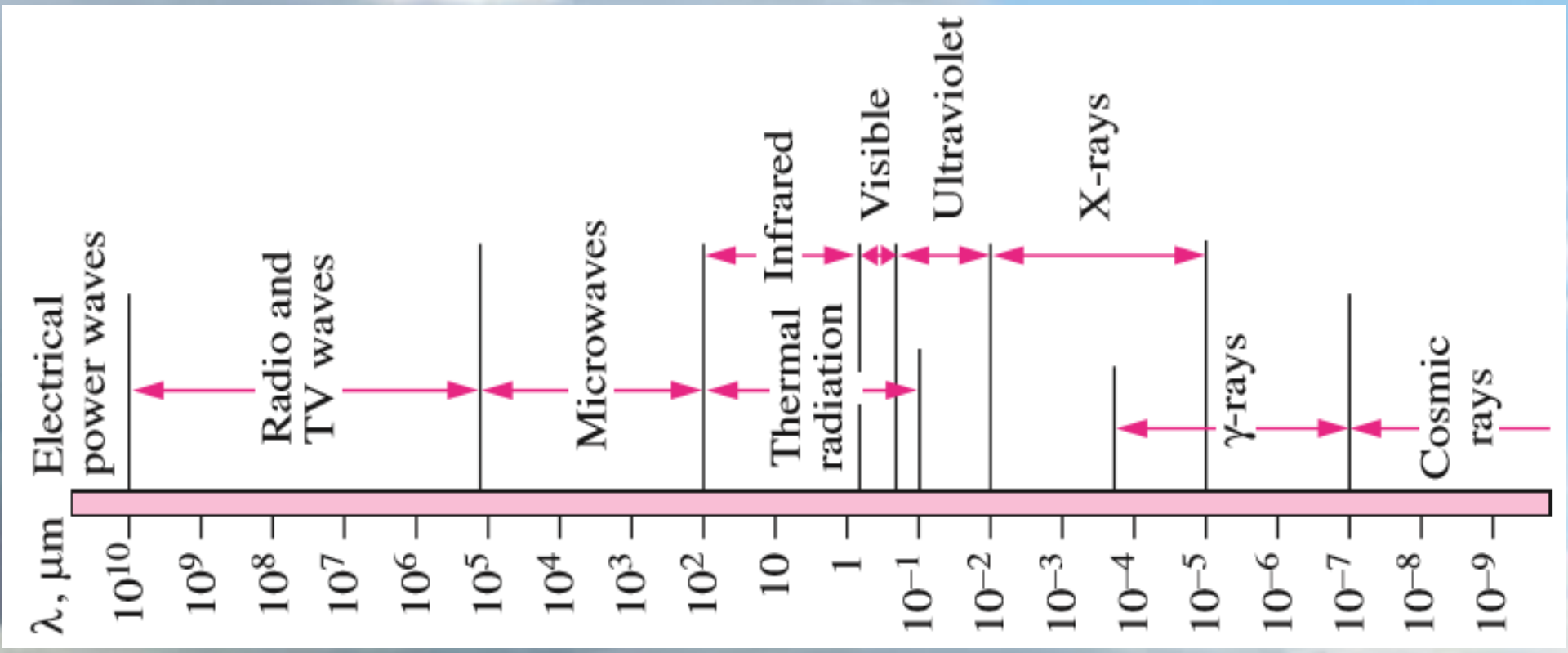
1 الإشعاع الحراري

❖ **الإشعاع الحراري هو:**

- ✓ إشعاع كهرومغناطيسي
- ✓ ينبعث نتيجة لدرجة حرارة السطح
- ✓ يتواجد تقريبا في المجال الطيفي من $0,1\mu m$ إلى $100\mu m$
- ✓ يشمل الأشعة المرئية، الأشعة ما تحت الحمراء و الأشعة فوق البنفسجية
- ✓ المجال الذي يمكن فيه إحساس الأشعة على شكل حرارة

1 الطيف الكهرومغناطيسي

و هو يمثل توزيع الأمواج الكهرومغناطيسية بدلالة طول موجتها كما يوضحه الشكل المبين أدناه:



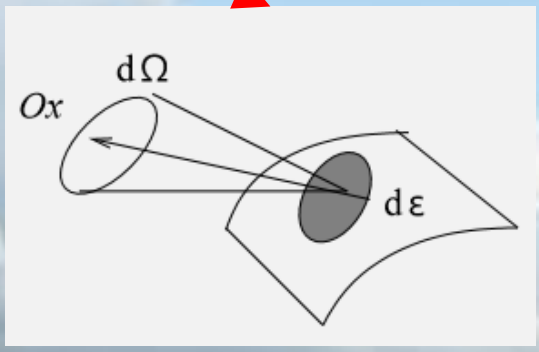
1 تصنيف المقادير الفيزيائية

تصنيف حسب التركيب الطيفي للإشعاع

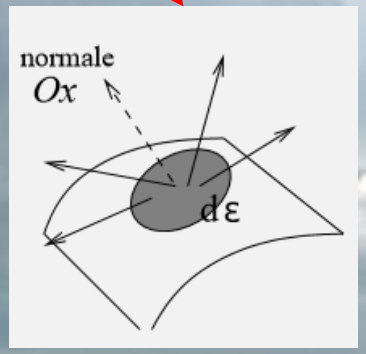
- ✓ إذا كانت مستعملة بالنسبة لطيف الإشعاع الحراري بأكمله فيطلق عليها مقادير كلية
- ✓ إذا كانت مستعملة عند طول موجي معين فيطلق عليها مقادير أحادية الطول الموجي و تكتب على الشكل (G_λ)

تصنيف حسب التوزيع الفضائي للإشعاع

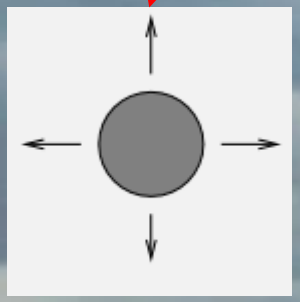
- ✓ إذا كانت مستعملة بمن أجل اتّجاه محدد فيطلق عليها مقادير اتّجاهية
- ✓ إذا كانت مستعملة بالنسبة لجميع اتّجاهات الفضاء فيطلق عليها مقادير كروية أو نصف كروية حسب الحالة



- مصدر اتّجاهي -



- مصدر نصف كروي -



- مصدر كروي -

1 الفرق بين الراديومترية و الفوتومترية

الراديومترية

يتم الاهتمام بالطاقة المشعة المنبعثة من قبل المصدر أو المستقبلة من طرف الكاشف دون الأخذ بعين الاعتبار للانطباع الناتج عن العين (أو حساسية العين)

الفوتومترية

يتم هنا الاهتمام أيضا بطاقة الإشعاعات، و لكن يؤخذ بعين الاعتبار حساسية العين التي هي ليست حساسة إلا للإشعاعات ذات الطول الموجي الموجود بين $0,4\mu m$ (الأزرق) و $0,7\mu m$ (الأحمر) تقريبا.

❖ نسمي الكفاءة الضوئية K لمصدر النسبة بين التدفق الضوئي و الاستطاعة المستهلكة و نكتب:

$$K = \frac{\text{التدفق الضوئي } \Phi (lumen)}{\text{الاستطاعة المستهلكة } P (W)}$$

1

❖ الجدول الآتي يوضح بعض الوحدات الفوتومترية و الوحدات الراديومترية المكافئة لها (كما سنرى ذلك في الفصل الثاني)

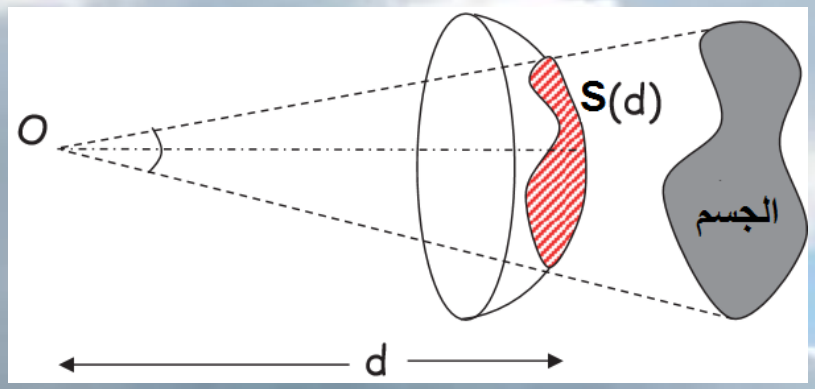
المقدار	الوحدات الفوتومترية	الرّمز	الوحدات الراديومترية المكافئة
التدفق الضوئي Φ	lumen	lm	W
الشدة الضوئية I	candela	cd	W/sr
درجة اللمعان L	candela par mètre carré	cd/m^2	$W\ m^{-2}\ sr^{-1}$
الانبعاثية M	lumen par mètre carré	lm/m^2	$W\ m^{-2}$
الاستنارة E	lux	lx	$W\ m^{-2}$

2

2- مفاهيم أساسية

2 الزاوية الصلبة

الزاوية الصلبة هي تعميم لمفهوم الزاوية المستوية و ذلك في الفضاء الثلاثي الأبعاد.



في الفضاء، إذا كان جسم ما يشاهد تحت زاوية صلبة Ω فإنّها تعرف على أنها النسبة بين المساحة S الناجمة عن إسقاط الجسم على الكرة و بين مربع نصف قطر الكرة و نكتب:

$$\Omega = \frac{S}{d^2}$$

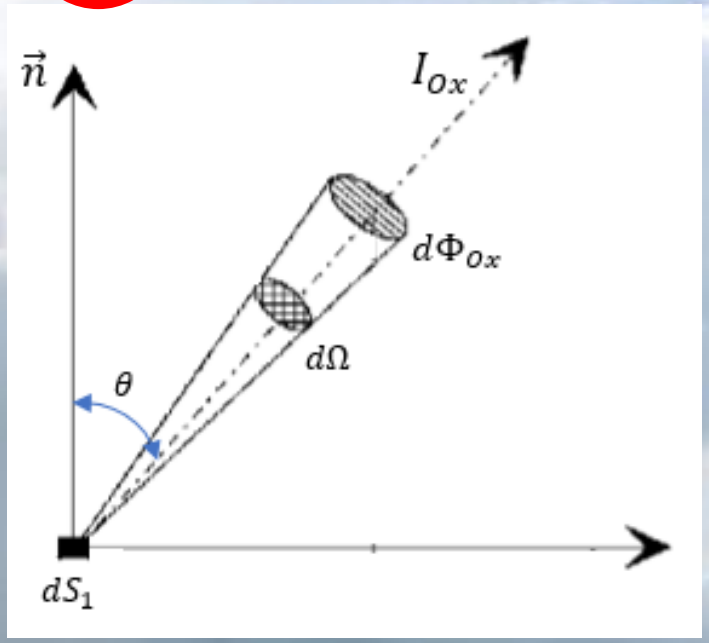
وحدة الزاوية الصلبة هي الستيراديان (sr)

❖ و في حالة جسم صغير أو جسم بعيد يكون: $d\Omega = \frac{ds}{d^2}$

و في حالة إذا كان السطح يميل بزاوية θ بالنسبة لاتجاه الملاحظة يكون:

$$d\Omega = \frac{ds\cos\theta}{d^2}$$

2 مقادير أساسية



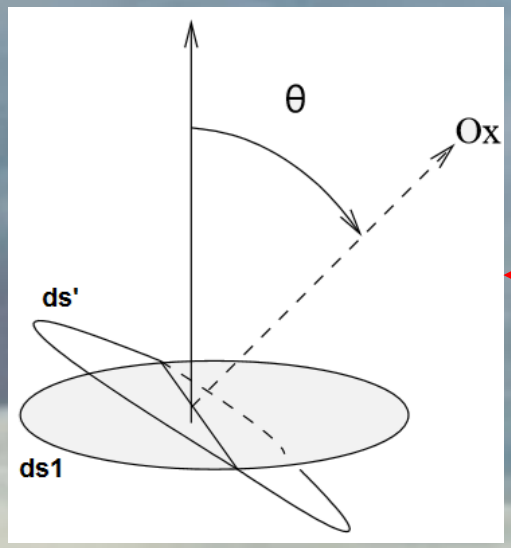
❖ التدفق الكلي لمنبع Φ:

و هو يمثل التدفق الإشعاعي المنبعث في كل الفضاء

❖ شدة الإشعاع الكلية لمنبع في إتّجاه ما I_{Ox}:

و هو يمثل التدفق الإشعاعي المنبعث في الاتّجاه Ox في وحدة الزاوية الصلبة و نكتب:

$$I_{Ox} = \frac{d\Phi_{Ox}}{d\Omega}$$

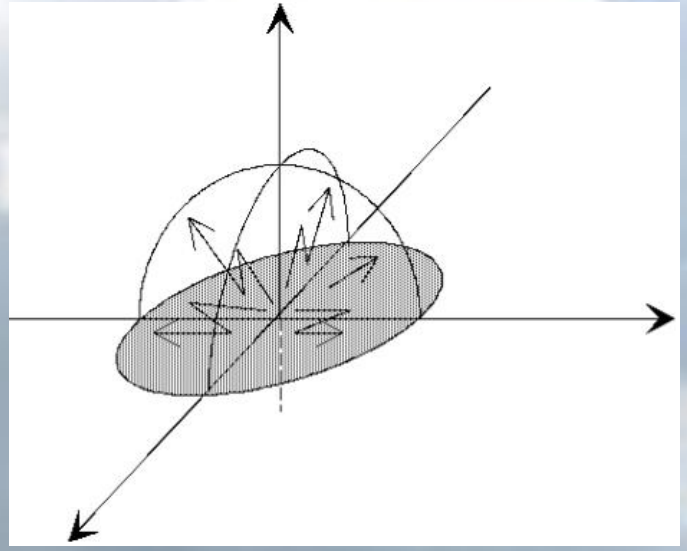


❖ درجة اللمعان L (Luminance):

و هي تمثل التدفق الإشعاعي المنبعث في الاتّجاه Ox في وحدة الزاوية الصلبة و في وحدة السطح و نكتب:

$$L_{Ox} = \frac{I_{Ox}}{ds'} = \frac{d^2\Phi_{Ox}}{d\Omega\, dS_1\, cos\theta}$$

2 مقادير أساسية



❖ الانبعاثية الكلية M:

و هي عبارة عن التدفق الكلي المنبعث في وحدة السطح الباث في كل الاتجاهات و نكتب:

$$M = \frac{d\Phi}{dS_1}$$

❖ الإستنارة (الإضاءة) Eclairement (E):

و هي عبارة عن التدفق الكلي الوارد على السطح المستقبل dS_2 في وحدة السطح المستقبل و نكتب:

$$E = \frac{d\Phi}{dS_2}$$

2 قانون لامبير

نسمي المصادر التي تكون فيها درجة اللمعان $\mathbf{L}$ مستقلة عن الاتّجاه بأنّها تخضع إلى قانون لامبير:

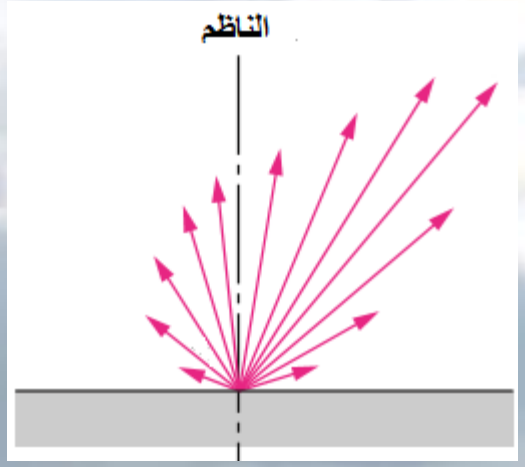
$$L_{Ox} = L = \text{Cste}$$

كما يمكن أن نثبت أنّه في حالة منبع يخضع إلى قانون لامبير يكون لدينا:

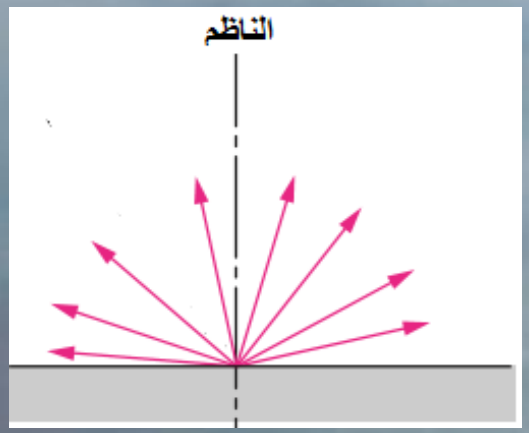
$$I_{Ox} = I_{On}\, cos(\theta)$$

أي أنّ كمية الطاقة المنبعثة انطلاقا من عنصر سطح في اتّجاه معيّن تكون متناسبة مع جيب تمام الزاوية التي يصنعها هذا الاتجاه مع ناظم السطح.

2 العلاقة بين الانبعاثية و درجة اللمعان في حالة البث المتشتت



- بث غير منتظم -



- بث متشتت -

مثال الجسم الأسود

❖ في الحالة العامة $L_{Ox} = L(\theta,\varphi)$:

$$M = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} L(\theta,\varphi)\, sin\theta\, cos\theta\, d\theta\, d\varphi$$

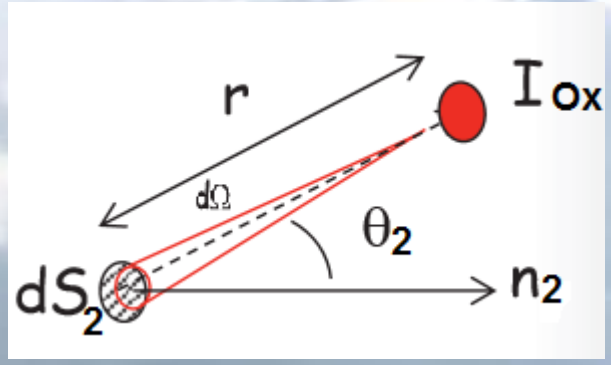
❖ في حالة $L_{Ox} = L(\theta)$:

$$M = 2\pi \int_0^{\pi/2} L(\theta)\, sin\theta\, cos\theta\, d\theta$$

❖ في حالة البث المتشتت $L_{Ox} = L$:

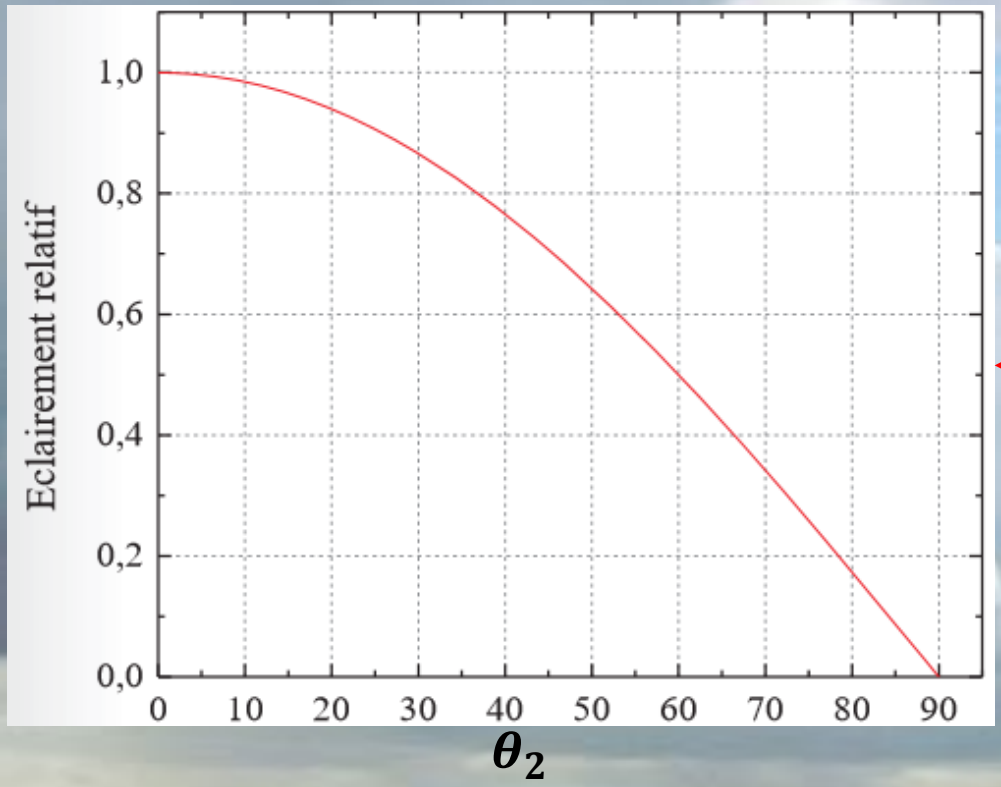
$$M = \pi\, L$$

2 العلاقة بين استنارة المستقبل و شدة إشعاع المصدر



❖ **Loi de Bouguer:**

$$E = \frac{I_{Ox}\cos\theta_2}{r^2}$$



شكل يوضح تغير الاستنارة مع تغير زاوية الميلان للسطح θ_2

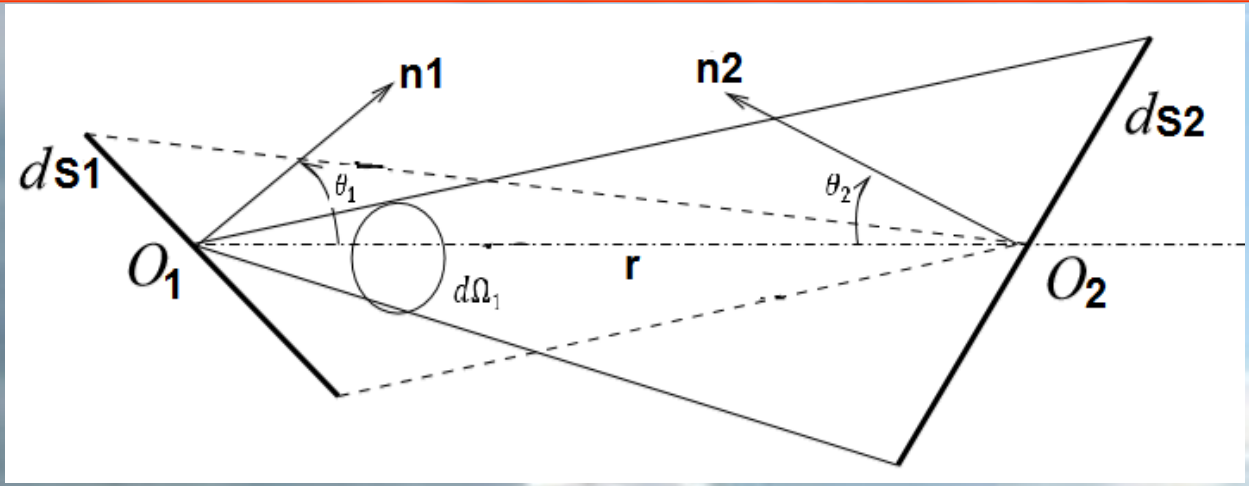
2 العلاقة بين استنارة المستقبل و درجة لمعان المصدر

نعتبر سطح ds_1 يبث تدفق في اتّجاه عنصر سطح مستقبل ds_2، في هذه الحالة يمكن كتابة هذا التدفق على الشكل الآتي:

$$d^2\Phi_1 = L_1\, d\Omega_1\, ds_1 cos\theta_1$$

و بتعويض عبارة الزاوية الصلبة العنصرية نجد:

$$d^2\Phi_1 = L_1 \frac{ds_1\, ds_2\, cos\theta_1\, cos\theta_2}{r^2}$$



إنّ المقدار: $\frac{ds_1\, ds_2\, cos\theta_1\, cos\theta_2}{r^2}$ يسمى الامتداد الهندسي حيث يبرز أهمية الوضعية النسبية للمصدر و المستقبل.

3

3- قوانين الإشعاع الحراري

3 الجسم الأسود و قانون بلانك

الجسم الأسود :

- هو جسم يبث الإشعاع نتيجة لدرجة حرارته
- هو جسم مثالي : باث مثالي و كذلك ماص مثالي
- يبث بنفس الطريقة في جميع الاتجاهات (بث متشتت)

من خلال قانون بلانك يمكن وصف العلاقة التي تربط بين الانبعاثية الطيفية و الطول الموجي و درجة الحرارة للجسم الأسود، فمن أجل وسط قرينة انكساره تساوي الواحد يكتب هذا القانون كالآتي:

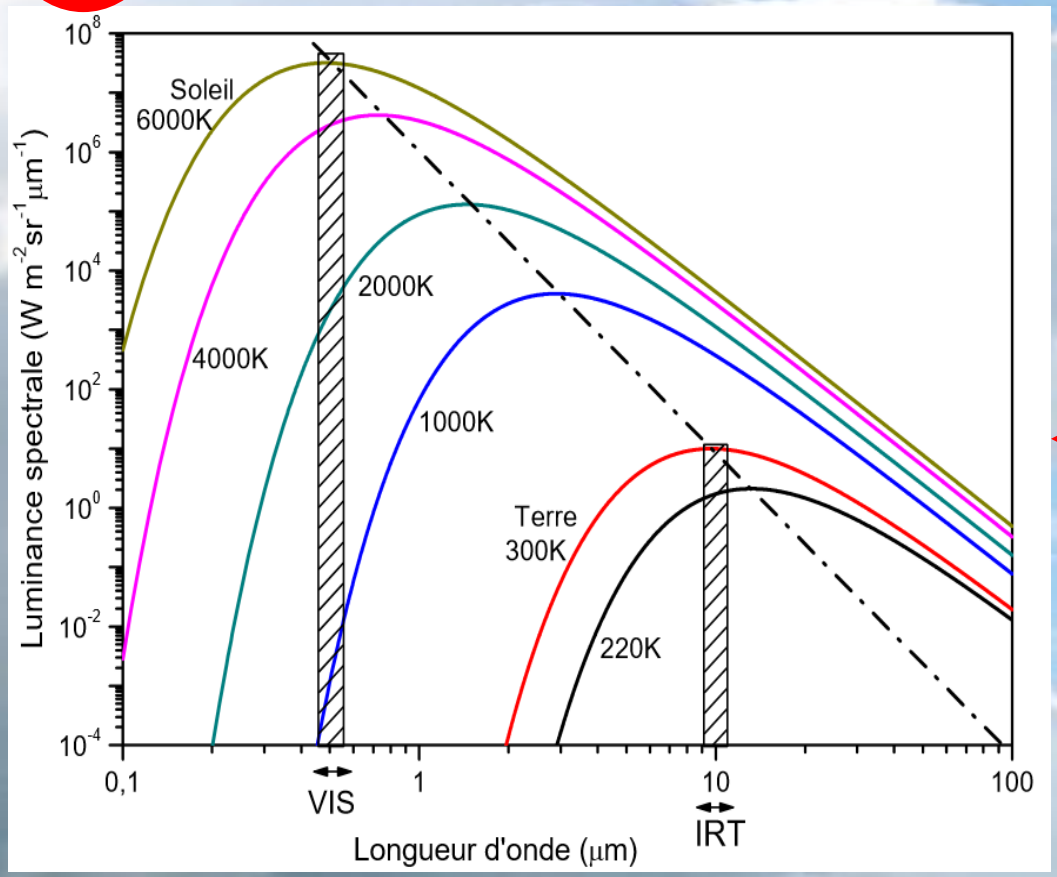
$$M_{\lambda}^{\circ} = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{\left(e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1\right)}$$

حيث :

$$c_1 = 3,74 \cdot 10^{-16} \ (W\,m^2)$$

$$c_2 = 1,43 \cdot 10^{-2} \ (m\,K)$$

3 الجسم الأسود و قانون بلانك



شكل يوضح تغير درجة اللمعان الطيفية للجسم الأسود بدلالة الطول الموجي من أجل درجات حرارة مختلفة

من خلال هذا الشكل نستنتج أنه عند كل درجة حرارة المنحنى يملك طول موجي تكون عنده الانبعاثية عظمى. و كذلك المنحنى يتزايد بسرعة بالنسبة للأطوال الموجية الصغيرة ثم يتناقص بسرعة أقل بالنسبة للأطوال الموجية الكبيرة

3 قانون ستيفان–بولتزمان

تعطى عبارة الانبعاثية الكلية M° للجسم الأسود في الفراغ بدلالة درجة حرارته حسب قانون ستيفان–بولتزمان كالآتي:

$$M^{\circ} = \sigma T^4$$

حيث σ يسمى ثابت ستيفان–بولتزمان: $\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}\ (W\ m^{-2}\ K^{-4})$

تمرين:

أثبت عبارة قانون ستيفان–بولتزمان السابقة و ذلك انطلاقا من العلاقة الآتية:

$$M^{\circ} = \int_0^{\infty} M_{\lambda}^{\circ}\, d\lambda$$

3 قوانين فين (Wien)

1- قانون فين الأول:

أو ما يعرف بقانون فين للإزاحة حيث يعطي قيمة الطول الموجي الذي تكون عنده الانبعاثية عظمى بدلالة درجة الحرارة:

$$\lambda_{max}\, T = 2898 \ \ (\mu m\, K)$$

2- قانون فين الثاني:

يعطي القيمة العظمى للانبعاثية بدلالة درجة الحرارة:

$$M^{\circ}_{\lambda_{max}} = B\, T^5$$

حيث:

إذا كانت وحدة الطول الموجي بـ μm فإنّ: $B = 1{,}287 \cdot 10^{-11} \ \ (W\, m^{-2}\, \mu m^{-1}\, K^{-5})$

3 نسبة الانبعاثية الكلية للجسم الأسود المحتواة داخل مجال طيفي محدد

و هي تحسب كالآتي:

$$F_{\lambda_1 \to \lambda_2} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M_\lambda^\circ \, d\lambda}{\int_0^\infty M_\lambda^\circ \, d\lambda}$$

كما يمكن للتبسيط كتابة هذه العبارة على الشكل:

$$F_{\lambda_1 \to \lambda_2} = F_{0 \to \lambda_2} - F_{0 \to \lambda_1}$$

علما أنّ قيم $F_{0 \to \lambda}$ يمكن حسابها من الجدول المبين في الصفحة الموالية، حيث:

$$F(X) = F_{0 \to \lambda}$$

$$X = \frac{\lambda}{\lambda_{max}}$$

حيث يمكن حساب قيمة λ_{max} باستخدام قانون فين للإزاحة.

3

X	$F(X)$
0.10	.568E-17
0.20	.448E-07
0.22	.325E-06
0.24	.166E-05
0.26	.649E-05
0.28	.206E-04
0.30	.552E-04
0.32	.129E-03
0.34	.272E-03
0.36	.522E-03
0.38	.929E-03
0.40	.155E-02
0.42	.245E-02
0.44	.369E-02
0.46	.534E-02
0.48	.746E-02
0.50	0.0101
0.52	0.0133
0.54	0.0172
0.56	0.0217
0.58	0.0268
0.60	0.0326
0.62	0.0391
0.64	0.0463
0.66	0.0541
0.68	0.0625
0.70	0.0715
0.72	0.0810
0.74	0.0911
0.76	0.1017
0.78	0.1127

X	$F(X)$
0.78	0.1127
0.80	0.1240
0.82	0.1358
0.84	0.1478
0.86	0.1601
0.88	0.1727
0.90	0.1854
0.92	0.1983
0.94	0.2113
0.96	0.2244
0.98	0.2375
1.00	0.2507
1.02	0.2638
1.04	0.2770
1.06	0.2901
1.08	0.3031
1.10	0.3160
1.12	0.3288
1.14	0.3416
1.16	0.3541
1.18	0.3666
1.20	0.3789
1.22	0.3910
1.24	0.4029
1.26	0.4147
1.28	0.4263
1.30	0.4377
1.32	0.4489
1.34	0.4600
1.36	0.4708
1.38	0.4814

X	$F(X)$
1.40	0.4919
1.42	0.5021
1.44	0.5121
1.46	0.5220
1.48	0.5316
1.50	0.5410
1.52	0.5503
1.54	0.5593
1.56	0.5682
1.58	0.5769
1.60	0.5853
1.62	0.5936
1.64	0.6018
1.66	0.6097
1.68	0.6175
1.70	0.6251
1.72	0.6325
1.74	0.6397
1.76	0.6468
1.78	0.6538
1.80	0.6605
1.82	0.6672
1.84	0.6736
1.86	0.6800
1.88	0.6862
1.90	0.6922
1.92	0.6981
1.94	0.7039
1.96	0.7095
1.98	0.7150
2.00	0.7204

X	$F(X)$
2.00	0.7204
2.10	0.7456
2.20	0.7681
2.30	0.7881
2.40	0.8061
2.50	0.8222
2.60	0.8366
2.70	0.8496
2.80	0.8613
2.90	0.8719
3.00	0.8814
3.10	0.8901
3.20	0.8979
3.30	0.9051
3.40	0.9116
3.50	0.9175
3.60	0.9230
3.70	0.9280
3.80	0.9325
3.90	0.9367
4.00	0.9406
5.00	0.9665
6.00	0.9794
7.00	0.9865
8.00	0.9908
9.00	0.9935
10.00	0.9952
15.00	0.9988
20.00	0.9997
30.00	0.9998
∞	1.0000

4

4- انبعاثية الأجسام الحقيقية

4 انبعاثية الجسم الحقيقي

ترتبط انبعاثية الجسم الحقيقي الكلية بانبعاثية الجسم الأسود الكلية و ذلك حسب العلاقة الآتية:

$$M = \varepsilon M^{\circ}$$

حيث المعامل الجديد ε يسمى معامل الانبعاثية $(0 < \varepsilon < 1)$.

و كذلك يمكن كتابة:

$$L_{Ox} = \varepsilon L^{\circ}$$

مع العلم أن العلاقتين السابقتين تبقيان صحيحتين من أجل أطوال موجية محددة.

حالة خاصة:

بالنسبة للأجسام الرمادية معامل الانبعاثية يكون مستقل عن الطول الموجي أي أنّ:

$$\varepsilon_{\lambda} = \varepsilon < 1$$

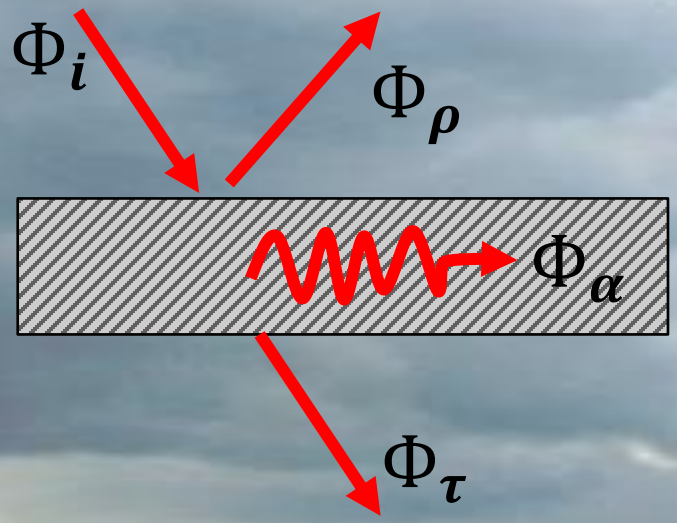
5

5- الطاقة الإشعاعية الواردة على سطح ما

5 الطاقة الإشعاعية الواردة على سطح ما

نعتبر تدفق إشعاعي وارد على سطح معين، إذن جزء من الطاقة المحدد من خلال معامل الانعكاس (ρ) سينعكس و جزء آخر من الطاقة المحدد من خلال معامل الامتصاص (α)سيمتص و جزء آخر من الطاقة المحدد من خلال معامل النفاذية (τ) سينفذ.
إذن حسب مبدأ انحفاظ الطاقة يمكن أن نكتب:

$$\Phi_i = \Phi_\rho + \Phi_\alpha + \Phi_\tau$$



بقسمة الموازنة السابقة على التدفق الوارد Φ_i نحصل على العلاقة الآتية:

$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

مع العلم أن هذه العلاقة تبقى صحيحة عند طول موجي محدد:

$$\rho_\lambda + \alpha_\lambda + \tau_\lambda = 1$$

6

6- قانون کیرشوف

6 قانون كيرشوف

عند التوازن الإشعاعي، ينص قانون كيرشوف على أنّ معامل الامتصاص الطيفي الاتّجاهي يساوي معامل الانبعاثية الطيفي الاتّجاهي و نكتب:

$$\alpha_{ox,\lambda} = \varepsilon_{ox,\lambda}$$

في حالة كان الإشعاع المنبث و الإشعاع الوارد موزعين بانتظام فيمكن أن نكتب:

$$\alpha_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda}$$

كما يمكن أن نكتب:

الجسم الأسود	الجسم الرمادي
$\varepsilon = \alpha = 1$	$\varepsilon = \alpha \neq 1$

7

7- التدفق الصافي المبثوث لجسم عاتم

7 التدفق الصافي المبثوث لجسم عاتم

نسمي التدفق الصافي المبثوث Φ_{net} لجسم الموازنة الصافية بين التدفق المغادر و التدفق الوارد بحيث نكتب:

$$\Phi_{net} = \Phi_{\text{المغادر}} - \Phi_{\text{الوارد}}$$

$$\Phi_{net} = (\Phi_e + \Phi_\rho) - (\Phi_i) = (\Phi_e + \Phi_\rho) - (\Phi_a + \Phi_\rho)$$

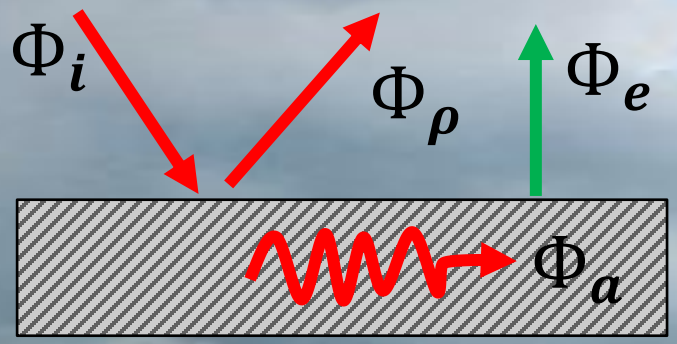
و منه يمكن الحصول على عبارة التدفق الصافي المبثوث Φ_{net} لجسم عاتم كالآتي:

$$\Phi_{net} = \Phi_e - \Phi_a$$

حيث:

Φ_e يمثل التدفق الإشعاعي المنبعث

Φ_a يمثل التدفق الإشعاعي الممتص



جسم عاتم

و في حالة التوازن الإشعاعي يكون: $\Phi_{net} = 0$ أي يكون: $\Phi_e = \Phi_a$

8

8- التبادلات الإشعاعية بين مساحات مفصولة بوسط شفاف

الوسط الشفاف هو الوسط الذي لا يساهم في عملية الامتصاص و الانبعاث للإشعاع الحراري.

8

معاملات الشكل

نعتبر سطحين أسودين S_1 و S_2 عند درجتي حرارة مختلفتين.

- إنّ التدفق الإشعاعي المنبعث من S_1 و الذي يصل إلى S_2 هو:

$$\Phi_{12} = M_1^{\circ} S_1 F_{12}$$

- بينما التدفق الإشعاعي المنبعث من S_2 و الذي يصل إلى S_1 هو:

$$\Phi_{21} = M_2^{\circ} S_2 F_{21}$$

حيث F_{12} و F_{21} يسمّيان معاملي الشكل و هما بدون وحدة و يتوقفان على الشكل الهندسي للسطح و يمثلان النسبة من التدفق الإشعاعي الصادرة من السطح الباث و التي تصل إلى السطح المستقبل.

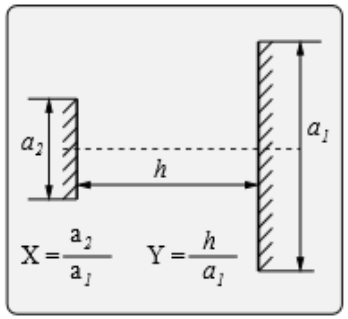
العلاقة بين معاملات الشكل:

- العلاقة التبادلية بين سطحين: $S_1 F_{12} = S_2 F_{21}$
- بالنسبة لحيّز مغلق مكون من مجموعة من الأسطح يكون: $\sum_j F_{ij} = 1$

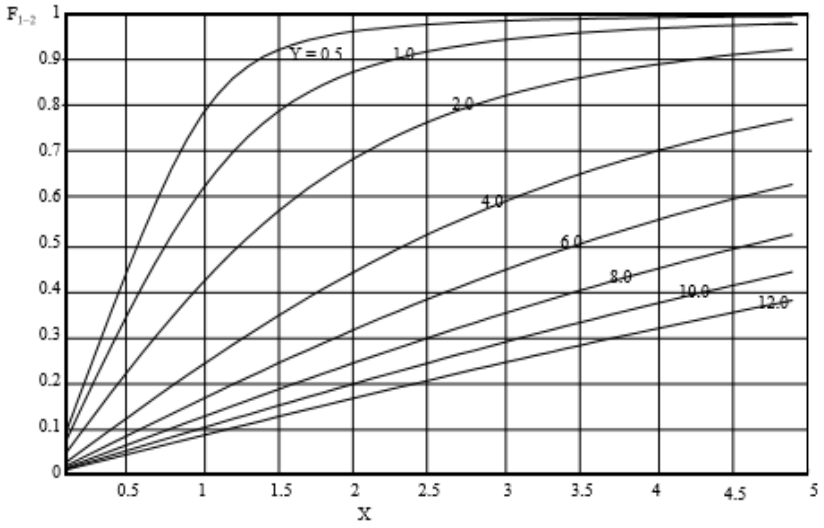
فيما يلي نقدم بعض القيم لمعاملات الشكل:

8

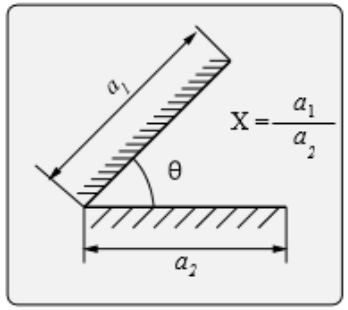
1. Deux plaques parallèles, de largeur différentes et ayant le même plan de symétrie



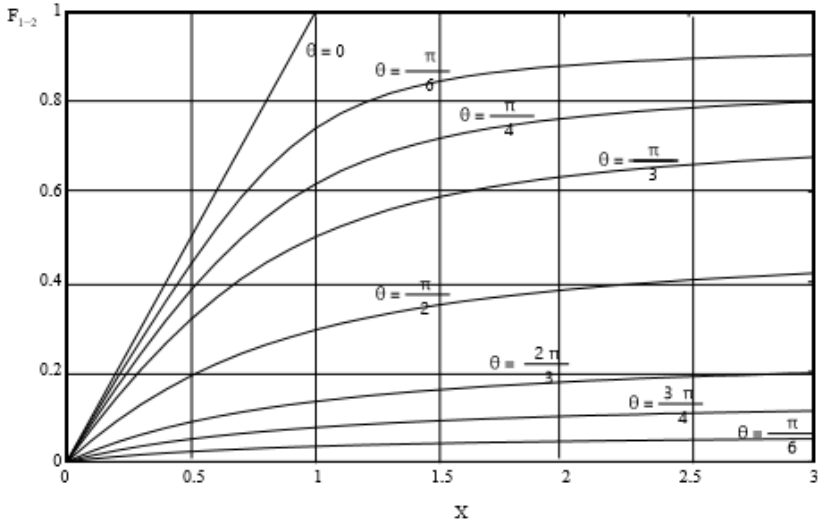
$$F_{1-2} = \frac{1}{a_1}\left[\sqrt{\frac{1}{4}(a_1+a_2)^2+h^2} - \sqrt{\frac{1}{4}(a_1-a_2)^2+h^2}\right]$$



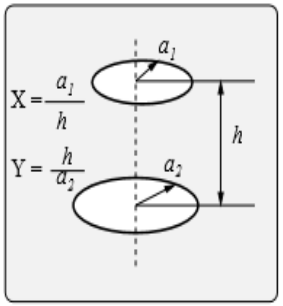
2. Deux plaques ayant une arête commune et faisant un angle θ



$$F_{1-2} = \frac{1}{2\,a_1}\left[a_1 + a_2 - \sqrt{a_1^2 + a_2^2 - 2a_1a_2\cos(\theta)}\right]$$

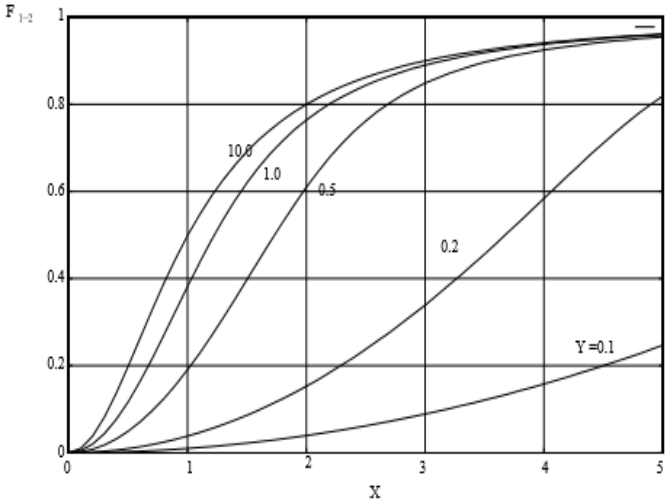


3. Deux disques coaxiaux

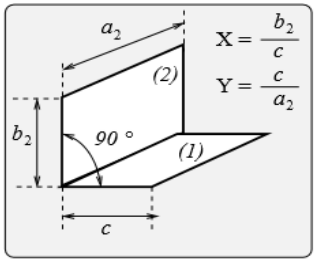


$$X = \frac{a_1}{h} \quad Y = \frac{h}{a_2} \quad Z = 1 + (1 + X^2)\, Y^2$$

$$F_{1-2} = \frac{1}{2}\left[Z - \sqrt{Z^2 - 4X^2Y^2}\right]$$



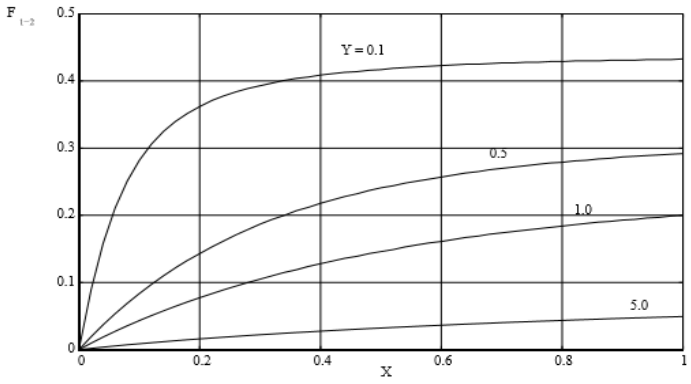
4. Rectangles perpendiculaires ayant une arête commune (position selon schéma)



$$X = \frac{b_2}{a_2} \qquad Y = \frac{c}{a_2}$$

$$F_{(1-2)} = \frac{1}{\pi Y}\left[Y \arctan\frac{1}{Y} + X \arctan\frac{1}{X} - \sqrt{X^2 + Y^2}\arctan\frac{1}{\sqrt{X^2 + Y^2}}\right.$$

$$\left. + \frac{1}{4}\ln\left\{\left[\frac{(1+Y^2)(1+X^2)}{(1+Y^2+X^2)}\right]\left[\frac{Y^2(1+Y^2+X^2)}{(1+Y^2)(Y^2+X^2)}\right]^{Y^2}\left[\frac{X^2(1+X^2+Y^2)}{(1+X^2)(X^2+Y^2)}\right]^{X^2}\right\}\right]$$



8 التدفق الصافي المتبادل بين سطحين أسودين

نعتبر سطحين أسودين S_1 و S_2 عند درجتي حرارة مختلفتين.

❖ إنّ التدفق الصافي $\Phi_{12}(net)$ المتبادل بين السطحين S_1 و S_2 و ذلك بوضع التقييم بالنسبة للسطح S_1 هو:

$$\Phi_{12}(net) = \Phi_{12} - \Phi_{21}$$

$$\Phi_{12}(net) = M_1^{\circ} S_1 F_{12} - M_2^{\circ} S_2 F_{21}$$

$$\Phi_{12}(net) = S_1 F_{12}\left(M_1^{\circ} - M_2^{\circ}\right)$$

$$\Phi_{12}(net) = S_1 F_{12}\,\sigma\left(T_1^4 - T_2^4\right)$$

التدفق الصافي المتبادل بين سطح S_i و مجموعة أسطح بحيث يشكلون حيّز هو:

$$\Phi_i(net) = \sum_{j=1}^{N} \Phi_{ij}(net)$$

8 تمثيل التبادلات الإشعاعية بين السطوح السوداء من خلال التماثل الكهربائي

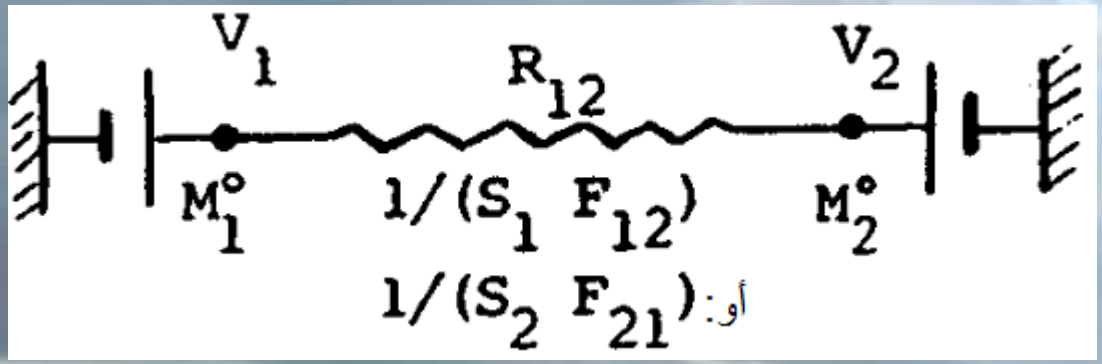
تطرقنا سابقا إلى عبارة التدفق الصافي المتبادل بين سطحين أسودين S_1 و S_2 :

$$\Phi_{12}(net) = S_1 F_{12}\left(M_1^\circ - M_2^\circ\right) = \frac{M_1^\circ - M_2^\circ}{\left(\frac{1}{S_1 F_{12}}\right)}$$

❖ هذه العلاقة يمكن تشبيهها بالعلاقة الكهربائية (قانون أوم) الآتية:

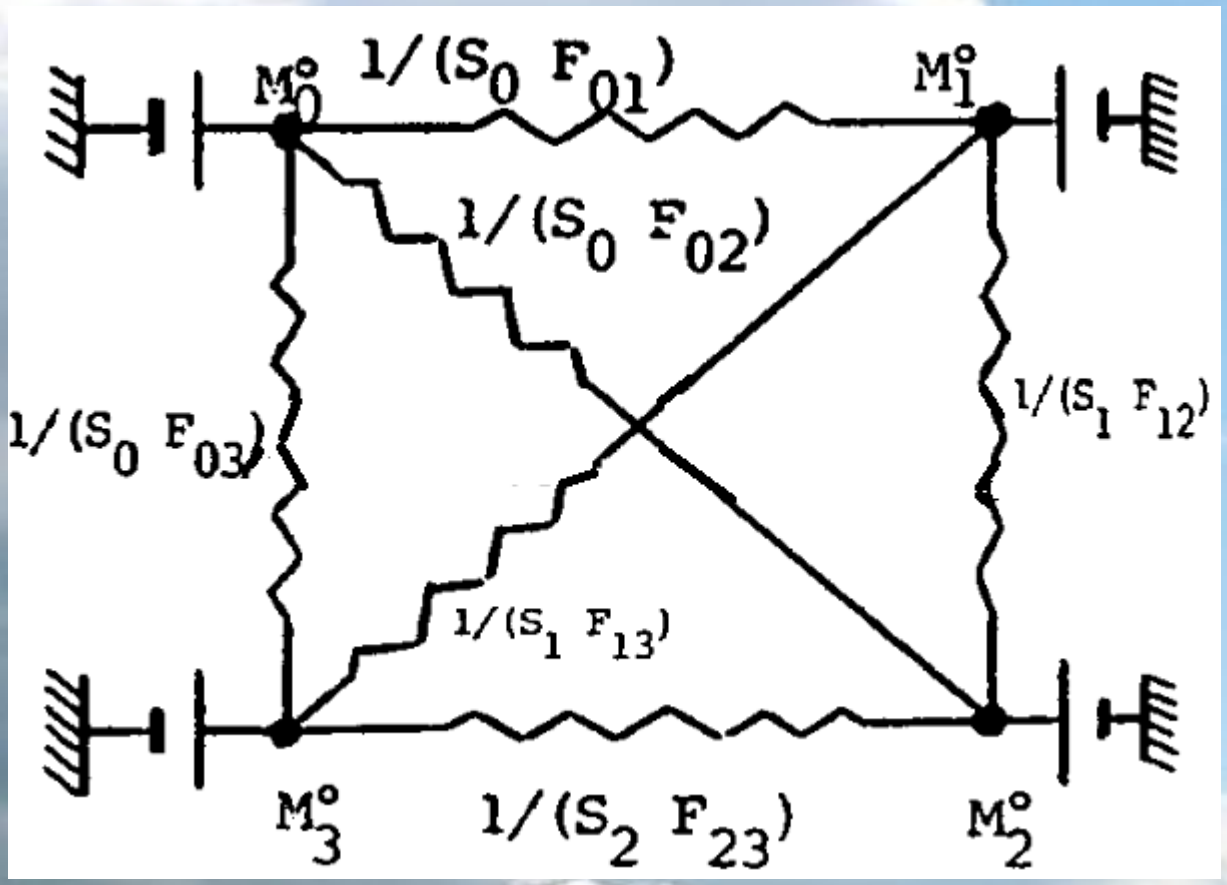
$$I_{12} = \frac{V_1 - V_2}{R_{12}}$$

و الشكل الآتي يوضح هذا التشابه:



سطحين أسودين يشكلان حيّز

8 تمثيل التبادلات الإشعاعية بين السطوح السوداء من خلال التماثل الكهربائي



حيّز مشكّل من أربعة أسطح سوداء

8 التبادلات الإشعاعية بين الأسطح الرمادية المعتمة

الجسم الرمادي يختلف عن الجسم الأسود فهو ليس باث مثالي و كذلك لا يمتص كل الإشعاع الذي يستقبله بل يعكس جزء منه، لذلك نعرف مقدار جديد بالنسبة للسطح الرمادي (يجمع بين الإشعاع المنبعث و المنعكس) و هو المشعاعية (Radiosité) و نرمز له بالرمز J حيث:

$$J = \varepsilon M^{\circ} + \rho E$$

مع العلم أنه لدينا:

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$
$$\tau = 0$$
$$\alpha = \varepsilon$$

و منه نجد:

$$J = \varepsilon M^{\circ} + (1 - \varepsilon) E$$

و كذلك نجد:

$$E = \frac{J - \varepsilon M^{\circ}}{1 - \varepsilon}$$

8

التدفق الصافي المبثوث لسطح رمادي:

و هو عبارة عن الفرق بين التدفق الذي يبثه و الذي يمتصه:

$$\frac{\Phi(net)}{S} = \varepsilon M^{\circ} - \alpha E$$

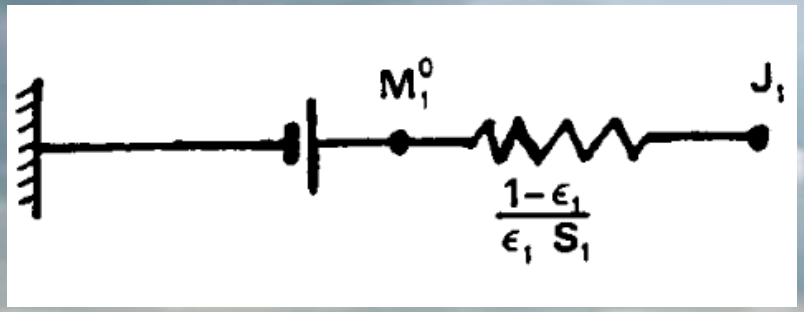
بتعويض عبارة E السابقة و تعويض معامل الامتصاص بمعامل الانبعاثية نجد العلاقات الآتية:

$$\frac{\Phi(net)}{S} = \varepsilon \left(M^{\circ} - E\right)$$

$$\Phi(net) = \frac{M^{\circ} - J}{\left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon S}\right)}$$

❖ هذه العلاقة الأخيرة الخاصة بسطح رمادي يمكن تشبيهها أيضا بالعلاقة الكهربائية (قانون أوم) الآتية:

$$I_{12} = \frac{V_1 - V_2}{R_{12}}$$



و الشكل الآتي يوضح هذا التشابه:

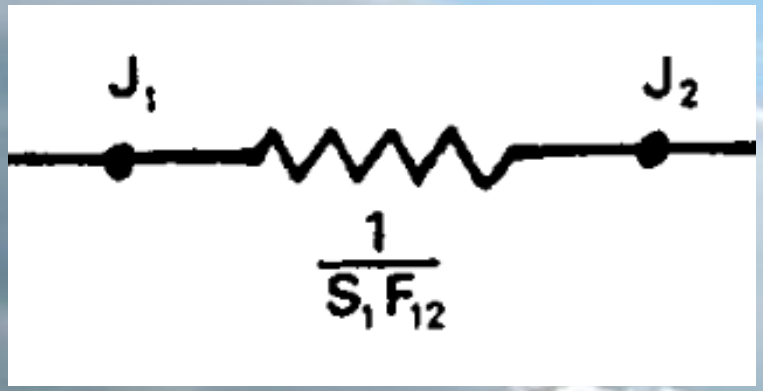
و في حالة سطحين رماديين يكون S_1 و S_2 يكون التدفق الصافي المتبادل كالآتي:

$$\Phi_{12}(net) = S_1 F_{12}(J_1 - J_2) = \frac{J_1 - J_2}{\left(\frac{1}{S_1 F_{12}}\right)}$$

❖ هذه العلاقة الأخيرة يمكن تشبيهها أيضا بالعلاقة الكهربائية (قانون أوم) الآتية:

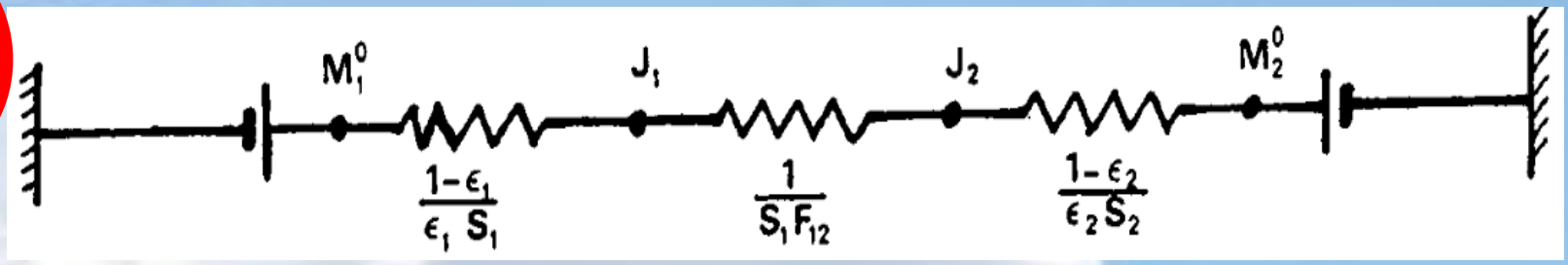
$$I_{12} = \frac{V_1 - V_2}{R_{12}}$$

و الشكل الآتي يوضح هذا التشابه:

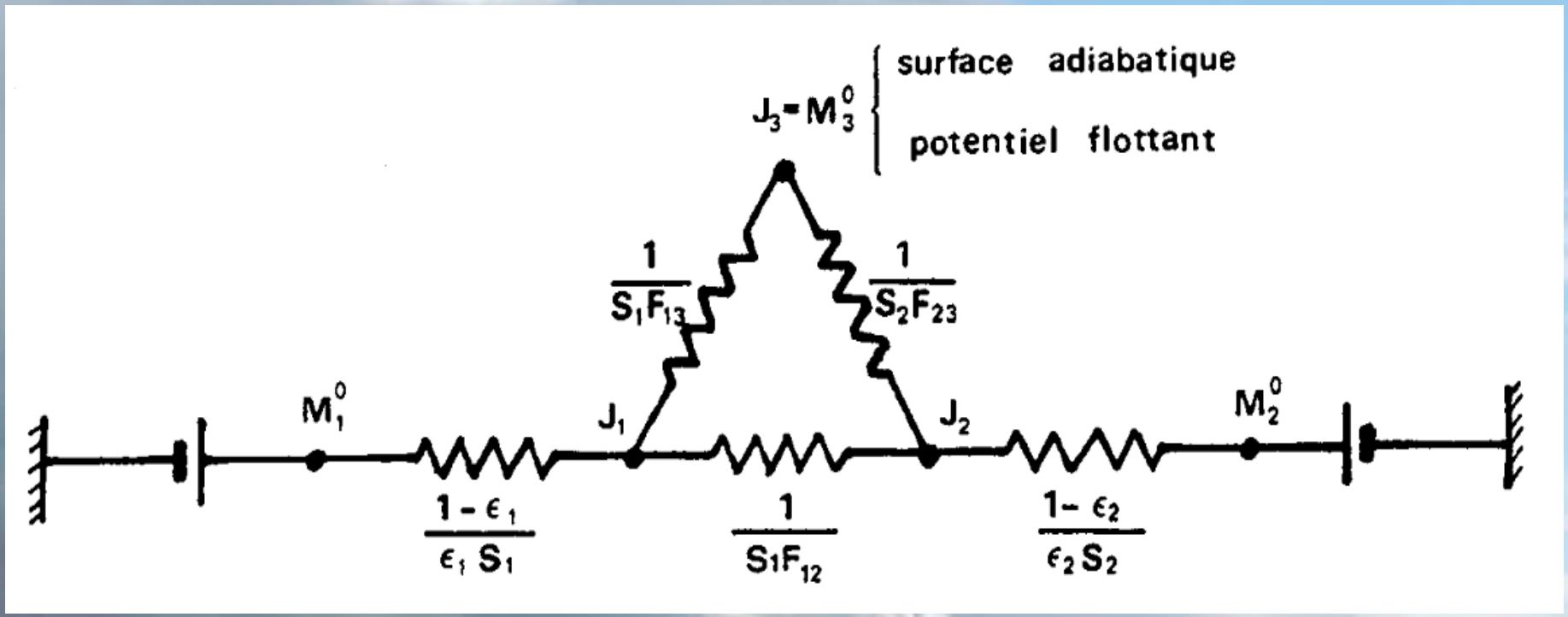


و منه يمكننا الحصول على ما يلي:

8



سطحين رماديين يشكلان حيّز



حيّز مشكّل من ثلاثة أسطح رمادية منهم سطح كظوم

9

9- الإشعاعات الطبيعية

9

الشمس كمصدر للطاقة

الشمس هي عبارة عن كرة غازية حيث:

- الهيدروجين يمثل حوالي 75% من كتلتها و 92% من حجمها
- يبلغ قطرها حوالي 1391000km (أكبر تقريبا 100 مرة من قطر الأرض)
- تبلغ كتلتها حوالي $2 \cdot 10^{27}\ tonnes$
- كل الطاقة الشمسية تأتي من خلال تفاعلات حرارية نووية تحدث داخل الشمس
- تبلغ المسافة بين الأرض و الشمس حوالي $150 \cdot 10^{6}\ km$

الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي:

إنّ كمّية الإشعاع الشمسي الساقط عموديا على سطح يقع في النهاية العليا للغلاف الجوي الأرضي (حوالي 80km) تتغير خلال السنة مع قيمة المسافة أرض–شمس، حيث قيمته المتوسطة تسمى الثابت الشمسي و تساوي تقريبا $1353\ W/m^2$

9 الإشعاعات الطويلة و القصيرة الطول الموجي

الإشعاعات ما تحت الحمراء الحرارية:

و هي تشمل الإشعاعات الصادرة عن سطح الأرض، الغلاف الجوي و الغيوم. و تسمى أيضا الإشعاعات ذات الطول الموجي الطويل و هي تختلف عن الإشعاعات القريبة من تحت الحمراء و التي هي جزء من الطيف الشمسي. الإشعاع ما تحت الأحمر الحراري يوافق عموما مجال خاص من أطوال الموجات (طيف) أعلى من ذلك الخاص باللون الأحمر في الجزء المرئي من الطيف. كما أن الإشعاع ما تحت الأحمر الحراري يختلف عن الإشعاع قصير الطول الموجي أو الإشعاع الشمسي بسبب الاختلاف في درجة الحرارة بين الشمس و النظام أرض–جو.

الإشعاع الشمسي:

و هو إشعاع كهرومغناطيسي تبثّه الشمس و يدعى أيضا إشعاع قصير الطول الموجي، الإشعاع الشمسي يوافق مجال أطوال موجات (طيف) دقيق جدا يحدد من خلال درجة حرارة الشمس و الذي تكون قمته العظمى في أطوال الموجات المرئية.

9 الإشعاع الصافي المكتسب للسطح الأرضي

يعرف الإشعاع الصافي المكتسب R_n للسطح الأرضي على أنه كمية الطاقة الإشعاعية المتاحة على سطح الأرض و التي يمكن أن تتحول إلى أشكال أخرى من الطاقة من خلال الآليات المختلفة الفيزيائية أو البيولوجية للسطح.

نعبّر عموما عن ميزان التبادلات الإشعاعية عند السطح من خلال الإشعاع الصافي المكتسب R_n المعرف كمحصلة لثلاثة أنواع من الإشعاعات:

$$R_n = (R_g + R_{des}) - (A\,R_g + R_{asc})$$

$$R_n = (1 - A)R_g + R_{des} - R_{asc}$$

$$R_n = (1 - A)R_g + \varepsilon_a\,\sigma\,T_a^4 - \varepsilon_s\,\sigma\,T_s^4$$

حيث:

R_g: يمثل الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على سطح الأرض

A: يمثل ألبيدو السطح

R_{des}: يمثل إشعاع الغلاف الجوي المتجه نحو السطح

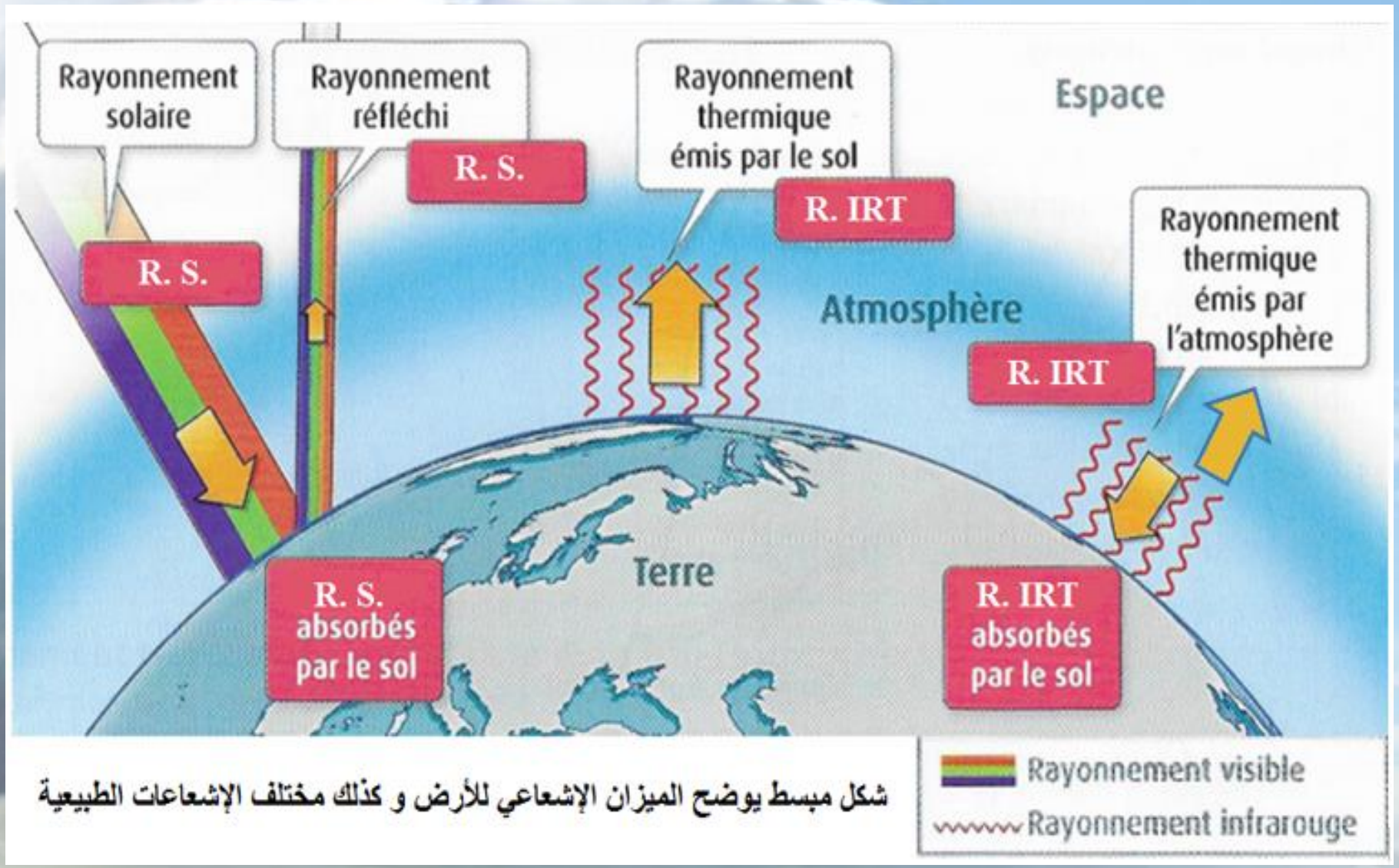
R_{asc}: يمثل إشعاع سطح الأرض المتجه نحو الأعلى

ε_a: تمثل معامل انبعاثية الجو

ε_s: تمثل معامل انبعاثية السطح

T_s و T_a يمثلان على التوالي درجة حرارة السطح و الجو.

9 شكل يوضح مختلف الإشعاعات الطبيعية



شكل مبسط يوضح الميزان الإشعاعي للأرض و كذلك مختلف الإشعاعات الطبيعية