

# الفصل الرابع

## الإشعاع في الجو

### 1.4 الإشعاع (Radiation)

الإشعاع في الفيزياء هو انبعاث أو نقل الطاقة على شكل موجات أو جسيمات عبر الفضاء أو عبر وسيط مادي، ويشمل:

1. الإشعاع الكهرومغناطيسي مثل موجات الراديو، والميكروويف، والأشعة تحت الحمراء، والضوء المرئي، والأشعة فوق البنفسجية، والأشعة السينية، وأشعة كاما ( $\gamma$ ).
2. إشعاع الجسيمات، مثل إشعاع ألفا ( $\alpha$ )، وإشعاع بيتا ( $\beta$ )، وإشعاع البروتون، والإشعاع النيوتروني.
3. الإشعاع الصوتي، مثل الموجات فوق الصوتية والصوتية والموجات الزلزالية (تعتمد على وسيط نقل فيزيائي).
4. إشعاع الجاذبية الذي يأخذ شكل موجات الجاذبية، أو تموجات في انحناء الزمكان.

أن كل تبادل للطاقة بين الأرض وبقية اجزاء الكون يحدث عن طريق نقل الإشعاع، كما ان عملية نقل الإشعاع هي وسيلة رئيسية لنقل الطاقة بين الغلاف الجوي والسطح الذي تحته وبين طبقات الغلاف الجوي المختلفة.

### 1.1.4 شدة الإشعاع (Radiant Intensity)

تعرف شدة الإشعاع بأنها الطاقة التي تحملها الأشعة المارة خلال وحدة المساحات لسطح تخيلي في الفراغ لكل وحدة زمن ولكل زاوية مجسمة مركزها يقع على خط عمودي على السطح التخيلي. وقد أثبت الفيزيائيون أنه كلما كان الطول الموجي للإشعاع أقصر كلما زادت كمية الطاقة التي يحملها هذا الإشعاع بين طاقة الشعاع وطول موجته. ويمكن حساب شدة الإشعاع من خلال المعادلة التالية:

$$E = hf$$

حيث:

f: التردد (Hz)

E: شدة الإشعاع (watt)

h: ثابت بلانك ( $6.626 \times 10^{-34}$  J.s)

### 2.1.4 الفيض الإشعاعي (Radiation Flux)

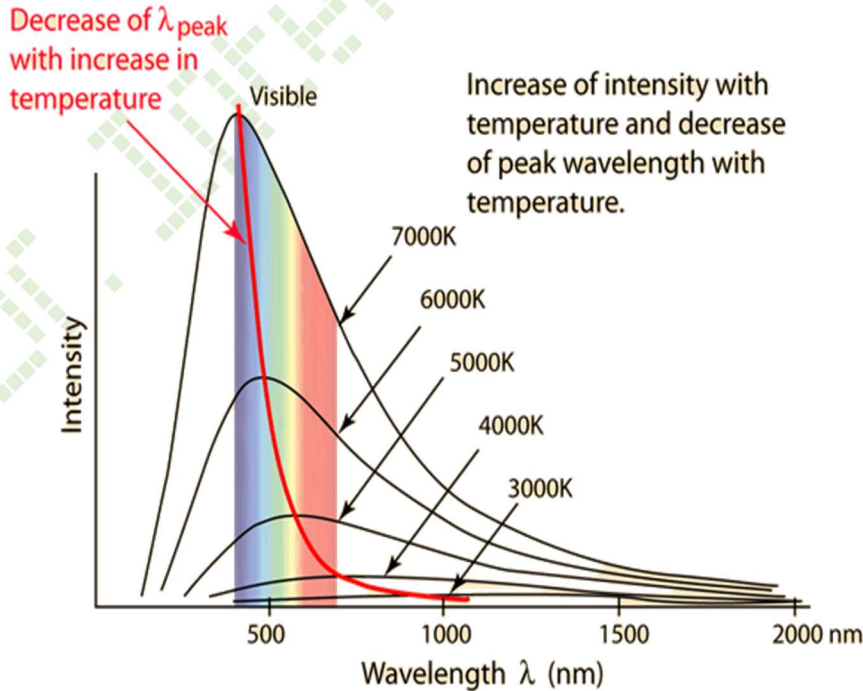
يُعرّف الفيض الإشعاعي بأنه الطاقة المارة خلال وحدة المساحات من مستوي تخيلي في وحدة الزمن وفي جميع الإتجاهات.

### 3.1.4 الفرق بين شدة الإشعاع و الفيض الإشعاعي

الفرق بين كل من شدة الإشعاع والفيض الإشعاعي هو أن في حالة شدة الإشعاع تكون المساحة عمودية على اتجاه الأشعة، بينما المساحة في حالة الفيض تكون متمركزة داخل نصف الكرة التي تخرج منها الأشعة في جميع الاتجاهات. أي أن مفهوم الفيض يرتبط بمساحة هي مصدر الإشعاع أما الشدة فترتبط بمساحة تمر من خلالها الأشعة الصادرة من مساحة أخرى.

### 2.4 الجسم الأسود (Blackbody)

هو جسم افتراضي يمتص كل الإشعاع الكهرومغناطيسي (الضوء مثلاً) الساقط عليه، ويشع إشعاعاً حرارياً يتناسب مع حرارته بجميع الأطوال الموجية، وأن الإشعاع الصادر عنه يكون موحد الخواص ومتساوي في كل الاتجاهات، علماً أنه لا يوجد جسم أسود مثالي لأنه لا يوجد جسم يمتص الأطوال الموجية ويشعها دون فقد في الطاقة. ويوضح الشكل ادناه ازدياد الطاقة المنبعثة من الجسم الاسود عند ازدياد حرارته حيث يلاحظ تحرك قمة المنحنى للأطوال الموجية الأقصر. وقد تنبأت النظرية الكلاسيكية (قانون رايلي - جينس) أو ما سميت بالكارثة فوق البنفسجية، بأنه عند الأطوال الموجية القصيرة وعندما يكون الجسم الأسود المثالي في حالة التوازن الحراري سوف يصدر اشعاعاً ذو طاقة غير متناهية.



### 3.4 قوانين الإشعاع الأربعة (The Four Laws of Radiation)

من أجل الفهم الامثل لمعلومات الطيف الكهرومغناطيسي، لابد من معرفة بعض الخصائص والمبادئ الأساسية للإشعاع الكهرومغناطيسي الذي ينشأ من جسم ما، وكيف ينتقل هذا الإشعاع عبر الفضاء. توجد أربعة قوانين مهمة تصف نوع وكمية الطاقة المنبعثة من الجسم.

#### 1.3.4 قانون ستيفان - بولتزمان (Stefan-Boltzmann law)

ينص على أن إجمالي الطاقة المشعة لكل وحدة مساحة سطح لجسم أسود عبر جميع الأطوال الموجية لكل وحدة زمنية يتناسب طردياً مع القوة الرابعة لدرجة حرارة الجسم الأسود المطلقة، ويعبر عنه بالصيغة:

$$E = \sigma T^4$$

حيث:

E: الإشعاع المنبعث ( $W/m^2$ )

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{sec)}$$

T: درجة الحرارة (K)

تطبيق قانون ستيفان بولتزمان على الشمس

$$E_s = (5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4) * (6000\text{K})^4 \\ = 73483200 \text{ W/m}^2$$

تطبيق قانون ستيفان بولتزمان على الارض

$$E_e = (5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4) * (300\text{K})^4 \\ = 459 \text{ W/m}^2$$

تصدر الشمس إشعاعاً يزيد بمقدار 160 ألف مرة لكل وحدة مساحة عن الأرض، لأن درجة حرارة الشمس أعلى بحوالي 20 مرة من درجة حرارة الأرض.

$$20^4 = 160000$$

#### 2.3.4 قانون فين (Wien's Law)

هو قانون تجريبي يربط العلاقة بين درجة حرارة الجسم المشبع والطول الموجي للحد الأعلى من الإشعاع، ويعبر عنه كالتالي:

$$\lambda_{max} = w/T$$

حيث:

$\lambda_{max}$ : الطول الموجي ( $\mu m$ )

$w$ : ثابت فين للإزاحة =  $2897 \mu m k$

$T$ : درجة الحرارة ( $k$ )

تطبيق قانون فين على الشمس

$$\lambda_{max} = 2898 \mu m k / 6000 k = 0.483 \mu m$$

تطبيق قانون فين على الارض

$$\lambda_{max} = 2898 \mu m k / 300 k = 9.66 \mu m$$

تشع الشمس طاقتها القصوى داخل الجزء المرئي من طيف الإشعاع ، بينما تشع الأرض أقصى طاقتها في جزء الأشعة تحت الحمراء من طيف الإشعاع.

### 3.3.4 قانون بلانك (Planck's law)

لقد برهن بلانك بأن شدة الانبعاث الإشعاعي من الجسم الأسود تعتمد على درجة الحرارة والطول الموجي فقط حسب الصيغة التالية:

$$E_{\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} = 1/(c(hc/\lambda kT)^{-1})$$

حيث:

$h$ : ثابت بلانك =  $(6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s})$

$c$ : سرعة الضوء  $(3 \times 10^8 \text{ m/s})$

$T$ : درجة الحرارة ( $k$ )

$K$ : ثابت بولنزمان =  $(1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K})$

### 4.3.4 قانون كيرشوف (Kirchhoff's law)

يوضح هذا القانون العلاقة بين خاصية الامتصاص وخاصية الانبعاث للجسام المتزنة حرارياً. وينص على ان النسبة بين الانبعاث من وسط مادي ماص للإشعاعات الى شدة اشعاعات الجسم الاسود في نفس الموجة ونفس درجة الحرارة تساوي معامل امتصاص الجسم، فإذا كان الجسم يشع جميع الأشعة التي تسقط عليه فيسمى جسماً أسوداً أي ان:

$$e_{\lambda} = E_{\lambda}$$

حيث:

$e_{\lambda}$ : الإشعاعات المنبعثة

$E_{\lambda}$ : الإشعاعات الساقطة

ويعتبر سطح الأرض جسماً اسود للإشعاعات الطويلة لأنه يمتصها، ولكنه يكون رامدياً للإشعاعات المرئية لأنه يعكس جزءاً منها.

#### 4.4 إشعاع الغلاف الجوي (Atmospheric Radiation)

هو تدفق الطاقة الكهرومغناطيسية بين الشمس وسطح الأرض ويتأثر بالسحب والهباء الجوي والغازات الموجودة في الغلاف الجوي للأرض، ويشمل كلاً من الإشعاع الشمسي والإشعاع الحراري. هنالك عدة عوامل تؤثر على كمية الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح الأرض وكمية الإشعاع الخارجة من الغلاف الجوي للأرض، وتشمل هذه العوامل عناصر الغلاف الجوي مثل قطرات السحب، والرطوبة، ودرجة الحرارة، والغازات الجوية، وجسيمات الهباء الجوي، وخصائص سطح الأرض والمحيطات. ومن المهم جداً فهم إشعاع الغلاف الجوي لتأثيره على الطقس والمناخ.

#### 5.4 الإشعاع الشمسي (Solar Irradiance)

هو مقدار الأشعة الشمسية التي تسقط على مساحة معينة والقادرة على توليد قدرة كهربائية. ويصيب الأرض حوالي جزء من ألفي مليون جزء من أشعة الشمس التي تقدر بنحو 130 ميكاواط لكل متر مربع من سطح الشمس، وهذا القدر الضئيل هو المسؤول عن كل الطاقة الحرارية لسطح الأرض وغلافها الجوي.

#### 1.5.4 الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي

تعتبر الشمس كرة من الغازات الساخنة التي يبلغ قطرها (1.3927 million km) وهي أشبه بمفاعل نووي اندماجي تندمج فيه أربع أنوية من الهيدروجين لإنتاج نواة هليوم واحدة ثم يتحول فرق الكتلة إلى طاقة. هذا الاندماج النووي يحدث داخل الكرة الشمسية عند درجة حرارة تصل إلى عدة ملايين درجة مئوية، لذا يمكن اعتبار سطح الشمس جسماً أسوداً درجة حرارته (5760 K). أن كمية الإشعاع التي تصل إلى الأرض من الشمس لكل وحدة قياس فوق الغلاف الجوي للأرض على سطح عمودي على الأشعة تسمى بالثابت الشمسي (Solar Constant)، ووفق أحدث المقاسات التي اتخذت عن طريق الأقمار الصناعية فإن قيمته تساوي (1353 Wb/m<sup>2</sup>). وبسبب التغير البسيط في المسافة بين الشمس والأرض فإن قيمة الإشعاع خارج الغلاف الجوي تتغير على مدار السنة بنسبة (3.5%) وتوضح المعادلة التالية تغير قيمة الإشعاع خارج الغلاف الجوي خلال أيام السنة.

$$H_{on} = H_{sc} (1 + 0.0033 \cos (360n/365))$$

حيث:

$H_{on}$ : معدل الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي للأرض على سطح عمودي على أشعة الشمس في يوم ما خلال السنة.  
 $H_{sc}$ : الثابت الشمسي.  
 $n$ : رقم اليوم في السنة ابتداء من الأول من كانون الثاني.

أما إذا كان السطح الموضوع خارج الغلاف الجوي موازيا لسطح الأرض، فإن كثافة الإشعاع الساقط عليه تحسب من المعادلة:

$$H_{oH} = H_{on} \times \cos Z$$

حيث:

$H_{oH}$ : معدل الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي للأرض على سطح موازي لأشعة الشمس في يوم ما خلال السنة.  
 $H_{on}$ : معدل الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي للأرض على سطح عمودي على أشعة الشمس في يوم ما خلال السنة.  
 $Z$ : زاوية السم (Zenith Angle).

#### 2.5.4 الإشعاع الشمسي داخل الغلاف الجوي

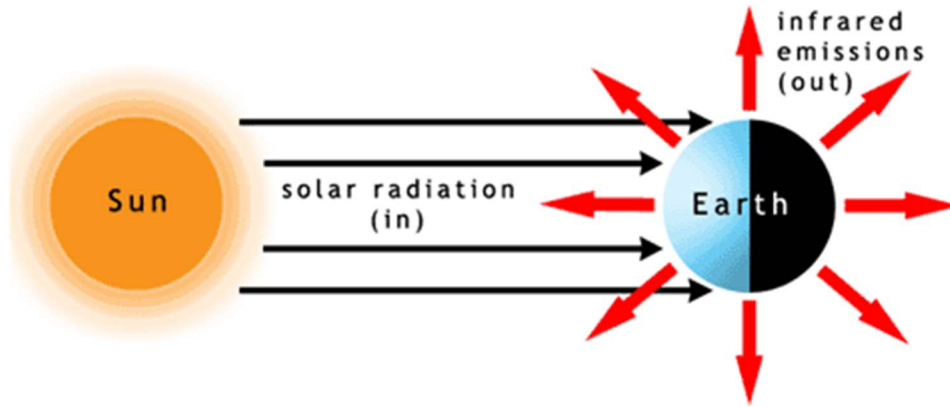
لحساب الإشعاع الشمسي داخل الغلاف الجوي أو على سطح الأرض، يمكن استخدام المعادلة التالية والتي يمكن منها حساب القيمة اللحظية للإشعاع:

$$H_{Bn} = A \times \exp(-B / \sin \alpha) = A \times \exp(-B \times m)$$

حيث:

$H_{Bn}$ : الإشعاع عند زاوية السقوط العمودية.  
 $A$ : ثابت يعبر عن الإشعاع الشمسي الظاهر عندما تكون كتلة الهواء = صفر، ويقاس بوحدة  $(Wb/m^2)$ .  
 $B$ : معامل انخفاض قيمة الإشعاع الشمسي خلال الغلاف الجوي.  
 $\alpha$ : زاوية الارتفاع.  
 $m$ : كتلة الهواء.

تعتمد قيمة الثوابت  $A$  و  $B$  على تغير المسافة بين الشمس والأرض وتغير كميات بخار الماء والمواد العالقة في الهواء الجوي بصورة موسمية لذلك تكون قيمها متغيرة على مدار السنة. ويوضح الشكل ادناه الحفاظ على توازن الطاقة، اذ يجب أن تشع الأرض الطاقة بنفس المعدل الذي تتلقاه من الشمس.



### 3.5.4 تأثير الغلاف الجوي على انخفاض الإشعاع الشمسي

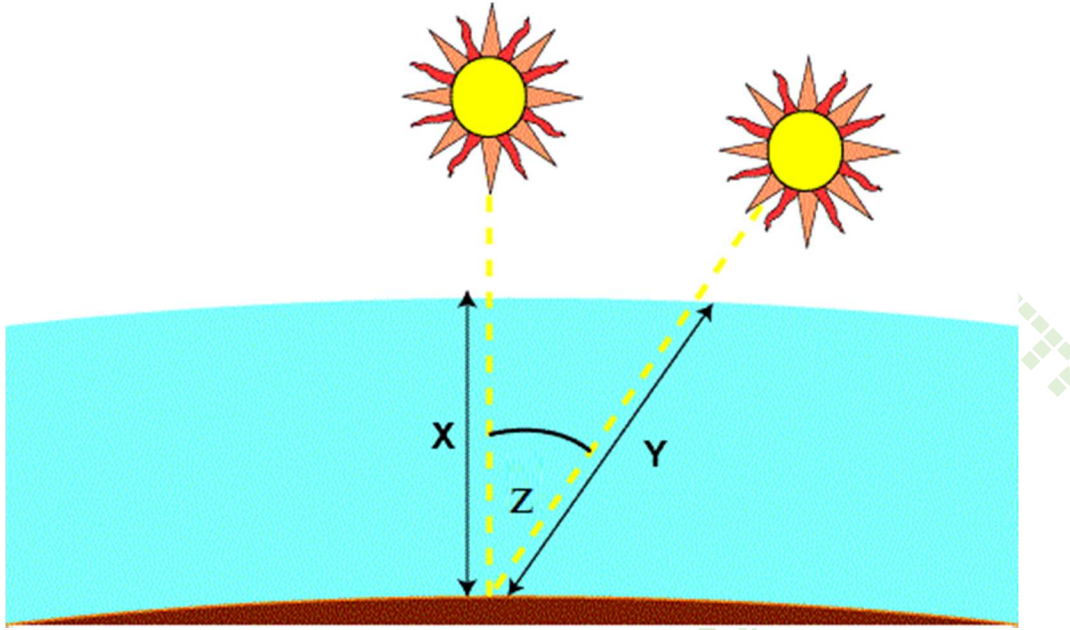
تتناقص قيمة أشعة الشمس عند مرورها عبر الغلاف الجوي نتيجة لامتناس جزء منها من قبل طبقات الجو المختلفة، حيث يتم امتصاص الموجات ذات الأطوال الموجية القصيرة جدا مثل أشعة X وأشعة كاما في طبقة الأيونوسفير (Ionosphere) عند ارتفاعات عالية جدا. أما الموجات الأطول نسبيا في المنطقة فوق البنفسجية فيتم امتصاصها بواسطة طبقة الأوزون على ارتفاع يتراوح من (15-40 Km) فوق سطح الأرض. كما يتم امتصاص بعض من حزم الموجات تحت الحمراء بواسطة بخار الماء وغاز ثاني أكسيد الكربون في طبقات الجو الأقرب، وأن الأشعة التي تصل إلى سطح الأرض تقع بشكل أساسي في مدى الأطوال الموجية (2.5-0.29  $\mu\text{m}$ )، ويتشتت جزء من الأشعاع بسبب اعتراض الهواء الجاف وبخار الماء وجزيئات الغبار العالقة. لذلك فإن الطاقة المحملة في الأشعاع تنخفض قيمتها قبل أن تصل إلى سطح الأرض بسبب امتصاص الغلاف الجوي لجزء من الأشعة وتشتت الجزء الآخر. وتعتمد درجة النقص في الأشعة على طول مسارها في الغلاف الجوي وطبيعة الغلاف الجوي في هذا المسار، ويتم التعبير عن طول المسار في الغلاف الجوي بما يعرف بكتلة الهواء (Air Mass) ويرمز لها  $m$  وقيمتها تكون أقل ما يمكن على سطح الأرض ( $m=1$ ) عندما تكون الشمس عمودية أي أن زاوية السم  $(z=0)$ . وعندما تميل الشمس فإن مسار الشعاع سيزيد وفي هذه الحالة تزيد قيمة  $m$  عن الواحد ( $m>1$ )، وبشكل عام يمكن حساب قيمة كتلة الهواء  $m$  من المعادلة التالية:

$$m = \frac{1}{\cos z}$$

حيث:

$m$ : كتلة الهواء

$z$ : زاوية السم

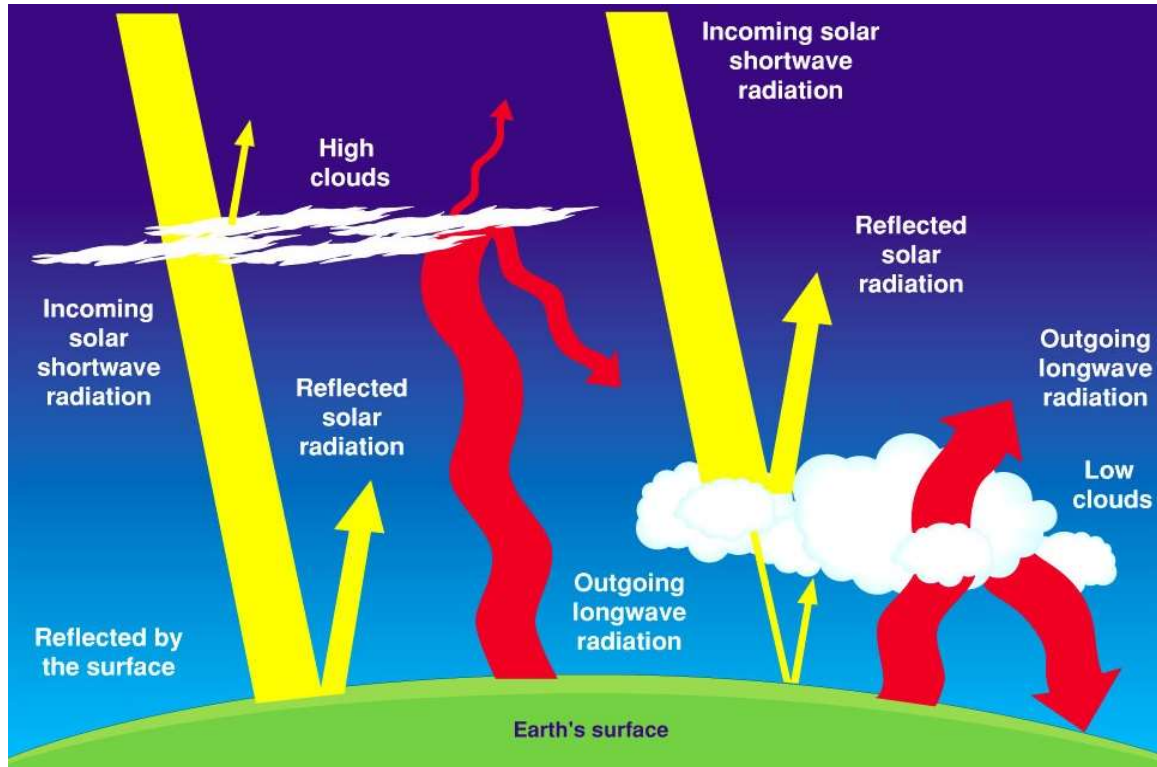


وتمثل الكتلة الهوائية نسبة الغلاف الجوي التي يجب أن يمر الضوء خلالها قبل أن يصطدم بالأرض بالنسبة لطول مسارها العلوي، وتساوي  $(Y/X)$ ، علماً أن قيمة  $m$  خارج الغلاف الجوي تكون مساوية للصفر وهذا يعني أن قيمة الإشعاع لم تتغير.

#### 6.4 التأثير الإشعاعي السحابي (Cloud Radiative Forcing)

هو الفرق بين مكونات التوازن الإشعاعي في حالة الظروف الجوية المتوسطة الغيوم وحالة الظروف الجوية الخالية من السحب. أن لبخار الماء وتأثير السحب تأثيراً على جميع نماذج المناخ العالمية المستخدمة في إسقاطات تغير المناخ. وتتضمن هذه النماذج تأثيرات السحب على كل من الإشعاع الشمسي الوارد والانبعاث الأرضي. تزيد السحب من الانعكاس العالمي للإشعاع الشمسي بنسبة (15-30%)، مما يقلل من كمية الإشعاع الشمسي التي تمتصها الأرض بنحو  $(44 \text{ watt/m}^2)$  ويتم تعويض هذا التبريد إلى حد ما من خلال تأثير الاحتباس الحراري للغيوم الذي يقلل من إشعاع الموجة الطويلة الخارج بحوالي  $(31 \text{ watt/m}^2)$ ، وبالتالي فإن صافي التأثير السحابي لميزانية الإشعاع هو خسارة تبلغ حوالي  $(13 \text{ watt/m}^2)$ . وفي حالة إزالة الغيوم مع الحفاظ جميع العوامل الأخرى على قيمها، فستكتسب الأرض الكمية الأخيرة من صافي الإشعاع وتبدأ في التسخين. ويمكن استخدام الأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض لقياس التدفقات الإشعاعية للطاقة الداخلة والخارجة من الأرض بدقة، حيث يمكن حساب متوسط المشاهد الخالية من السحب لرصدات الأقمار الصناعية معاً لتقدير إشعاع السماء الصافية. ويبين الشكل أدناه تأثيرات السحب على إشعاع الأرض حيث تعكس السحب المنخفضة الكثير من ضوء الشمس الذي يسقط عليها، لكن تأثيرها ضئيل على الطاقة المنبعثة، وبالتالي تعمل على تبريد المناخ الحالي، بينما تعكس الغيوم العالية طاقة أقل، لكنها تحبس المزيد من الطاقة المنبعثة من السطح.





ولحساب قيمة التغيير في ميزانية إشعاع الجزء العلوي من الغلاف الجوي (TOA) يتم استخدام المعادلة التالية:

$$\Delta R_{TOA} = \Delta Q_{abs} - \Delta OLR$$

حيث:

$\Delta R_{TOA}$ : التغيير في إشعاع الجزء العلوي من الغلاف الجوي.

$\Delta Q_{abs}$ : التغيير في تأثير السحابة ذات الموجة القصيرة.

$\Delta OLR$ : التغيير في تأثير السحابة ذات الموجة الطويلة.