المحاضرة الثالثة

الإشعاع الشمسي

إعداد

د. حيدر الحسن

23/4/2025

الشمس وأنواع تيارات الإشعاع الشمسي

- **الشمس:** هي كرة غازية متوهّجة، ومصدر لكل أنواع الطاقة في الحياة الكونية وحجمها أكبر من حجم الأرض بـ 13×10^5 مرة. وتبلغ كتلتها 99.87% من كتلة كامل المجموعة الشمسية.
- تشع الشمس ما يقارب 3.71×10^{26} واط في الفراغ الكوني، ولكن ما يصل الأرض من هذه الكمية هو جزء من 2000 مليون حيث يصل إلى 1 كم2 من سطح الأرض (مع الجو) حوالي 3.3×10^{8} واط.
- وتشعّ الشمس أشعة بنسبة ثابتة تقدّر بحوالي **2حريرة/سم2/دقيقة** لسطح عمودي على شعاع الشمس، وهذه النسبة تعرف باسم **الثابت الشمسي**

- ولقد حسب هذا الثابت الشمسي على أساس أنَّ الشمس تشعّ ما يقرب من 56×10^{26} حريرة في الدقيقة وأن متوسط المسافة بين الأرض والشمس يقرب من 1.5×10^{13} سم (93 مليون ميل= 150 مليون كم) وعليه فإنَّ الثابت الشمسي يساوي:

$$\text{2 حريرة/سم}^2\text{/د} = \frac{56 \times 10^{26}}{4(1.5 \times 10^{13})^2}$$

- إذاً يمكن تعريف **الثابت الشمسي** بأنَّه الطاقة الإشعاعية الواصلة إلى السطح الخارجي للغلاف الجوي بشكل عمودي عندما تكون الأرض في بعدها المتوسط عن الشمس ويساوي **1.97حريرة/سم²/د** أو377 واط/م².
- ويطلق على كل **سعر حراري/سم²** اسم **لانكلي Langley** ويُرمز له بـ (Ly).

- كمية الطاقة التي تصل وحدة المساحة من هذه الأرض في وحدة الزمن، تُعرف **بالتدفق الإشعاعي**(Qs) وهي تساوي **نصف لانكلي** في الدقيقة.
- وحقيقةً فإنَّ توزيع الطاقة غير منتظم والقيمة السنوية عند خط الاستواء = 2.4 أكبر من تلك التي قرب القطبين
- لحساب الزمن الذي تنتقل فيه الطاقة من الشمس إلى الأرض من العلاقة التالية :

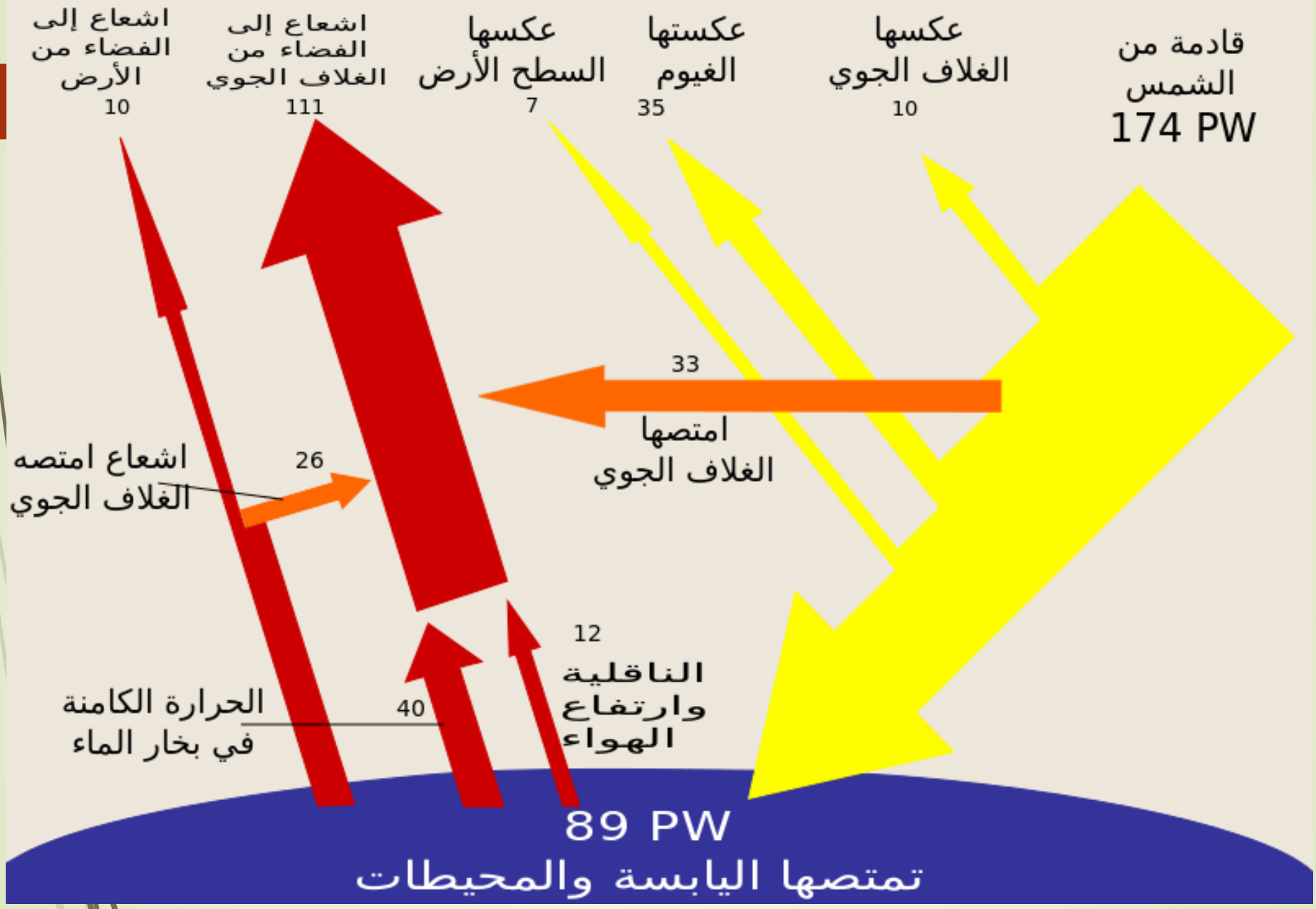
الزمن = المسافة/ السرعة = 150×10^{6} / 3×10^{5}

= 500 ثانية = 8.3 دقيقة

- ويُصادَف في الغلاف الجوي ثلاثة أشكال من الإشعاع الشمسي:
- **الأشعة المباشرة:** هي تلك الأشعة التي تصل الكرة الأرضية مباشرةً من قرص الشمس على شكل حزم متوازية من الأشعة.

- **الأشعة المتناثرة (المبعثرة) Scattered radiation:** هي الجزء من الإشعاع الشمسي الذي يتناثر بوساطة جزيئات الغاز والإيروسول الموجودة في الجو عندما يمرّ من خلاله.

- **الأشعة المنعكسة Reflected radiation:** وهي الجزء من الإشعاع الشمسي الذي ينعكس من سطح الأرض والغيوم وغيرها.
- ومجموع الإشعاع المباشر والإشعاع المنتشر الذي يصل الأرض يشكل الإشعاع الإجمالي (الكلي).



الشكل رقم (1) كيفية توزّع أشعة الشمس على الأرض

تأثير الإشعاع الشمسي على العمليات الجوية والغلاف الحيوي

- فالأشعة الشمسية التي تمرّ خلال الجو تسبّب العديد من الظواهر الجوية، فنلاحظ أنَّ **اللون الأزرق للسماء وظاهرة الغسق واللون الأحمر للشمس عند الأفق هو نتيجة تناثر الأشعة الشمسية.**
- **وعند انكسار الأشعة في قطيرات الماء وحبيبات الجليد الكريستالية نشاهد قوس قزح وهالة ودوائر حول الشمس، وظواهر جوية أخرى.**
- ويؤدّي الإشعاع الشمسي إلى تسخين سطح اليابسة والمحيط العالمي بصورة **غير منتظمة**، وهذا يسبّب نقل الكتل الهوائية والتيارات الصاعدة من الهواء وخلطه وينتج عن ذلك ثبات التركيب الأساسي لغازات الجو واستقراره.
- تتبخّر كمية كبيرة من الماء من الأحواض المائية ومن التربة والنبات تحت تأثير الأشعة الشمسية. **ويعدّ بخار الماء المحمول بوساطة الرياح من المحيطات والبحار إلى اليابسة مصدراً أساسياً للأمطار** التي تغذّي الأنهار وتروي الحقول والبساتين والغابات.

- **الطاقة الشمسية:** هي مصدر الحياة على الكرة الأرضية. **والنبات الأخضر** هو الوسيط الذي يربط الطاقة الشمسية بحياة الإنسان.
- **ضوء الشمس:** هو عامل لا بديل عنه في حياة النبات والحيوان. ولذلك تتأثّر الكائنات الحية بتغيّر شدّة الإشعاع الشمسي وتركيب طيفه على طول اليوم بصورة كبيرة.
- تقسم جميع أشكال **النبت** حسب تفاعل الشدة المختلفة للإشعاع إلى **محبة للضوء ومتحمّلة للظل.**
- وتسبّب الإضاءة غير الكافية في المزروعات خلال عدة أيام غائمة إلى **تمايز ضعيف في أنسجة المحاصيل الحبيّة مما يؤدّي إلى رقادها.**
- وكذلك يضعف تشكيل أكواز الذرة الصفراء عند الزراعة الكثيفة **بسبب ضعف شدة الإشعاع الشمسي.**

يؤثر الإشعاع الشمسي على التركيب الكيميائي للنباتات:

- فمثلاً ترتبط **نسبة السكر** في الشوندر والعنب ومحتوى البروتين في حبوب القمح بصورة وثيقة مع عدد الأيام المشمسة.

- وكذلك نسبة **السكّر** في التفاح وثمار أخرى لها علاقة بشدة الإشعاع الشمسي.

- وقد بيّنت التجارب أنّ نقصان ورود الإشعاع الشمسي يعيق استفادة نبات البندورة من **الفوسفور والبوتاسيوم**.

- وثبت أيضاً أنَّ تعريض الحيوانات الزراعية **للأشعة فوق البنفسجية** في فترة الشتاء يؤدّي إلى زيادة إنتاجيتها والحفاظ على صحتها بصورة جيدة.

التركيب الطيفي للإشعاع الشمسي

- يتألف الإشعاع الشمسي من موجات كهرومغناطيسية مختلفة الأطوال. ويقاس طول الموجة λ بالميكرون (μ) أو بالمم (mm) أو بالأنغستروم (Ao).
- **1 ميكرون = 10^{-3} مم = 10^{4} أنغستروم**
- يستخدم البعض الميكرومتر μm عوضاً عن الميكرون والنانومتر nm عوضاً عن الميليميكرون.
- يسمّى توزّع الطاقة الإشعاعية حسب طول الموجات **بالطيف الشمسي solar spectrum.**
- **ويتألّف هذا الطيف من الأشعة التالية:**

الأشعة المرئية (الضوئية)

- يتراوح طول موجاتها من **0.4- 0.76 ميكرون**.
- تبلغ نسبة الأشعة المرئية من الطيف في الحدّ الأعلى **من الجو** **46%** من مجموع الأشعة الشمسية الواردة.
- عند مرور ضوء الشمس عبر موشور يتحلّل إلى أشعة ملوّنة تتوزّع حسب تناقص طول الموجة في الترتيب التالي: أحمر – برتقالي– أصفر – أخضر – أزرق فاتح – أزرق غامق – بنفسجي. **وعند التأثير المشترك لكامل هذه الأشعة على عيون الإنسان يشعر بها كلون أبيض.**
- وأول من قام بتحليل الضوء **هو نيوتن عام 1667**.
- يعطي الجزء المرئي من الطيف الإضاءة، وبالتالي **فالأشعة المرئية هي مصدر النور والإضاءة وتجعلنا نرى الأشياء من حولنا.**
- **وهي ضرورية لقيام النبات بعملية التمثيل الضوئي.**

الأشعة تحت الحمراء

- طول موجاتها من **0.76 – 100 ميكرون**
- وتؤلّف بذلك نسبة تقارب **47 % من الطيف الشمسي.**
- والأشعة تحت الحمراء غير مرئية **وتحدث أثراً حرارياً.**
- **ولهذه الأشعة أهمية كبرى في الدراسات المناخية لكونها مسؤولة عن معظم التغيّرات التي تحدث في الجو.**

الأشعة فوق البنفسجية

- طول موجاتها **أقل من 0.4 ميكرون**، **وهي أشعة قصيرة الموجة غير مرئية وتشكّل 7% من الطيف الشمسي.**
- والأشعة فوق البنفسجية ذات طول الموجة أقل من **0.29** ميكرون لاتصل إلى سطح الأرض، **كون الأوزون يمتصها بصورة كاملة في طبقات الجو العليا.**

وتمتاز هذه الأشعة بأنَّها:

- تسبّب ارتفاع درجة الحرارة في طبقة الستراتوسفير.
- مفيدة لصحة الانسان إذا وصلت **بكميات قليلة** إلى سطح الأرض وبالتالي تعطي البشرة لوناً برونزياً عند التعرض لأشعة الشمس فترة طويلة من الزمن.
- تترك **آثاراً سلبية خطيرة على الانسان والأحياء الأخرى** إذا زادت نسبتها **عن الحدّ المسموح.**

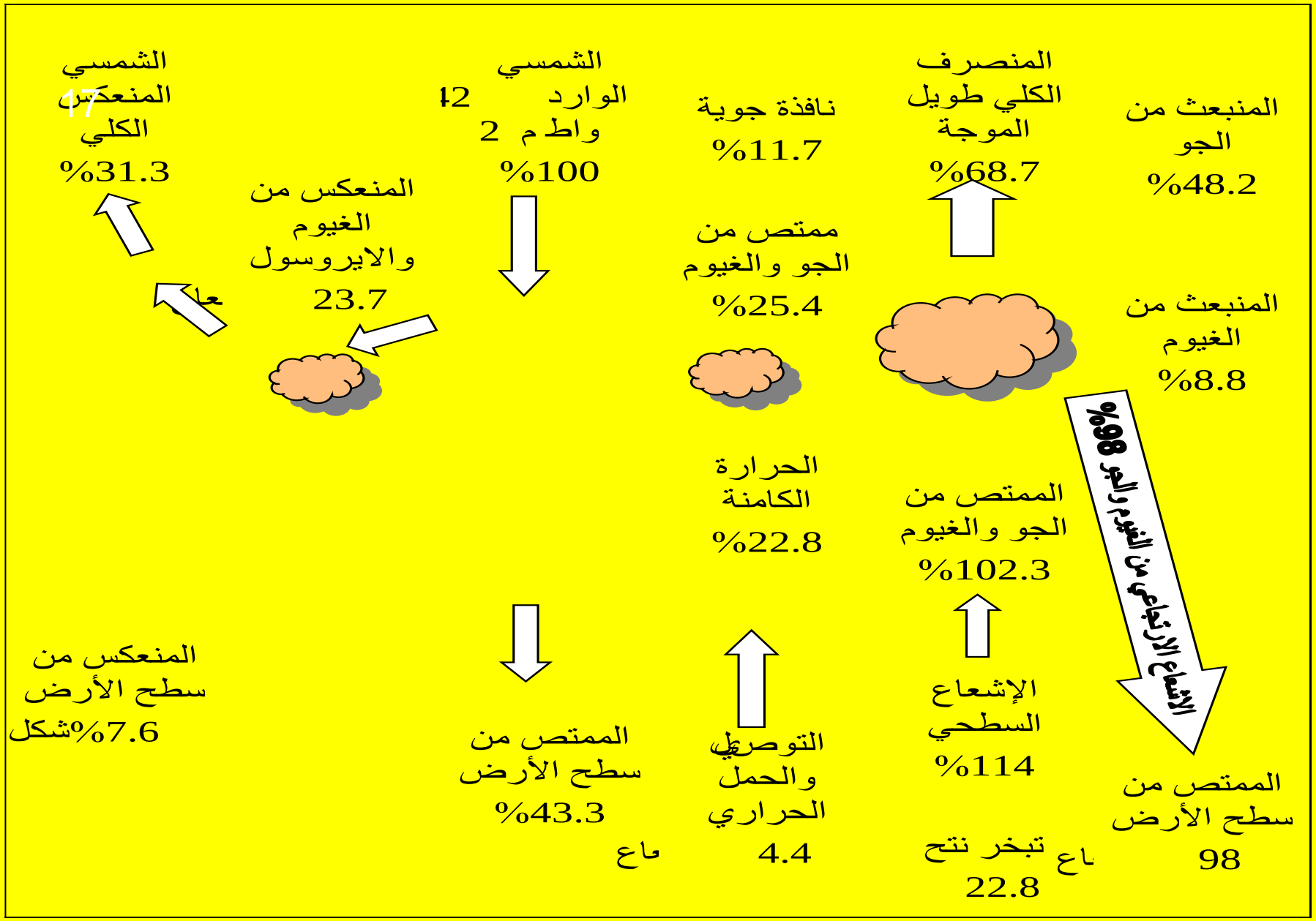
الأشعة المتبقية من الطيف الشمسي

- هي الأشعة السينية X-rays
- وأشعة غاماGamma rays
- والأشعة الدقيقة أو الكهرطيسية Micro waves
- واللاسلكية
- بالإضافة إلى كمية قليلة من الجزيئات على شكل الكترونات وأيونات أخرى تنطلق أحياناً من الشمس.

العوامل الرئيسة المحدّدة لكمية الأشعة الشمسية التي تصل سطح الأرض، والتي تؤثّر على توزّع الطاقة الشمسية بما يلي:

- **زاوية ورود أشعة الشمس:** أي كلما ازداد ميل الأشعة عن الوضع العمودي **ضعف تأثيرها بسبب انتشار الأشعة على مساحة أكبر من سطح الأرض**، وازدياد المسافة التي تقطعها الأشعة خلال الجو، ولذلك نجد أنَّ **الأشعة الساقطة عمودياً تكون أكثر شدّةً وتركيزاً.**
- **طول النهار (فترة الإضاءة):** أي كلما زاد طول النهار زادت كمية الأشعة الواصلة خلال النهار لمنطقة معينة من الأرض. وطول النهار والليل يختلف حسب الفصول وحسب خط العرض.
- **العوامل الجوية:** وتتمثّل بالعمليات الجوية الثلاثة: **الانتثار** و**الامتصاص** و**الانعكاس.**

- **كلما كان طول الموجة أصغر كان تناثر الأشعة أقوى.**
- وعلى الرغم من أنَّ طول موجات الأشعة البنفسجية أقصر من طول موجات الأشعة الزرقاء **فإنَّ السماء تكتسب اللون الأزرق السماوي لأن الطاقة الأولية (قبل التناثر) للأشعة الزرقاء أكبر من البنفسجية. وهذا يفسّر اللون الأزرق للسماء الصافية عند رؤيتها من سطح الأرض.**
- وتنتج ظاهرة الغسق (الشفق) من تناثر الإشعاع الشمسي أيضاً. **وذلك بعد غروب الشمس فإنَّ الطبقات العليا من الجو ما تزال مضاءة بأشعة الشمس، وبالتالي تؤدّي إلى تناثرها حيث يصل جزء من الإشعاع المتناثر إلى سطح الأرض مسبباً الإضاءة المعتمة.**
- يتوقّف طول فترة الغسق على خطوط العرض الجغرافية للمكان، وعلى الفترة من السنة.
- **تزداد فترة الغسق بزيادة خطوط العرض أي عند خط العرض 60° إلى الشمال تمتد فترة الغسق طوال الليل في وسط الصيف، وتسمى بذلك الليالي البيضاء.**



3) العمليات التي تخضع لها الأشعة الشمسية أثناء عبورها الغلاف الجوي إلى سطح الأرض.
(التوازن الحراري والإشعاعي للكرة الأرضية)

- إنّ أشعة الشمس الإجمالية التي تصل إلى القسم العلوي من الغلاف الجوي للأرض الممثّلة بـ **100 وحدة شمسية (342 واط/م2)**
- جزء منها (حوالي 25%) يمتص بواسطة الغبار وبخار الماء وقطيرات الغيوم في الغلاف الجوي.
- وينعكس حوالي 8% عن سطح الأرض إلى الجو (**وتعدّ الأرض عاكساً ضعيفاً أمّا الغيوم والايروسول فتعدّ عاكسات جيدة**).
- يمتص سطح الأرض **حوالي 43%** من أشعة الشمس يأتي بعضها مباشرة من الشمس وبعضها الآخر بعد أن تعكسه الغيوم والباقي بعد أن يقوم الهواء ببعثرته، وتختلف انعكاسية سطح الأرض بشكل كبير.
- وهكذا فإنّ الطاقة الإجمالية التي تصل من الشمس (342 واط/م2) يمتص **سطح الأرض والغلاف الجوي حوالي 69% تقريباً**، أما الباقي 31% فهو يضيع في الفضاء عن طريق انعكاسه من الغيوم وسطح الأرض والغيوم.

- يتوقّف تبعثّر الإشعاع عن طريق **الايروسول** (غبار- قطيرات الغيوم والأمطار - بلورات الجليد.....) **على طول الموجات الضوئية**.
- فالجزيئات التي قطرها $<10^{-3}$ ميكرون (قطيرات الضباب والغيوم) تؤدّي إلى تناثر جميع أجزاء الطيف الشمسي بصورة متساوية. **ولهذا السبب يملك الضباب والغيوم لوناً أبيض.**
- كلما **ازداد** طول مسار الأشعة الشمسية في الجو **قلّ** ارتفاع الشمس **وازداد تناثر** الموجات الضوئية (بنفسجية، زرقاء غامقة، زرقاء فاتحة)، **وأصبحت حصة الموجات الطويلة السابقة أكبر(حمراء، برتقالية). ولهذا السبب تبدو الشمس عند الأفق محمرّة .**

الأهمية البيولوجية للأجزاء الأساسية من الطيف – الإشعاع الفعال في التركيب الضوئي (PhAR)

- تؤدّي الأشعة ذات طول الموجة أقل من 4 ميكرون، والتي تتضمّن الأشعة فوق البنفسجية والأشعة الفعالة في التمثيل الضوئي والأشعة القريبة من تحت الحمراء دوراً هاماً في العمليات البيولوجية في النبات:
- الأشعة فوق البنفسجية
- الأشعة تحت الحمراء
- الإشعاع الفعال في التركيب الضوئي

الأشعة فوق البنفسجية

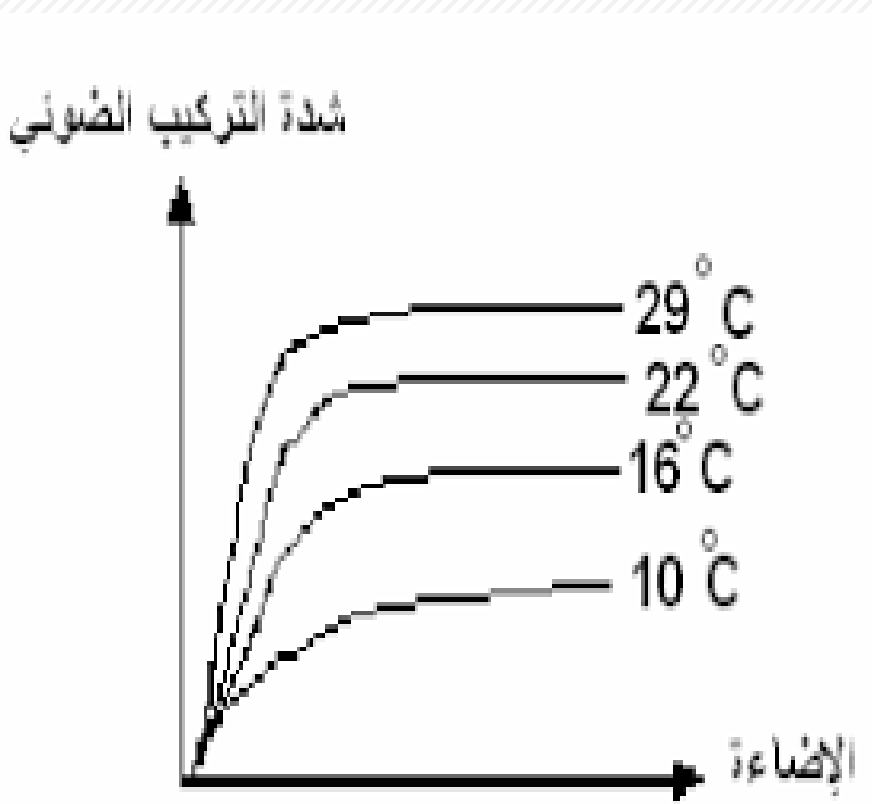
- **تساعد على تمايز الخلايا والنسج، وتؤدّي إلى بطء نموها.**
- وفي الارتفاعات القريبة **من سطح البحر** تصل كميات غير كبيرة من الأشعة فوق البنفسجية إلى **النباتات**.
- أمَّا في المناطق الجبلية العالية (أعلى من 4 كم) فتكون طاقة الأشعة فوق البنفسجية أكبر **بـ 2-3 مرة** مما هي عليه عند مستوى البحر.

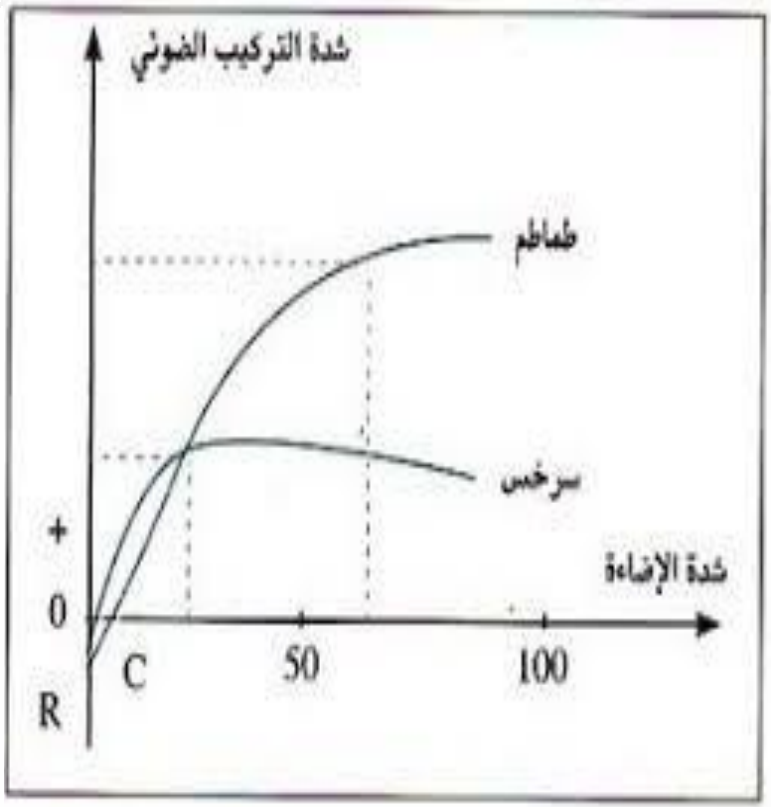
الأشعة تحت الحمراء

- هي ذات **تأثير حراري**
- تمتص الماء الموجود في النباتات **مزيدةً من التبخّر، وهذا يلعب دوراً كبيراً في نظامها الحراري.**
- **تزداد طاقة الأشعة تحت الحمراء في المناطق الجبلية العالية.**
- وهذا يعادل الكمية غير الكافية من الحرارة التي يحصل عليها النبات من الهواء بدرجة كبيرة.

الإشعاع الفعَّال في التركيب الضوئي Photosynthetic Active Radiation (PhAR)

- يستعمل جزء فقط من طيف الإشعاع الشمسي في التركيب الضوئي، والذي يقع في حدود **موجات ذات طول من 0.38 – 0.71 ميكرون.**
- يسمى هذا **الجزء من الأشعة بالأشعة الفعالة (أو النشطة) في التركيب الضوئي.**
- يستخدم في عملية التركيب الضوئي لتكوين المادة العضوية **فقط 10% من هذه الأشعة**.
- يعدّ **الفار** من أهم العوامل المؤثّرة **في إنتاجية النباتات الزراعية** وبالتالي التصوّر الصحيح عن الأشعة الفعّالة في التركيب الضوئي وحساب توزعها بالعلاقة مع المساحة والزمن له أهمية كبيرة للحصول **على إنتاج عال.**





شكل رقم (4) المنحنيات الضوئية لشدة التمثيل الضوئي في نباتات مختلفة.

الميزان الإشعاعي ومكوّناته

- المحصّلة بين **الوارد** من الطاقة الإشعاعية إلى سطح الأرض **والخارج** منها يسمى **بالميزان الإشعاعي** Radiation Balance أو **محصلة الإشعاع** Net Radiation.
- يتألف الميزان الإشعاعي من إشعاعات قصيرة الموجة وإشعاعات طويلة.
- يتضمن العناصر التالية التي تسمى **مكوّنات محصّلة الإشعاع**:
- الإشعاع المباشر S′
- الإشعاع المتناثر D
- الإشعاع المنعكس Rr
- الإشعاع الحراري الأرضي (Ee↑)
- الإشعاع الحراري للغلاف الجوي (Ea↓)

- **الإشعاع المباشر:**
- تتوقَّف **شدة الإشعاع المباشر** على ارتفاع الشمس وشفافية الجو، كما تزداد بارتفاع المكان عن سطح البحر.
- **وغيوم الطبقة السفلى** لا تسمح بوصول الإشعاع المباشر بصورة كاملة أو تقريبية.
- **الإشعاع المتناثر:** كلما كان ارتفاع الشمس **أقل**، وتلوّث الجو **أكبر** كان حظ الإشعاع **المتناثر أكبر في تيار الإشعاع الكلي.**
- الغيوم التي **لا تغطي الشمس** تزيد ورود الإشعاع المتناثر عدة مرات بالمقارنة مع **السماء الصافية.**
- كذلك **الغطاء الثلجي يزيد الإشعاع المتناثر ويعكس حتى 70-90 %** من الإشعاع المباشر، ومن ثم ينتشر في الجو.
- يقل الإشعاع المتناثر في **السماء الصافية** بزيادة ارتفاع المكان فوق سطح البحر.

- **الإشعاع الكلي Q:**
- هو مجموع **الإشعاع المتناثر D** والإشعاع المباشر S الساقط على السطح الأفقي. **Q = S′ + D**
- تتوقف النسبة بين الإشعاع المباشر والإشعاع المتناثر في تركيب الإشعاع الكلي على **ارتفاع الشمس ونسبة الغيوم وتلوث الجو.**
- **الإشعاع المنعكس:** هو جزء من الإشعاع الكلّي الذي يصل إلى سطح الأرض وينعكس عنها. ونسبة الجزء المنعكس Rs إلى كامل الإشعاع الكلي الوارد Q يسمى **بالقدرة العاكسية أو الألبيدو**

.a **a = Rs / Q**

- يعبّر عادة عن الألبيدو بنسبة مئوية (عند ضرب هذه النسبة بـ 100). وتتوقف عاكسية السطح (الألبيدو) على لونه **وخشونته** ورطوبته **وخواصه الأخرى**.
- **حيث نجد ألبيدو الأراضي الزراعية كبيراً جداً في الصباح والمساء** لازدياد حصة الإشعاع المتناثر في محتوى الإشعاع الكلّي عند الارتفاع القليل للشمس، التي هي أقوى من الإشعاع المباشر وتنعكس من السطح الخشن للمزروعات والأراضي المحروثة والمروج.
- يلاحظ أيضاً أنَّ **ألبيدو السطوح المائية أقل** من ألبيدو اليابسة **لأن الأشعة الشمسية تتغلغل بمقدار كبير في الماء فيمتصها وتنتشر فيها.**

الإشعاع الأرضي والإشعاع الجوي:

الإشعاع الأرضي هو أقل بعض الشيء من إشعاع الجسم الأسود بصورة مطلقة عند نفس درجة الحرارة.

- يسمح الغلاف الجوي بدرجة كبيرة بمرور الأشعة الشمسية قصيرة الموجة إلى سطح الأرض، **ولكنه يحتجز الإشعاع الحراري الأرضي طويل الموجه** بسبب **تركز بخار الماء** و CO_2 في الطبقات القريبة من سطح الأرض **والتي تمتص بكفاءة عالية هذه الإشعاعات وتمنع جزء كبير منها من التسرب إلى الفضاء الخارجي. وبذلك تحافظ الأرض على حرارتها وتسمى هذه الظاهرة بظاهرة الدفيئة**

- **حيث يشبه الغلاف الجوي في هذه الحالة بالبيت الزجاجي أو البلاستيكي لأنه يسمح للأشعة القصيرة بالمرور وتسخين الأرض والنباتات ولا يسمح للأشعة الطويلة بالخروج إلا بشكل قليل.**

THE END