

Plant Physiology

الفيزيولوجيا النباتية

التركيب الضوئي

د. ربيعة توفيق زحلان

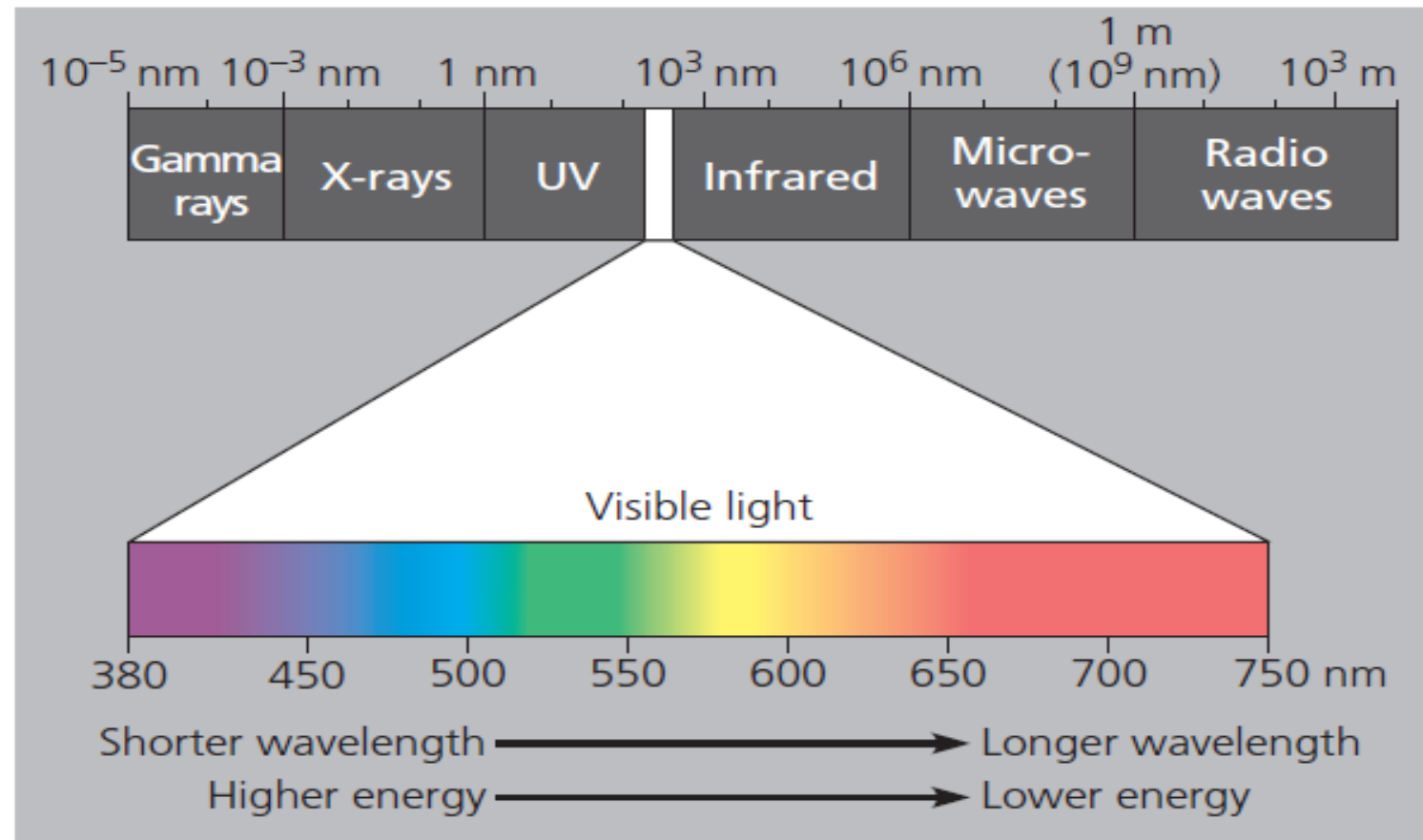
بنية ضوء الشمس : The nature of sunlight

لتوضيح آلية تحول الضوء إلى طاقة كيميائية يجب معرفة خصائص الضوء الهامة.

الضوء عبارة عن طاقة الكتر ومغناطيسية أو أشعة الكتر ومغناطيسية، تنتقل على شكل أمواج منتظمة التردد مشابهة لتلك المتكونة عند سقوط حصاة في بحيرة ماء. الأمواج الالكتر ومغناطيسية عبارة عن وسط مضطرب من الالكترونات وحقول مغناطيسية وليست وسط مادي مثل الماء مثلا.

- المسافة بين قمم الامواج يدعى طول الموجة (المسافة بين قمتي موجتين متتاليتين).
- يتراوح طول الامواج من أقل من 1 نانومتر مثل أشعة غاما إلى أكثر من كيلو متر مثل أمواج الراديو.
- المدى الكلي للأشعة يدعى الطيف الالكتر ومغناطيسي Electromagnetic spectrum ، تتراوح أطوال أمواج جزء الضوء المهم للحياة بين 380 نانومتر و 750 نانومتر ، وهو الضوء المرئي visible light الذي نستطيع أن نميزه بالعين البشرية على شكل ألوان.

▼ **Figure 10.7 The electromagnetic spectrum.** White light is a mixture of all wavelengths of visible light. A prism can sort white light into its component colors by bending light of different wavelengths at different angles. (Droplets of water in the atmosphere can act as prisms, causing a rainbow to form.) Visible light drives photosynthesis.

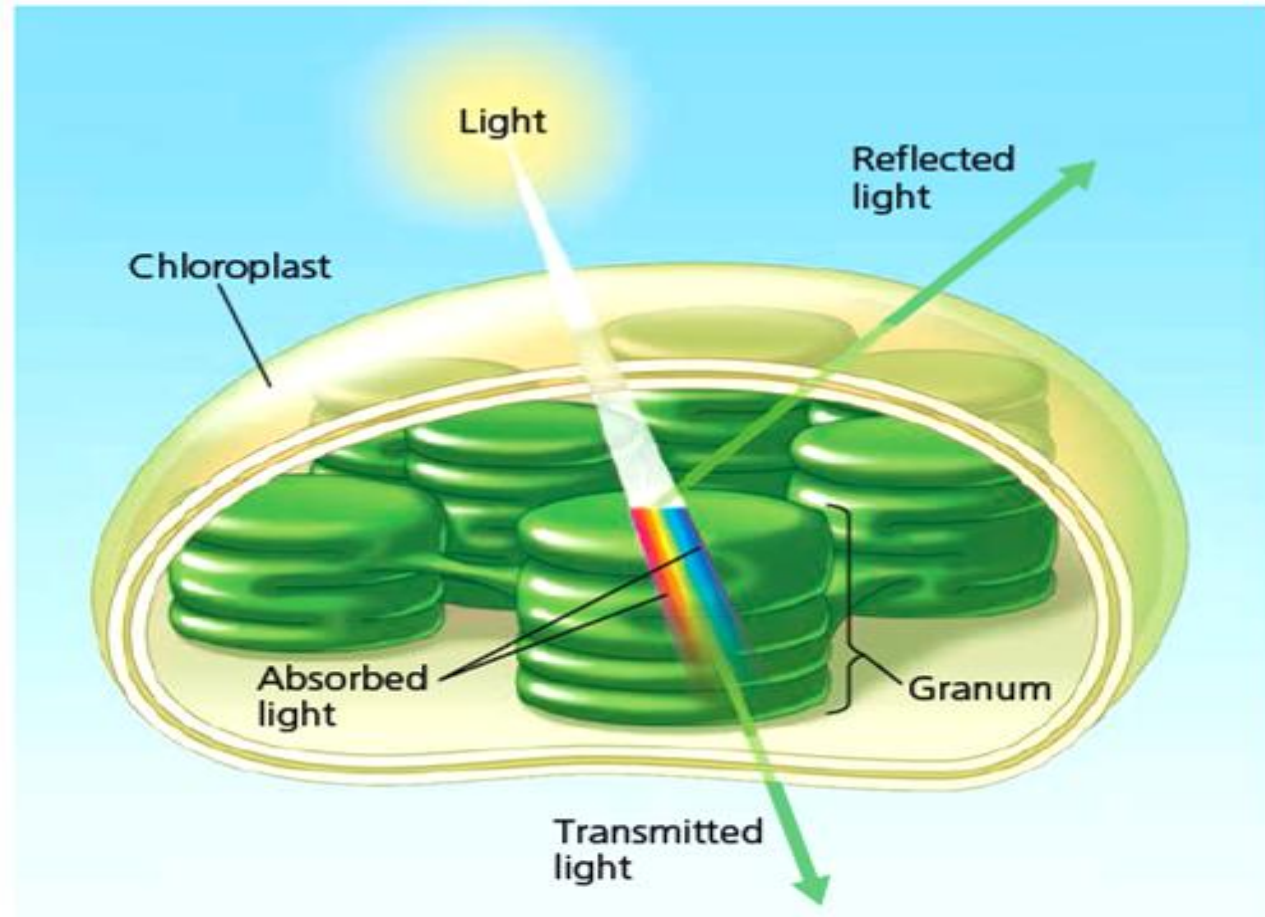


- بما أنه تم اكتشاف بأن الضوء يتكون من أمواج سهل الأمر كثيرا لمعرفة خصائص الضوء، ولكن يتصرف الضوء كما لو أنه مكون من دقائق منفصلة تسمى الفوتونات Photons
- حيث أن الفوتونات بنية غير مادية وغير ملموسة، ولكنها تشبه المواد من حيث قدرتها على تثبيت كمية من الطاقة ، تختلف كمية هذه الطاقة بحسب طول الموجة ، فكلما كان طول الموجة قصير كانت كمية طاقة فوتوناتها أعلى، فمثلا طاقة فوتون الضوء البنفسجي (380 nm) تعادل ضعف طاقة فوتون الضوء الأحمر (750 nm).

- يجب أن نعلم أن الشمس تشع طاقة الطيف
الالكتر ومغناطيسي كاملا ، لكن الغلاف الجوي ينتقي جزء
من هذا الطيف لإرساله للأرض وهو الضوء المرئي ويحجب
الجزء المتبقي، وجزء من الضوء المرئي يستخدم في عملية
التركيب الضوئي.

- صبغات التركيب الضوئي: مستقبلات الضوء.
- عندما يصل الضوء لأي مادة فإنه إما أن ينعكس أو يمتص أو ينفذ، المواد التي تمتص الضوء المرئي تعرف بالأصبغة.
- تختلف الأصبغة بأطوال الأمواج الضوئية التي تمتصها، بحيث أن طول الموجة الممتص لا يظهر ولكن الذي يظهر اللون المنعكس والنافذ عنها، أما إذا امتص الصباغ كل الضوء فإنه يظهر باللون الأسود.
- ومايفسر رؤيتنا للنبات باللون الأخضر أن صباغ الكلوروفيل يمتص اللون الأزرق البنفسجي والأحمر بينما يعكس الأخضر.

▼ **Figure 10.8 Why leaves are green: interaction of light with chloroplasts.** The chlorophyll molecules of chloroplasts absorb violet-blue and red light (the colors most effective in driving photosynthesis) and reflect or transmit green light. This is why leaves appear green.



9.00 x 10.88 in

'''

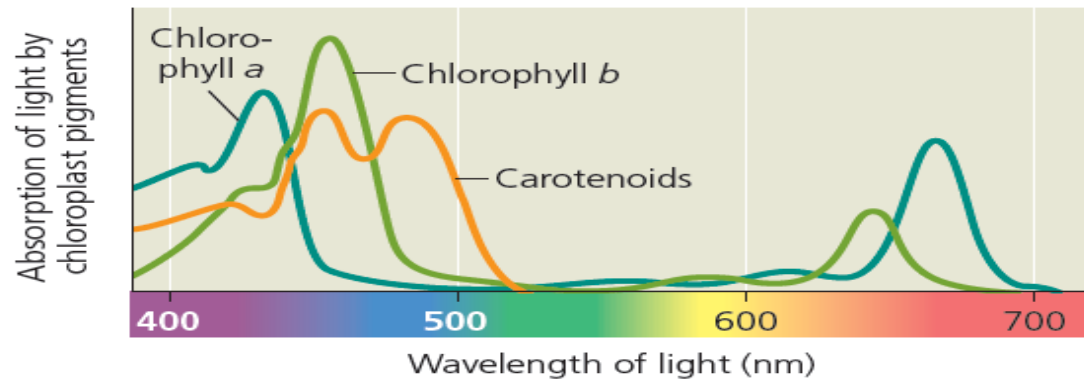
- قابلية الصباغ لامتصاص أطوال أمواج مختلفة يمكن قياسها بالمطياف الضوئي **spectrophotometer** هذا الجهاز يوجه حزم من الضوء بأطوال أمواج مختلفة عبر محلول لصبغ محدد ويقيس جزء الضوء النافذ عند كل طول موجة، المخطط البياني لامتصاص الصباغ للضوء عند كل طول موجة يدعى طيف الامتصاص **spectrum absorption**

- أطيف الامتصاص لأصبغة الصانعات الخضراء تقدم أدلة على تأثير اختلاف أطوال الأمواج بمسار عملية التركيب الضوئي. حيث أن الجزء من الضوء الممتص فقط يستطيع التأثير في عملية التركيب الضوئي.
- اليخضور a (الكلوروفيل) الصباغ الأساسي الذي يقتنص الضوء من أجل مرحلة التفاعل الضوئي في عملية التركيب الضوئي، وهناك أصبغة أخرى ملحقة وهي اليخضور b والكاروتينات.

- يظهر طيف الامتصاص لليخضور a أن أفضل الألوان الممتصة لعملية التركيب الضوئي هي الأزرق البنفسجي والأحمر والتي تسمى **طيف العمل** Action spectrum للتركيب الضوئي، بينما اللون الأخضر تأثيره ضعيف جدا حيث ينعكس وينفذ بشكل أساسي ولا يُمتص.
- يظهر الشكل أطياف الامتصاص لثلاثة أنماط من الأصبغة في الصانعات الخضراء .

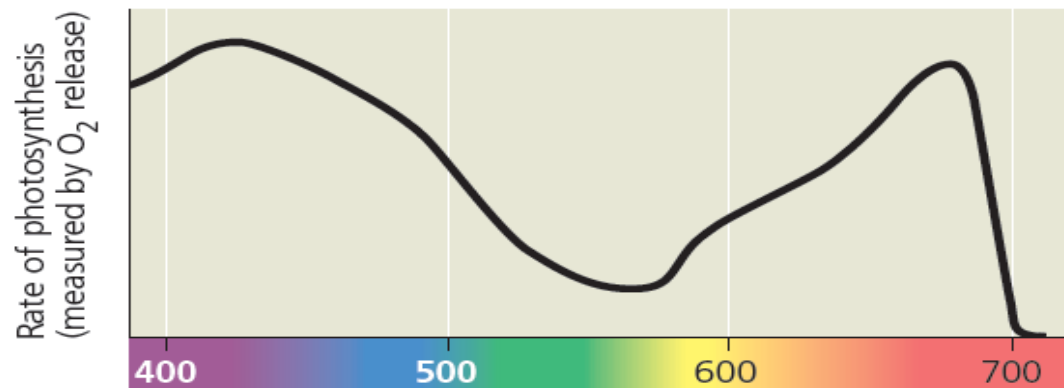
Experiment Absorption and action spectra, along with a classic experiment by Theodor W. Engelmann, reveal which wavelengths of light are photosynthetically important.

Results



(a) **Absorption spectra.** The three curves show the wavelengths of light best absorbed by three types of chloroplast pigments.

(a) **Absorption spectra.** The three curves show the wavelengths of light best absorbed by three types of chloroplast pigments.

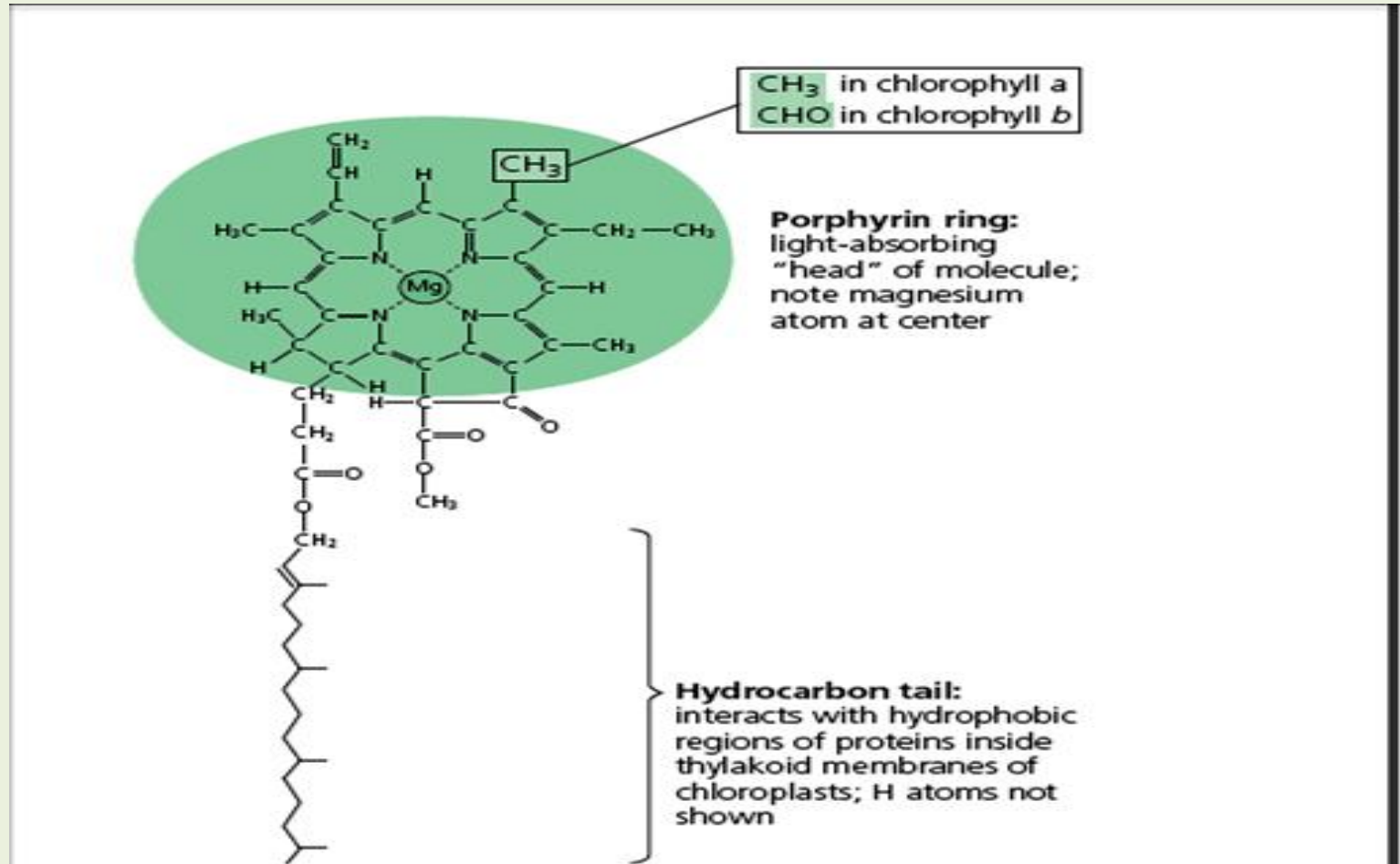


(b) **Action spectrum.** This graph plots the rate of photosynthesis versus wavelength. The resulting action spectrum resembles the absorption spectrum for chlorophyll a but does not match exactly (see part a). This is partly due to the absorption of light by accessory pigments such as chlorophyll b and carotenoids.

- تم الحصول على طيف العمل Action spectrum بتعريض الصانعات لألوان مختلفة من الضوء ومن ثم رسم مخطط يبين سرعة التركيب الضوئي عند كل لون وذلك بحساب O₂ المنطلق أو CO₂ الممتص نتيجة لعملية التركيب الضوئي.

- أظهرت النتائج وبمقارنة الشكلين السابقين أن طيف العمل لعملية التركيب الضوئي كان أكبر وأوسع من طيف الامتصاص لليخضور a، والسبب أن ظروف التجربة تختلف عما يجري فعلا في الصانعة الخضراء ففي ظروف التجربة تم فصل اليخضور a وتعريضه لألوان محددة ورصد النتائج
- أما في الصانعة الخضراء في النبات هناك أصبغة ملحقة تعمل عند أطوال أمواج أخرى من الطيف المرئي مثل اليخضور b والكاروتينات. مما يوسع من طيف الألوان المستخدم في عملية التركيب الضوئي.

لدى دراسة بنية اليخضور a و b نلاحظ اختلاف بسيط جدا بينهما كما يبين الشكل 19 ولكن هذا الاختلاف كافي لأن يمتص كلا الصباغين أطوال أمواج مختلفة في مجال الضوء الأحمر والأزرق من الطيف.

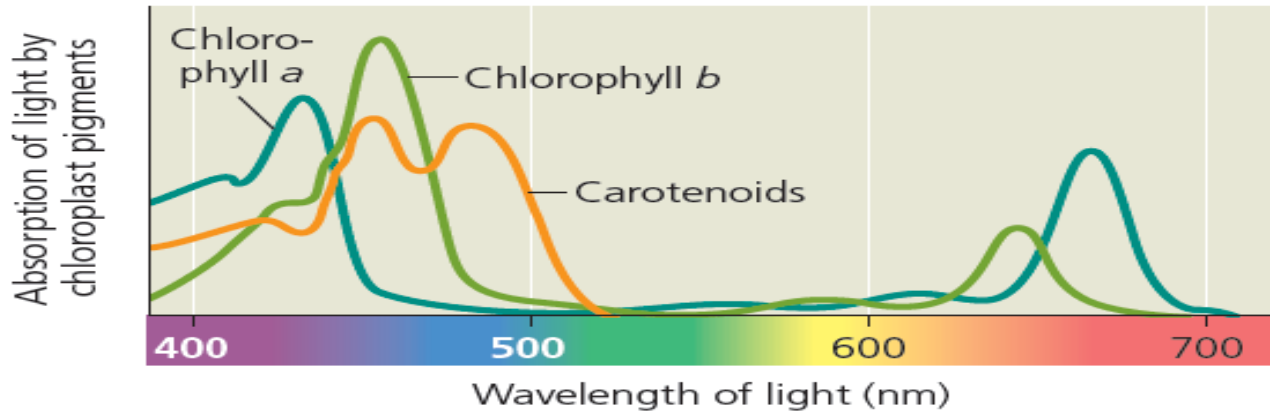


▲ Figure 10.11 Structure of chlorophyll molecules in chloroplasts of plants. Chlorophyll a and chlorophyll b differ in only one of the functional groups bonded to the porphyrin ring. (Also see the space-filling model of chlorophyll in Figure 1.3.)

- نتيجة لذلك يظهر اليخضور a أخضر مزرق بينما اليخضور b أخضر زيتوني وتظهر الكاروتينات بلون أصفر برتقالي لأنها تعكسه وتمتص البنفسجي والأخضر المزرق وهذا يجعل الكاروتينات تساهم أيضا في توسيع طيف الألوان المستخدم في عملية التركيب الضوئي.

Experiment Absorption and action spectra, along with a classic experiment by Theodor W. Engelmann, reveal which wavelengths of light are photosynthetically important.

Results

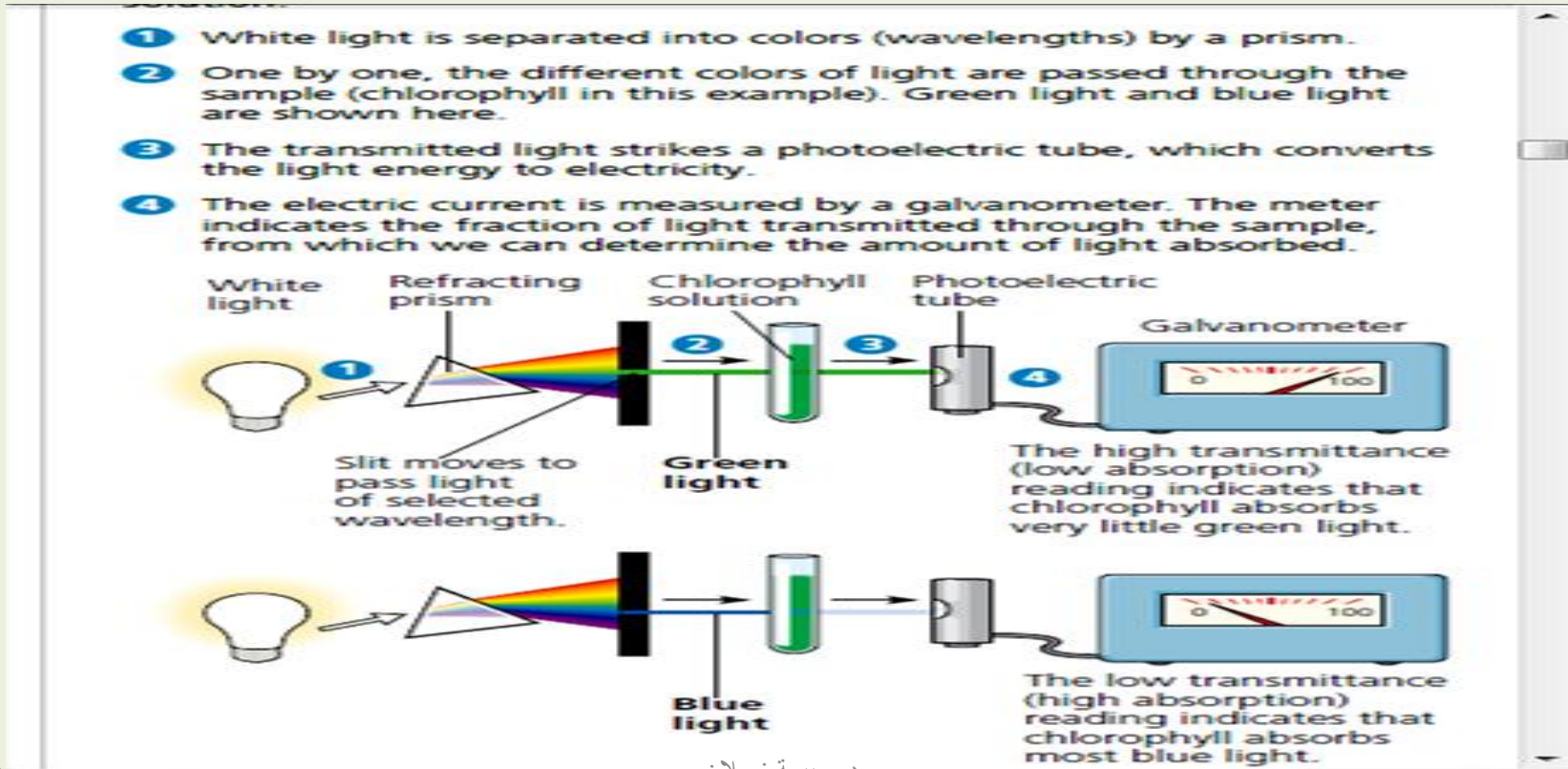


(a) Absorption spectra. The three curves show the wavelengths of light best absorbed by three types of chloroplast pigments.

- للكاروتينات دور مهم آخر في الحماية الضوئية Photoprotection حيث تمتص وتشتت طاقة الضوء الفائض التي من الممكن أن تؤذي اليخضور أو تتفاعل مع الأكسجين مشكلة جزيئات مؤكسدة فعالة وخطيرة على الخلية. وهذا مشابه لدورها في الحماية الضوئية في عين الانسان حيث من المعروف أن الجزر يحسن من الرؤية الليلية لغناه بالكاروتينات.
- الكاروتينات ومواد أخرى تسمى بالمواد الكيميائية النباتية وهي توجد في الخضار والفواكه وتتمتع بخواص مضادة للأكسدة، يستطيع النبات أن يصنعها بنفسه ولكن الانسان والحيوان يحصلان عليها من وجباتهم الغذائية لعدم قدرتهم على تصنيعها.

تجربة لإثبات ان اليخضور يمتص اللون الأزرق بينما لا يمتص الأخضر

- 1- نقوم بفصل اللون الابيض إلى ألوان بواسطة مؤشر
- 2- ثم نقوم بتمرير كل ضوء على حدا على عينة تحوي صباغ اليخضور، وسنعرض نتيجة مرور اللونين الأزرق والأخضر.
- 3- الضوء النافذ سوف يمرر على أنبوب كهروضوئي يحول الطاقة الضوئية إلى كهربائية.
- 4- يقاس التيار الناتج بمقياس فولط حيث ستدلنا إشارة المؤشر أي من اللونين كان امتصاصه أكبر من قبل اليخضور.



• إثارة اليخضور بالضوء

• ما الذي يحدث عندما يمتص الصباغ الضوء؟

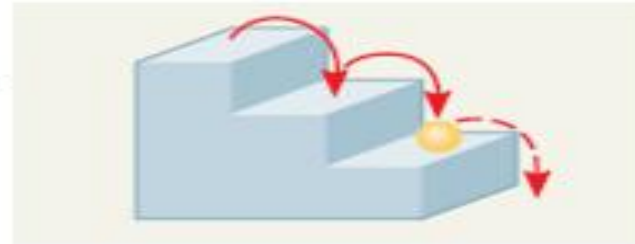
• إن الألوان التي يمتصها الصباغ حسب طول موجاتها تختفي من الطيف النافذ والمنعكس ولكن الطاقة لا يمكن أن تزول، فعندما يمتص جزيء اليخضور فوتون الضوء أحد الكترونات هذا الجزيء سيترك مداره وينتقل إلى مدار طاقته أعلى ويتحول جزيء الصبغة من حالته المستقرة إلى حالة غير مستقرة (متهيجة) بسبب امتصاص الطاقة وانتقال الكترون من مدار إلى مدار بمستوى طاقي أعلى

• الفوتونات الممتصة تلك التي تملك طاقة تعادل تماما فرق الطاقة بين الحالة المستقرة وغير المستقرة للجزيء وهذه الطاقة تختلف من جزيء لآخر. وبالتالي مركب معين سيمتص الفوتونات العائدة لأطوال أمواج معينة وهذا ما دعى لوجود طيف امتصاص معين لكل صباغ.

- ان امتصاص فوتون واحد من قبل جزيء الصباغ المعزول (تجارب مخبرية خارج الخلية) سيرفع الالكترتون للحالة المثارة غير المستقرة ولا يستطيع أن يبقى الالكترتون بهذه الحالة طويلا اذ سيعود لحالته المستقرة محررا الطاقة على شكل حرارة وضوء وهذا يحدث لمليارات الالكترونات كل ثانية (هذا ما يفسر ارتفاع حرارة سطوح وسائط النقل بيوم مشمس، وتكون الآليات ذات اللون الأبيض أقل حرارة لأنها تعكس معظم ألوان الطيف ولا تمتصها).

▼ **Figure 2.6 Energy levels of an atom's electrons.** Electrons exist only at fixed levels of potential energy called electron shells.

(a) A ball bouncing down a flight of stairs can come to rest only on each step, not between steps. Similarly, an electron can exist only at certain energy levels, not between levels.

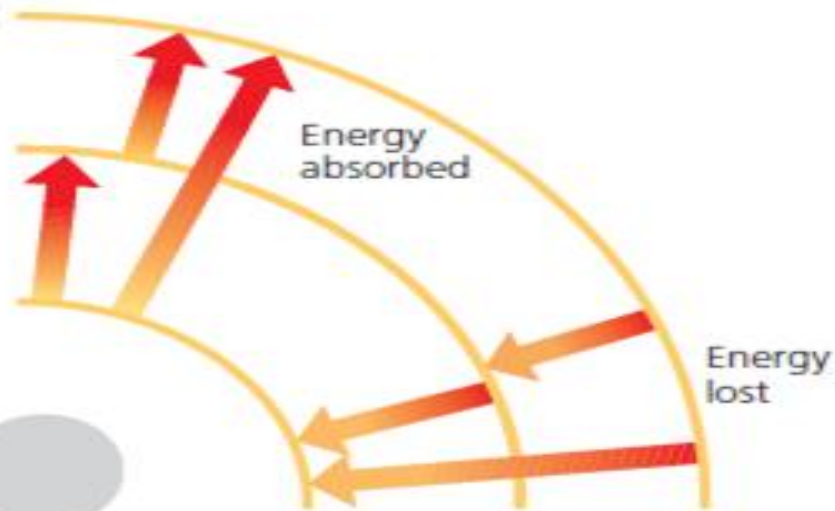


Third shell (highest energy level in this model)

Second shell (higher energy level)

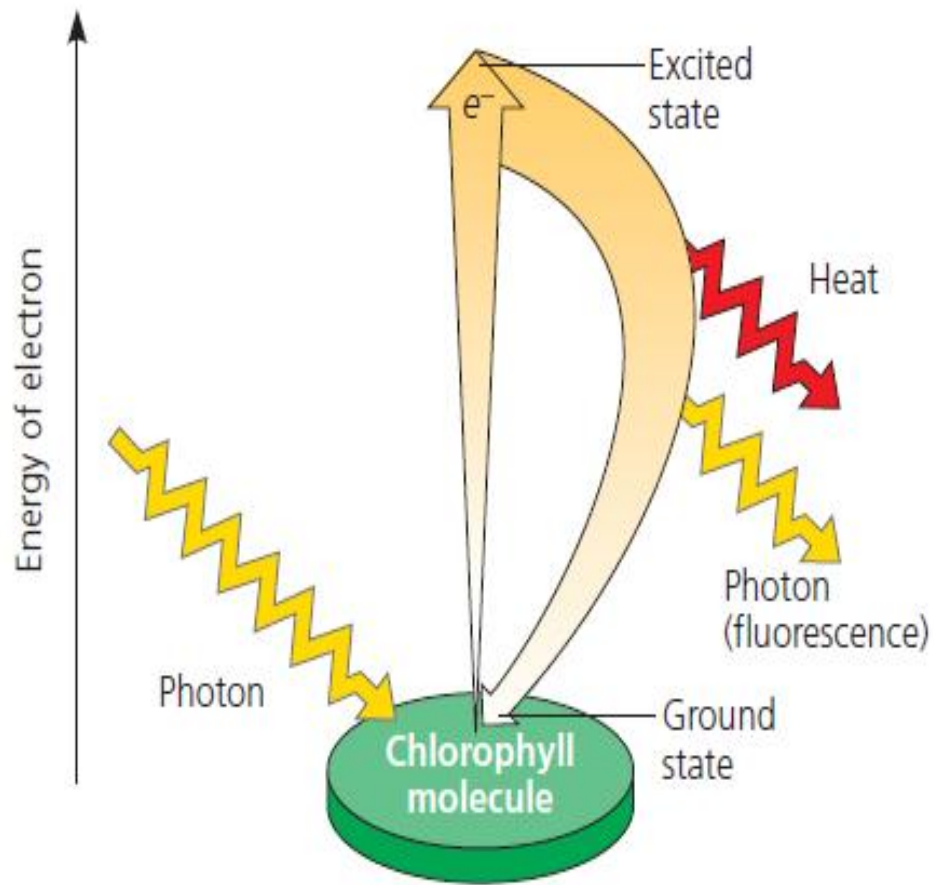
First shell (lowest energy level)

Atomic nucleus

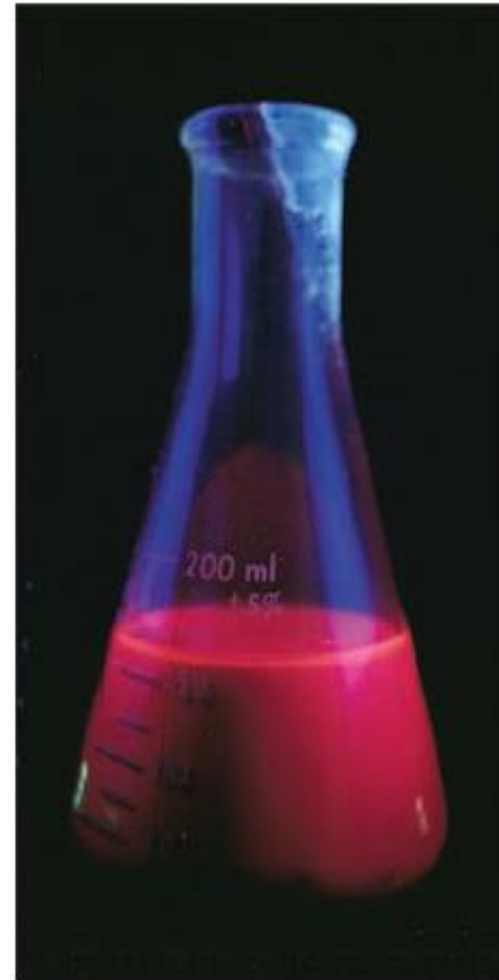


(b) An electron can move from one shell to another only if the energy it gains or loses is exactly equal to the difference in energy between the energy levels of the two shells. Arrows in this model indicate some of the stepwise changes in potential energy that are possible.

- بعض الصبغات المعزولة بما فيها اليخضور تبعث الضوء والحرارة بعد امتصاص فوتونات الضوء، والتفسير يعود إلى أنه عند رجوع الإلكترونات للوضع المستقر سيتم اطلاق الفوتونات على شكل توهج يسمى التفلور (الاستشعاع التلألؤ) Fluorescence (محلول مضيء من اليخضور المعزول من الصانعات الخضراء سوف يتفلور عند اللون الأحمر من الطيف وأيضا يطلق حرارة)
- ملاحظة: التفلور لن يكون واضحا عند اللون الاخضر لان اليخضور لا يمتصه.



(a) Excitation of isolated chlorophyll molecule



(b) Fluorescence