

Reforma a rozvoj výuky Biofyziky pro potřeby 21. století

Číslo výzvy: **IPo - Oblast 2.2 (výzva 15)**

Reg. č. projektu: **CZ.1.07/2.2.00/15.0215**



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Fotosyntéza

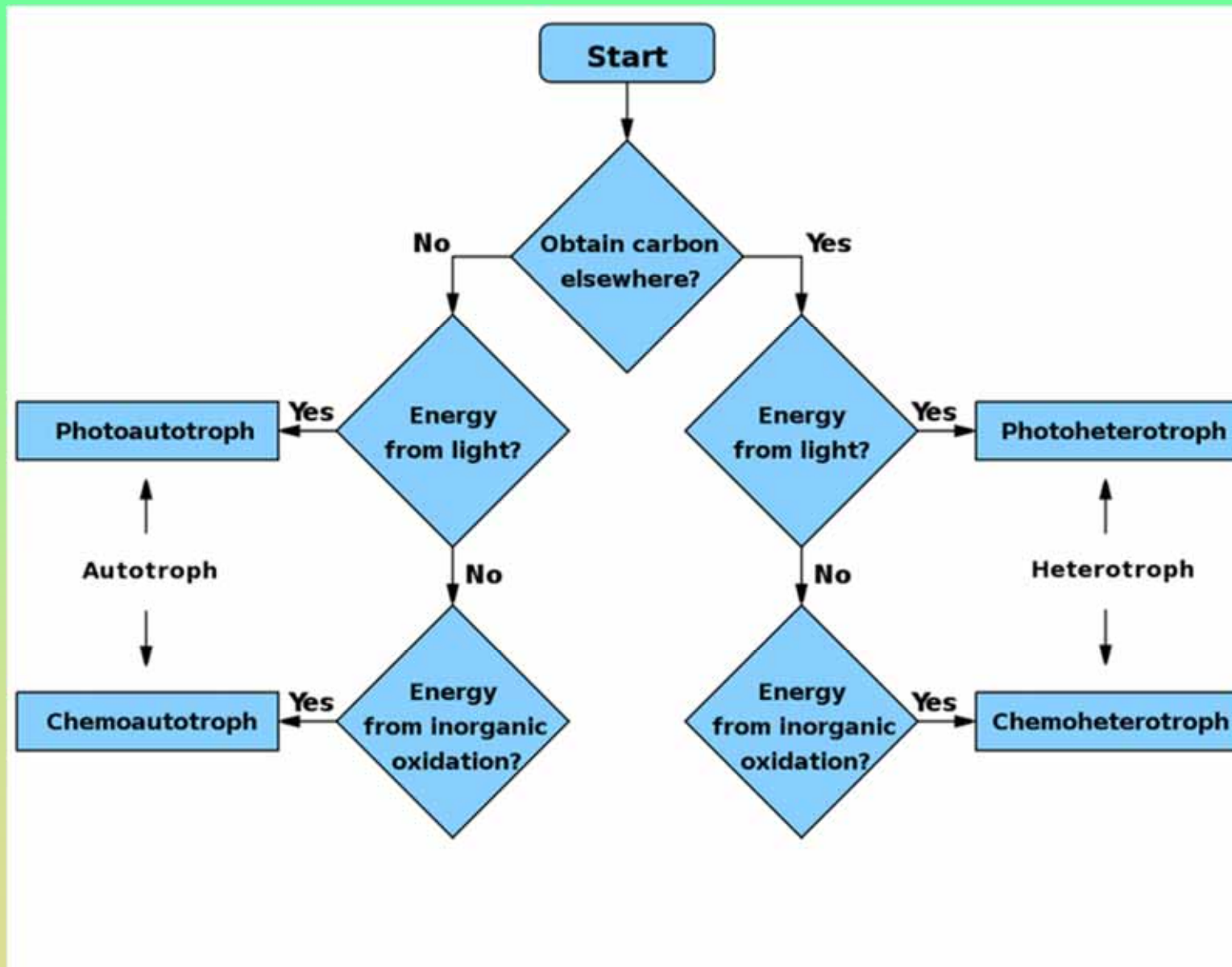
1

Ondřej Prášil

prasil@alga.cz

384-340430

Rozdělení organismů dle zdroje energie a uhlíku



Rozdělení organismů dle zdroje energie, elektronů a uhlíku

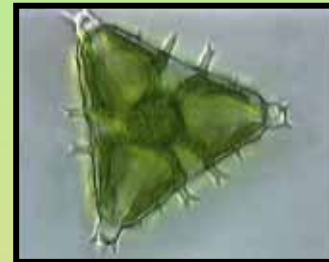
Energy source	Reducing equivalent source	Carbon source	Name
Light <i>Photo-</i>	Organic <i>-organo-</i>	Organic <i>-heterotroph</i>	Photoorganoheterotroph
		Carbon dioxide <i>-autotroph</i>	Photoorganoautotroph
	Inorganic <i>-litho-</i>	Organic <i>-heterotroph</i>	Photolithoheterotroph
		Carbon dioxide <i>-autotroph</i>	Photolithoautotroph
Chemical compounds <i>Chemo-</i>	Organic <i>-organo-</i>	Organic <i>-heterotroph</i>	Chemoorganoheterotroph
		Carbon dioxide <i>-autotroph</i>	Chemoorganoautotroph
	Inorganic <i>-litho-</i>	Organic <i>-heterotroph</i>	Chemolithoheterotroph
		Carbon dioxide <i>-autotroph</i>	Chemolithoautotroph

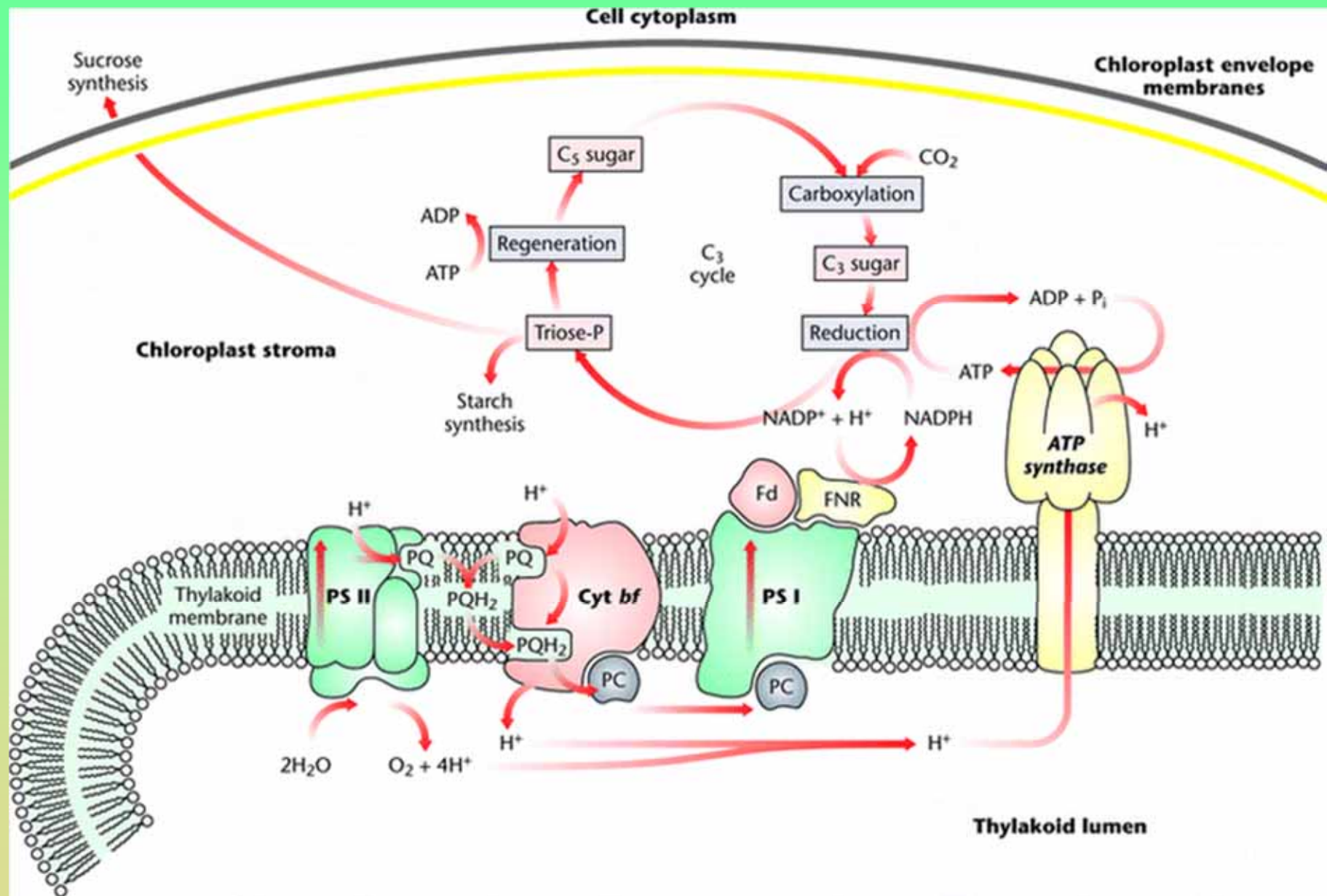
Co je to fotosyntéza ?

Biologický proces přeměny světelné energie na biochemickou energii využitelnou živými organismy pro buněčné procesy.

Dodává energii téměř všemu životu na Zemi. Je zdrojem veškeré potravy a většiny energie, kterou lidstvo dnes využívá.

Photosynthesis





Co by se stalo, kdyby fotosyntéza nebyla....

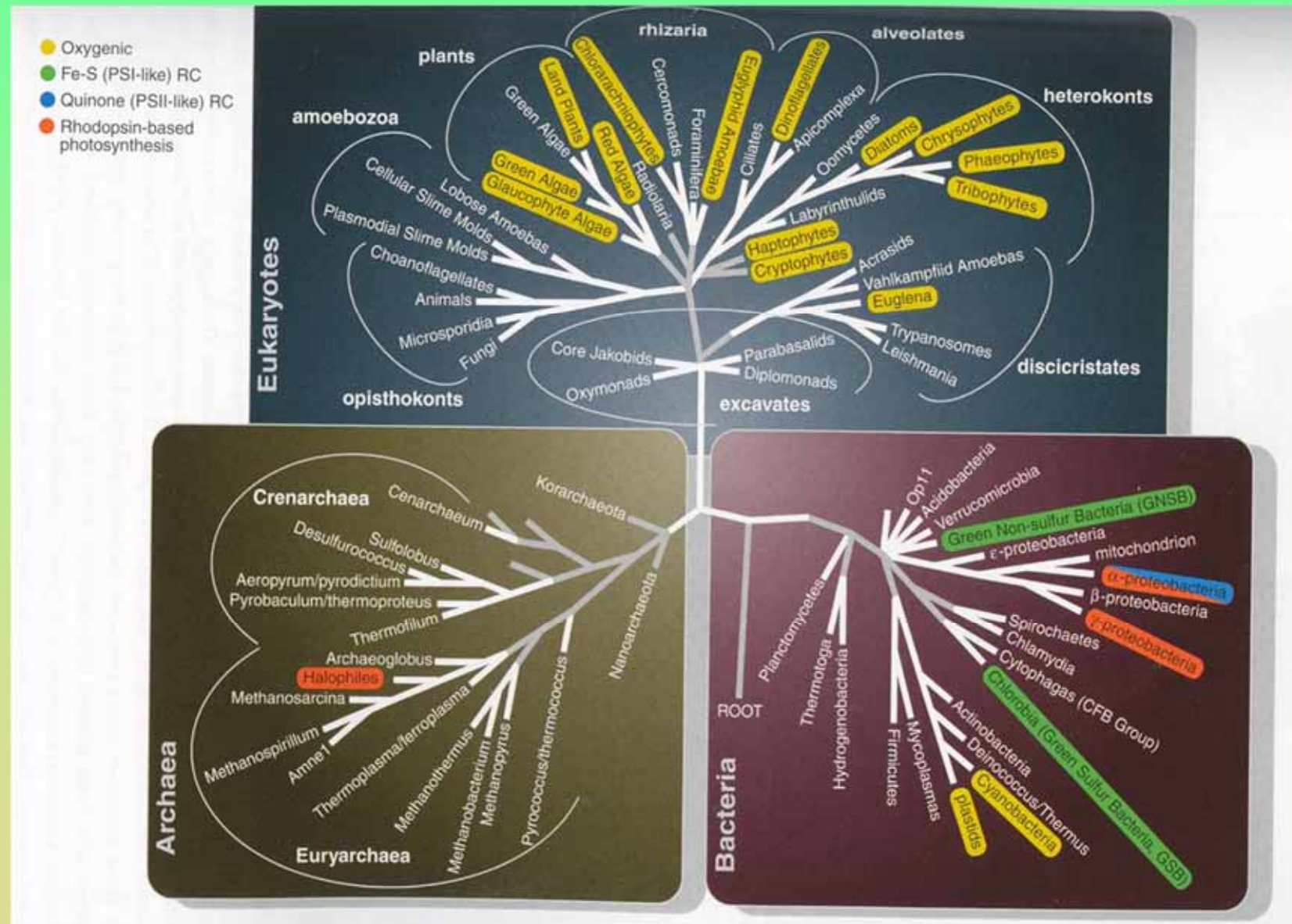


Stačí několik měsíců/let bez fotosyntézy a život na Zemi zkolabuje

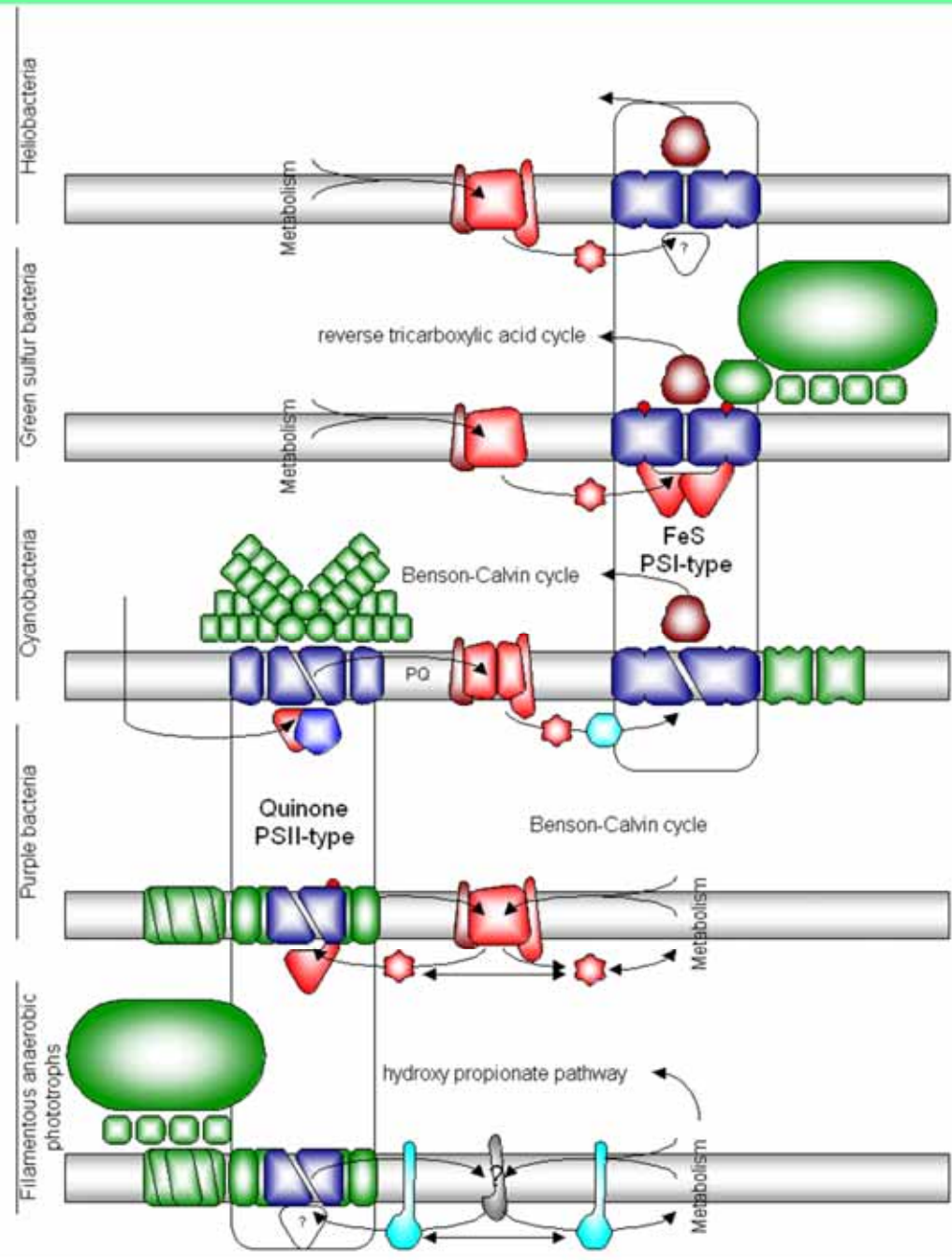
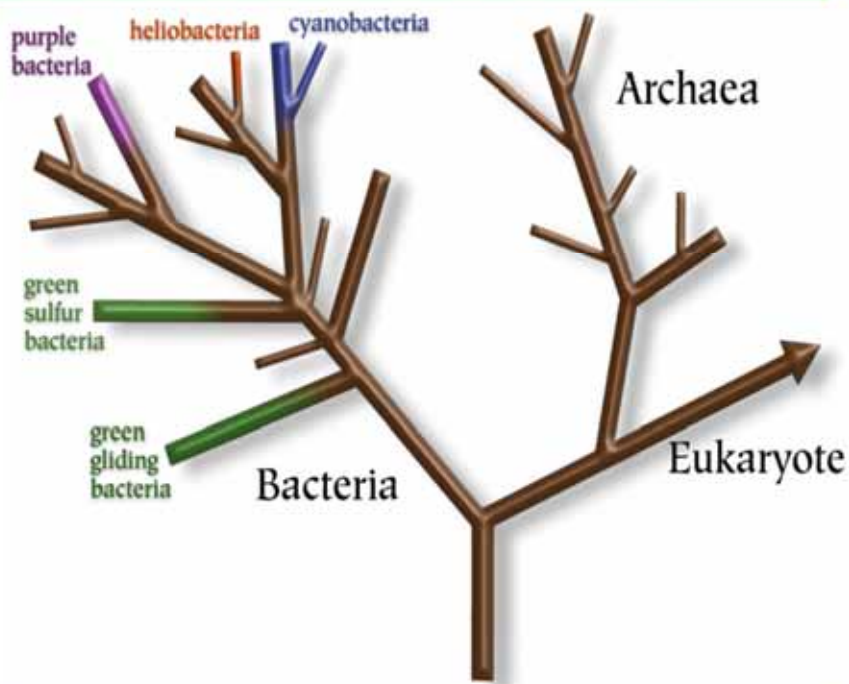
Mýty fotosyntézy

- Pouze rostliny jsou fotosyntetické
- Všechny fototrofní organismy jsou zelené
- Fotosyntéza vyvíjí kyslík
- Fotosyntéza vyžaduje složité multiproteinové komplexy
- Fotosyntéza je již velmi dobře popsána

Strom života a fotosyntéza

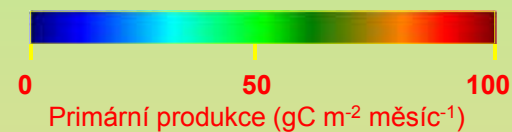
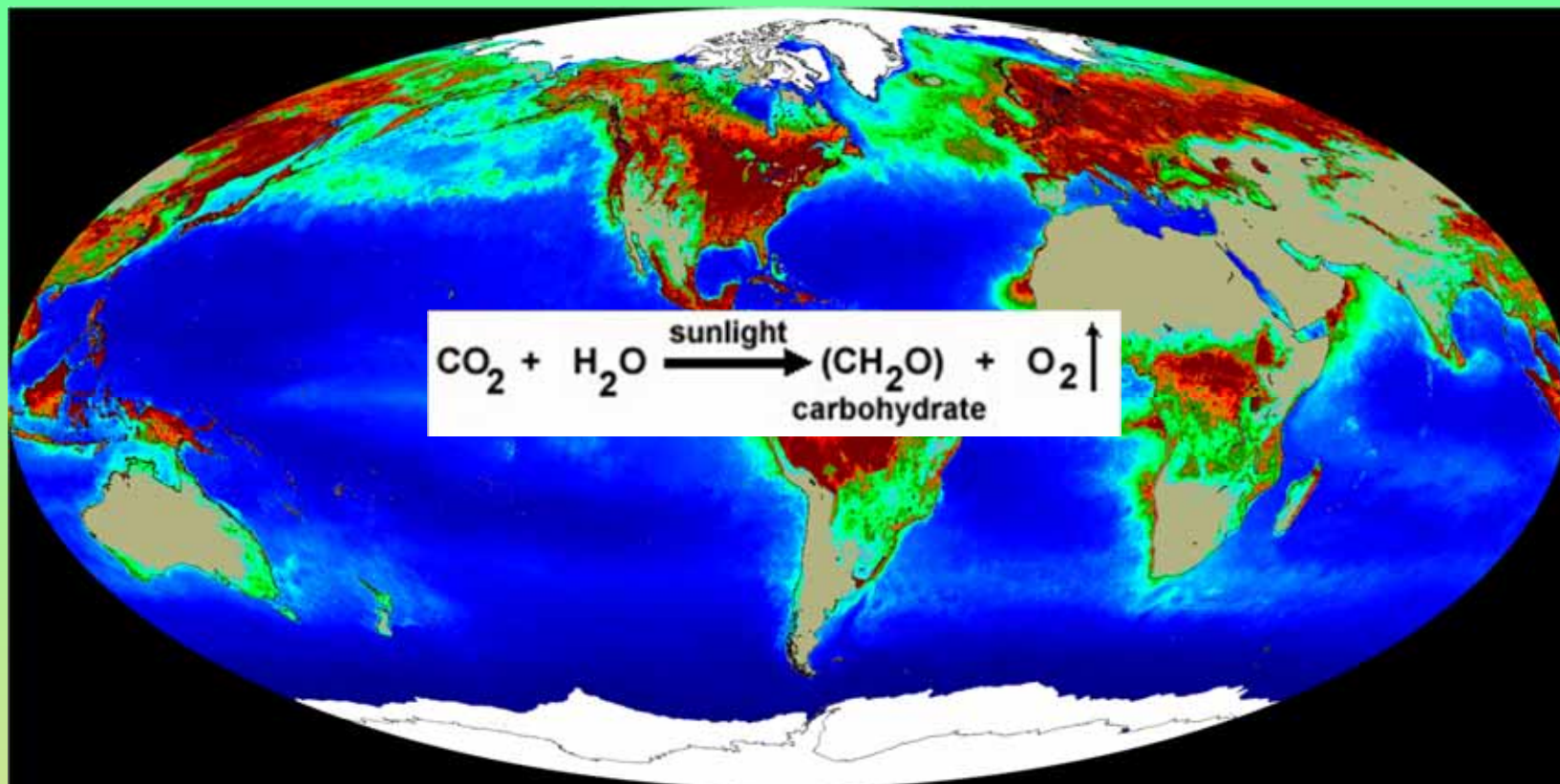


Diverzita světlosběrných antén, reakčních center a přenašečů elektronů u prokaryot



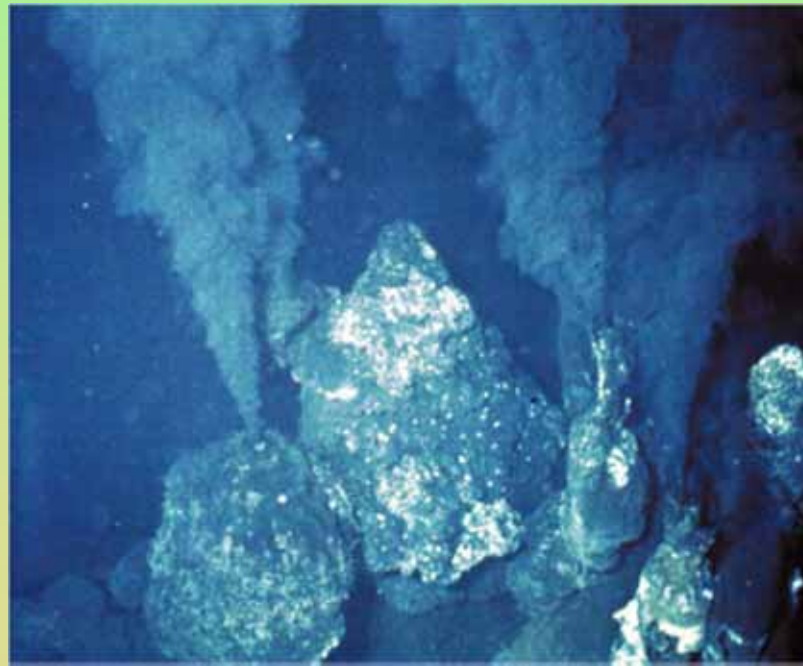
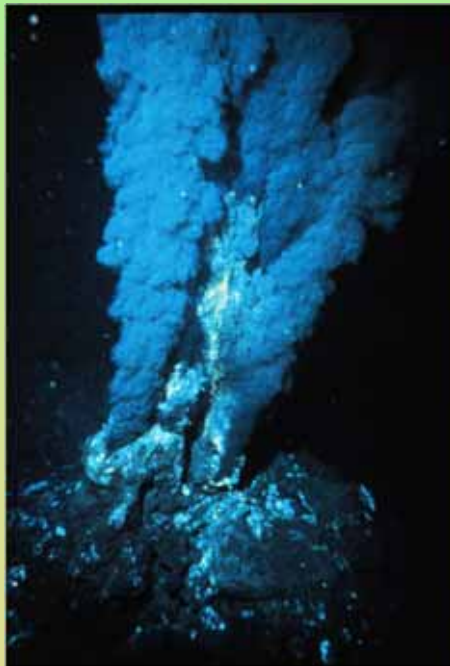
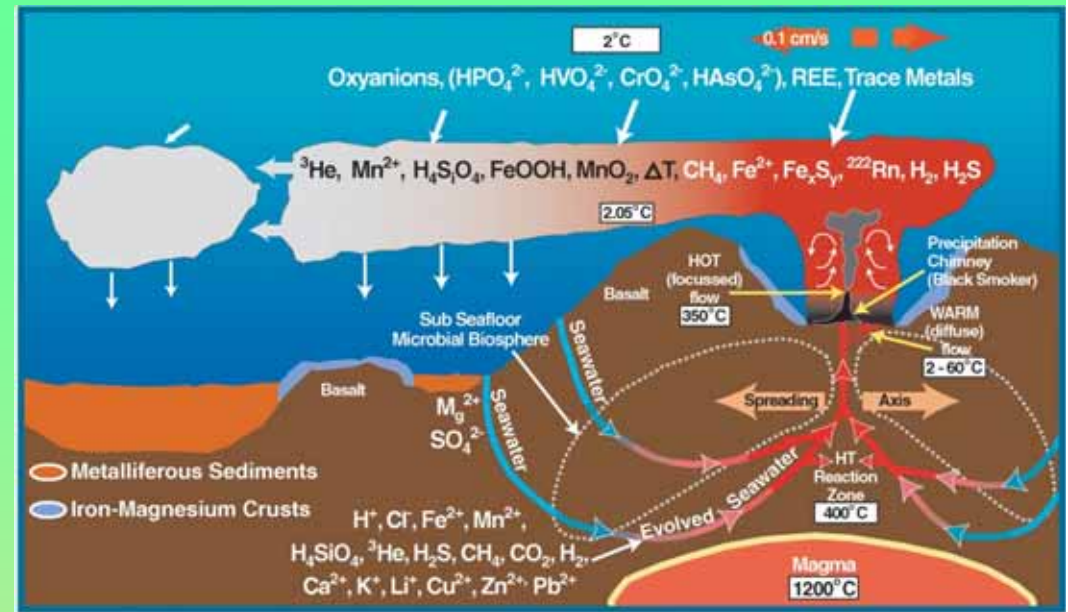


Primární fotosyntetická produkce naší planety



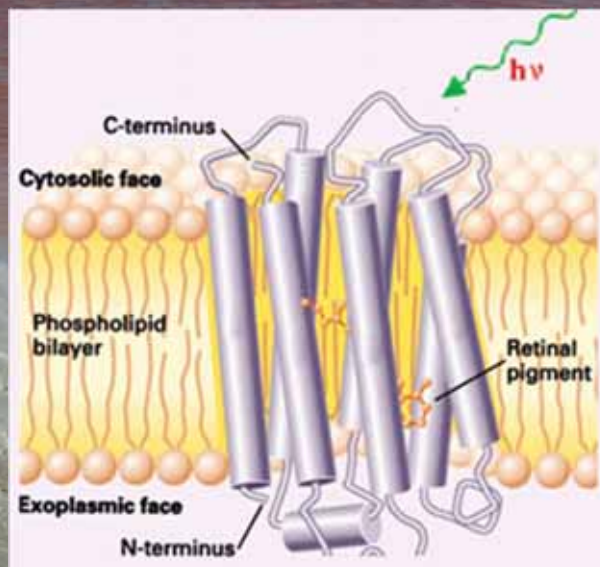
- **Produktivita celé biosféry = 110 - 120 Gt C rok⁻¹** (*Giga* = 10⁹)
(roční emise lidstva 7.1 Gt C, za rok se uloží 1.8 Gt)
- **Hydrotermální vývěry ~ 0.01 Gt C rok⁻¹**
- **Přibližně 50% produktivity na pevnině & 50% v oceánech**

hydrotermální vývěry
na dně oceánů $\sim 0.01 \text{ Gt C rok}^{-1}$

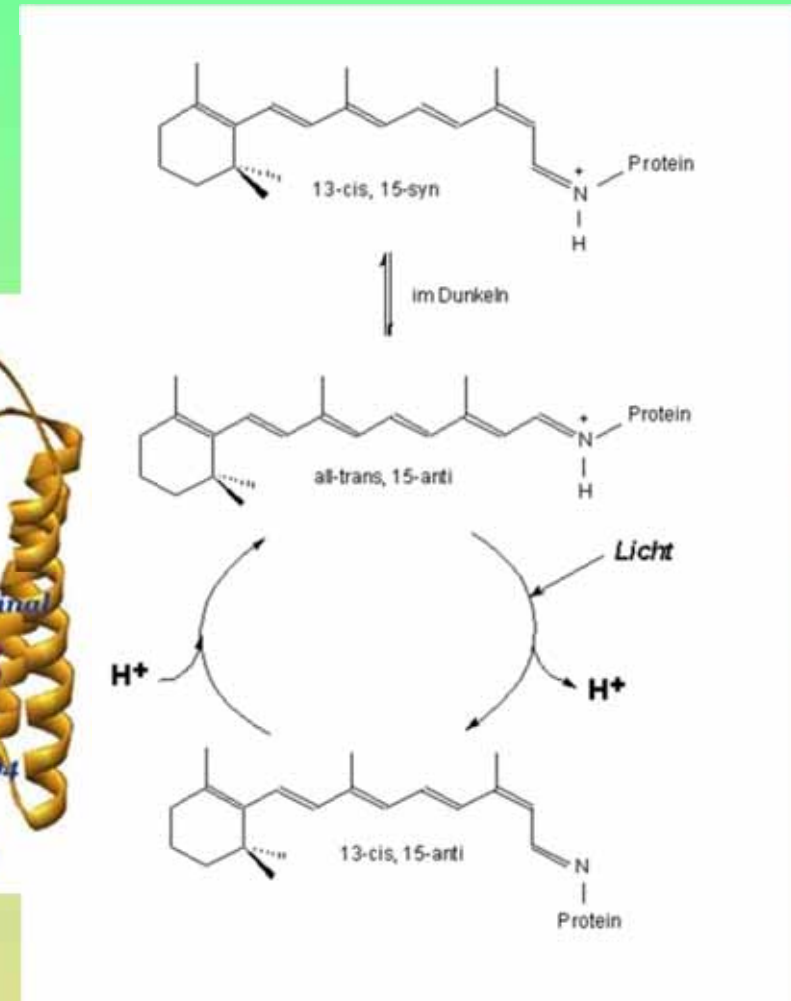
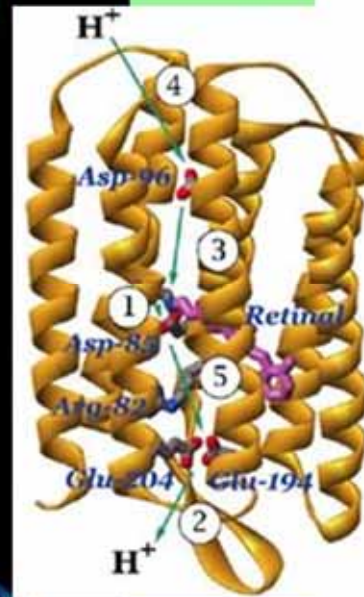
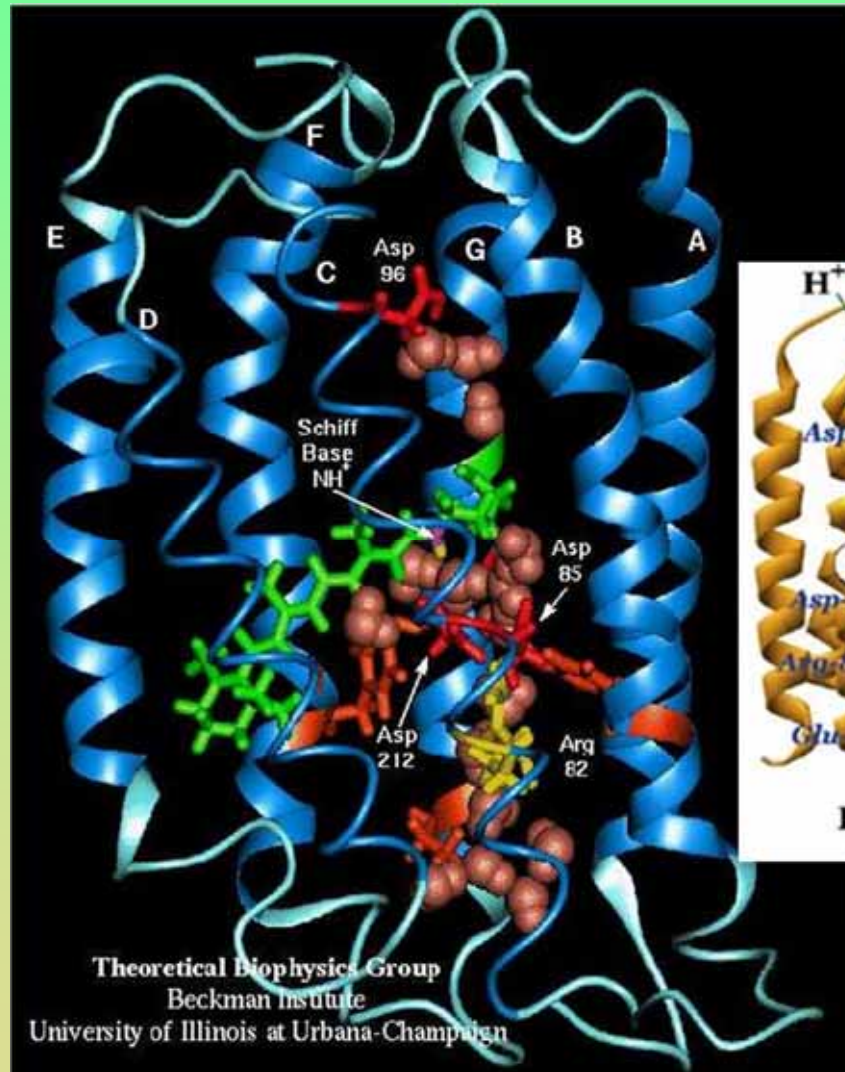


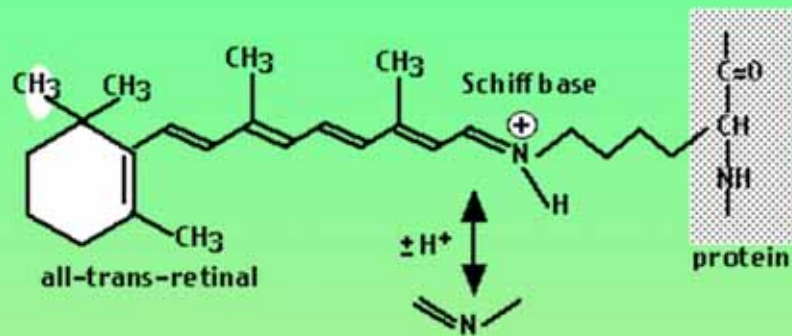
Není každá fotosyntéza jen o **(bakterio)chlorofylu** !

Halobakterie (archaea): extrémně halofilní ($>4\text{M NaCl}$)
bílkoviny bakteriorhodopsin (pumpuje H^+), halorhodopsin (Cl^-)
tvorí membránové 2D krystaly
Pigment - karotenoid **retinal**



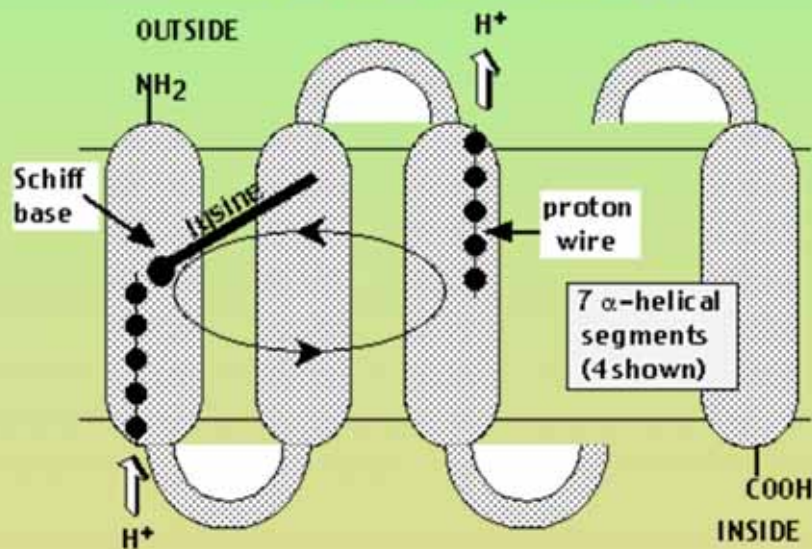
Retinal – odvozený z vitaminu A je kovalentně navázán na
Fotoizomerizace – přenos H^+ vně buňky



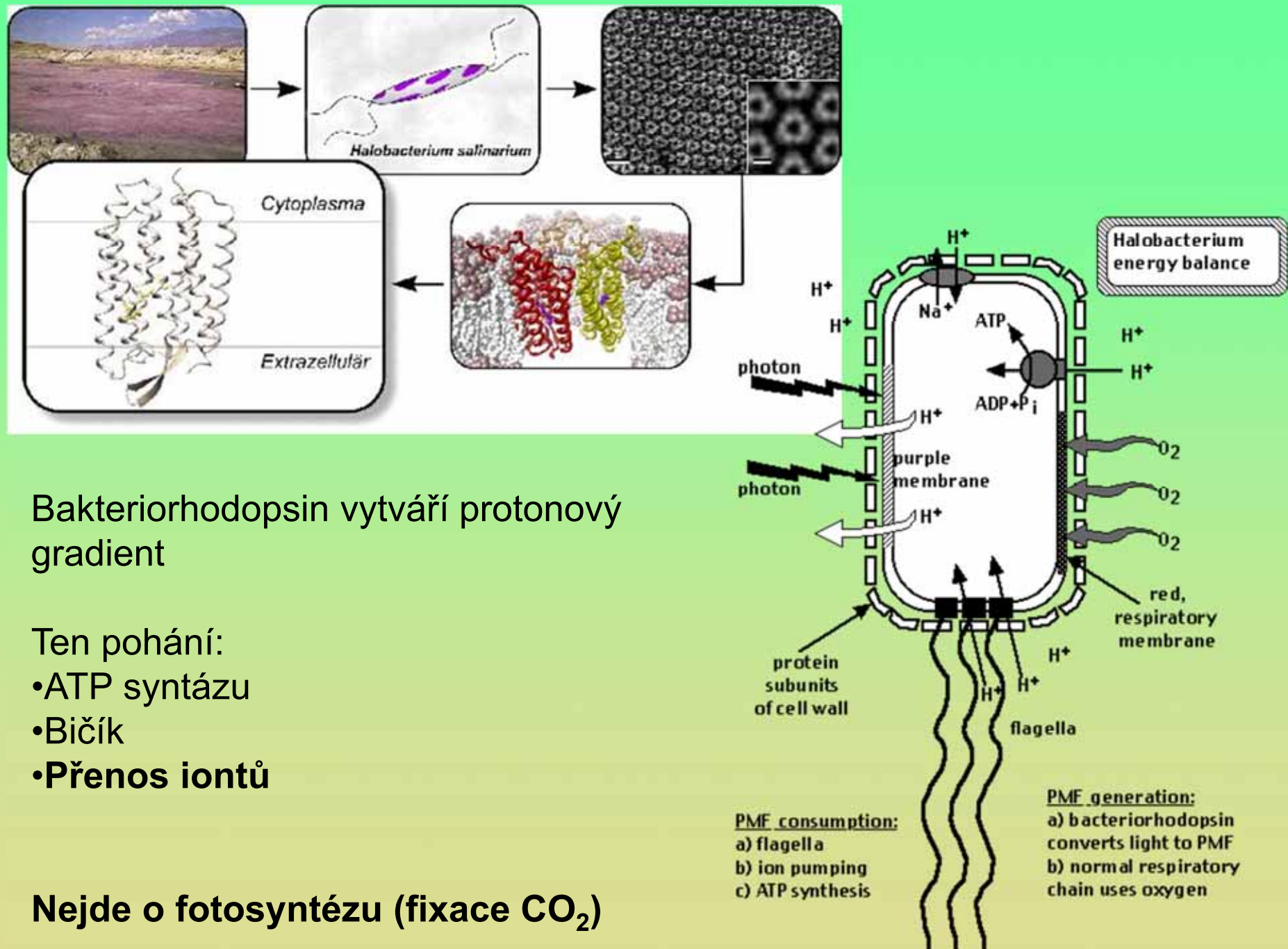


Cis – trans isomerace
retinalu vede k
uvolnění protonu

Proton Wire & Swinging Arm Model



Proton je
transportován vně
buňky podél α - helixu
bakteriorodopsinu



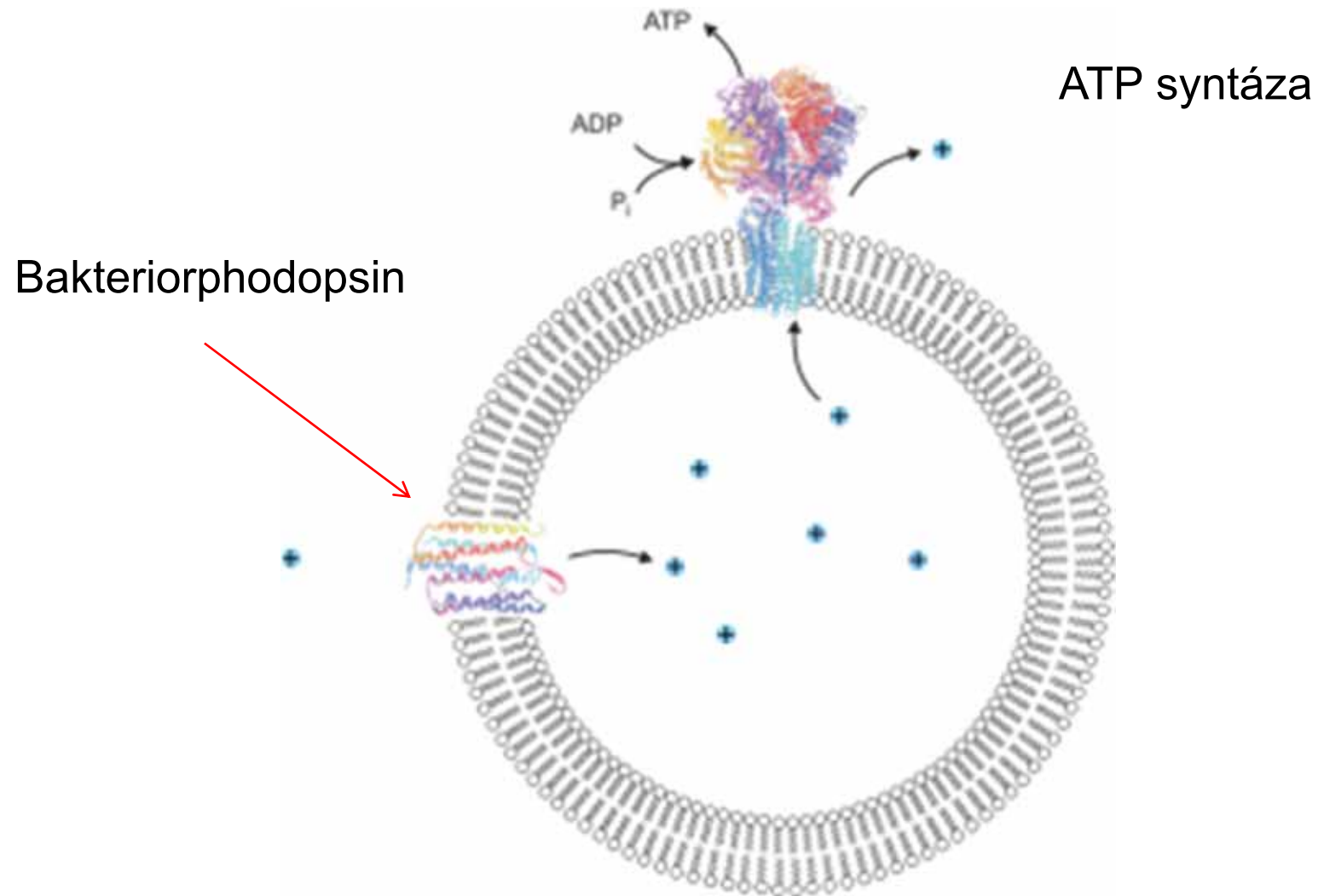
Bakteriorhodopsin vytváří protonový gradient

Ten pohání:

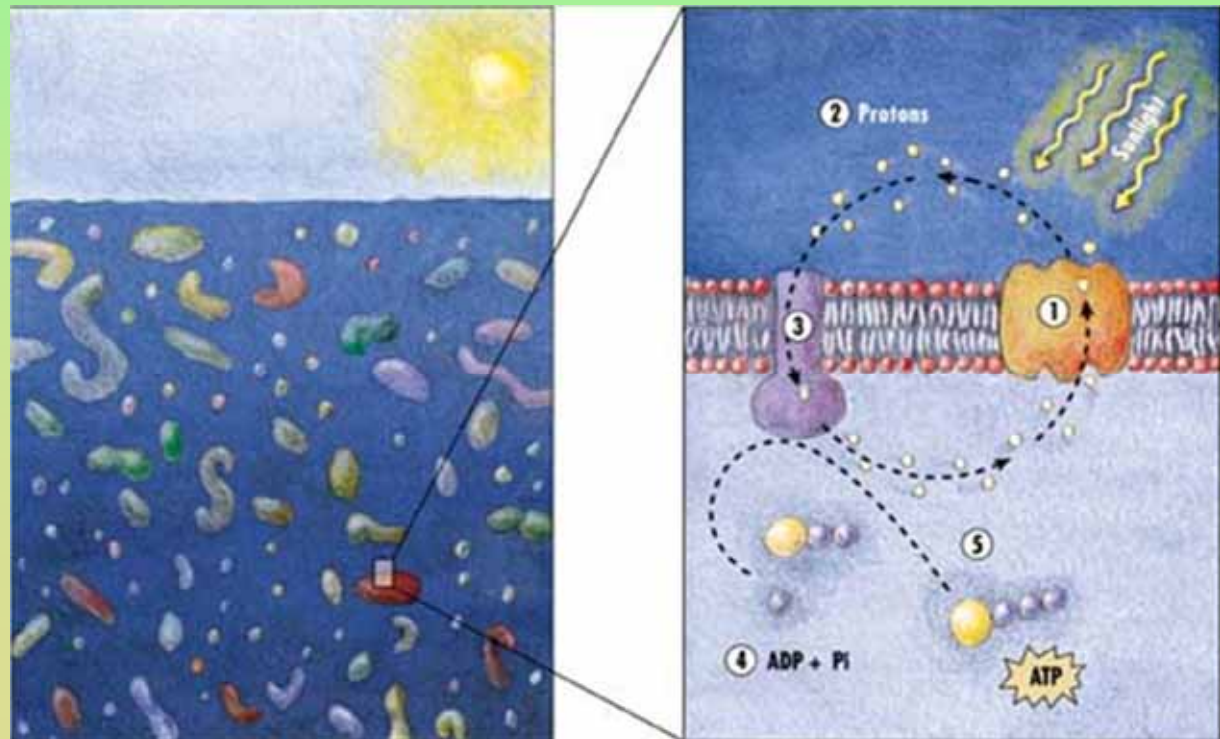
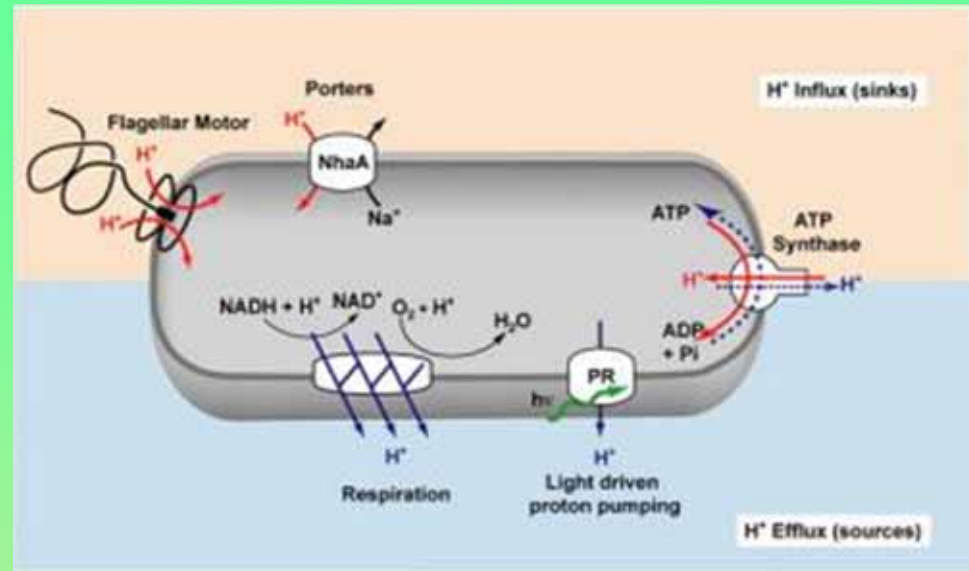
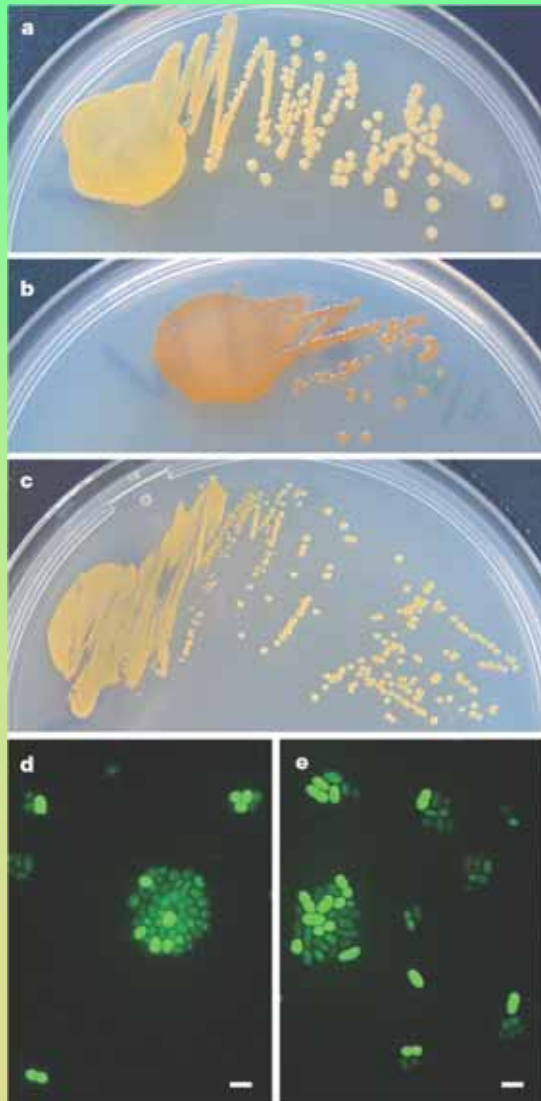
- ATP syntázu
- Bičík
- Přenos iontů

Nejde o fotosyntézu (fixace CO_2)

Umělá fotosyntéza?



Mořské flavobakterie:
proteorhodopsin
objeven 2000

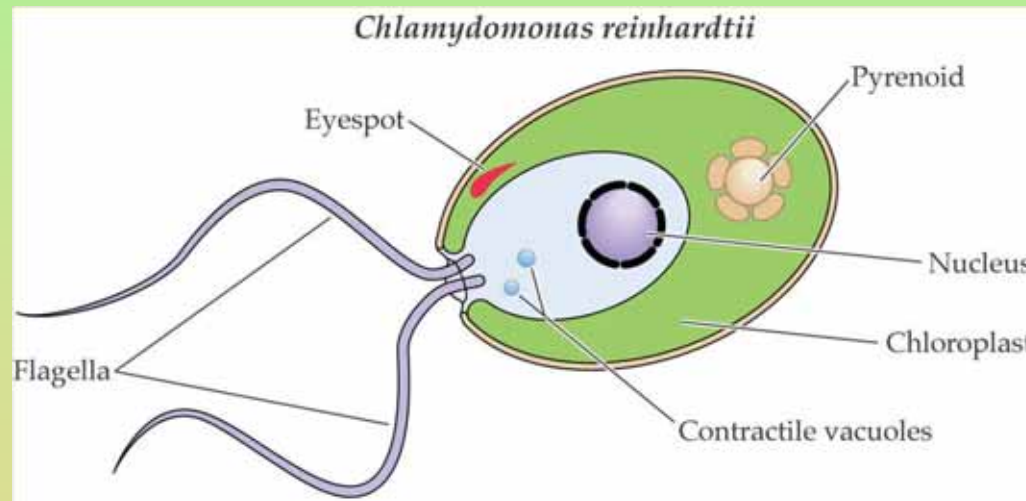


Mýty fotosyntézy

- Pouze rostliny jsou fototrofy
 - 50% fotosyntetické produkce pochází z řas a sinic
- Všechny fototrofní organismy jsou zelené
 - Fototrofové mají různé barvy
- Fotosyntéza vyvíjí kyslík
 - Různé formy anoxygenní fotosyntézy
- Fotosyntéza vyžaduje složité multiproteinové komplexy
 - Bacteriorhodopsin/Proteorhodopsin jsou jednoduché enzymy
- Fotosyntéza je již velmi dobře popsána
 - Mnoho nepopsaných fototrofních organismů v oceánech

Fotosyntéza

1. Evoluce fotosyntézy
2. Pigmenty a antény
3. Reakční centra, přenos elektronů v thylakoidu
4. Genetika, dynamika a regulace, molekulární biologie
5. Fixace uhlíku a metabolismus dalších prvků
6. Fotosyntéza a buněčný metabolismus....



Učebnice

P.G.Falkowski & J.A.Raven “Aquatic Photosynthesis”

Blackwell Science, ISBN 0-86542-387-3

R.Blankenship, Molecular Mechanisms of Photosynthesis

Blackwell Science, ISBN 0-632-04321-0

Skripta I.Šetlík, J.Hála “Biofyzika fotosyntézy“

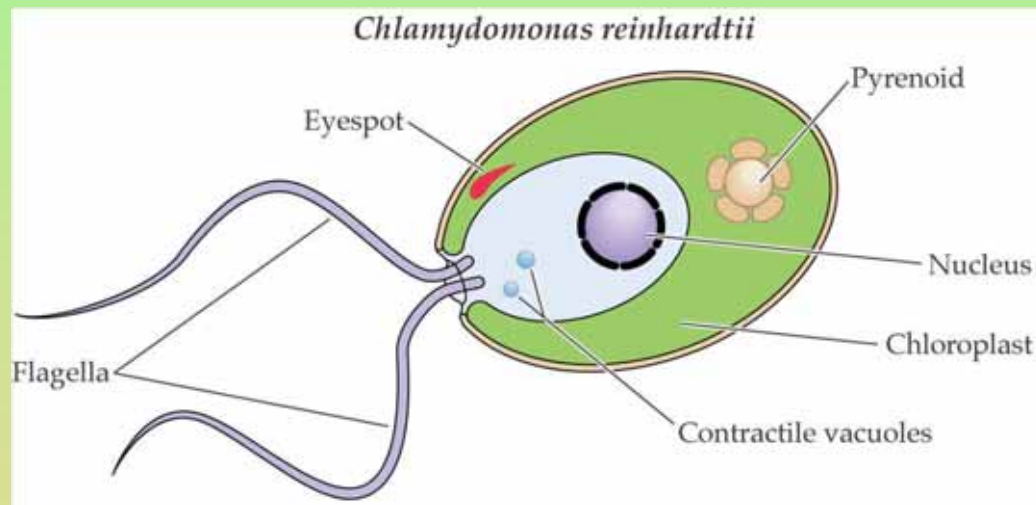
CD-ROM, web

e-learningová verze přednášky Fotosyntéza, na webu JČU

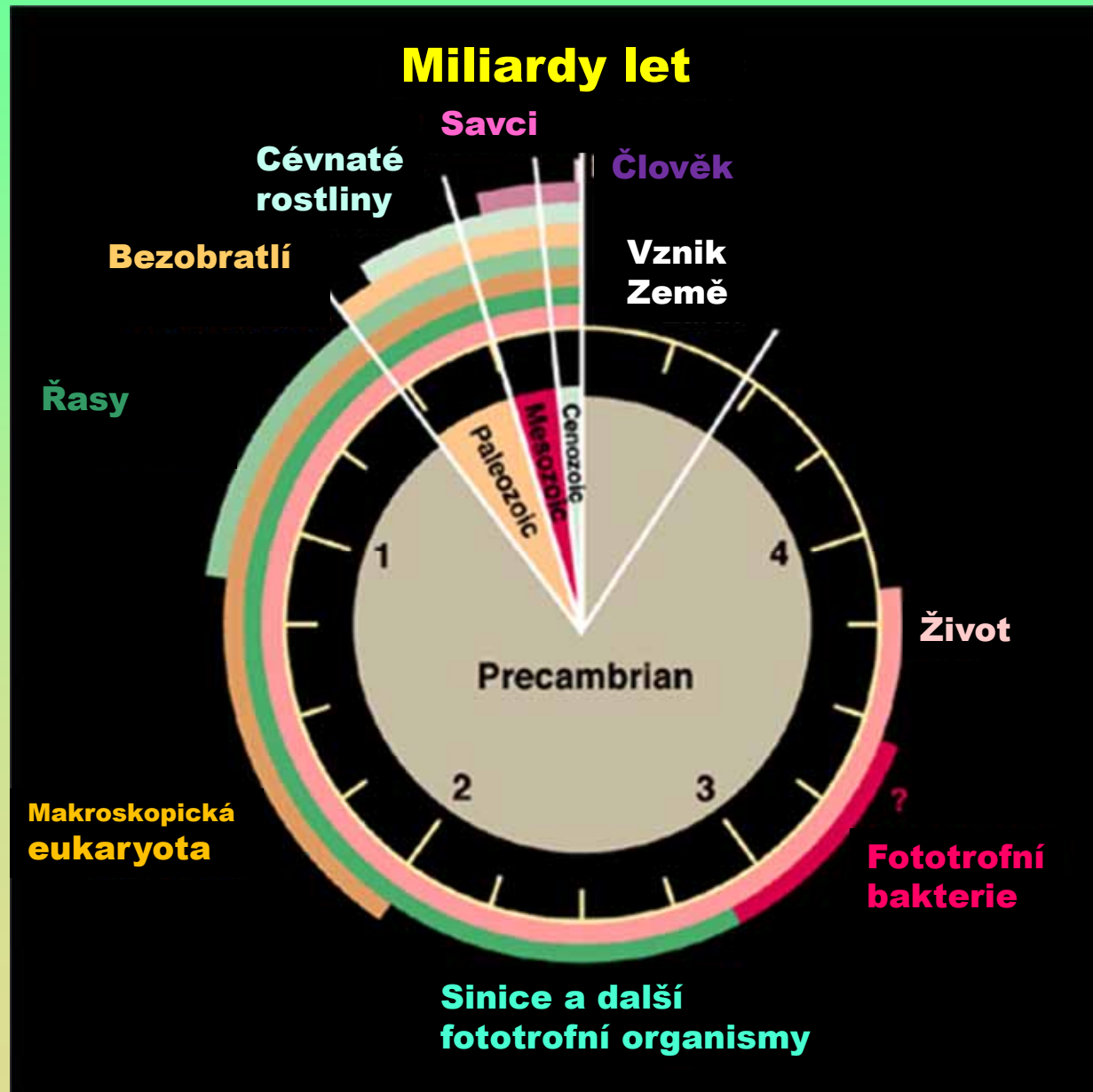
(http://wvc.pf.jcu.cz/wvc/_biologie)

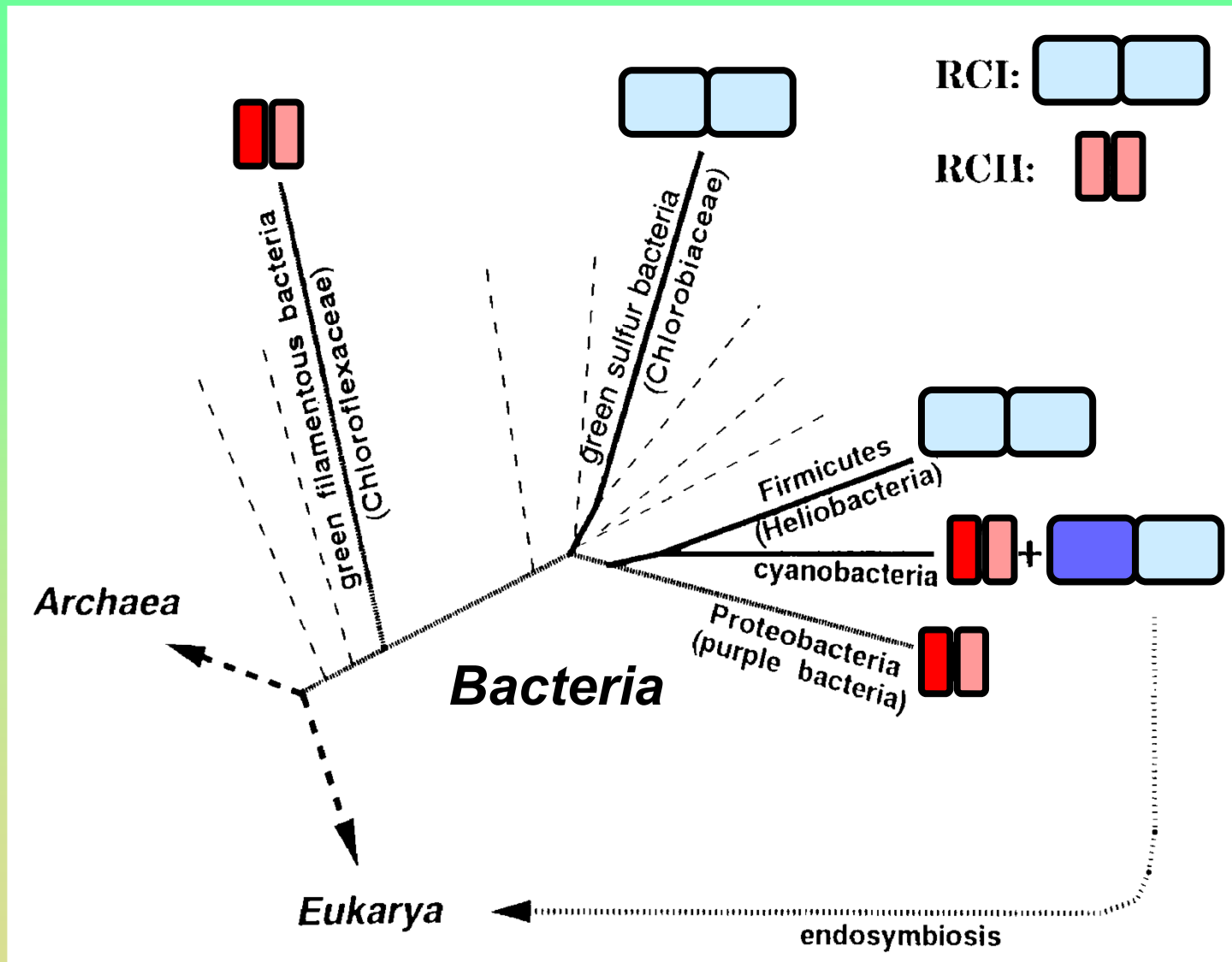
Úvodní přednáška a trocha evoluce....

1. Vznik a evoluce fotosyntézy
2. Evoluce chloroplastu
3. Historie zkoumání fotosyntézy



Vývoj života a vývoj fotosyntézy

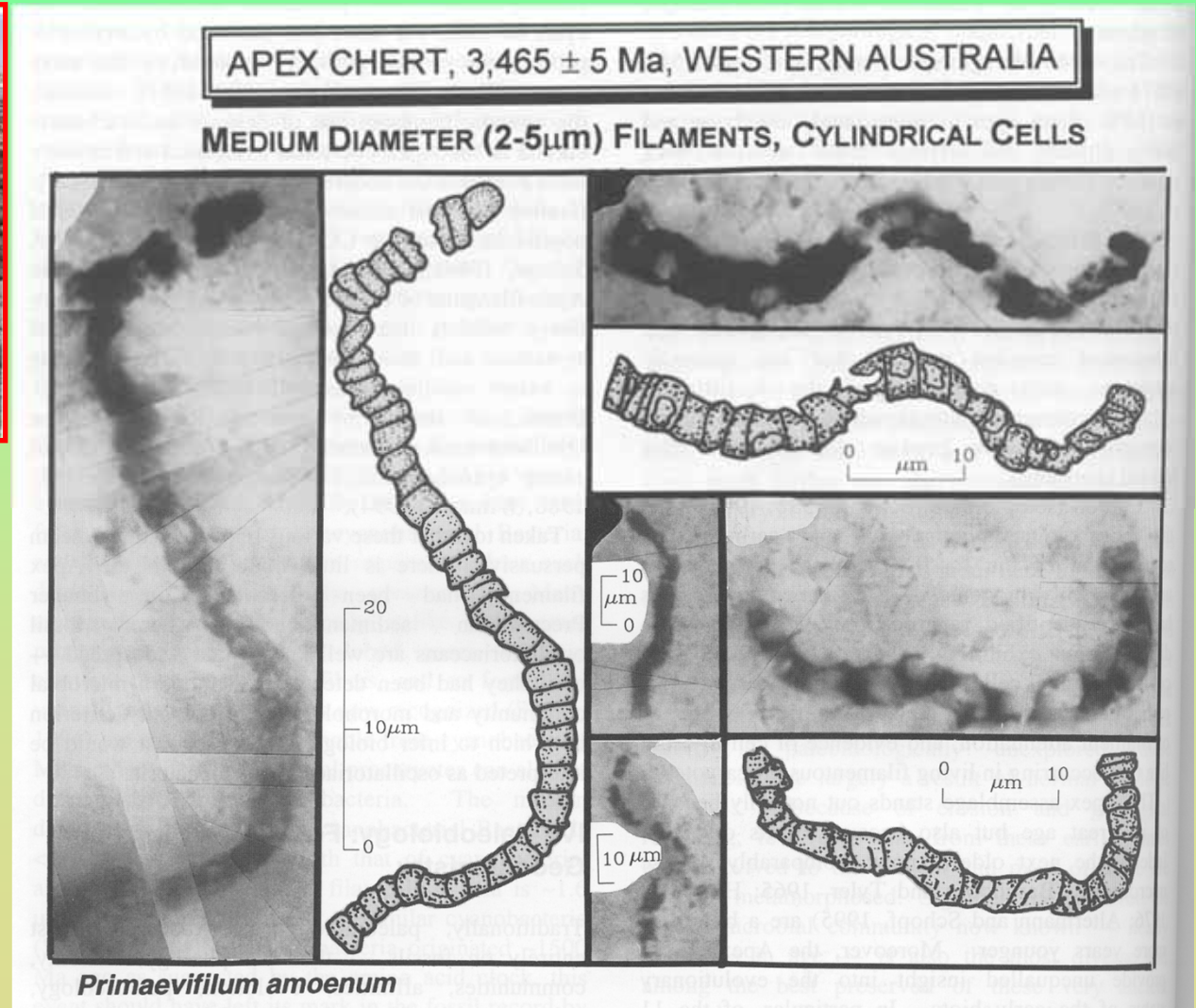






Stromatolity

mikrofosilie



Datování změn koncentrace O₂

Výskyt uranu v sedimentech

uraninit UO₂ : pokud [O₂] < 1% dnešní hodnoty, zůstává jako U⁴⁺
při zvýšené koncentraci je oxidován na U⁶⁺ a pak dochází k precipitaci

UO₂ (CO₃)₂²⁻

známe dobu života U²³⁸: 4,51 miliard let

pak lze určit dobu vzrůstu koncentrace O₂ v atmosféře 2,5 až 2,7
miliardy let

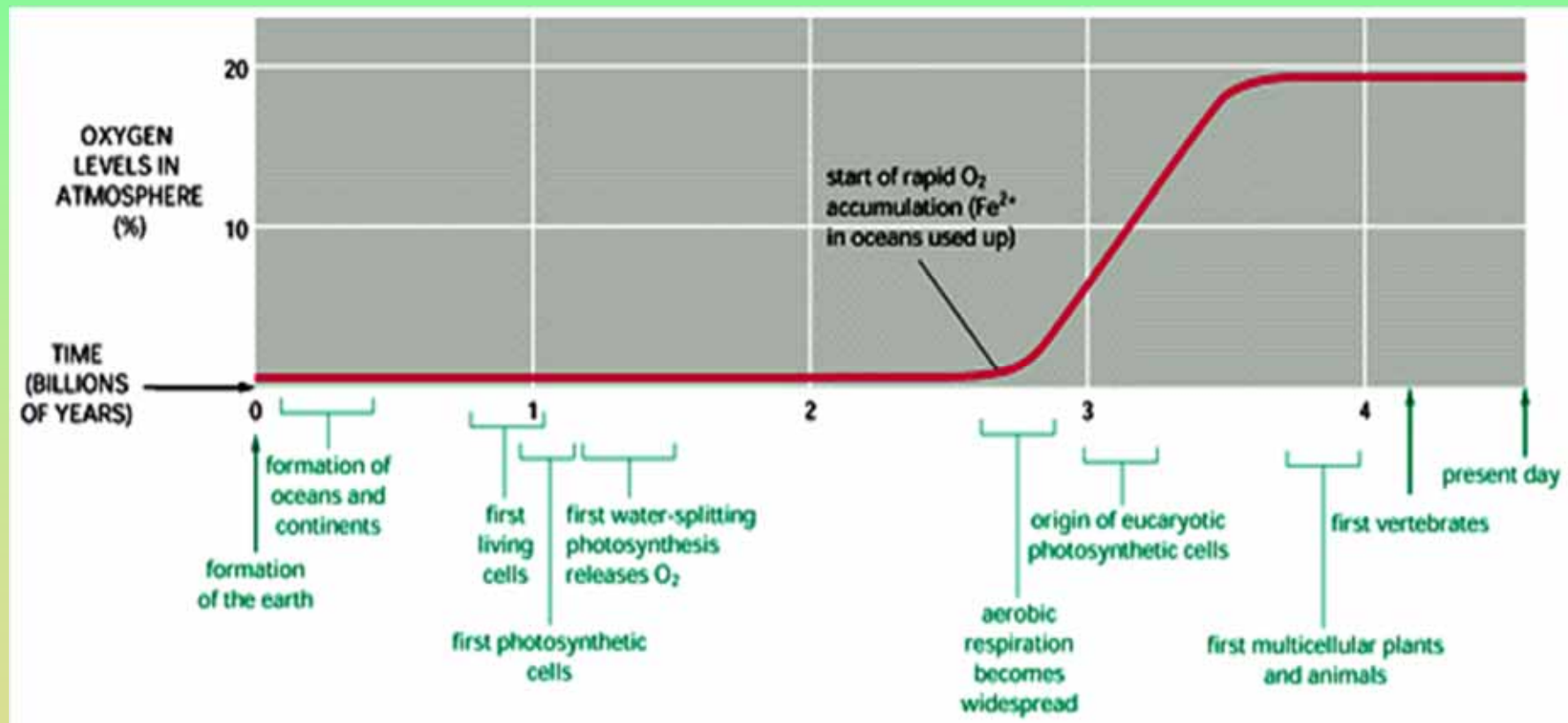
obdobné výsledky lze dostat sledováním precipitace přechodných
kovů (Fe³⁺ nebo Mn⁴⁺)

hematit Fe₂O₃
magnetit Fe₃O₄

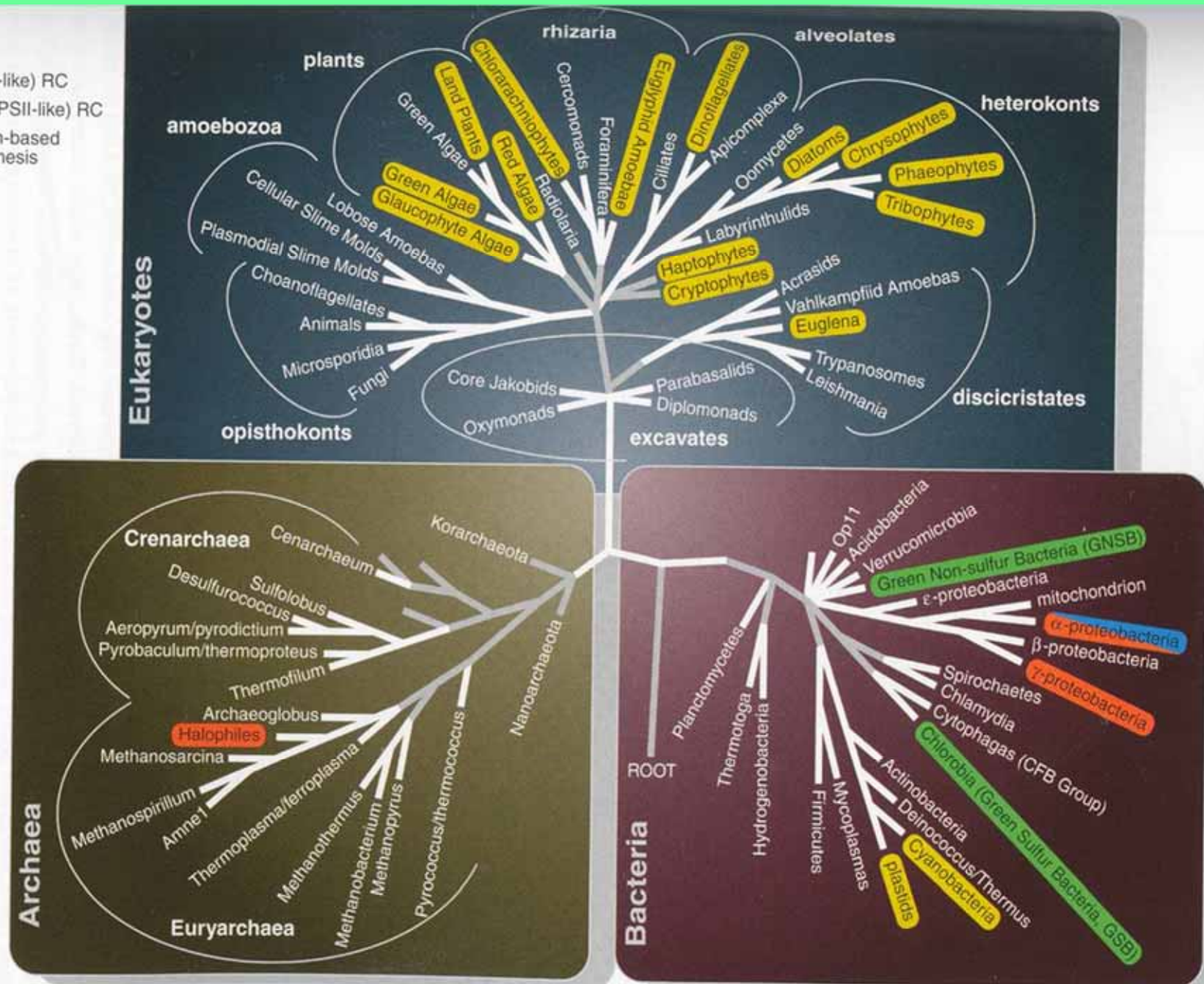


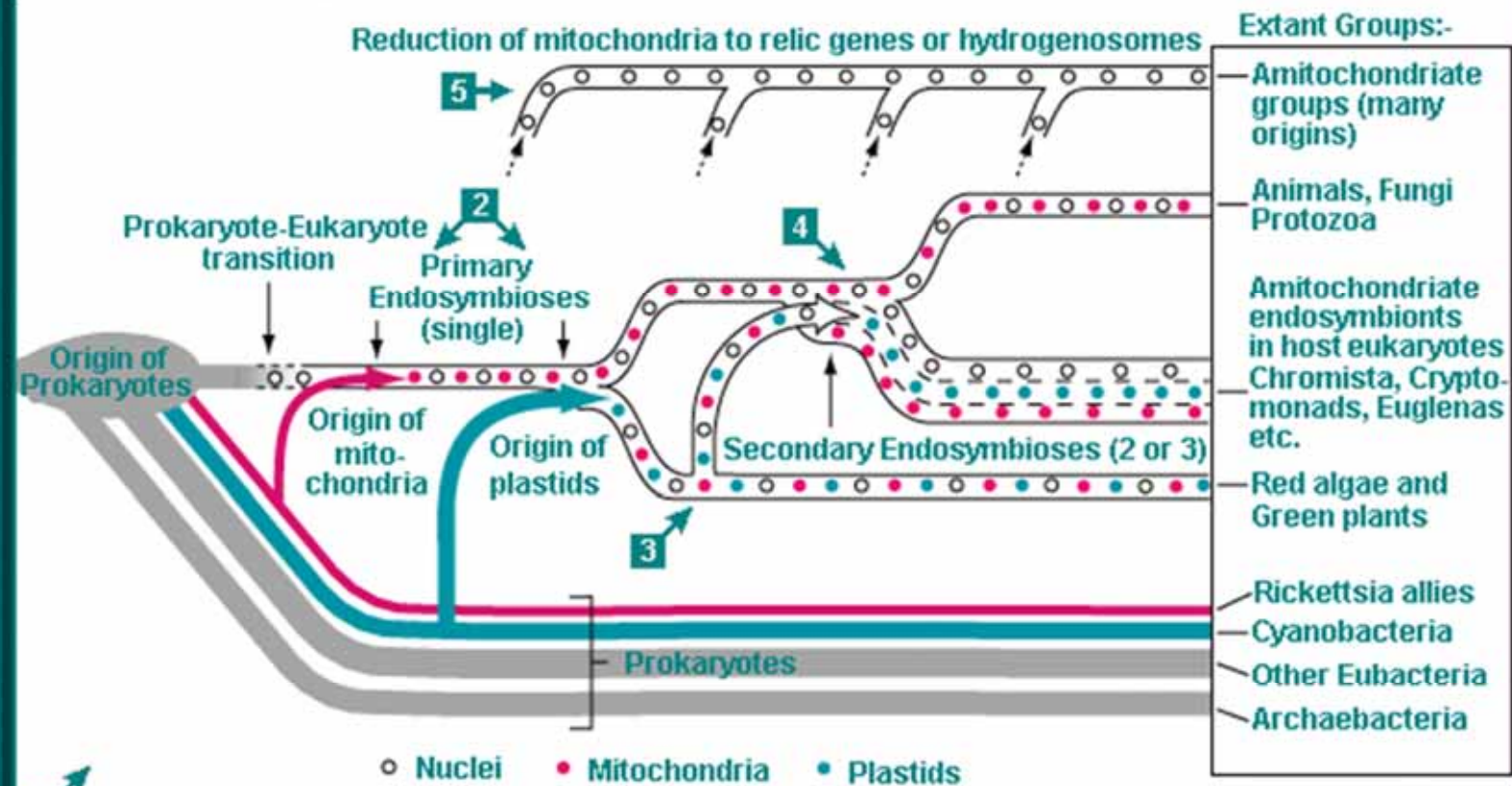
© Pamela Gore 1997

Changes in atmospheric O₂ levels and some of the major stages that are believed to have occurred during the evolution of living organisms on earth. As indicated, geological evidence suggests that there was more than a billion-year delay between the rise of cyanobacteria (thought to be the first organisms to release O₂) and the time that high O₂ levels began to accumulate in the atmosphere. This delay was probably due largely to the rich supply of dissolved ferrous iron in the oceans, which reacted with the released O₂ to form enormous iron oxide deposits.



- Oxygenic
- Fe-S (PSI-like) RC
- Quinone (PSII-like) RC
- Rhodopsin-based photosynthesis



[Chapter Menu](#)[show topics in chapter 9](#)[show topic screenlist](#)[retrace screens](#)[show index](#)

9.4 Origin of Mitochondria and Mitochondrial DNA & Division

Instructions:-

[Restart Topic](#)

Mitochondrial DNA: 1 2

Mitochondrial origin and distribution

Examples of taxonomic variations:

1 2 3

Example of mitochondrial division:

1

Select screens using the control panel buttons

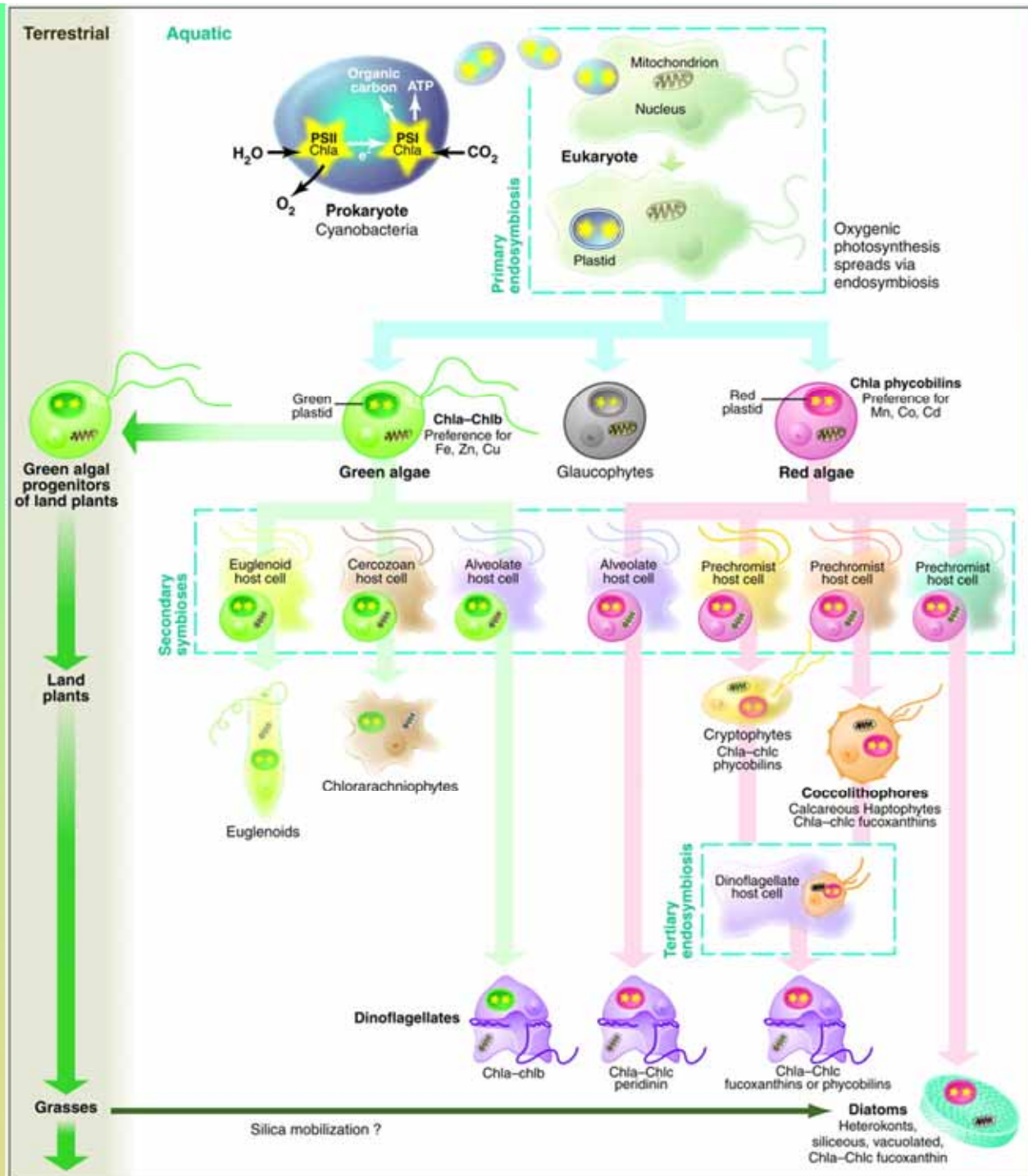
[hide labels](#)[record a program](#)[play a pre-recorded program](#)[show help tips](#)[quit](#)

Endosymbiózy

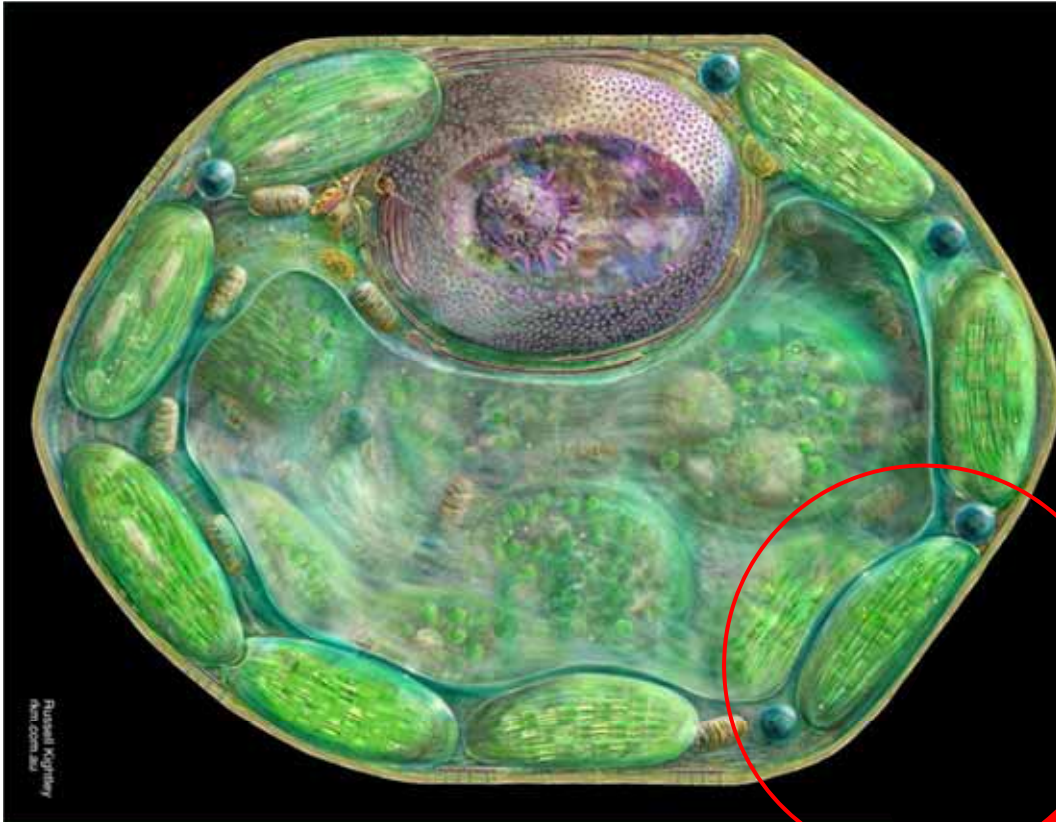
primární
(~ 1.5 mld let)

sekundární
(~ 1.2 mld let)

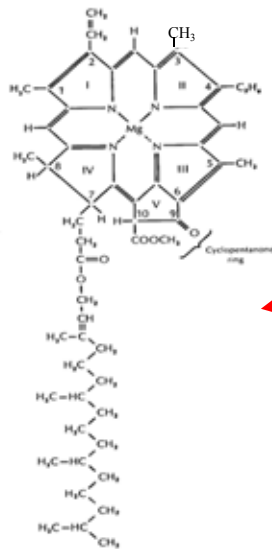
terciární

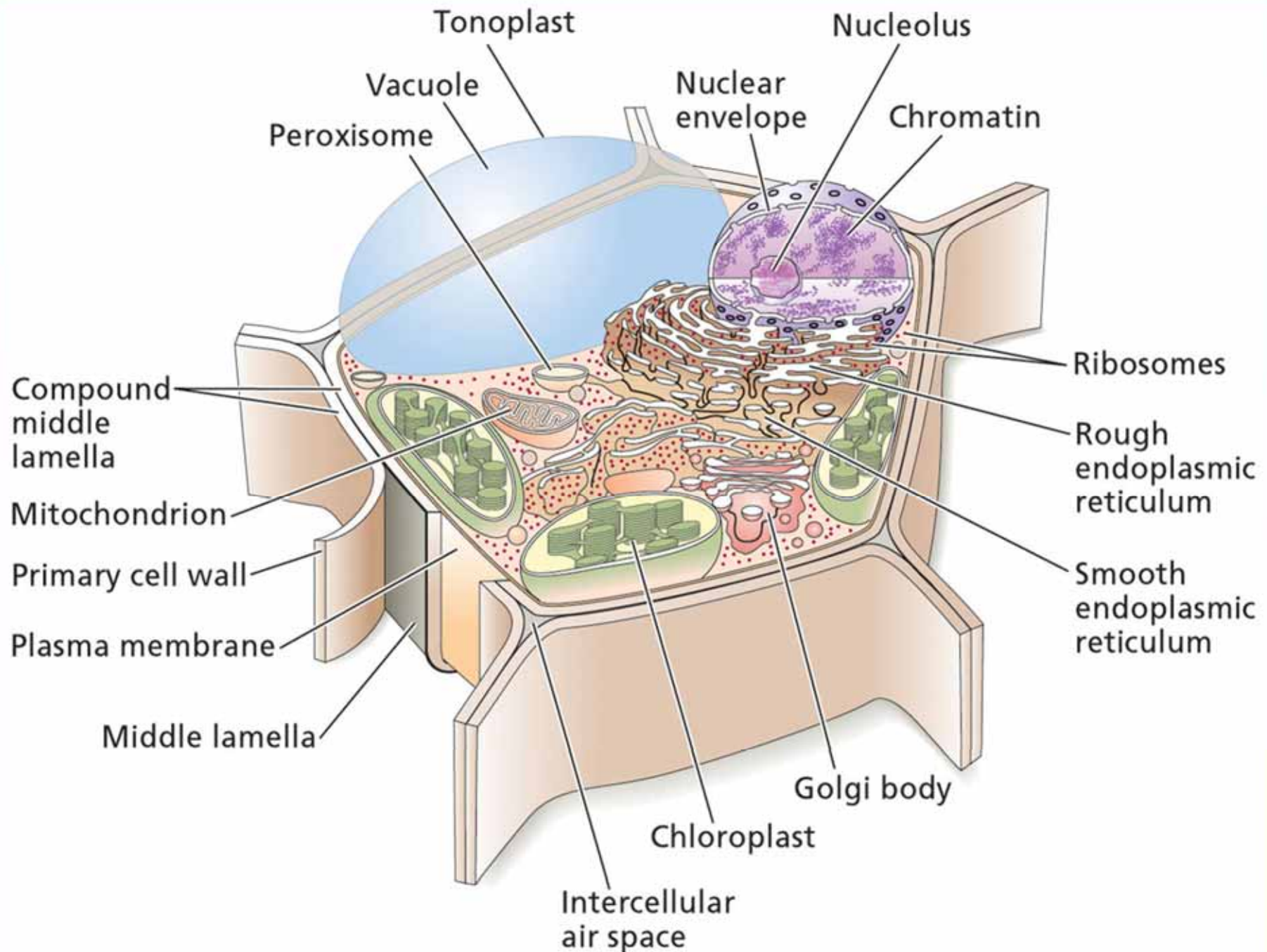


Fotosyntetické organismy

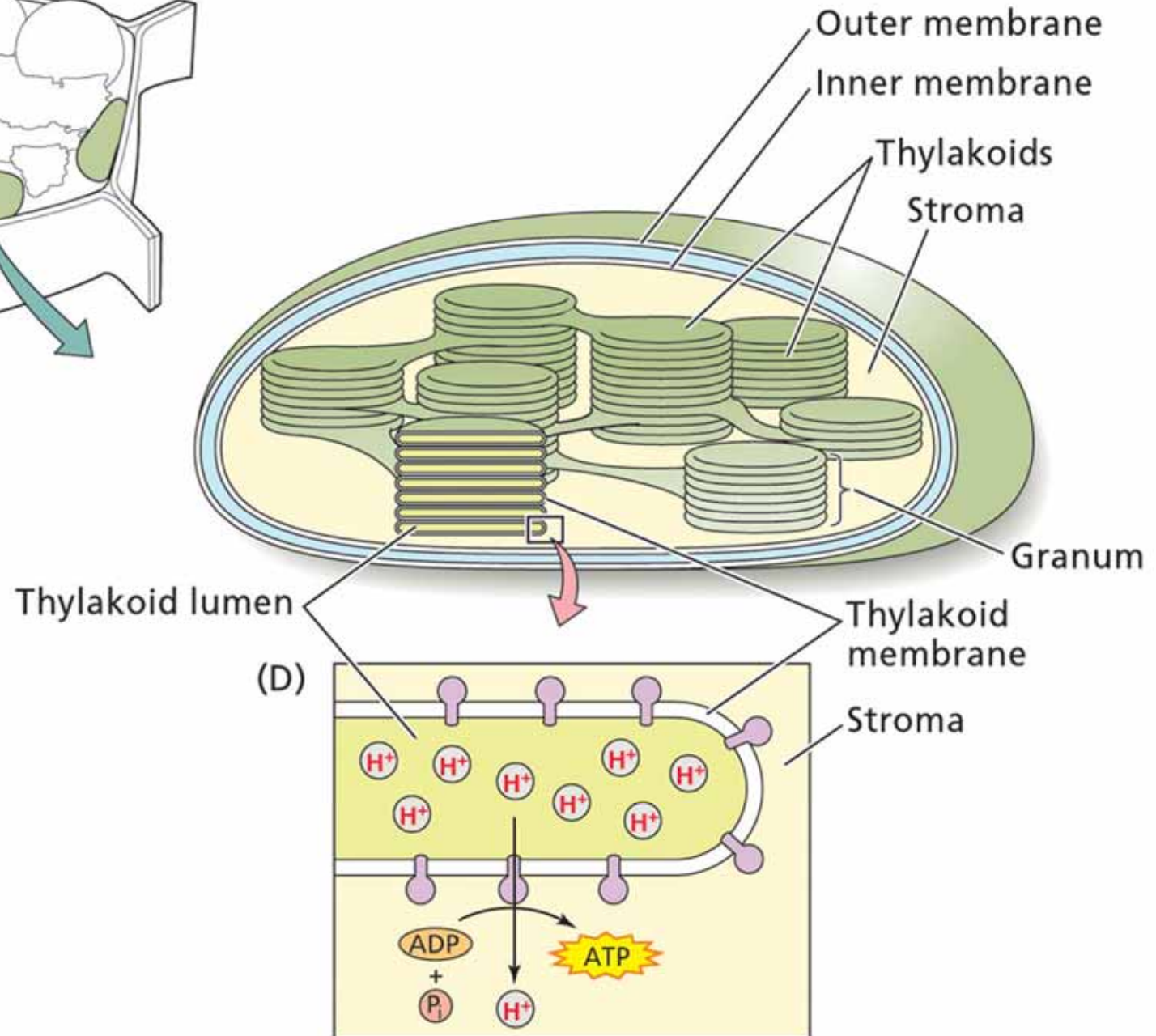
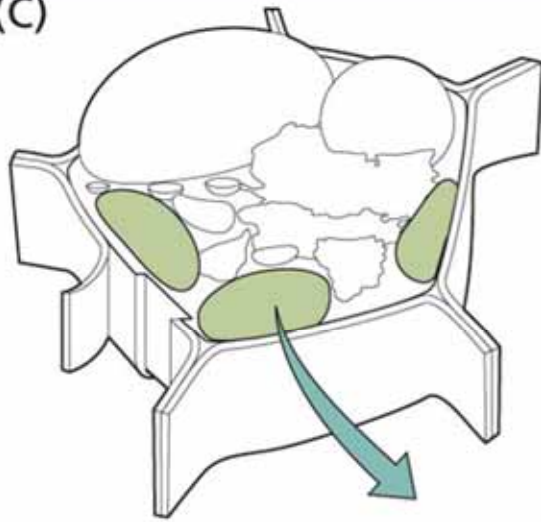


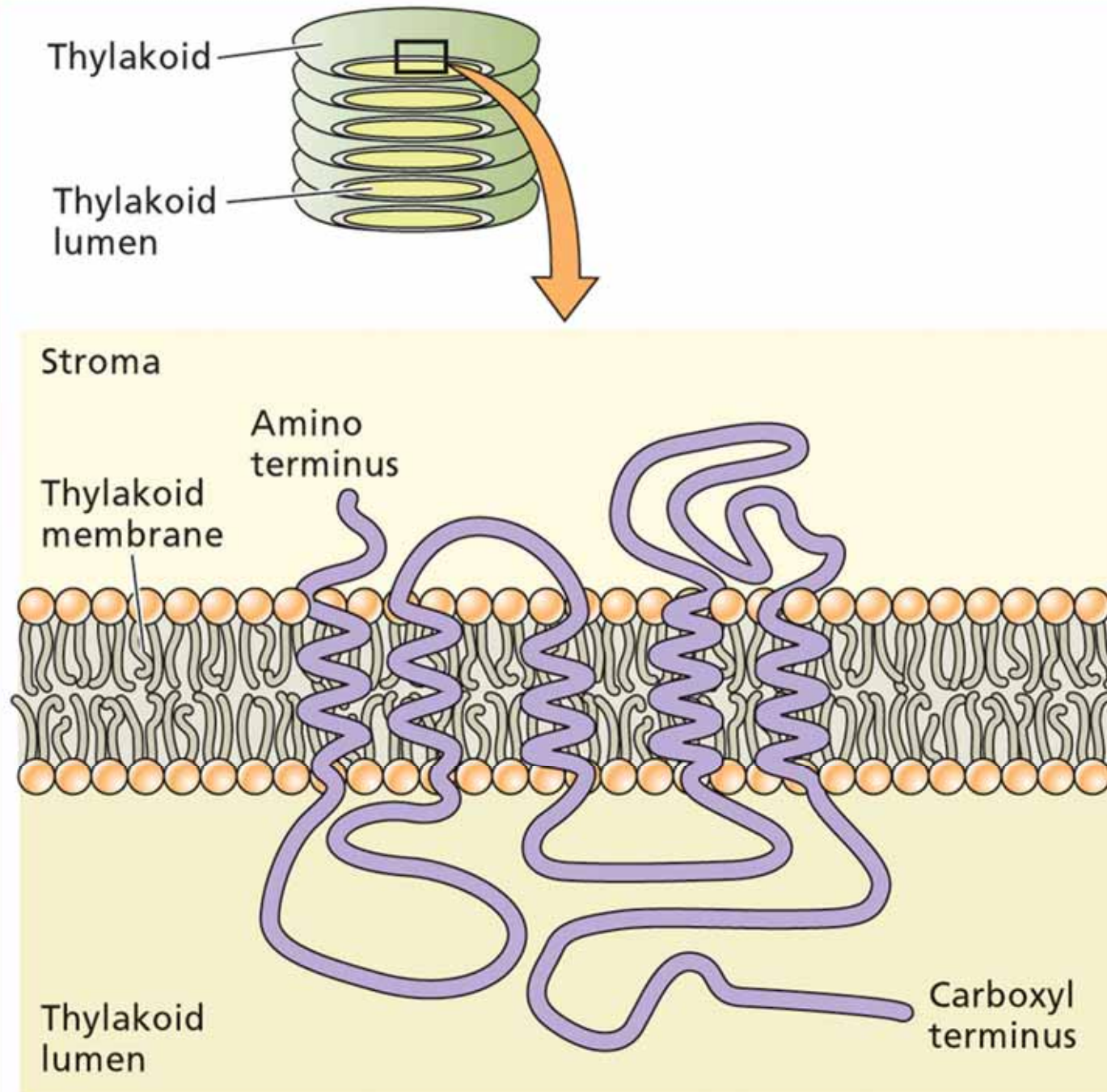
Chlorofyl *a*





(C)

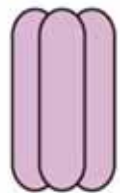
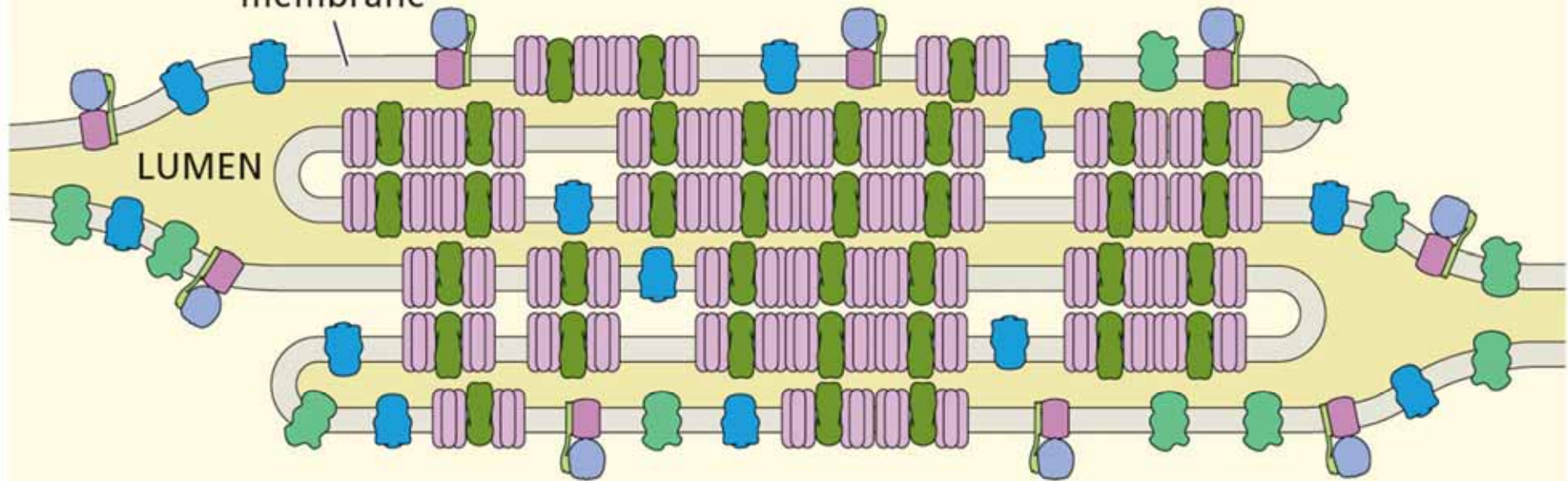




STROMA

Thylakoid
membrane

LUMEN



LHCII
trimer



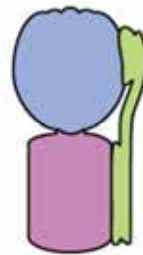
PSII



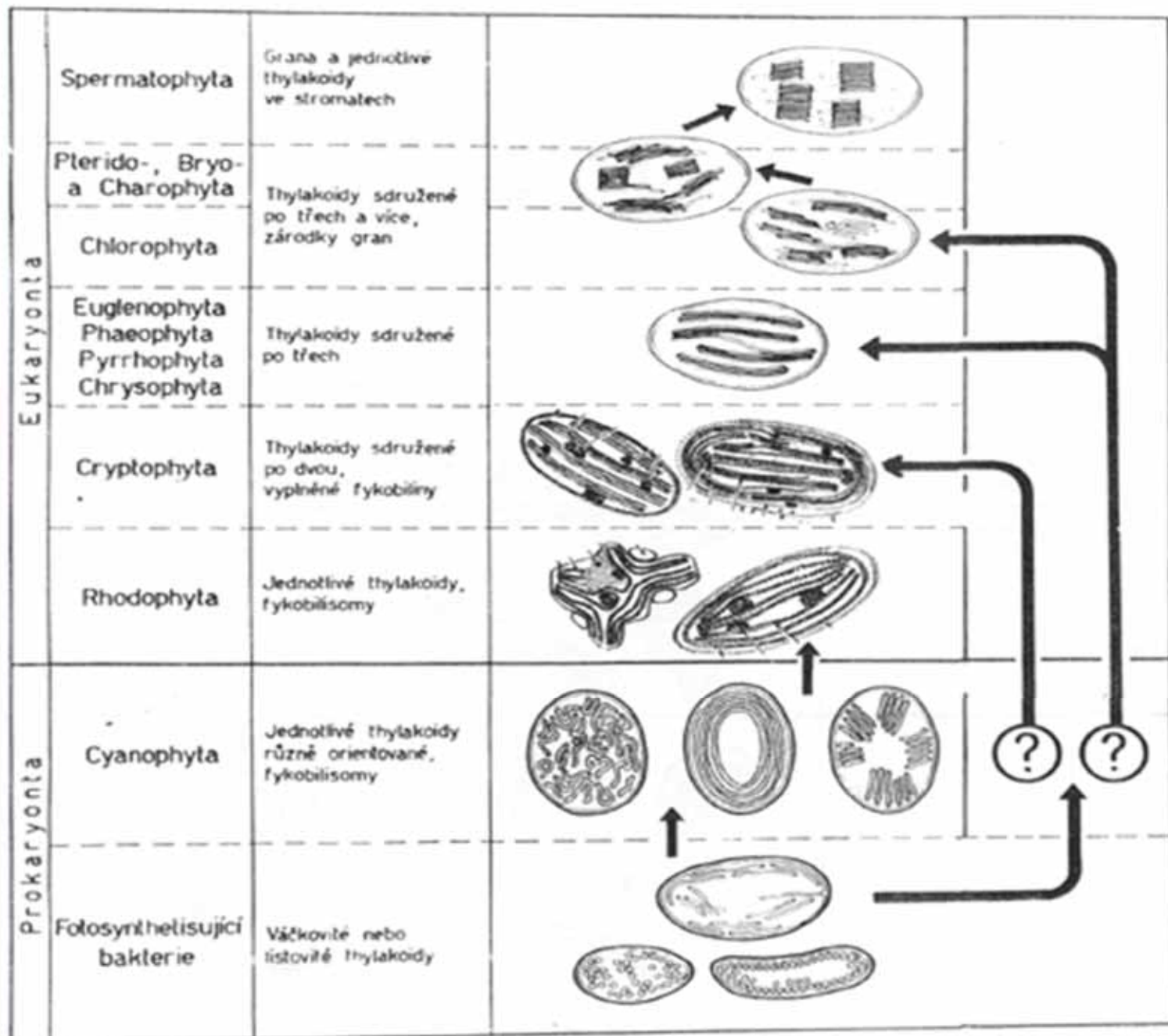
Cytochrome
b6f dimer



PSI



ATP synthase



VIDEO - CHLOROPLASTY

Energie fotonu = $h\nu = h c/\lambda$
Einstein (1905)

h = Planckova konstanta

$h = 6.626 \times 10^{-34}$ joule s^{-1}

ν = kmitočet /frekvence (Hz)

λ = vlnová délka (nm)

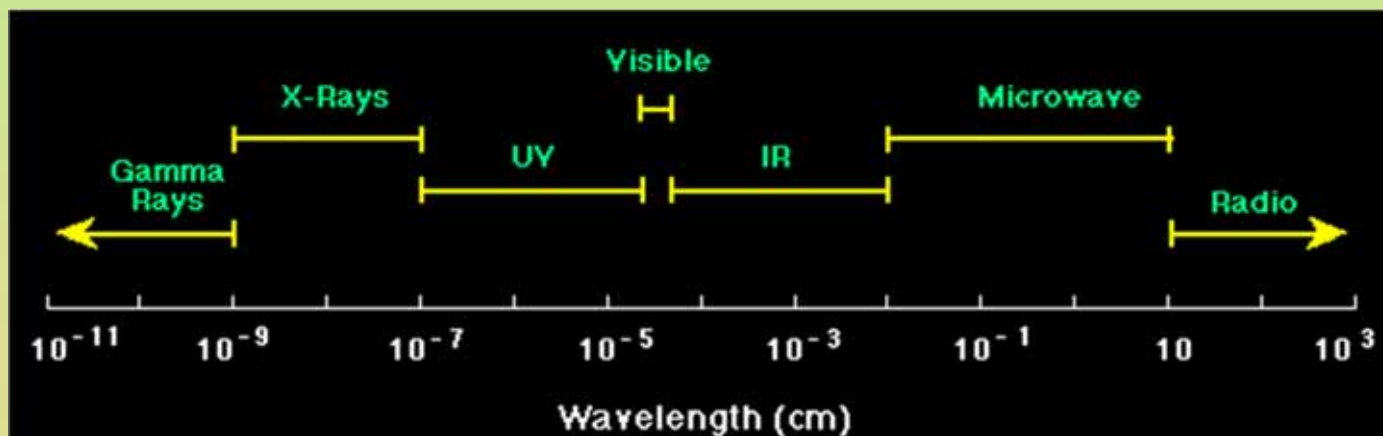
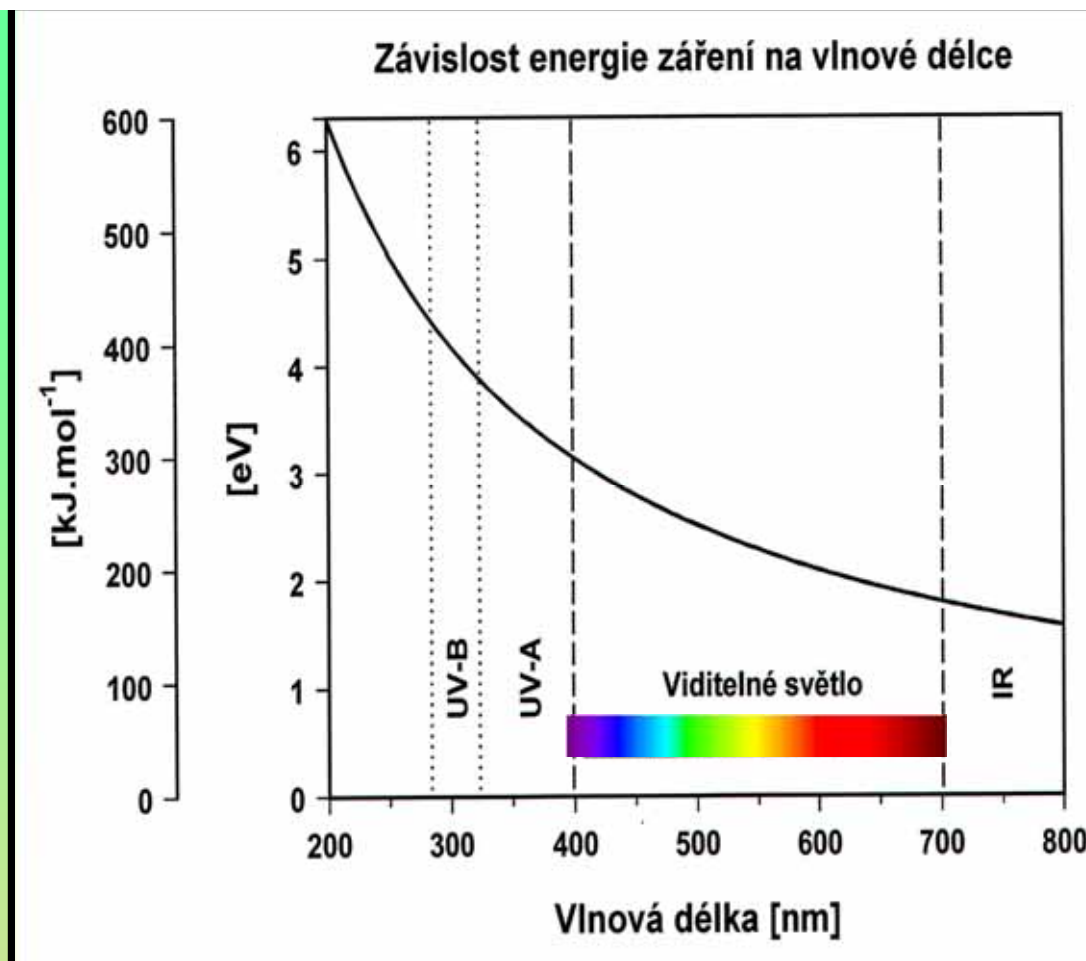
c = rychlost světla

Energie $\propto 1/\text{vlnová délka}$

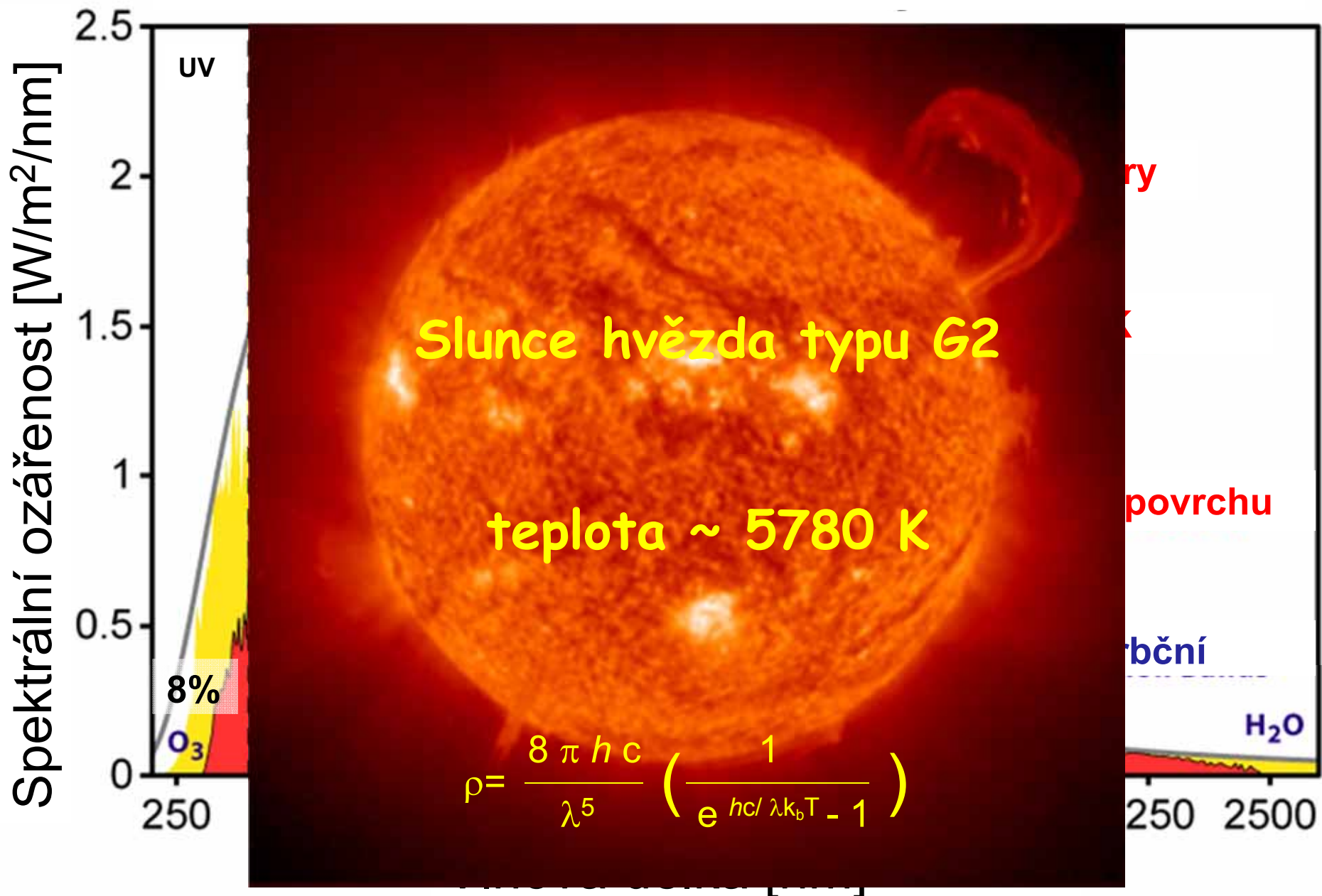
430 nm light	1 foton	3.0 eV
--------------	---------	--------

670 nm light	1 foton	1.7 eV
--------------	---------	--------

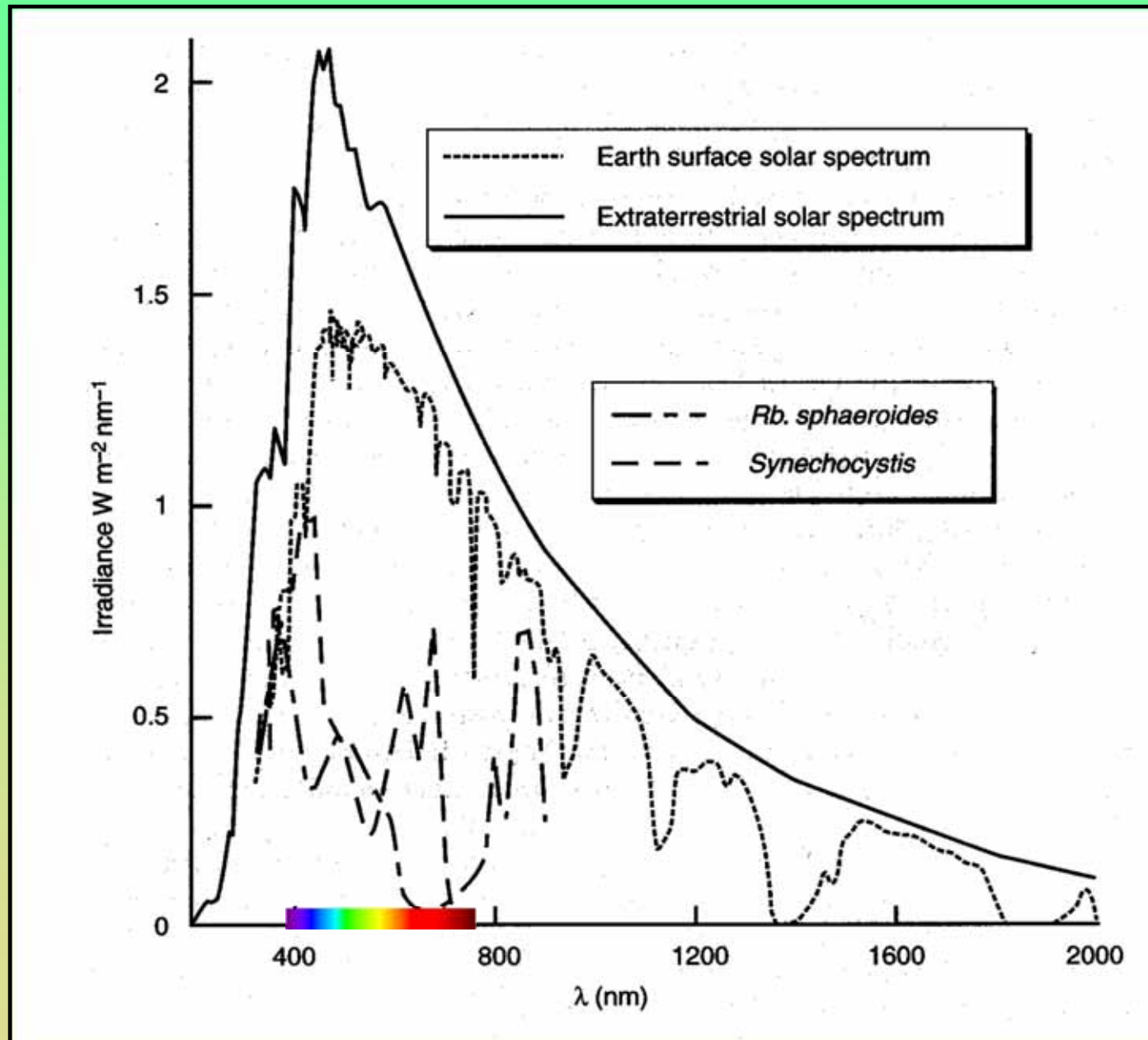
1 eV = energie potřebná k přenesení 1 e-
rozdílem potenciálů 1V



Spektrum slunečního záření

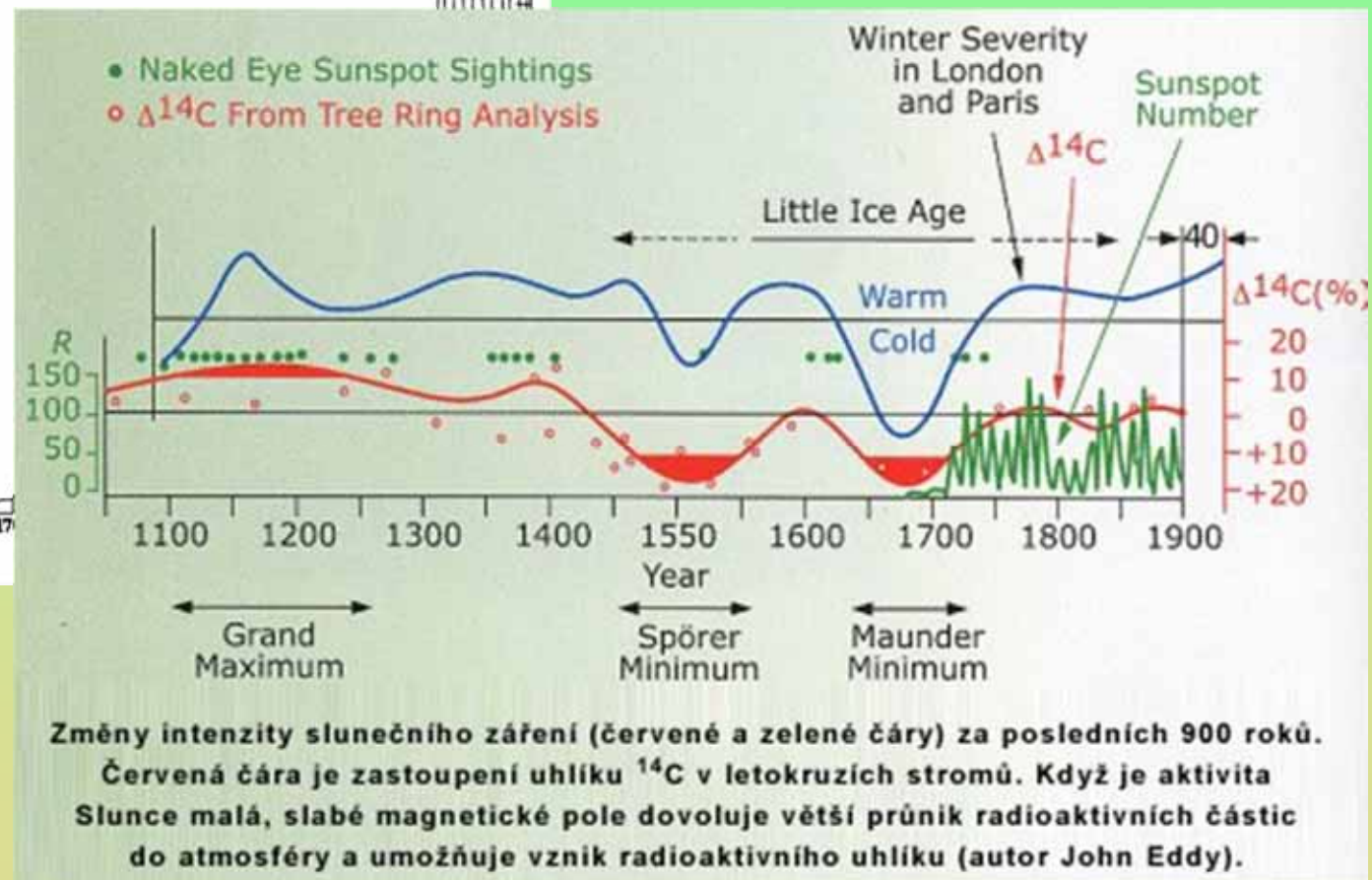
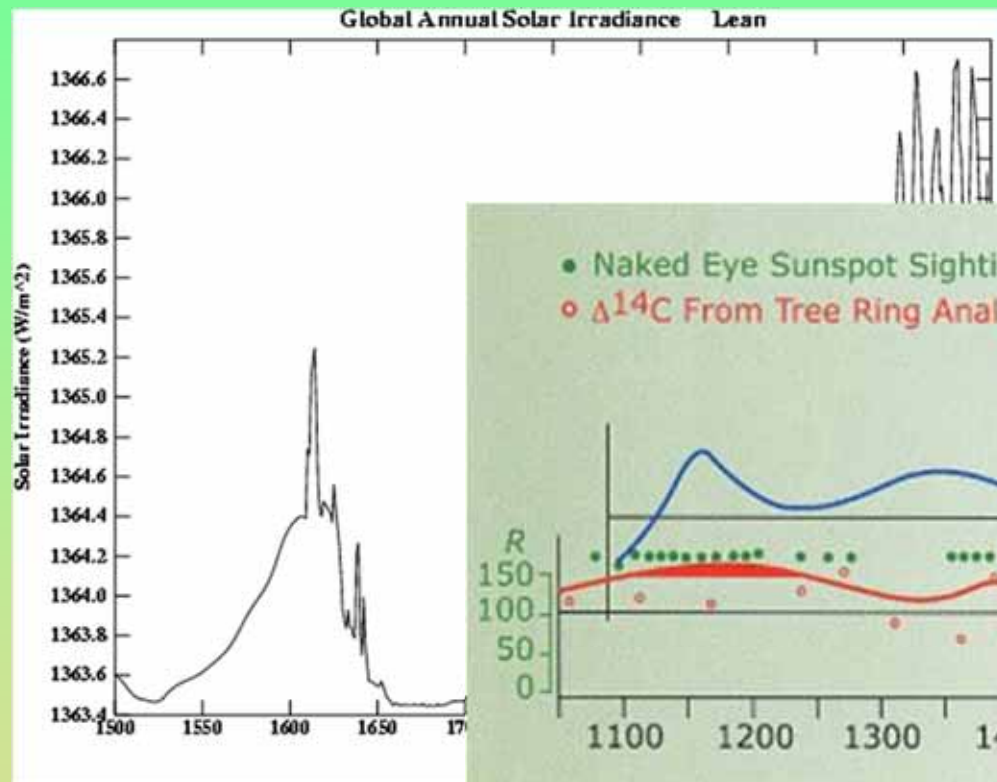


Spektrum dopadajícího slunečního záření

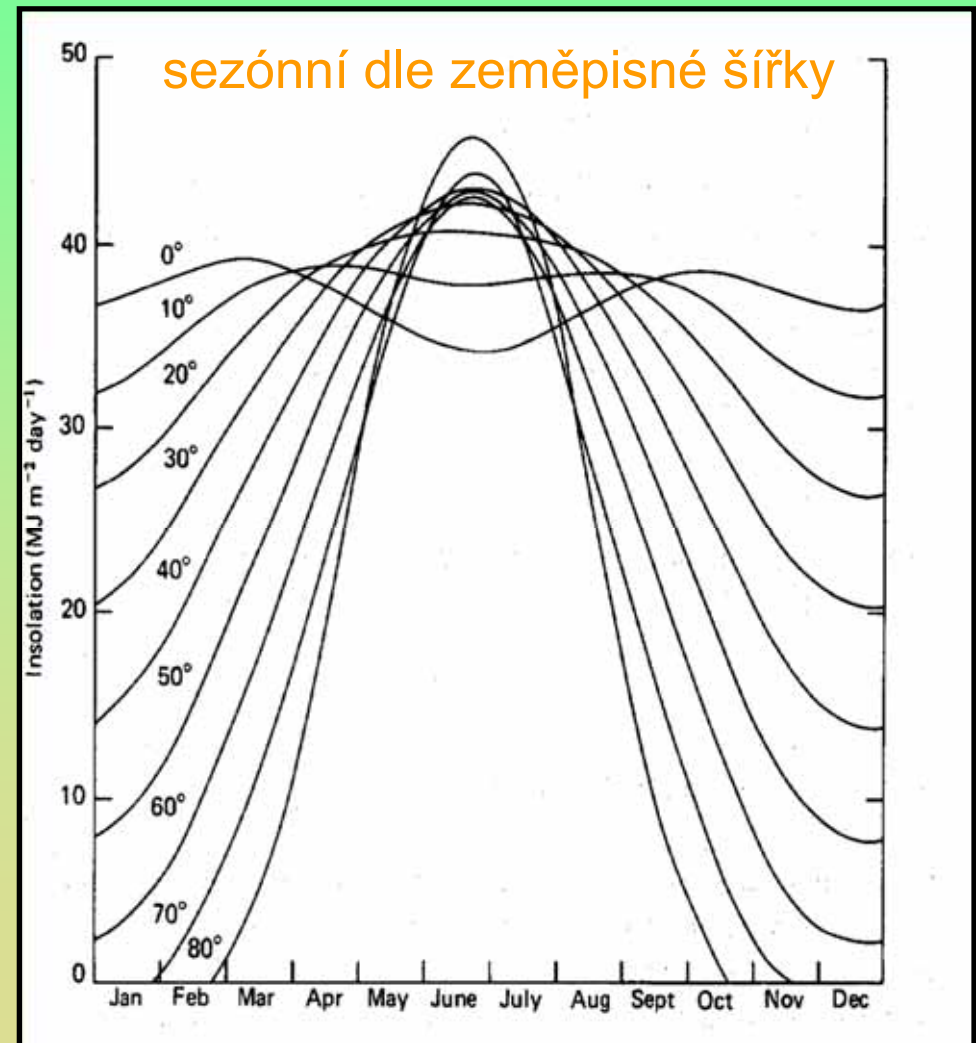
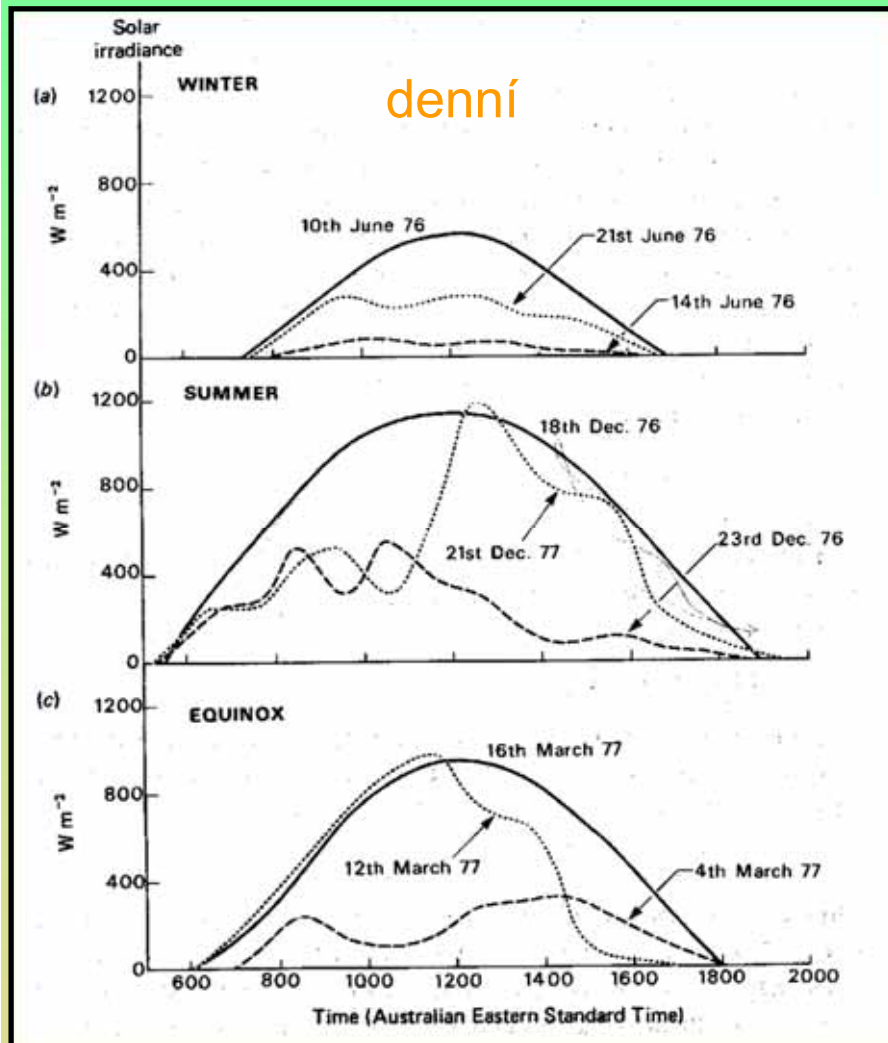


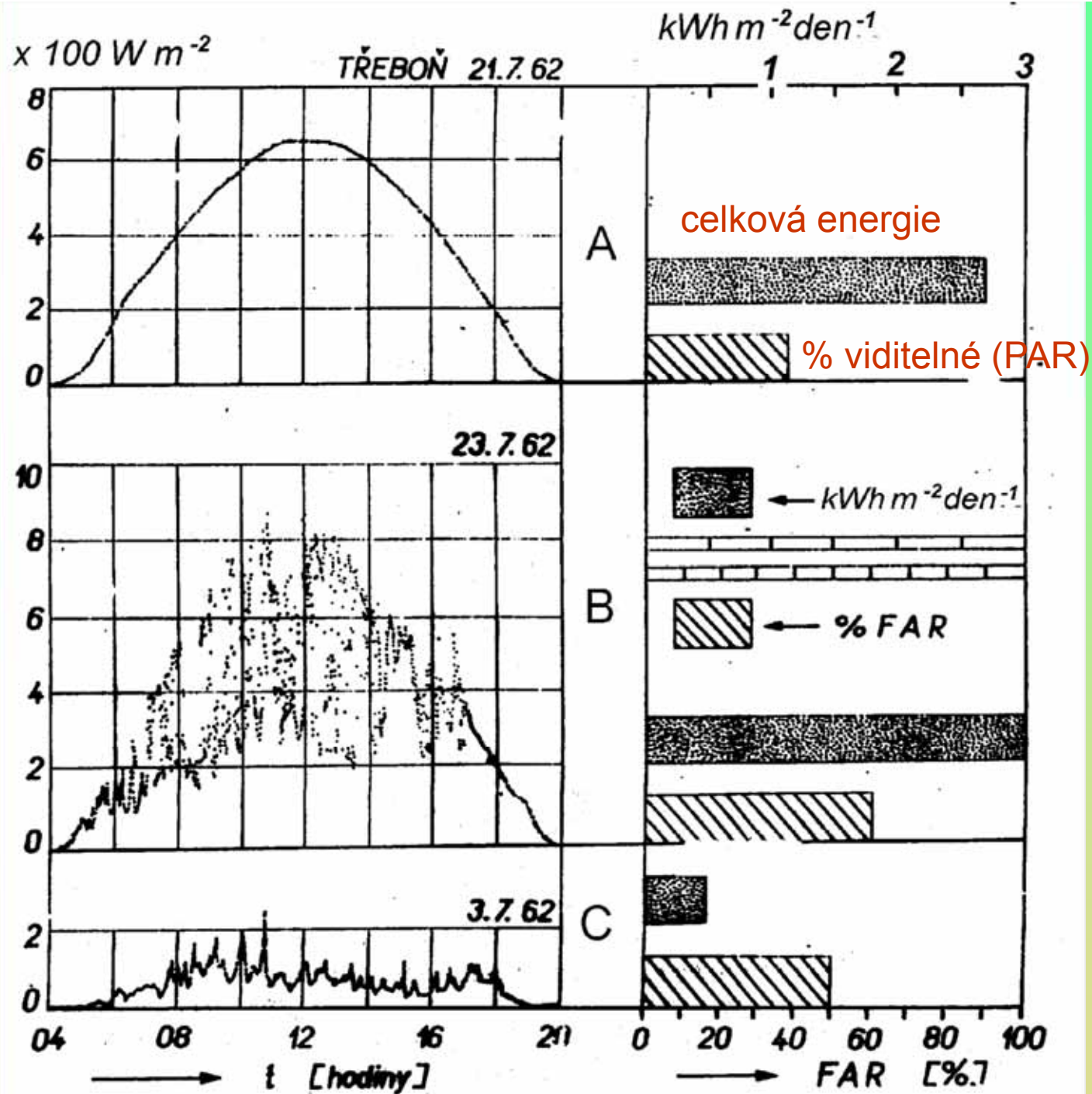
8% <400nm
47% >700nm
30% >1000nm

Solární konstanta 1373 Wm^{-2}
celkem $1,8 \cdot 10^{17} \text{ W}$

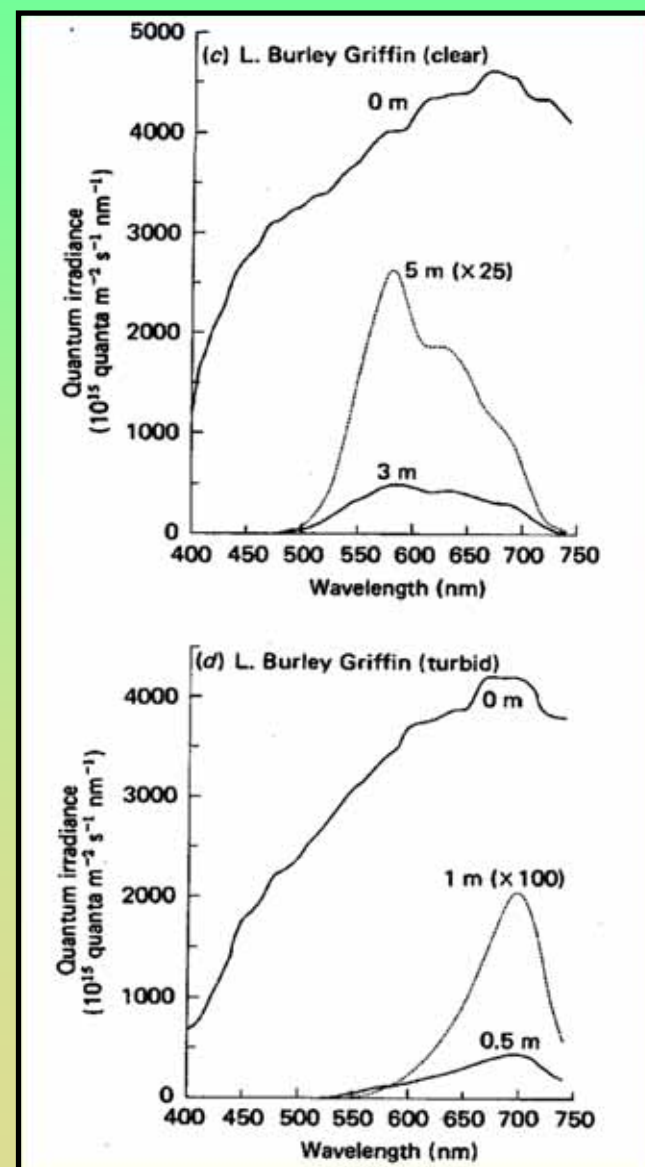
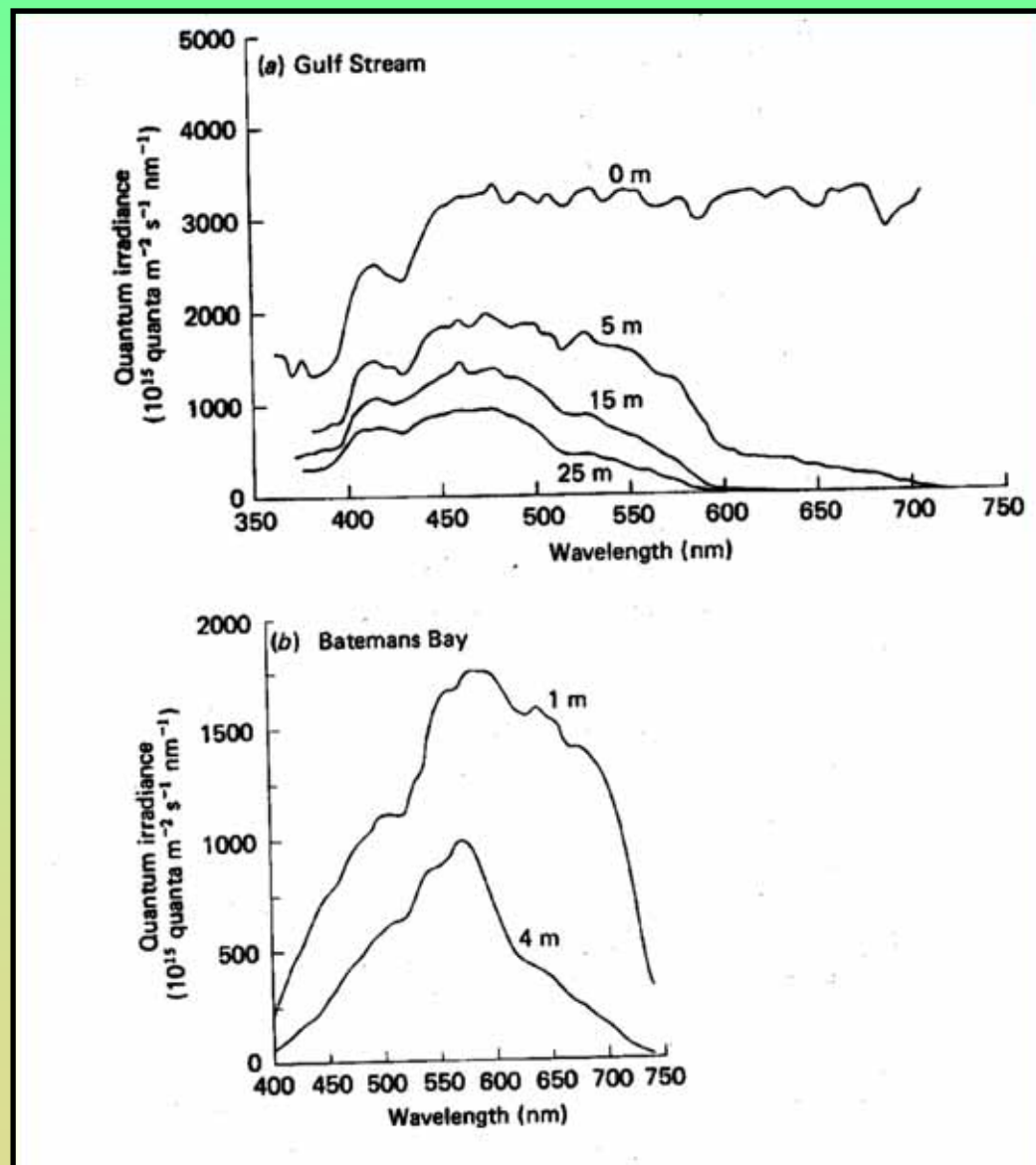


Variabilita množství dopadající světelné energie

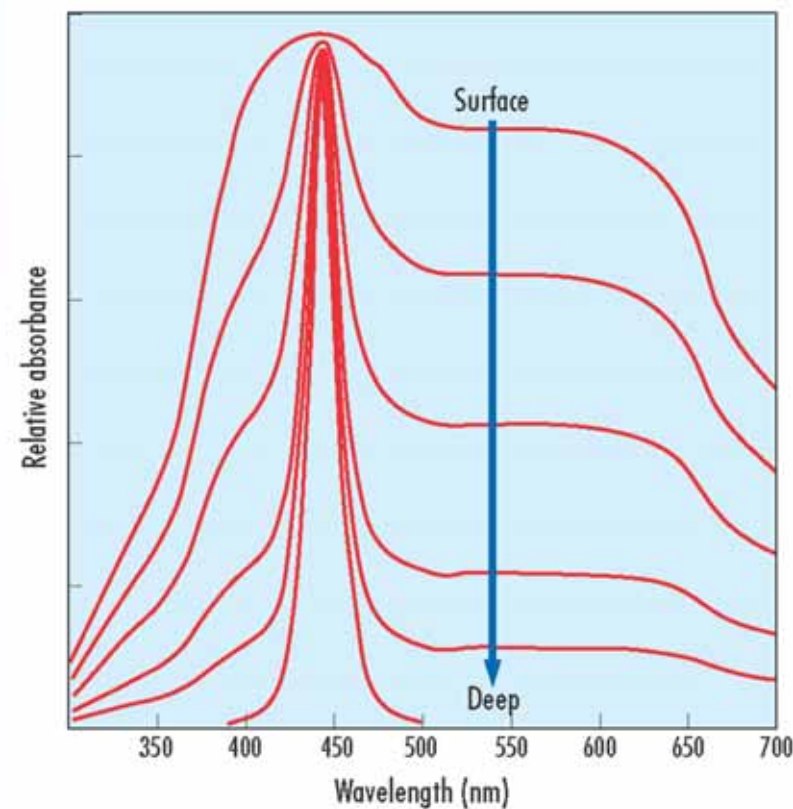
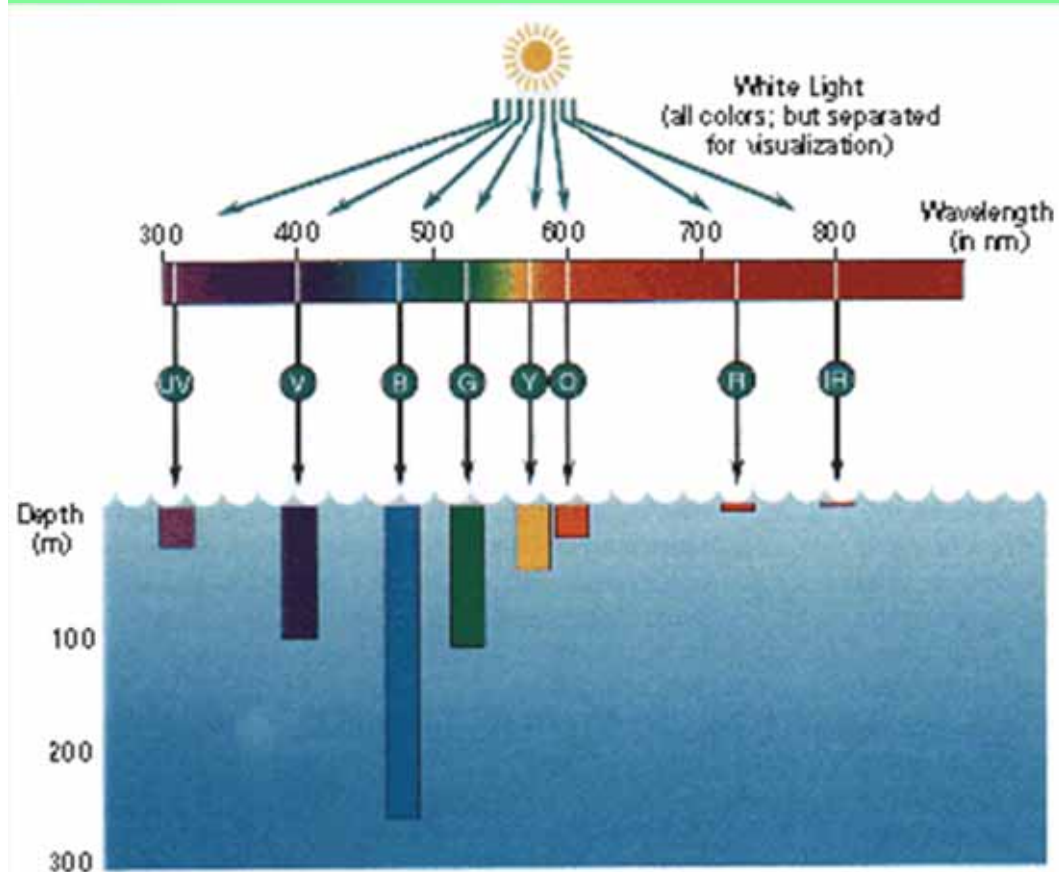




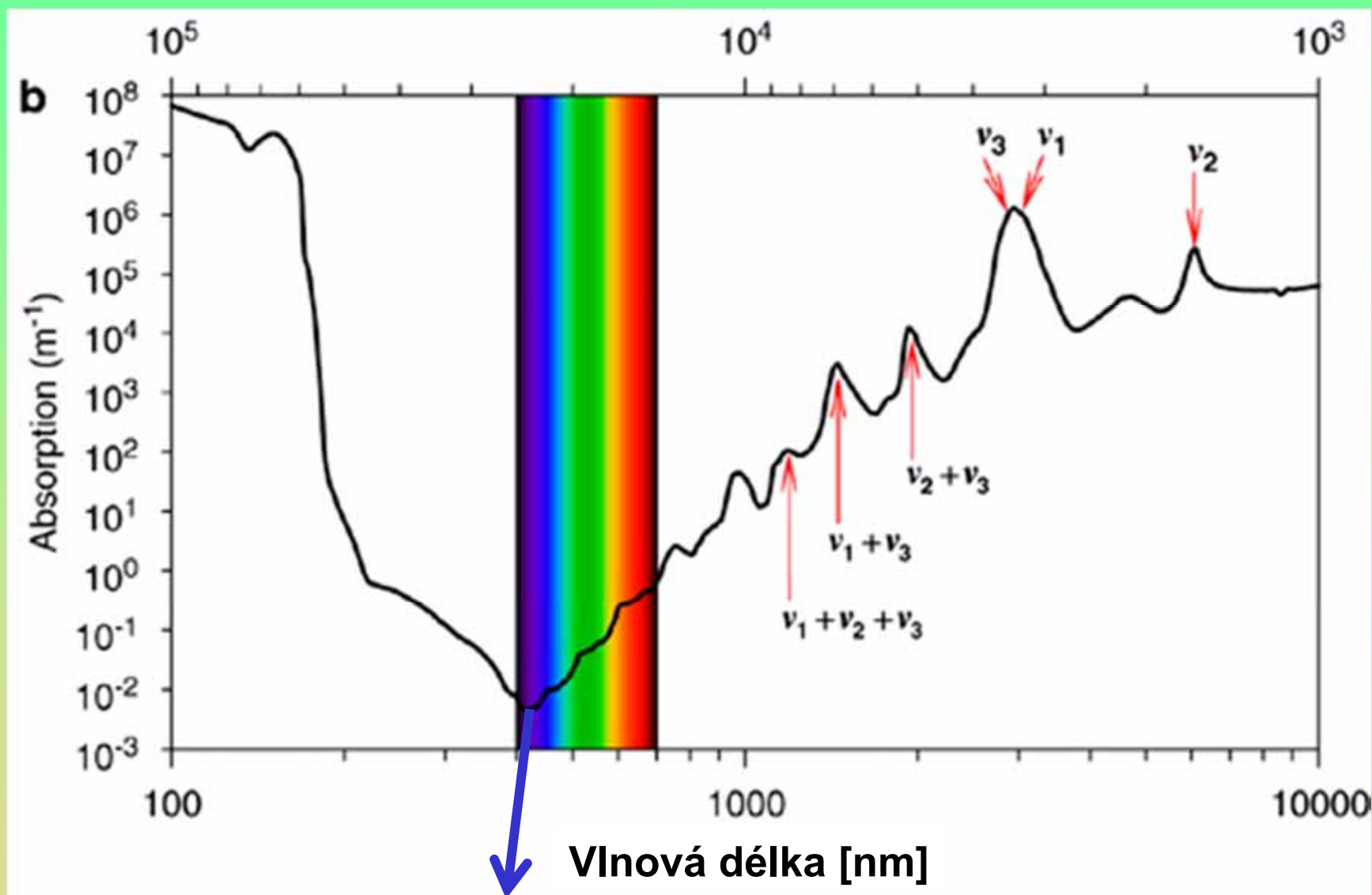
Spektrálně nehomogenní světelné pole ve vodě



Optické vlastnosti vody určují světelné spektrum



Absorbce světla v čisté vodě



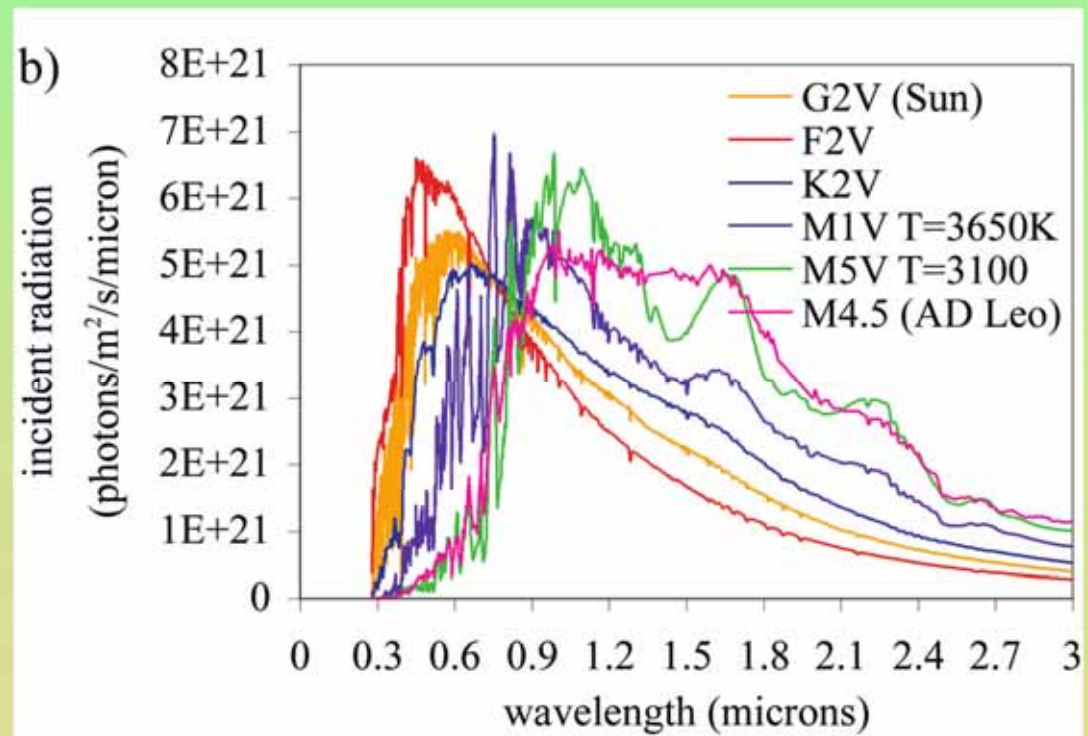
modré světlo je ve vodě absorbováno nejméně

Fotosyntéza na planetách mimo Sluneční soustavu?

*Rostliny na Marsu pravděpodobně nejsou převážně zelené, ale
krvavě rudé.*

H.G.Wells, Válka světů, 1989

>200 obřích planet
~ 20 planet podobných Zemi



Termodynamika nejen fotosyntézy...

1

1. Zákon

$$\Delta U = q + w$$

U – vnitřní energie, stavová funkce

udává zachování energie

Enthalpie $H = U + PV$

$$p = \text{konst.},$$

$$\Delta H = q_p$$

2. Zákon

udává které spontánní pochody jsou možné

entropie

$$S = k_b \ln W$$

při spontánním procesu S izolovaného systému roste

Gibbsova volná energie

$$G = H - TS$$

za podmínek **konst. p a T** je u spontánního procesu $\Delta G < 0$

změna volné energie je důležitou veličinou biochemických procesů

Termodynamika nejen fotosyntézy...

2

chemický potenciál μ

μ^0 molární volná energie

$RT \ln a$

$$\mu = \mu^0 + RT \ln a$$

$a \sim$ koncentraci látky

$$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln Q$$

v rovnováze $0 = \Delta G = \Delta G^0 + RT \ln K$

$$\Delta G^0 = -RT \ln K$$

$$K = [C] [D] / [A] [B]$$

pokud je $\Delta G^0 < 0$ pak $K > 1$

Redoxní reakce



$$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln ([A]_{\text{red}} [B]_{\text{ox}} / [A]_{\text{ox}} [B]_{\text{red}})$$

$$\Delta G = -nF\Delta E$$

převod mezi Jouly a Volty

Nernstova rovnice

$$\Delta E = \Delta E^0 - RT \ln ([A]_{\text{red}} [B]_{\text{ox}} / [A]_{\text{ox}} [B]_{\text{red}})$$

Termodynamika nejen fotosyntézy...

3

Redoxní reakce



$$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln ([A]_{\text{red}} [B]_{\text{ox}} / [A]_{\text{ox}} [B]_{\text{red}})$$

$$\Delta G = -nF\Delta E$$

převod mezi Jouly a Volty

Nernstova rovnice

$$\Delta E = \Delta E^0 - RT \ln ([A]_{\text{red}} [B]_{\text{ox}} / [A]_{\text{ox}} [B]_{\text{red}})$$

Table A2 Midpoint redox potentials for reactions of interest in photosynthesis

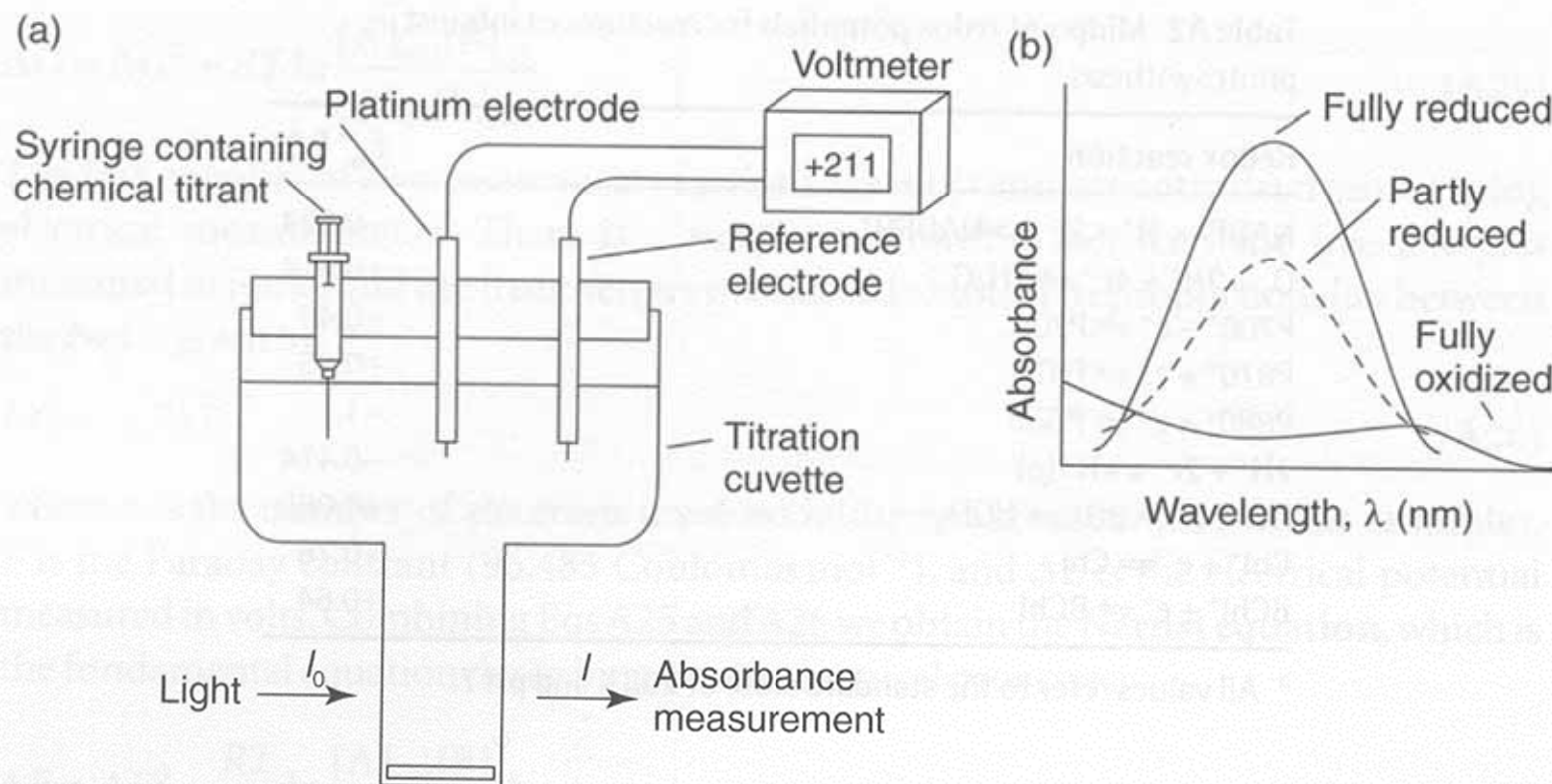
Redox reaction	E_m' (V) ^a
$\text{NADP}^+ + \text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{NADPH}$	-0.324
$\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	+0.816
$\text{P700}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{P700}$	+0.49
$\text{P870}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{P870}$	+0.45
$\text{P680}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{P680}$	~1.1
$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2 (\text{g})$	-0.414
$\text{UQ} + 2\text{e}^- + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{UQH}_2$	+0.060
$\text{Chl}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Chl}$	+0.78
$\text{BChl}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{BChl}$	+0.64

^a All values refer to the standard state of 298 K and pH 7.

„Midpoint“ potential

$$[A]_{\text{red}} = [A]_{\text{ox}}$$

Redoxní titrace



$$E_{\text{meas}} = E_A - E_{\text{ref}} = E_{\text{mA}} - 0,059/n \log [A]_{\text{red}}/[A]_{\text{ox}} - E_{\text{ref}}$$