

Biologie rostlinné buňky



**Oddělení
experimentální
biologie rostlin**

1. Podstata buněk

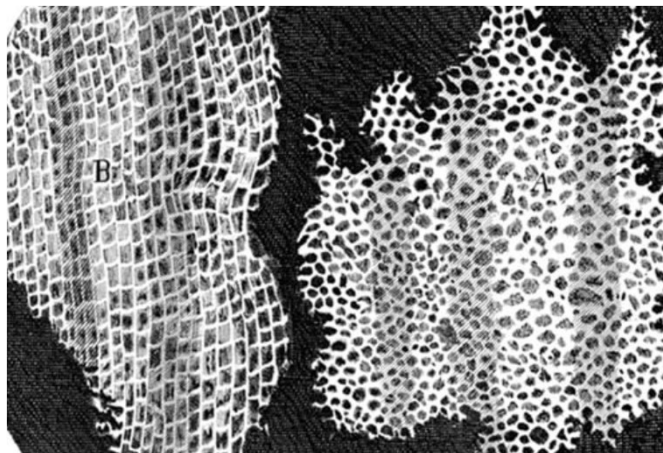
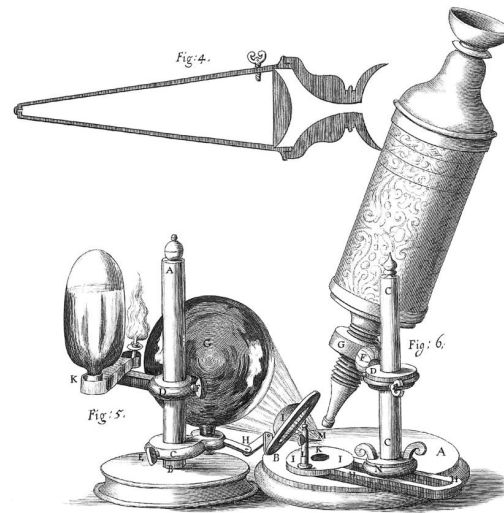
- ▶ Úvod: Co je to buňka?
 - ▶ Základní jednotka života
- ▶ Univerzální znaky buněk na Zemi
- ▶ Chemické složení buněk
- ▶ Velikost buněk
- ▶ Energetika buněk
- ▶ Původ života (a vesmíru)

- ▶ Jedinečné vlastnosti eukaryot
 - ▶ Strukturní a funkční rozdíly mezi eukaryotickými buňkami
 - ▶ Endosymbiotický původ chloroplastů a mitochondrií
- ▶ Co je buněčná biologie (*cell biology*)?



Úvod: Co je to buňka?

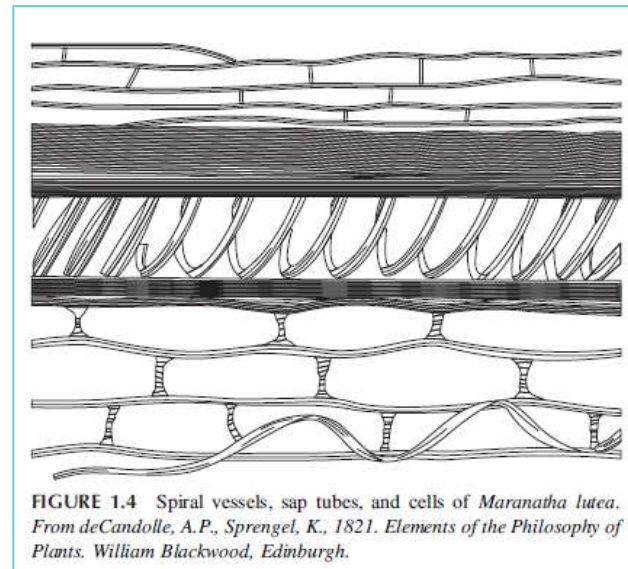
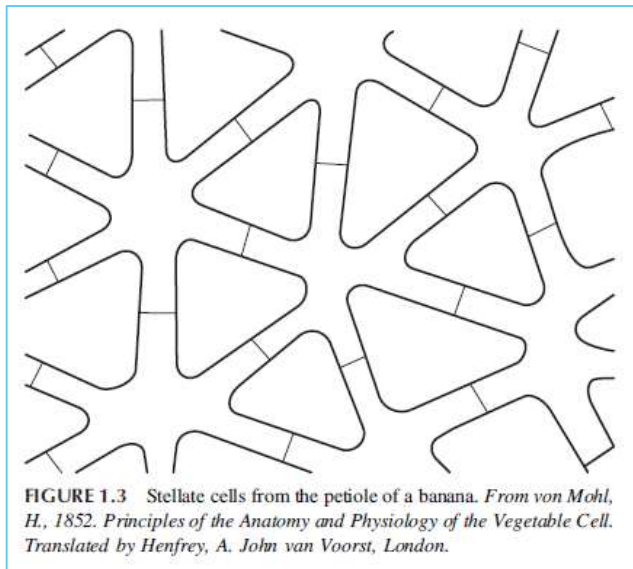
- ▶ Robert Hooke (1665) jeho vynález mikroskopu vedl k objevu buňky.
 - ▶ Pozoroval korek - pravidelná, opakující se struktura, kterou nazval *buňka*.



- ▶ Slovo buňka pochází z latinského *celle*, což znamenalo „malý byt”, cela...
- ▶ Předpona *cytos*, což v řečtině znamená „duté místo“.

Úvod: Co je to buňka?

- ▶ Robert Brown (1833) - objevil **jádro**, neprůhlednou skvrnu v buňkách epidermis orchidejí
 - ▶ “*Brownian motion*” - náhodný pohyb částic
- ▶ Hugo von Mohl (1852) „*Principles of the Anatomy and Physiology of the Vegetable Cell*“ první učebnice věnovaná biologii rostlinných buněk,
 - ▶ rostlinné buňky skutečně nejsou při pozorování optickým mikroskopem prázdné, ale obsahují **jádro** a „opak (aj. *opake*)“, vazkou tekutinu bílé barvy, v níž jsou promísená zrna, kterou nazývám protoplazma. “



- ▶ buňky mají různé tvary a dávají vzniknout všem strukturám (pletivům) v rostlině včetně floému a xylému

Úvod: Co je to buňka?

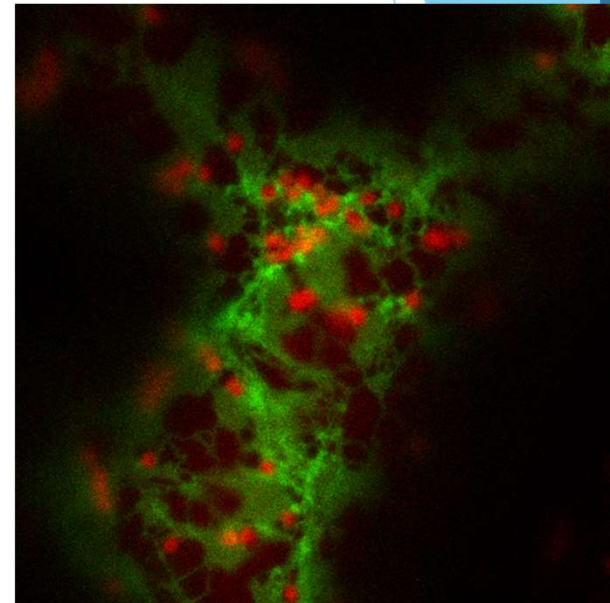
- ▶ Hugo von Mohl zdůraznil vitalitu buněk, upozornil, že buňky byly obdařeny schopností vykonávat **všechny druhy pohybů**.
- ▶ K pohybu dochází na **všech úrovních**, od molekulární po celou buňku.
- ▶ **Rostliny se na rozdíl od zvířat nepohybují?!**

TRUE OR FALSE?!

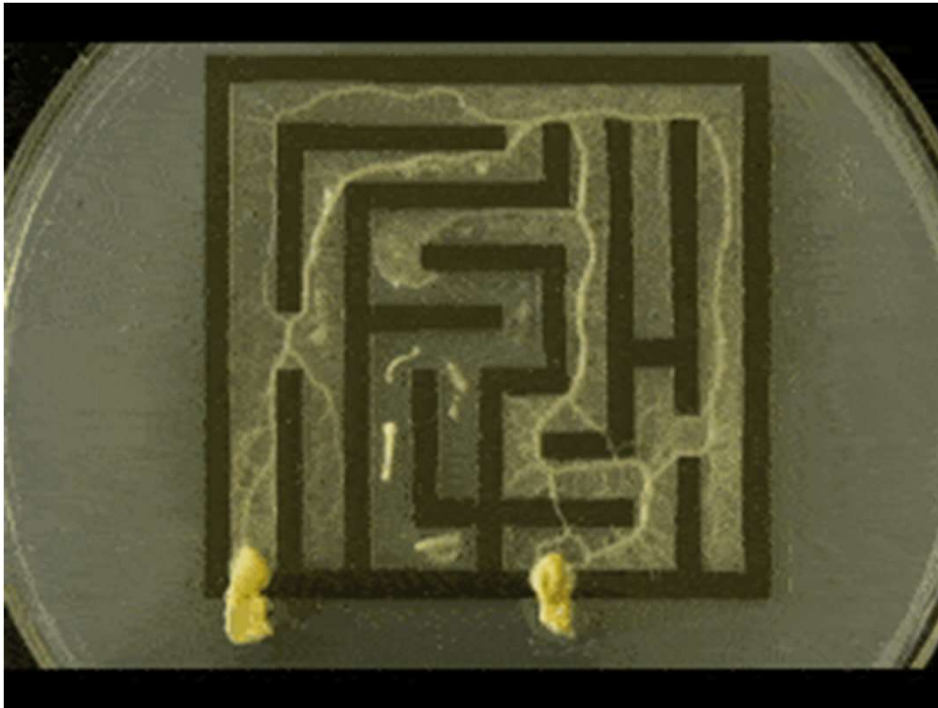


Jednobuněčná řasa, např. *Dunaliella* plave asi 50 $\mu\text{m/s}$, což odpovídá pěti délkám těla za sekundu.

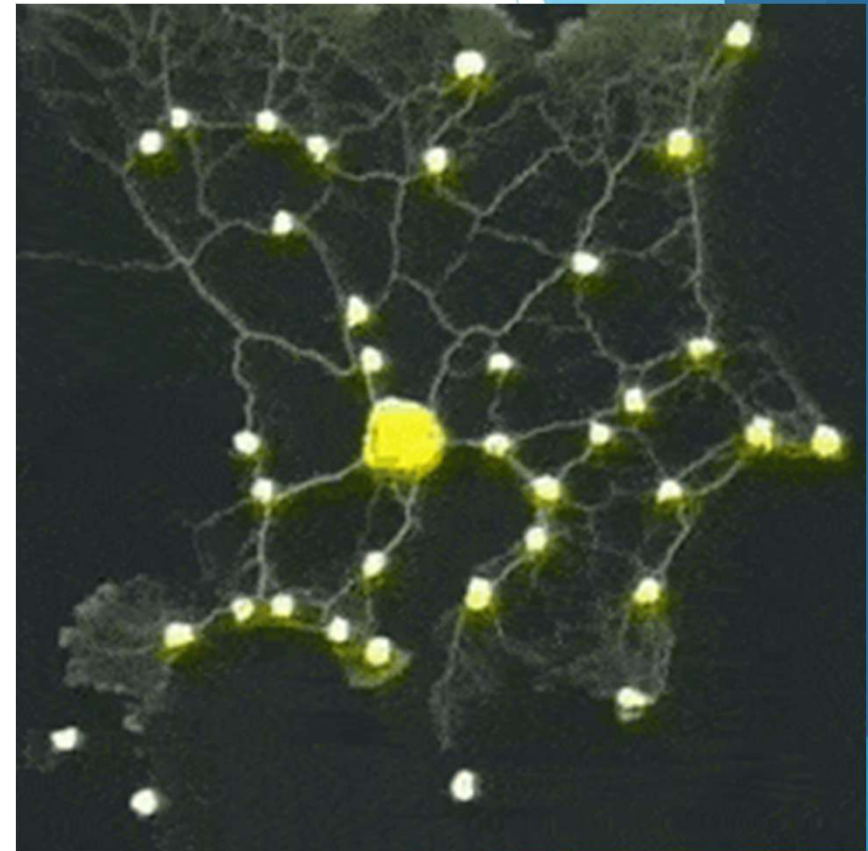
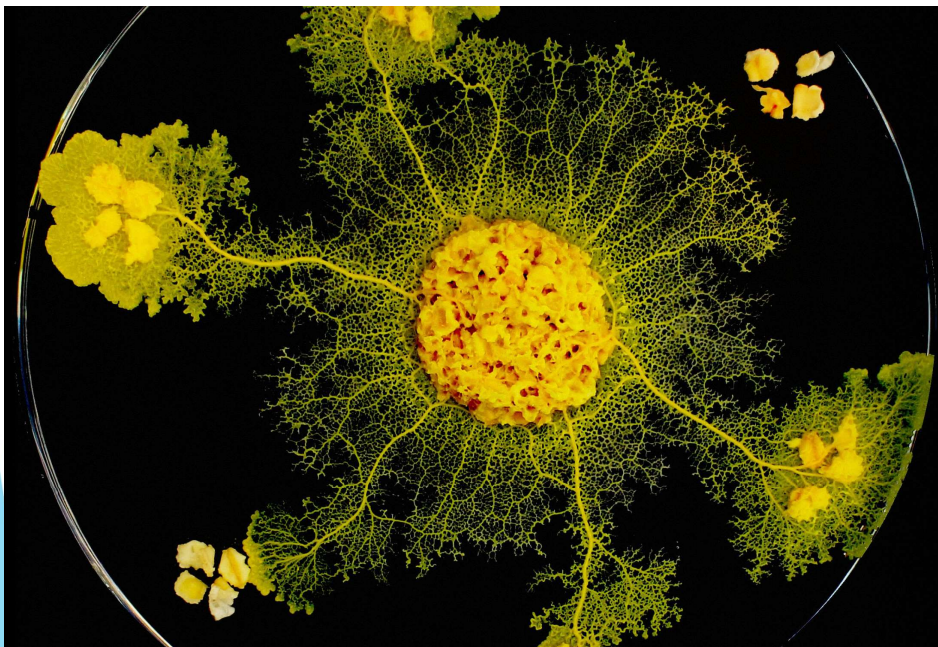
Může změnit pohyblivost chování v reakci na vnější podněty (světlo).



- ▶ Některé buňky, zejména buňky vyšších rostlin, zůstávají statické
 - ▶ uzavřeny v nepohyblivé **buněčné stěně**.
- ▶ Uvnitř buňky však protoplazma rychle proudí rostlinnou buňkou, fenomén známý jako **cytoplazmatické proudění (cytoplasmic streaming)**.
- ▶ Velké jednobuněčné plazmodium slizovky (*slime mold*) *Physarum polycephalum*
 - ▶ jeho cytoplazma proudí přibližně 2000 $\mu\text{m/s}$ směrem k jídlu



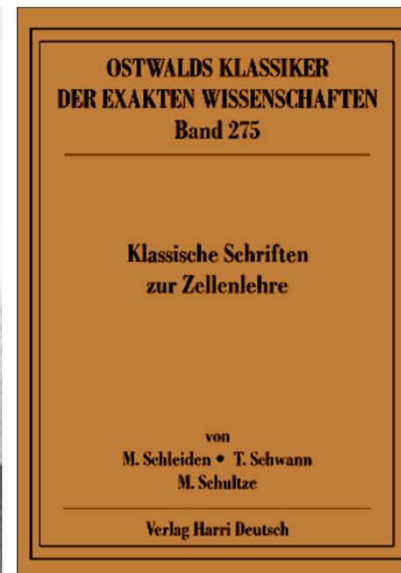
- ▶ *Brainless Physarum* umí najít cestu ven z bludiště i zoptimalizovat železniční síť (Tokio)!!!



- ▶ ***Ig Nobel Prize!***
(by Annals of Improbable Research)

Buňka je základní jednotka života

- ▶ Před 1824, *organické částice* nebo *vegetativní síla*, která je organizovala, byly považovány za základní jednotku života; a sluneční světlo za *vitální sílu*.
- ▶ Henri Dutrochet (1824) zdůraznil význam **buňky**, na rozdíl od živých částic nebo celého organismu, jako **základní jednotky života** (*the basic unit of life*).
 - ▶ Z jeho mikroskopických pozorování vyplynulo, že „*rostliny pocházejí výhradně z buněk nebo z orgánů, které jsou zjevně odvozeny z buněk*“. Svá pozorování rozšířil na zvířata a dospěl k závěru, že všechny organické bytosti se „*skládají z nekonečného množství mikroskopických částí*“.
- ▶ V roce 1838 „**buněčnou teorii = buňka je základní jednotkou živých tkání**“ prosadili botanik Matthias Schleiden a zoolog Theodor Schwann.



Buňka obecně je nejmenší jednotka schopná provádět všechny procesy spojené se životem.

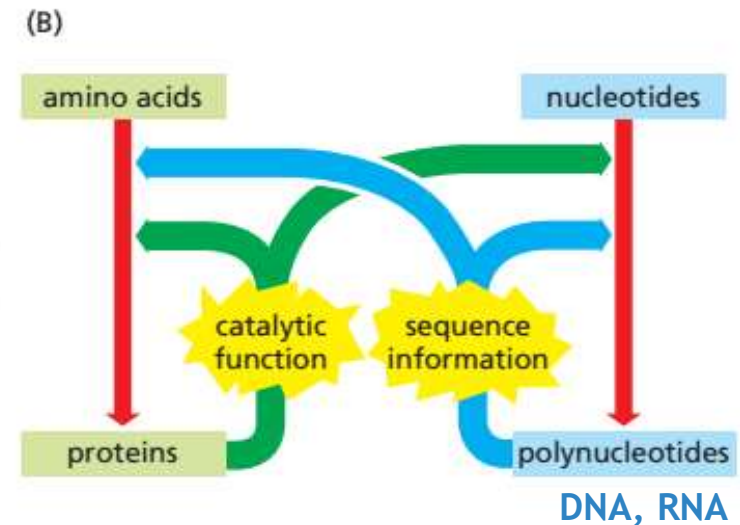
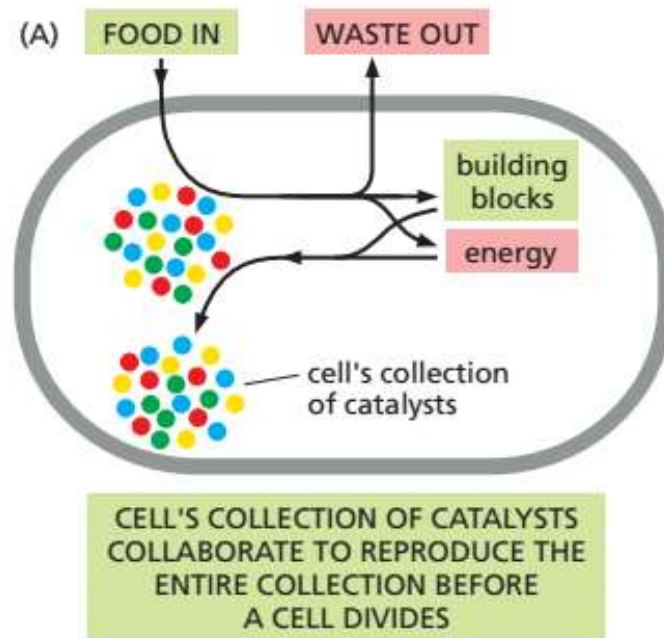
“What is life?”

- ▶ Různé objekty na Zemi se často dělí do dvou kategorií: **živých i neživých**. Zkoumání buněk nám proto může poskytnout metodu k pochopení otázky, **“Co je život?”**
 - ▶ Schopnost pohybu je charakteristickým aspektem *živé hmoty (living matter)*.
 - ▶ Živá hmota: vyrábí energii, přijímá živiny z vnějšího prostředí a syntetickými reakcemi přeměňuje anorganické prvky na živou hmotu.
 - ▶ Živá hmota také vylučuje hmotu, která by pro ni byla toxická.
 - ▶ Živá hmota obsahuje informace, a má tedy schopnost se reprodukovat s téměř dokonalou věrností.
 - ▶ Živá hmota se samoreguluje, je schopná vnímat signály z prostředí a reagovat na ně, aby si udržela homeostázu nebo se přizpůsobila novým podmínkám.



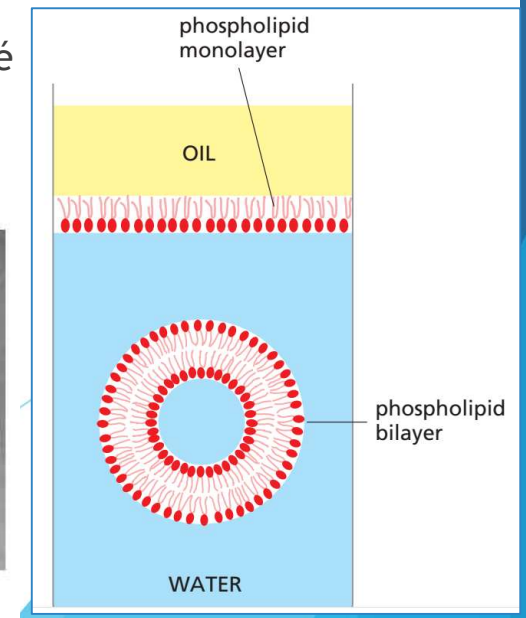
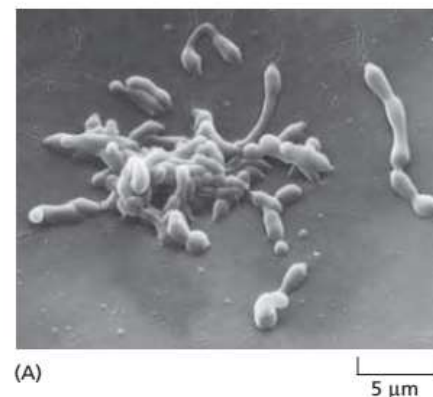
Život jako autokatalytický proces

- ▶ Život vyžaduje volnou energii



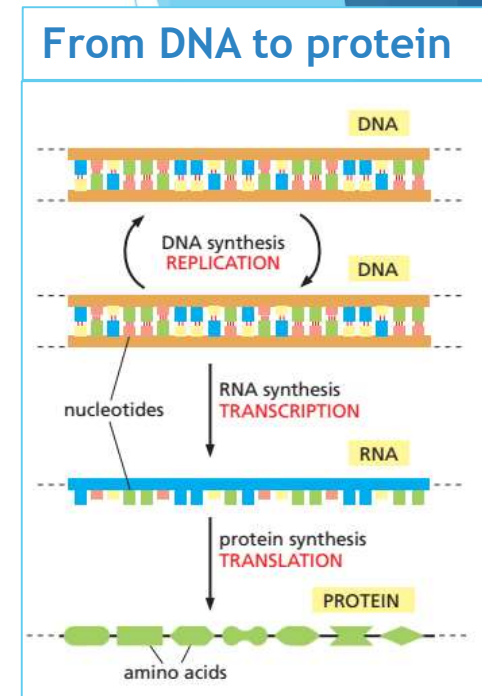
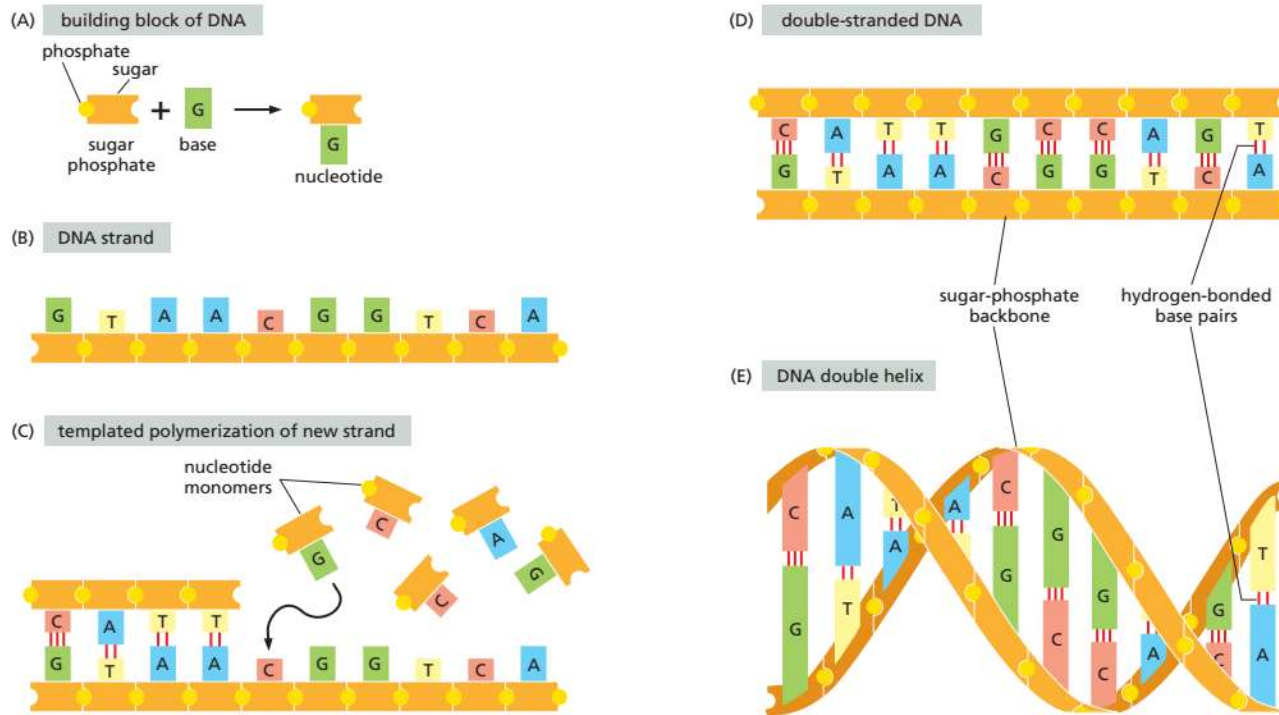
- ▶ Živá buňka je dynamický chemický systém fungující daleko od chemické rovnováhy (*chemical equilibrium*).
- ▶ Všechny buňky jsou jako **biochemické továrny** fungující se stejnými základními molekulárními stavebními bloky.
- ▶ Všechny buňky jsou uzavřeny v **plazmatické membráně**, přes kterou jdou živiny a odpad.
- ▶ Živá buňka může existovat s méně než 500 geny.

Jeden z nejmenších známých genomů bakterie Mycoplasma genitalium (parazit u savců)



Univerzální znaky buněk na Zemi

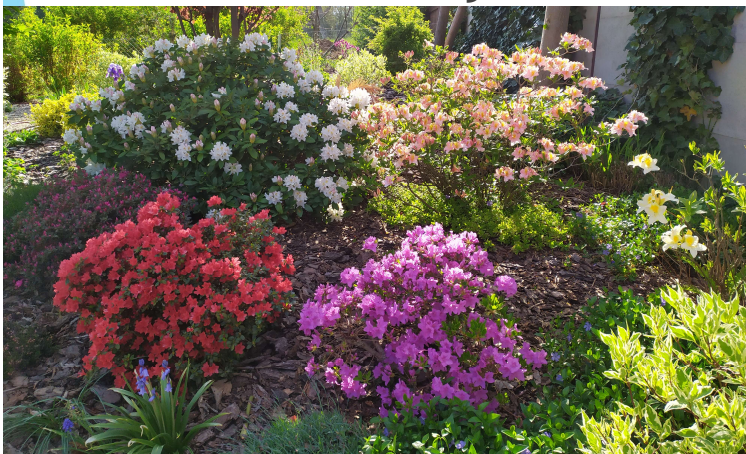
- ▶ Všechny buňky uchovávají své **dědičné informace** ve stejném lineárním chemickém kódu: **DNA**



- ▶ Všechny buňky **replikují** svou dědičnou informaci polymerací podle templátu.
- ▶ Všechny buňky **přepisují** části své dědičné informace do stejné intermediární formy: RNA.
- ▶ Všechny buňky používají jako **katalyzátory proteiny**.
- ▶ Všechny buňky **překládají** RNA na protein stejným způsobem.
- ▶ Každý protein je kódován **specifickým genem**.

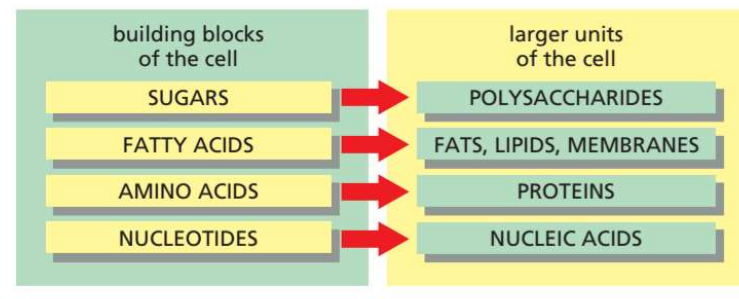
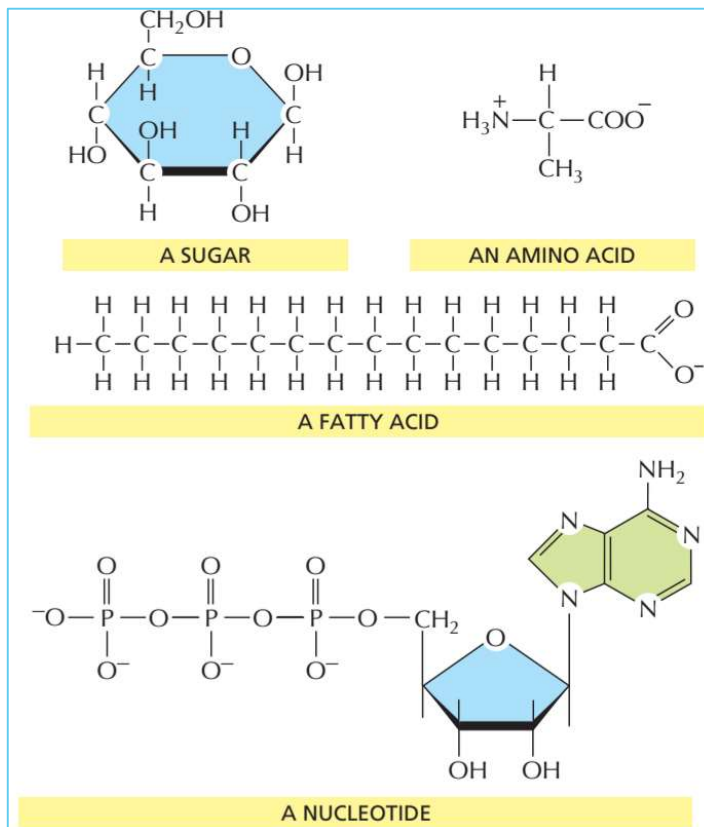
Univerzální znaky buněk na Zemi

- ▶ Odhaduje se, že na Zemi dnes žije **10-100 milionů druhů**.
- ▶ Každý druh je jiný a každý se přesně reprodukuje a poskytuje potomstvo (progeny), které patří ke stejnému druhu.
 - ▶ Tento **fenomén dědičnosti** je ústředním bodem **definice života**: odlišuje život od jiných procesů, jako je růst krystalu nebo hoření svíčky nebo tvorba vln na vodě...
- ▶ Většina živých organismů jsou *jednotlivé buňky*.
- ▶ *Mnohobuněčné organismy* (jako my), ve kterých skupiny buněk vykonávají specializované funkce spojené složitými komunikačními systémy.
- ▶ Celý organismus byl vytvořen buněčným dělením z **jediné buňky**.
- ▶ Jediná buňka je nosičem dědičné informace, které definují každý druh.



Chemické složení buněk

- ▶ Živé buňky jsou vyrobeny ze stejných prvků jako v anorganickém světě. Buňky jsou však primárně vyrobeny z **uhlíku (C)**, **vodíku (H)** a **kyslíku (O)**.
 - ▶ Speciální fyzikálně-chemické vlastnosti těchto prvků a jejich sloučenin umožňují existenci života, jak jej známe (Lawrence Henderson, 1917).
- ▶ Většina O a H v buňkách existuje jako **voda**, která poskytuje prostředí.
- ▶ Atomy **C, O, H, N, S, P** jsou sloučeny do makromolekul, které tvoří základ buňky.



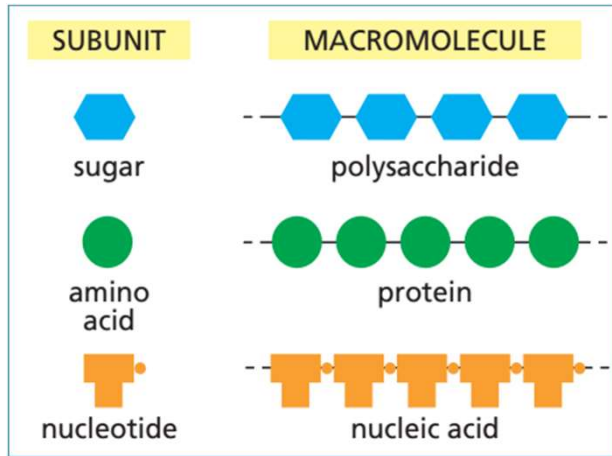
Macromolecular composition of a "typical" bacterial cell

Chemical Component	Percent of Dry Weight	Number of Molecules per Cell
DNA	5	4
RNA	10	15,000
Protein	70	1,700,000
Lipid	10	15,000,000
Polysaccharides	5	39,000

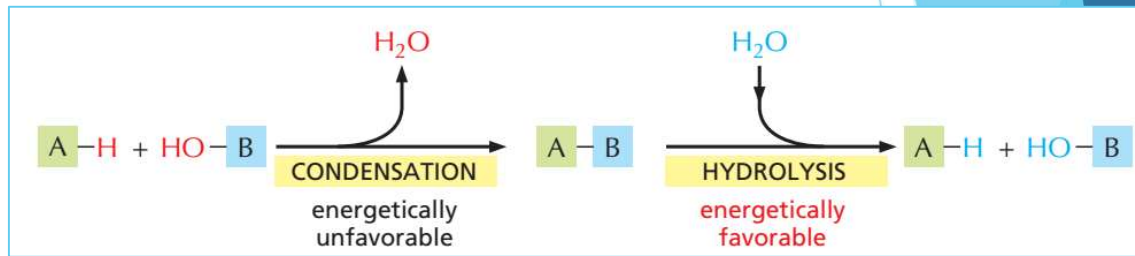
From Lehninger, A.L., 1965. Bioenergetics. W. A. Benjamin, New York.

Chemické složení buněk

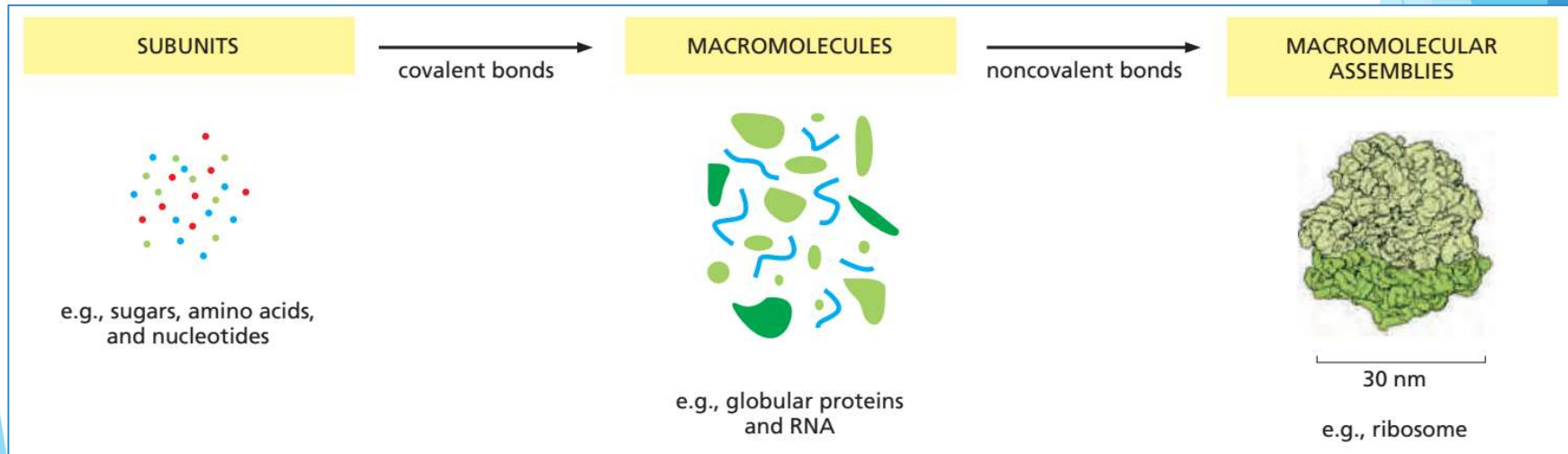
► *Kondenzace a hydrolýza jsou opačné reakce.*



Makromolekuly buňky jsou polymery, které vznikají z podjednotek (nebo monomerů) **kondenzační reakcí** (vyžaduje přísun energie) a rozkládají se **hydrolýzou**.



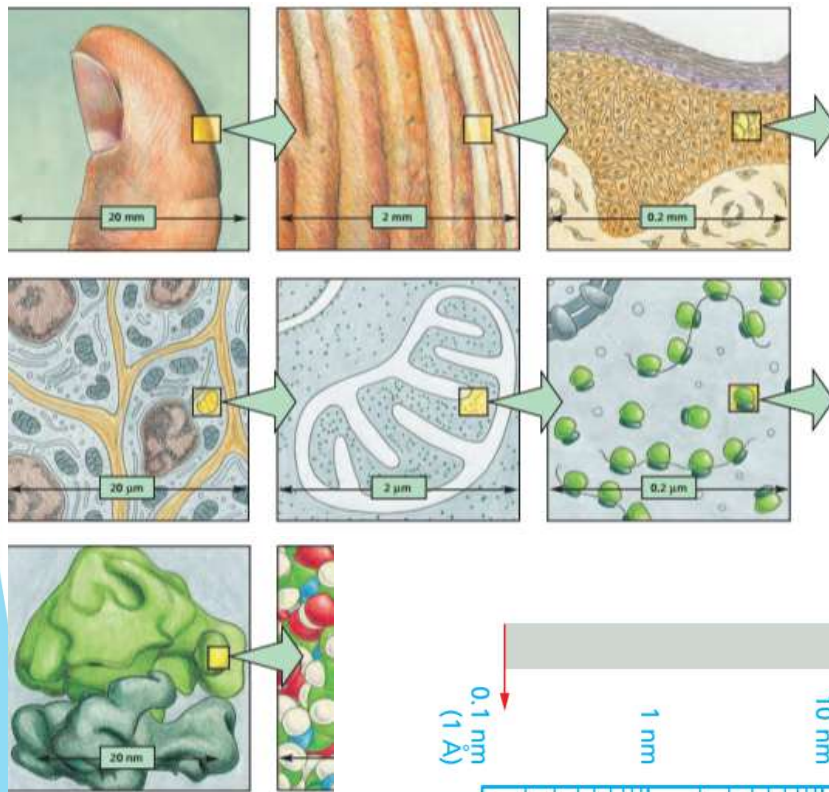
► Malé molekuly se **kovalentně** spojují za vzniku makromolekul, které se zase spojují prostřednictvím **nekovalentních** interakcí za vzniku velkých komplexů.



Velikost buňčného měřítka

- ▶ Jak malá může být buňka? Nejmenší velikost je určena minimálním počtem a velikostí komponent, které jsou nutné pro autonomní existenci buňky (Koch, 1996) ~ 100 nm

- ▶ Nejmenší známé organismy jsou *Rickettsia*, ultramikrobakterie a mykoplazmata.

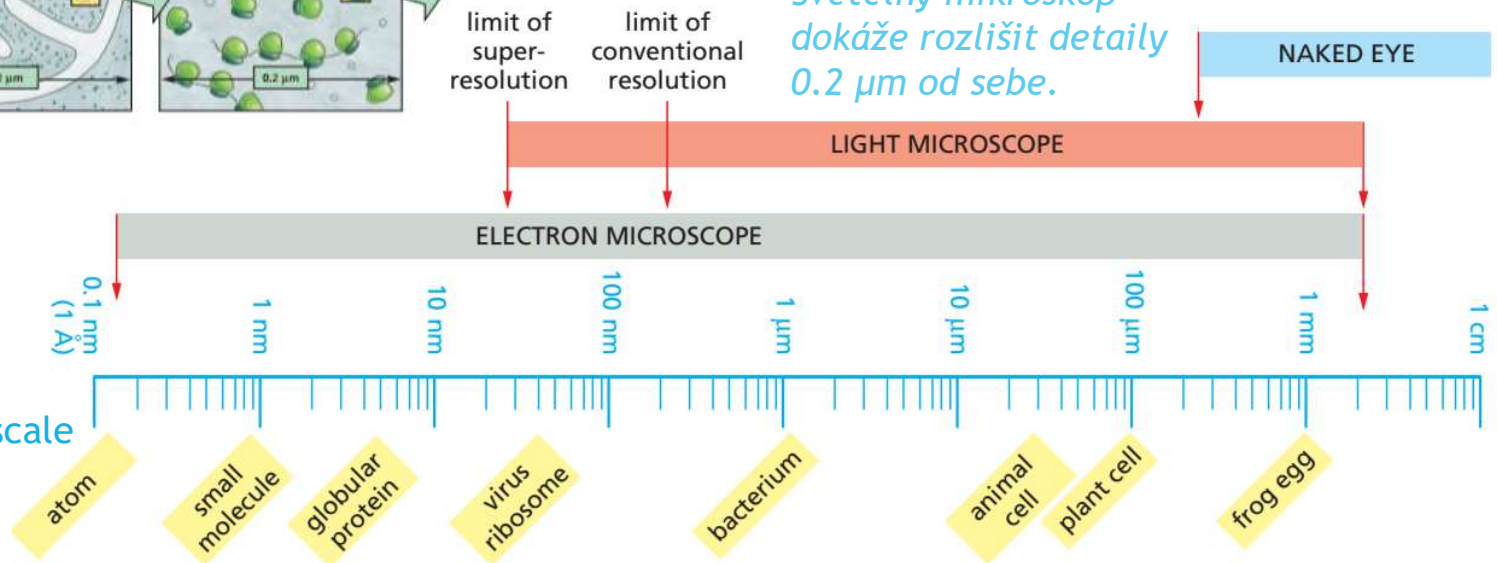


Logarithmic scale

- ▶ Existuje limit, jak velká může být buňka!? Dané poměrem povrchu k objemu.

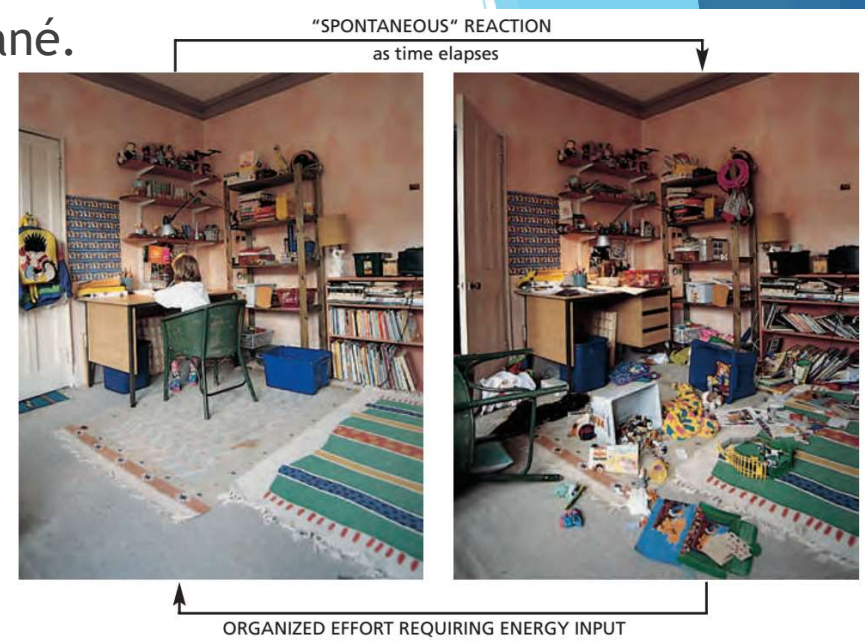
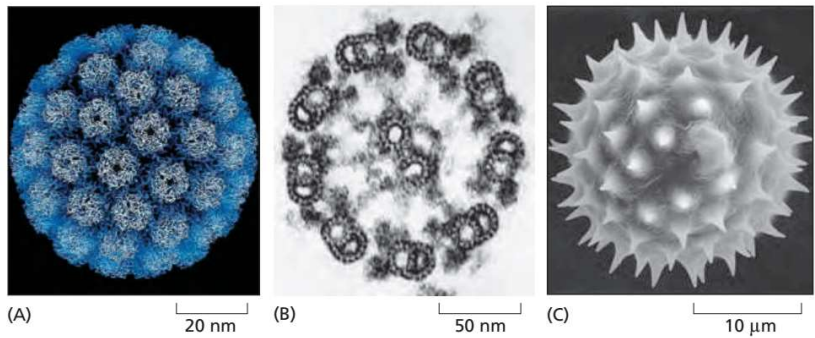
- ▶ Např. pštrosí vejce o průměru ~ 10,5 cm (žloutek je „inertní“); 1,5 mm kořenové vlásky a 25 cm vlákna floému (vakuola je inertní výplň prostoru).

Světelný mikroskop dokáže rozlišit detaily 0.2 μm od sebe.

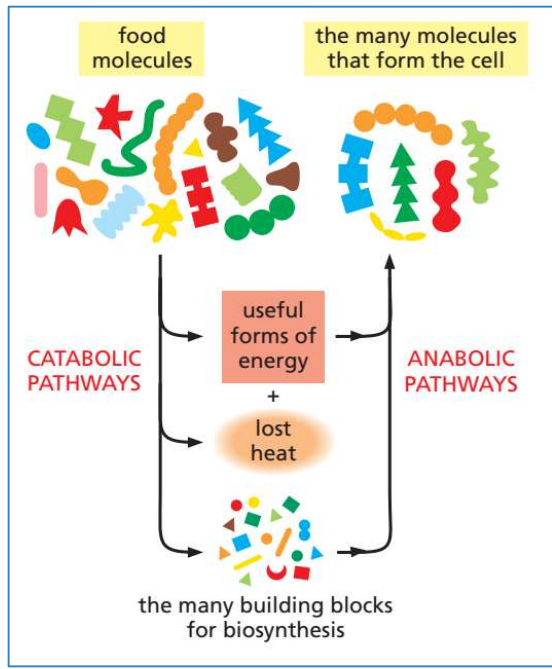


Energetika buněk

► Biologické struktury jsou velmi uspořádané.



► Pořádek vyžaduje přísun energie....

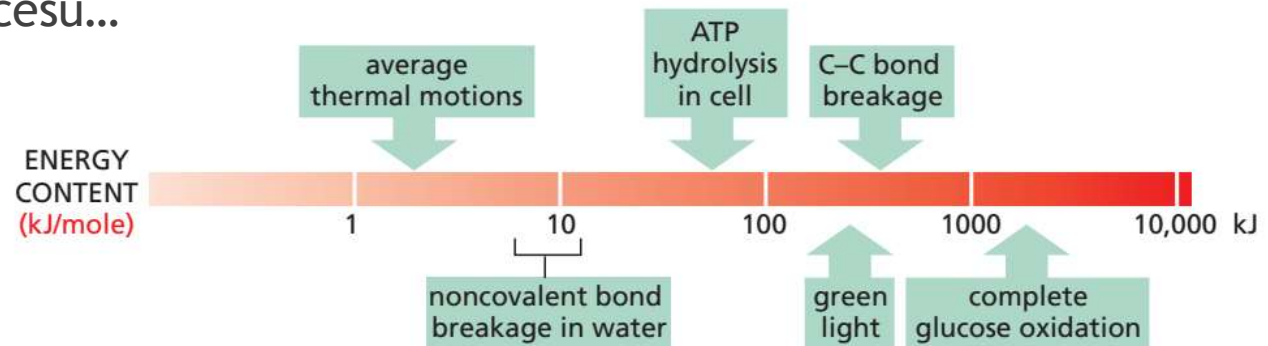


- **Katabolické a anabolické dráhy v metabolismu.**
- Molekulární volná energie (E, v J) je buněčná „měna“ a všechny buněčné procesy lze považovat za *mechanismy přenosu volné energie*, které převádějí jednu formu volné energie na jinou podle **prvního termodynamického zákona**.
- Druhý termodynamický zákon říká, že množství energie dostupné k vykonání práce se *každou přeměnou do určité míry zmenšuje*.

Meze mechanistického pohledu na buňku

- ▶ Termodynamické zákony aplikované na buňky jsou velmi užitečné ve všech aspektech buněčné biologie, ale neříkají nám nic o mechanismech procesů...

*Např.
některé energie
důležité pro
buňku*



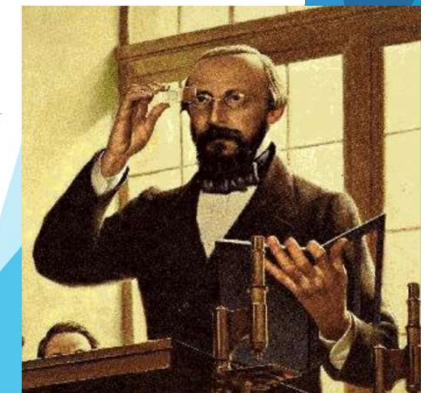
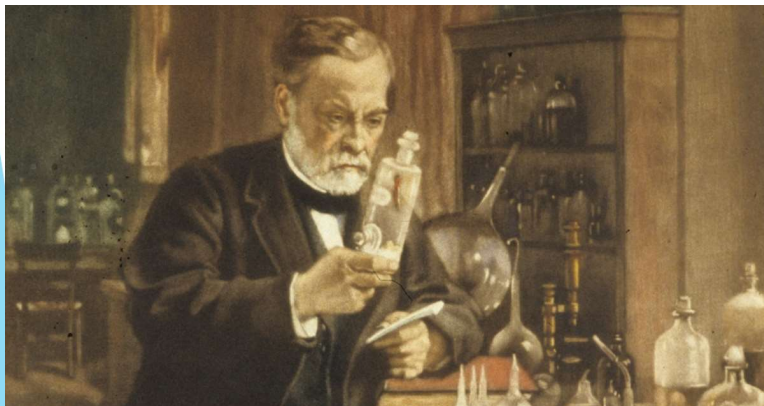
- ▶ V materialistickém/mechanickém pohledu je živá hmota pouze komplexním uspořádáním atomů a molekul, které provádějí chemické reakce a řídí se fyzikálními zákony.
 - ▶ Potenciál tohoto pohledu a etika spojená s experimentováním o povaze života, např. Victor Frankenstein (1818) objevil, že život se může objevit spontánně, když poskládá správnou kombinaci hmoty aktivuje ji elektrickou energií.... **DID IT WORK??**
- ▶ *Musíme se dívat na buňku fyzikálně-chemicky, ale bez toho, abychom ztratili ze zřetele zázrak, hodnotu a smysl života....*

Fyzika je věda o pravděpodobnostech... Biologie je věda o nepravděpodobném...



Původ života (*the origin on life*)

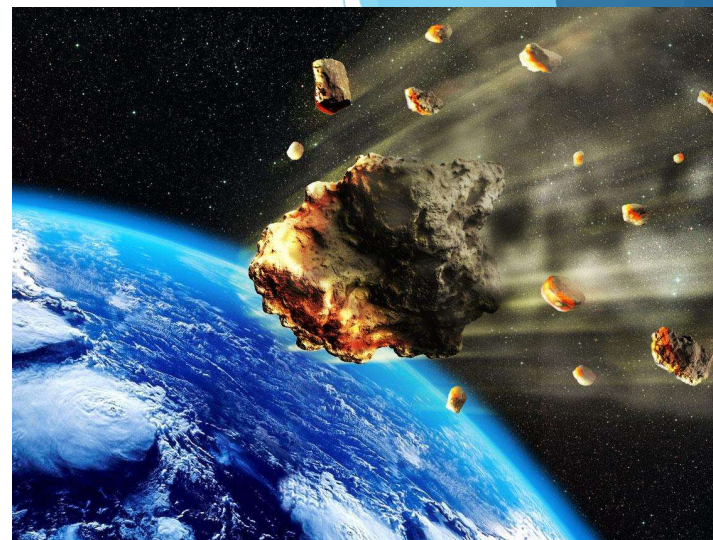
- ▶ Spontánní generace - *podívejte se do Bible (dva alternativní příběhy stvoření! ☺)*
 - ▶ spontánní generování velkých rostlin a živočichů
 - ▶ s objevem mikrobů Leeuwenhoekem (1677) se víra ve spontánní tvorbu mikroorganismů stala standardem, protože se zdálo, že se objevují z ničeho
- ▶ **Louis Pasteur** v 19. století provedl kritický experiment
 - ▶ Se svými baňkami ve tvaru labutě, které umožňovaly průchod vzduchu, ale ne mikrobů, ukázal, že pokud je roztok řádně sterilizován (např. pasterizován) v bujónu nevznikají žádné mikroby.



- ▶ 1858 - Robert Virchow **Biogenní zákon: All cells from cells!**
"Omnis cellula e cellula" "Každá buňka pouze z buňky"

Původ života (*the origin on life*)

- ▶ Jestliže život může pocházet pouze ze života, pak život na Zemi musel vzniknout ve vesmíru a přijít na Zemi na meteoritech ve formě kosmozoí, mikrobů, spor nebo semen.
- ▶ Tato teorie se nazývá *panspermie*, což znamená *semena všude*.
- ▶ Ale jak živé organismy vznikly ve vesmíru?
- ▶ Pojem *vitalismu* ~ život vznikl z neživé hmoty
- ▶ **Nemožné vymyslet klasifikační systém, který by oddělil živé od neživých!**
 - ▶ **Viry** jsou nejmenší živý organismus, jak si myslel botanik Martinus Beijerinck, když v roce 1898 izoloval virus tabákové mozaiky (TMV)?
 - ▶ Nebo jsou to největší molekuly, jak si myslel chemik Wendell Stanley, když v roce 1935 tento TMV virus krystalizoval?
- ▶ Termín *organický* vznikl v 18. století a zahrnoval složky tekutin a tkání rostlin a živočichů, které mohly vzniknout pouze v živých organismech.
 - ▶ V roce 1828, Friedrich Wöhler syntetizoval močovinu z kyanátu amonného....



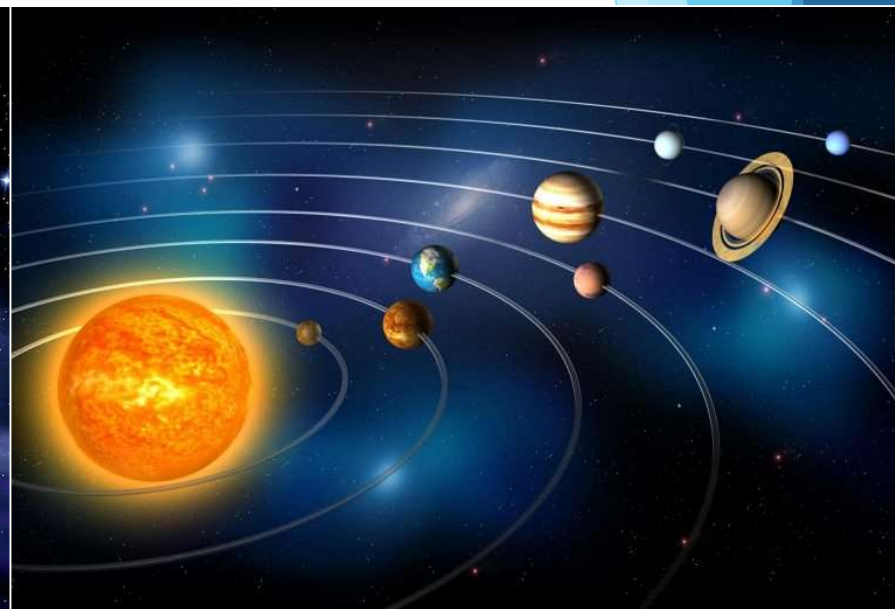
Původ vesmíru (*the Universe*)

- ▶ Současná shoda mezi kosmology je, že před **13,8 miliardami let** vznikly prostor a čas, stejně jako veškerá hmota a energie obsažená ve vesmíru, v jedné gigantické explozi.
 - ▶ **Teorie velkého třesku** (G. Gamow, R. Alpher a R. Herman)
- ▶ Na počátku byla jednota, singularita, prvotní atom nazývaný také *sjednocené pole* (*the unified field*) (Albert Einstein)
- ▶ Prudká exploze způsobila rozpínání vesmíru a následkem rozpínání se vesmír začal ochlazovat...
 - ▶ Mezi 1 us a 1 ms po vytvoření vesmíru se teplota ochladila na 10^{11} K, což umožnilo, aby **protony, neutrony, elektrony** a další elementární částice a jejich antičástice přetrvávaly.
 - ▶ Tři minuty po velkém třesku se vesmír ochladil na 10^9 K, což umožnilo vznik jader **vodíku a helia**. (V současné době je teplota vesmíru asi 3K).
 - ▶ Asi před 10,5-12 miliardami let se atomy začaly spojovat do hustých oblastí v důsledku gravitační přitažlivosti. Agregace těchto atomů dala vzniknout **hvězdám a galaxiím**.
 - ▶ Vysoké teploty a tlaky vyvinuté uvnitř hvězd poskytly energii nezbytnou k fúzi vodíku na helium a další lehké prvky, včetně **uhlíku, dusíku, kyslíku, síry a fosforu**, tedy prvků tak důležitých pro život (Hoyle, 1979).



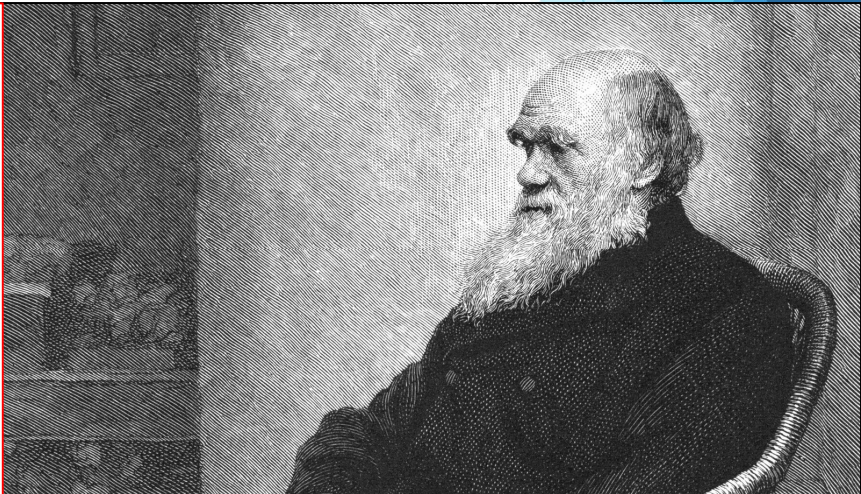
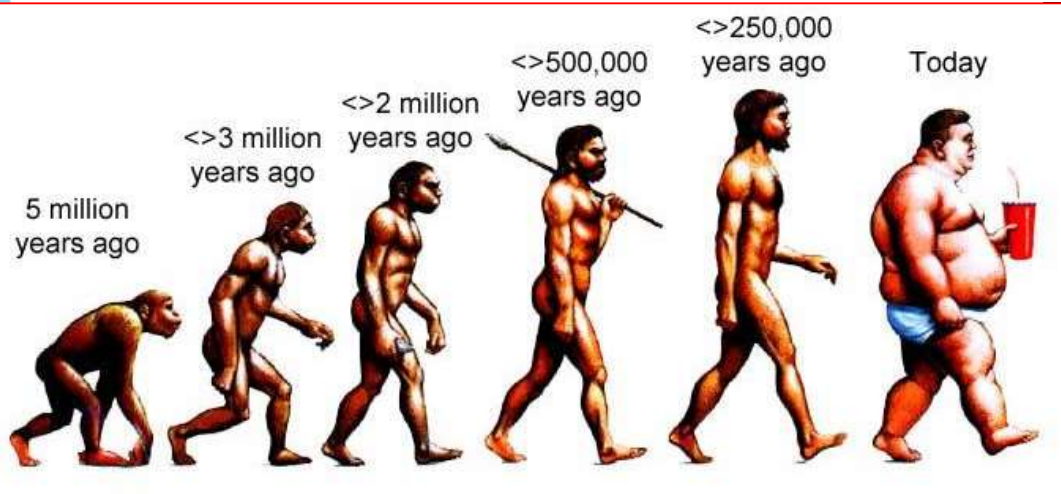
Původ Země a života na ní

- ▶ Před 4,6 miliardami let se na okraji spirální galaxie, **Mléčné dráhy**, zhroutil rotující oblak plynu a prachu, známý jako **mlhovina (*nebula*)** a začal se otáčet stále rychleji.
- ▶ Střed mraku se stal tak masivním a hustým, že se zhroutil pod gravitačním tlakem a zapálil plyny v ní a vytvořil tak hvězdu, naše **Slunce**.
- ▶ Kolem Slunce se další prachové částice shlukly do toho, čemu nyní říkáme planety. Jeden z těchto shluků vytvořil naši domovskou planetu **Zemi**.
- ▶ Některé z nejstarších známých hornin, které se vytvořily na Zemi, obsahují fosilie připomínající sinice a stromatolity. Buňky podobné **prokaryotům** se tedy vyvinuly před **3,8 až 3,5 miliardami let**.
- ▶ Eukaryotické buňky vznikly přibližně před **1,4 miliardami let**.



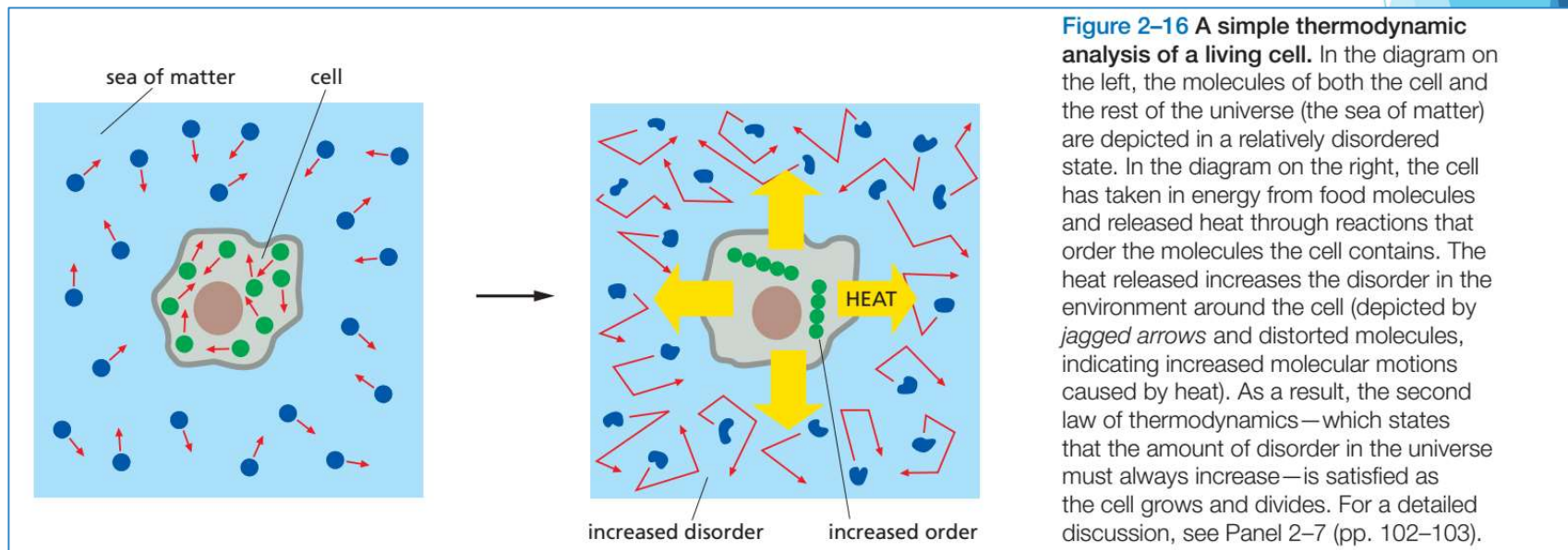
Prebiotická evoluce

- ▶ Život, jak jej známe, vyžaduje sloučeniny obsahující **uhlík**
 - ▶ jaký byl zdroj organických sloučenin, které tvořily první život na Zemi?
- ▶ Experimenty produkce **organických molekul** za předpokládaných prebiotických podmínek:
 - ▶ V roce 1951 M. Calvin *et al.* fixoval CO_2 do kyseliny mravenčí a formaldehydu, ozařováním směsi vody a CO_2 paprskem iontů helia v uzavřené komoře.
 - ▶ Další experimenty ukázaly, že **aminokyseliny** mohly být přítomny na rané Zemi a za prebiotických podmínek mohly polymerovat na polypeptidy bez pomoci enzymů nebo templátu. Podobně mohou být také syntetizovány **nukleové kyseliny**.
- ▶ **Kde se tyto molekuly spojily? V roce 1871 Charles Darwin uhadl, že život začal v „teplém malém rybníčku“ *“warm little pond”*.**



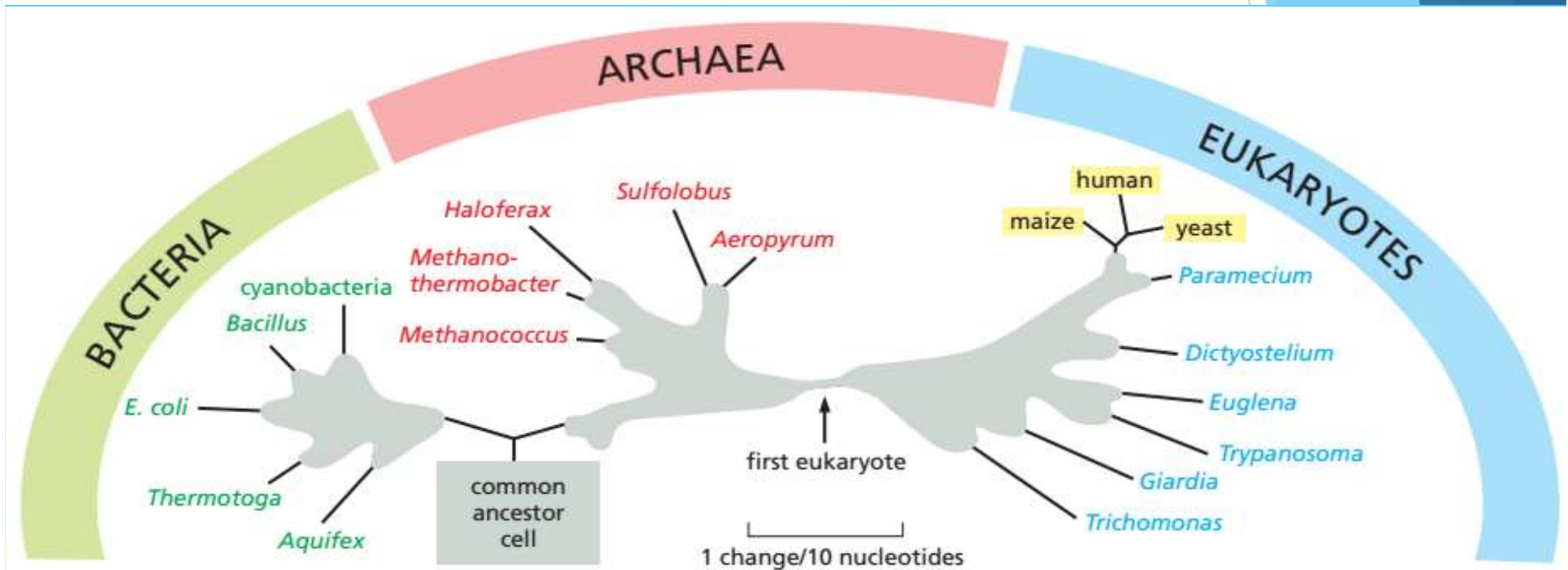
Nejstarší darwinovský předek (*the Darwinian ancestor*)

- ▶ **Jíl (*a clay*)?! Jíly jsou anorganické mikrokrytalické částice cca. 10 μm v průměru, které jsou vytvořeny z hydratovaných silikátů hliníku a dalších nejrůznějších kationtů a aniontů. Jíly jsou schopny se samy replikovat.**
 - ▶ První darwinovský předek mohl přejít od replikačního systému založeného na jílu na **replikační systém založený na nukleotidech**. Nakonec genetický kód založený na nukleotidech prošel vlastním evolučním vývojem.
 - ▶ Nejranější darwinovský předek, ať už jíl, proteiny nebo RNA, mohl vytvořit **symbiózy s jinými prebiotickými entitami**.
- ▶ Podobnosti v molekulách, mechanismech, metabolických drahách a strukturách v živých organismech ukazují na **jediného společného předka (a common ancestor)**.



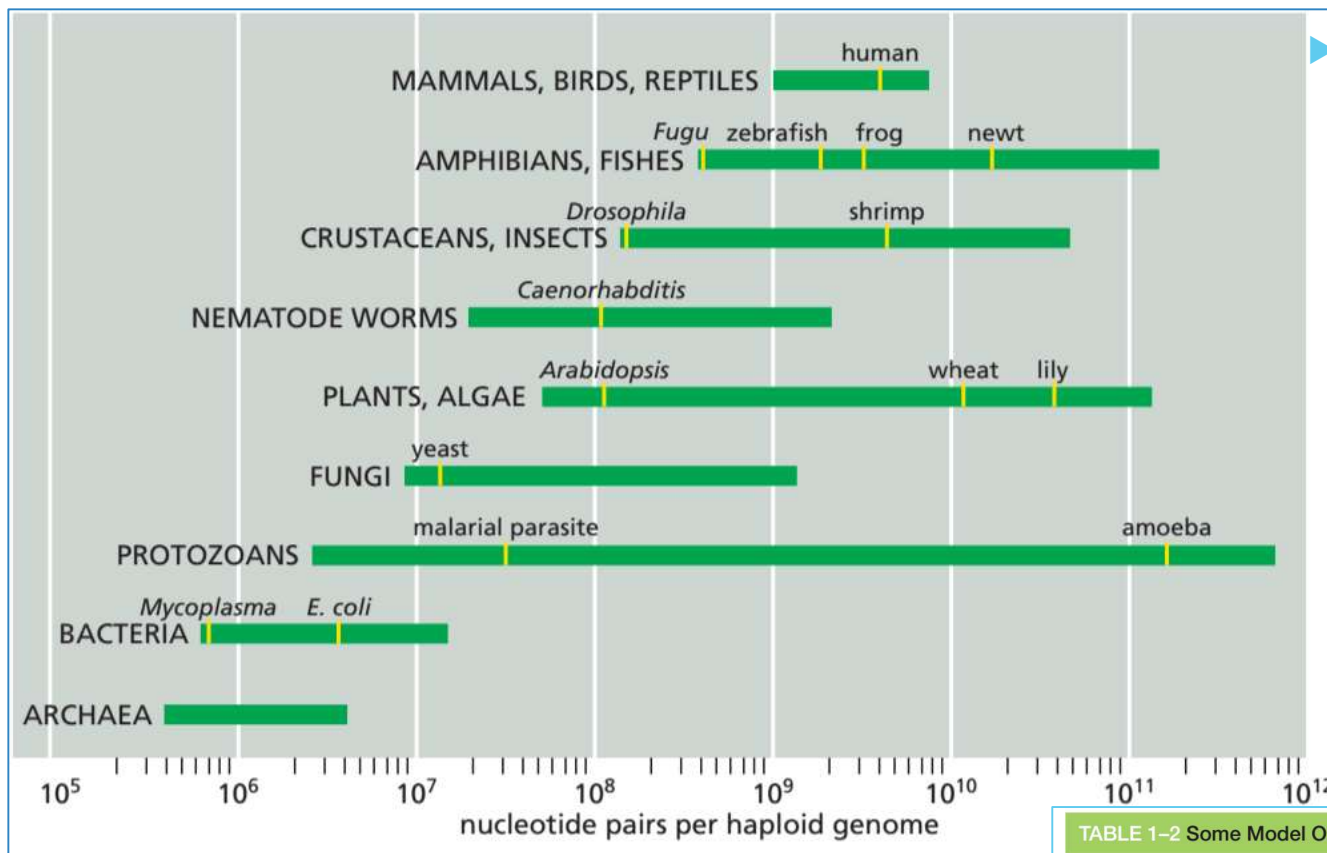
Strom života (the tree of life)

- ▶ Na základě srovnání nukleotidové sekvence rRNA.



- ▶ *Archaea* často obývají extrémní prostředí (rašeliniště, odpadní vody, mořské hlubiny, solná jezírka, horké kyselé prameny, ale také půdu, jezera, žaludky dobytka).
 - ▶ Vnější vzhledem podobná bakteriím, také blíže příbuzná v metabolismu a energetické konverzi, ale na molekulární úrovni je jejich způsob zpracování genetické informace (replikace, transkripce, translace) více podobný eukaryotům.

Rozmanitost genomů

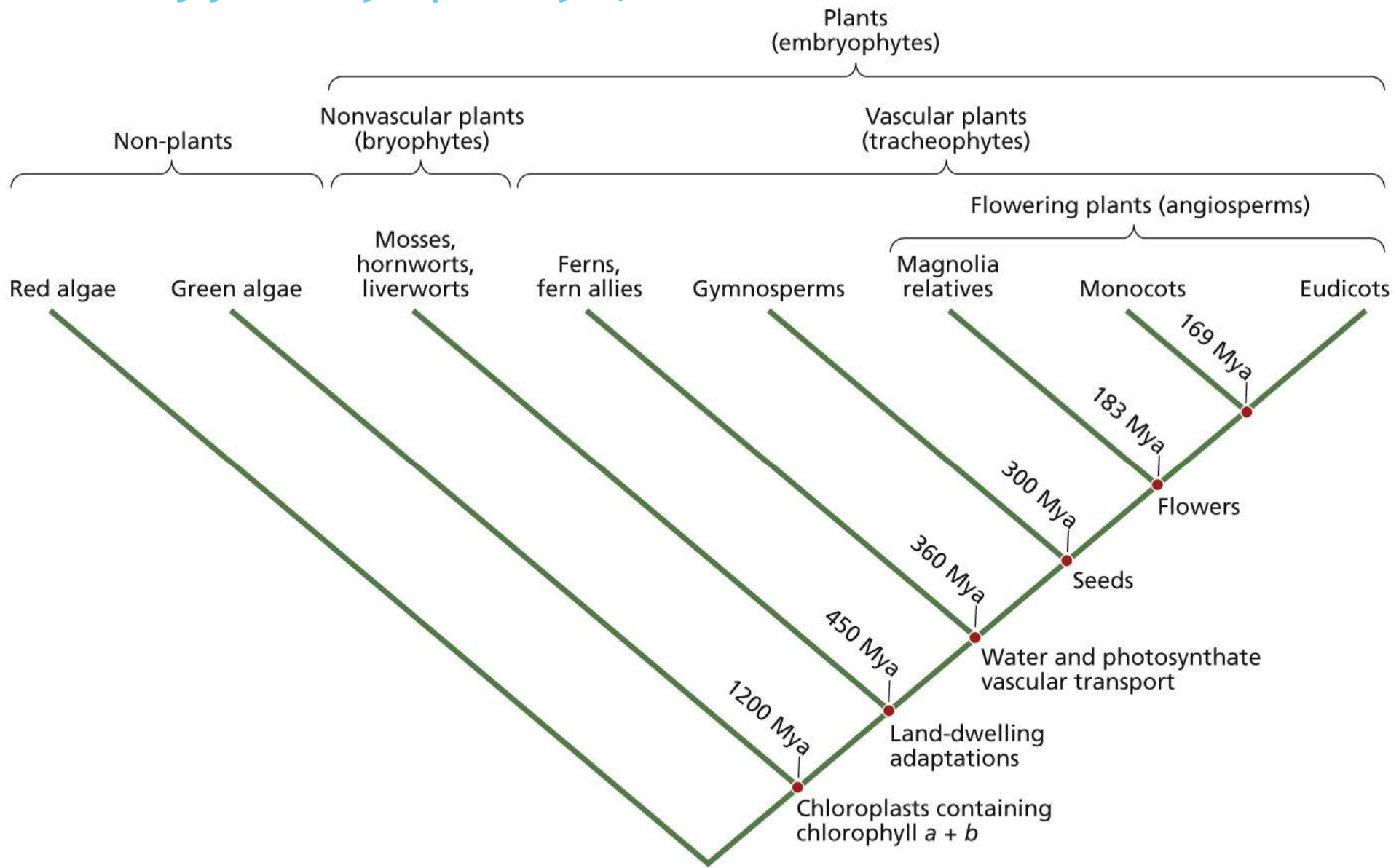


Velikost genomu se měří v nukleotidových párech bazí (base pairs, bp) DNA v haploidním genomu.

- ▶ *Eukaryota* mají nejen více genů než *prokaryota*, ale také více DNA, která nekóduje proteiny...
 - ▶ porovnejte bakterie a lidi: 1 000x větší genom, ale jen 10x více genů, podobně jako *Arabidopsis*!

Organism	Genome size* (nucleotide pairs)	Approximate number of genes
<i>Escherichia coli</i> (bacterium)	4.6 × 10 ⁶	4300
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (yeast)	13 × 10 ⁶	6600
<i>Caenorhabditis elegans</i> (roundworm)	130 × 10 ⁶	21,000
<i>Arabidopsis thaliana</i> (plant)	220 × 10 ⁶	29,000
<i>Drosophila melanogaster</i> (fruit fly)	200 × 10 ⁶	15,000
<i>Danio rerio</i> (zebrafish)	1400 × 10 ⁶	32,000
<i>Mus musculus</i> (mouse)	2800 × 10 ⁶	30,000
<i>Homo sapiens</i> (human)	3200 × 10 ⁶	30,000

Kladogram ukazující evoluční vztahy mezi různými členy rostlin a jejich blízkými příbuznými, řasami

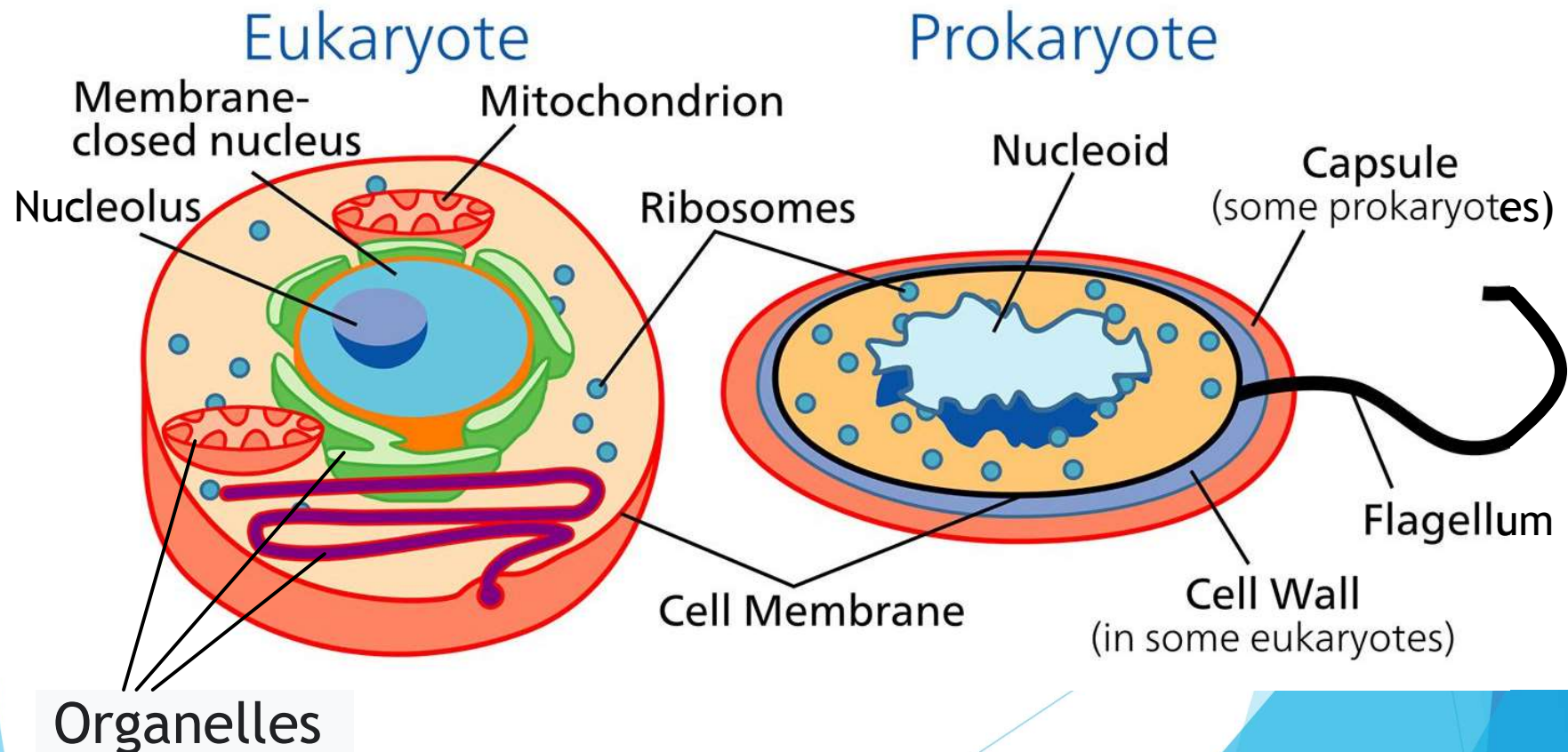


PLANT PHYSIOLOGY AND DEVELOPMENT 6e, Figure 1.1
 © 2015 Sinauer Associates, Inc.

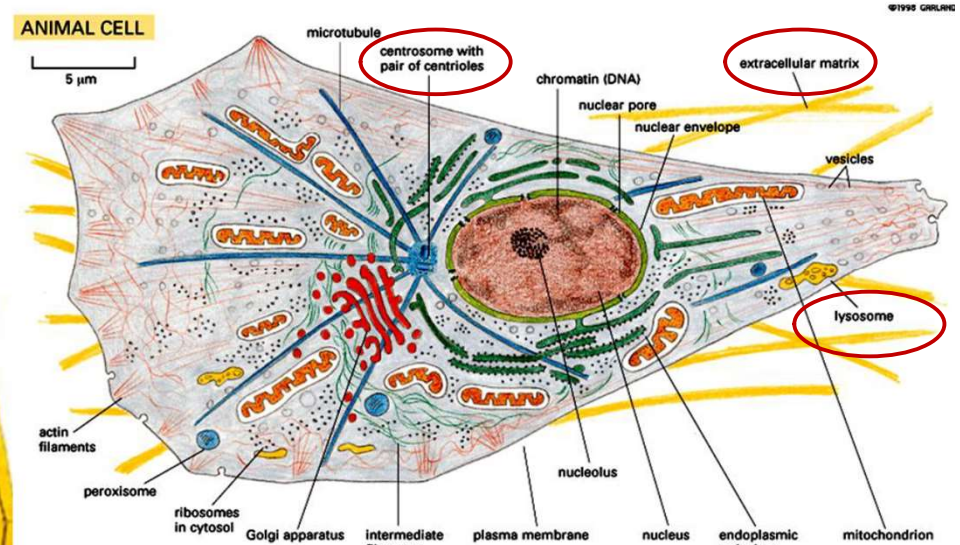
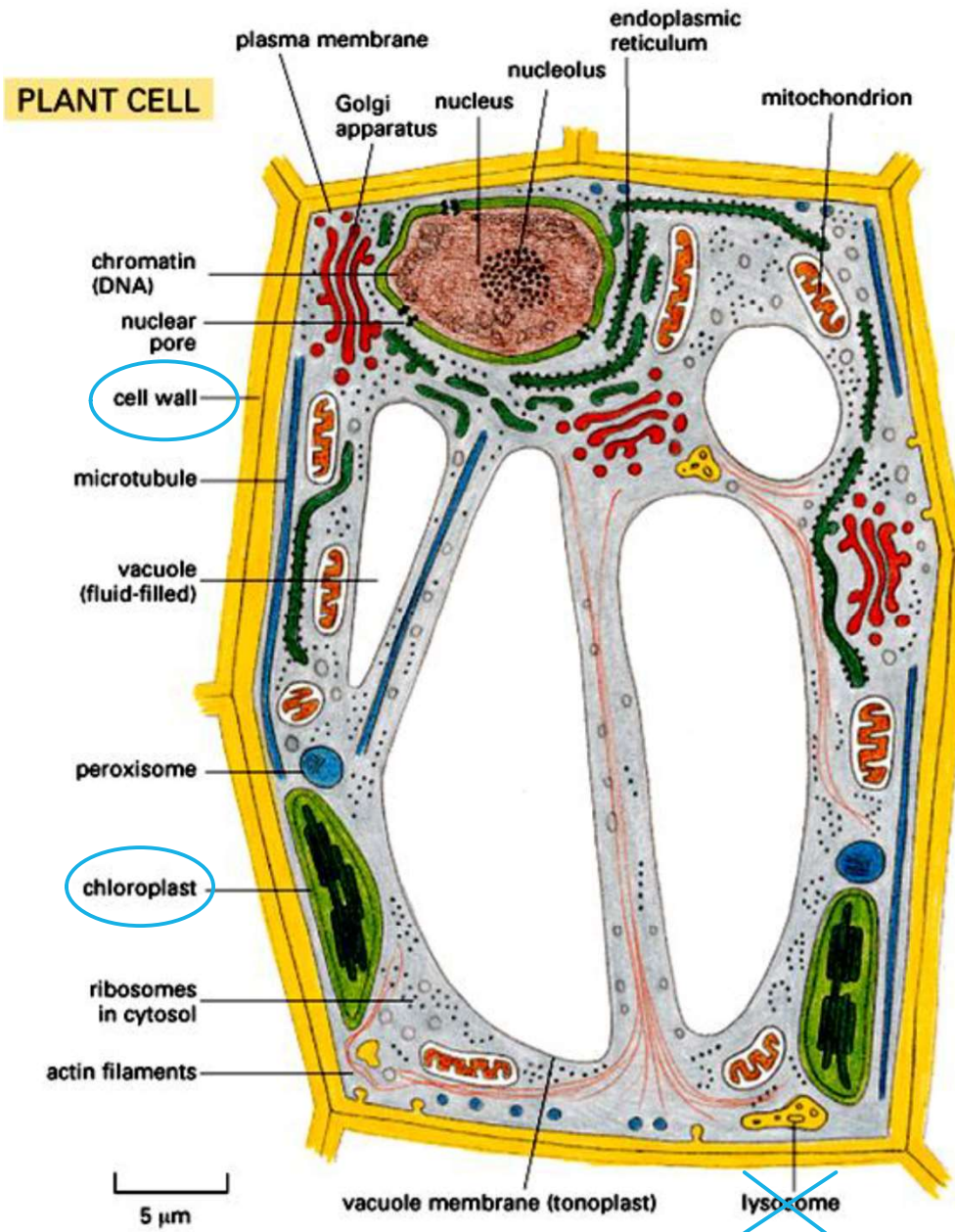


Jedinečné vlastnosti eukaryot

- ▶ Obecně platí, že eukaryotické buňky se vyvinuly z prokaryotických buněk
 - ▶ Vyvinutý systém vnitřních endomembrán ~ organel
 - ▶ DNA uložena v membránou uzavřeném jádře



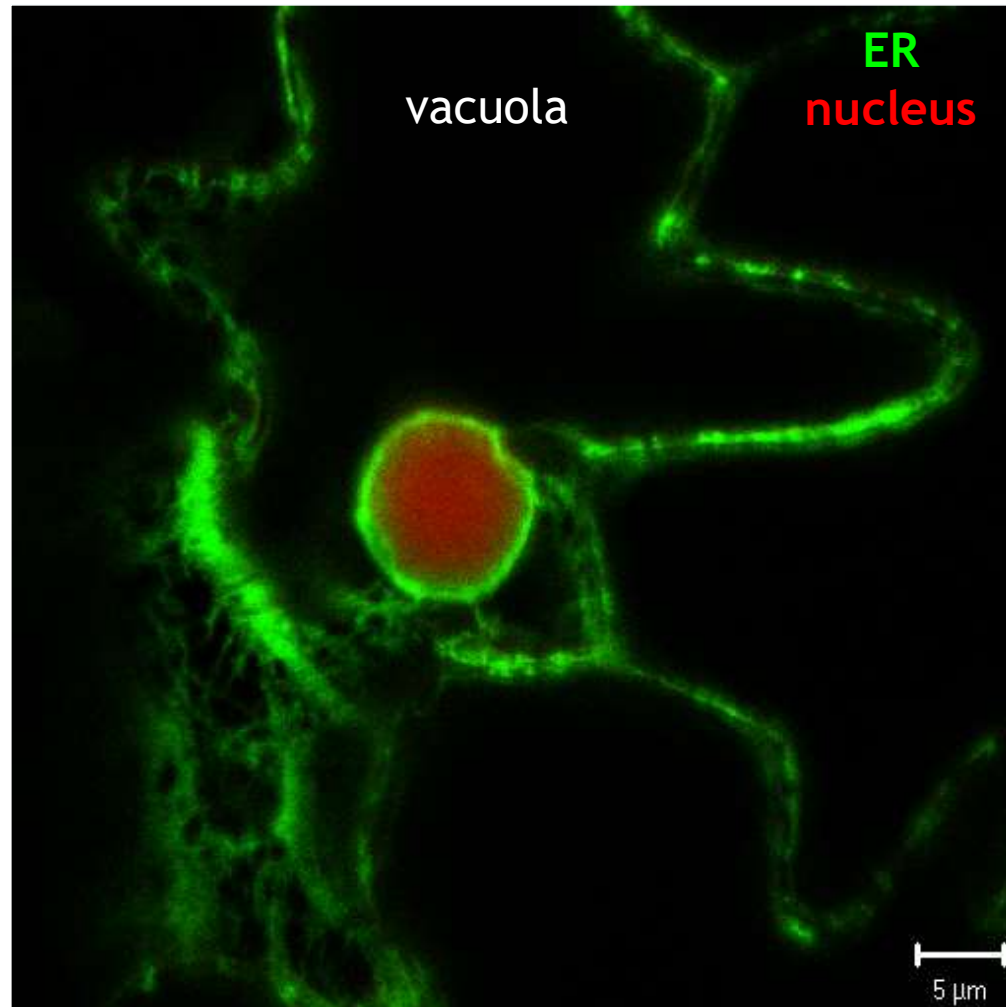
Strukturní a funkční rozdíly mezi eukaryotickými buňkami



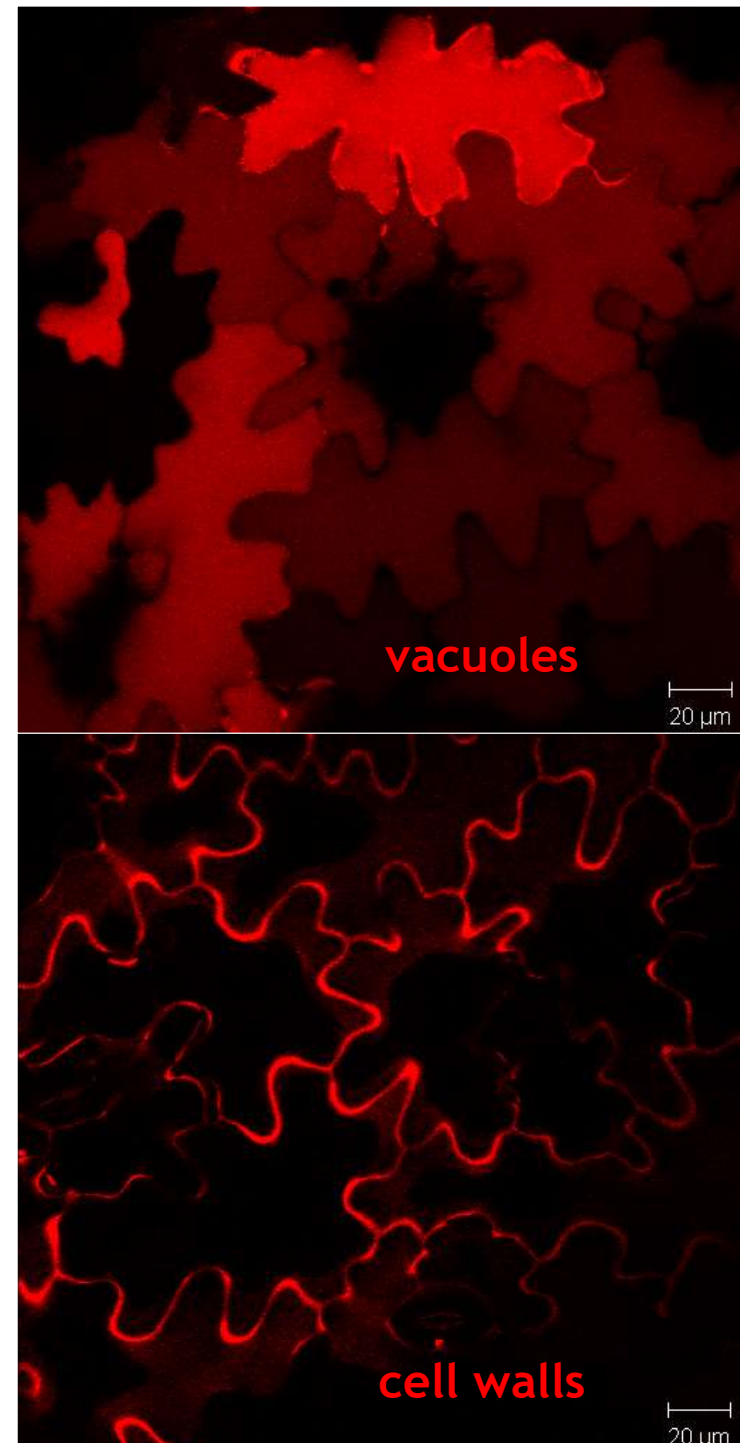
živočišné buňky	rostlinné buňky	buňky hub
jádro	jádro	jádro
ER	ER	ER
Golgiho aparát	Golgiho aparát	Golgiho aparát
plazmatická membrána	plazmatická membrána	plazmatická membrána
glykokalyx	buněčná stěna	buněčná stěna
lysosomy	vakuoly	vakuoly
peroxisomy	glyoxysomy	glyoxysomy
mitochondrie	mitochondrie	mitochondrie
-	chloroplasty	-

Skutečné rostlinné buňky

- ▶ *Transientní exprese fluorescentních proteinů v živých buňkách tabáku*



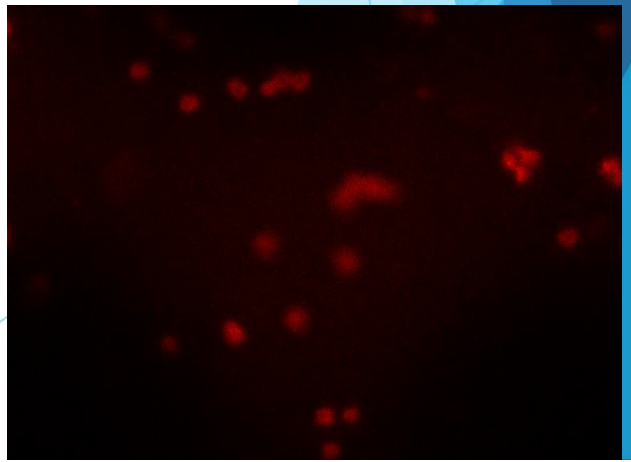
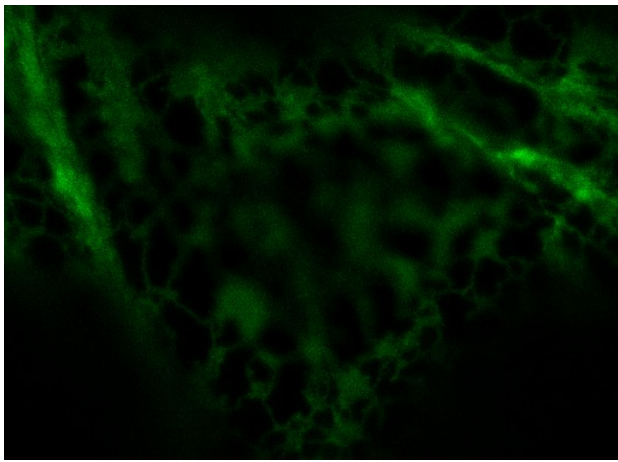
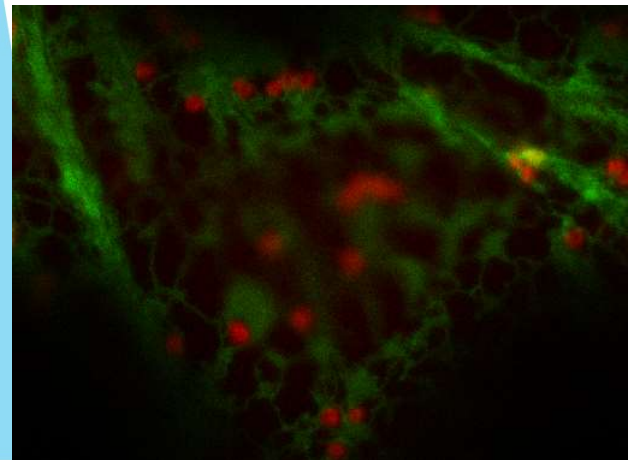
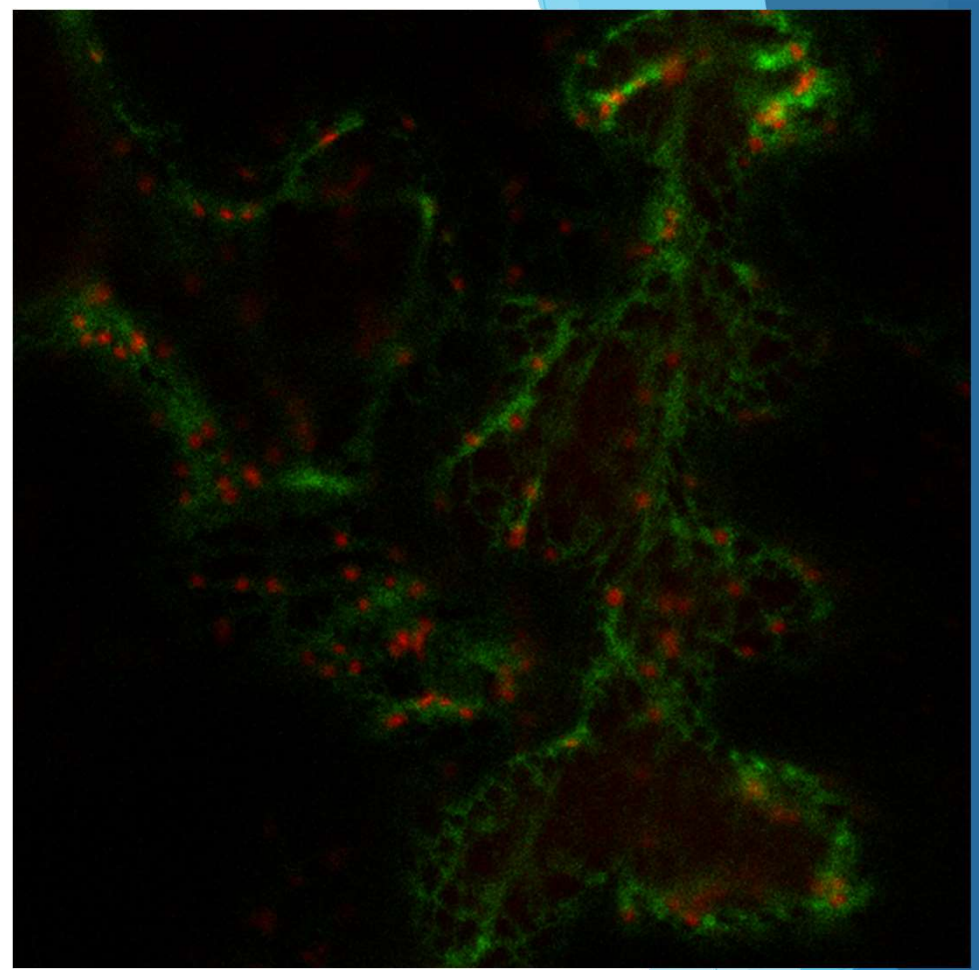
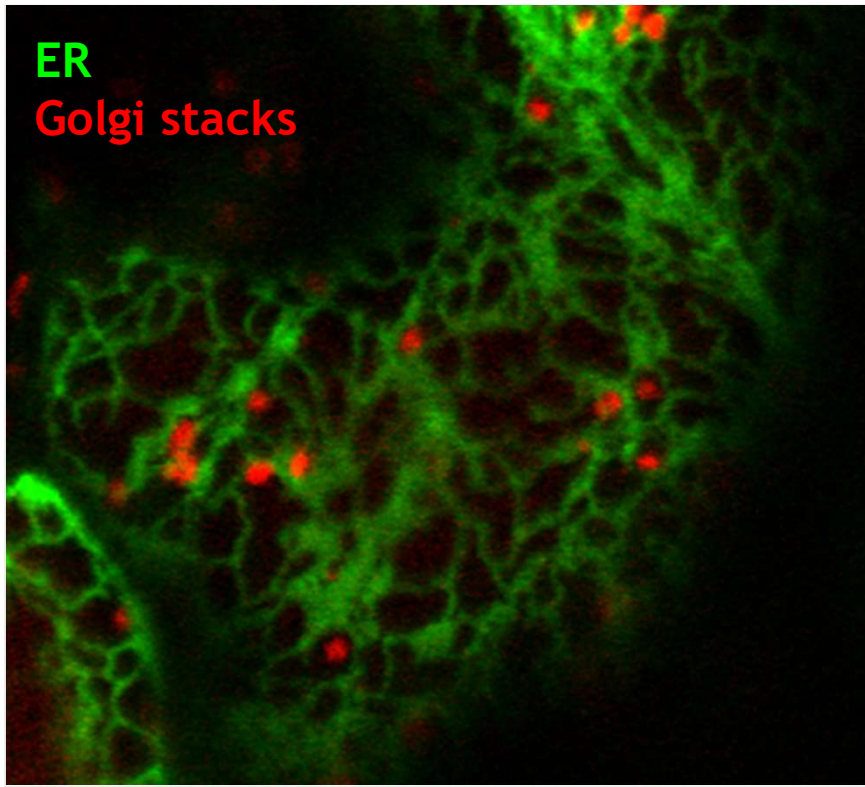
nls RFP 2A sp GFP HDEL



Golgi apparatus

ER

ST RFP 2A sp GFP HDEL



YFP

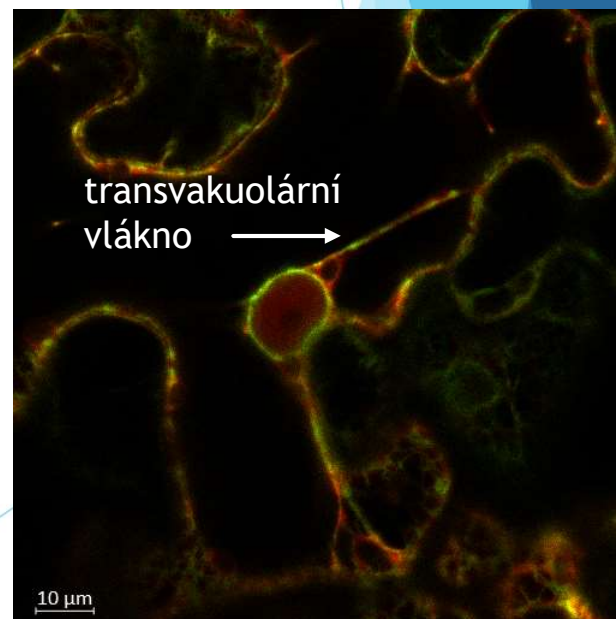
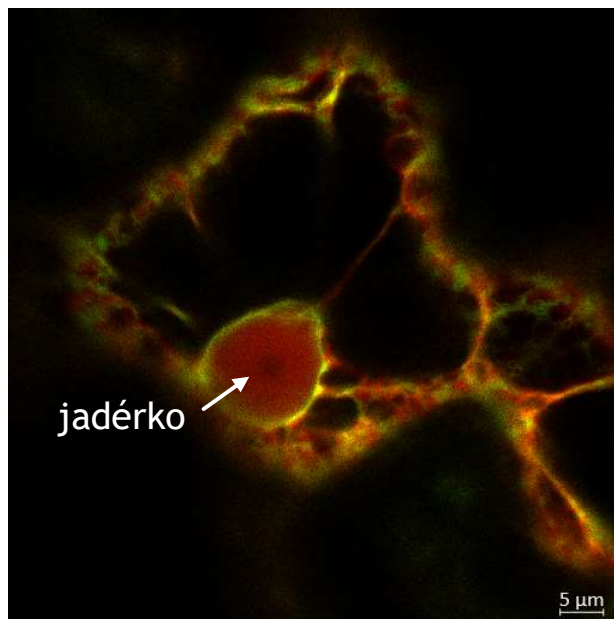
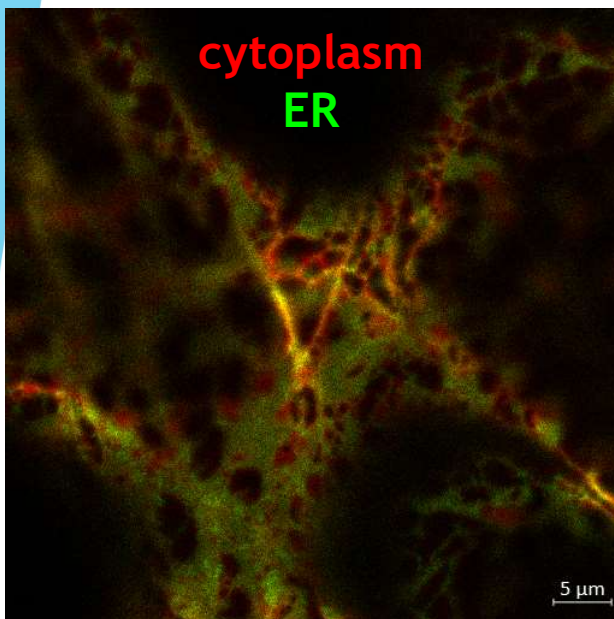
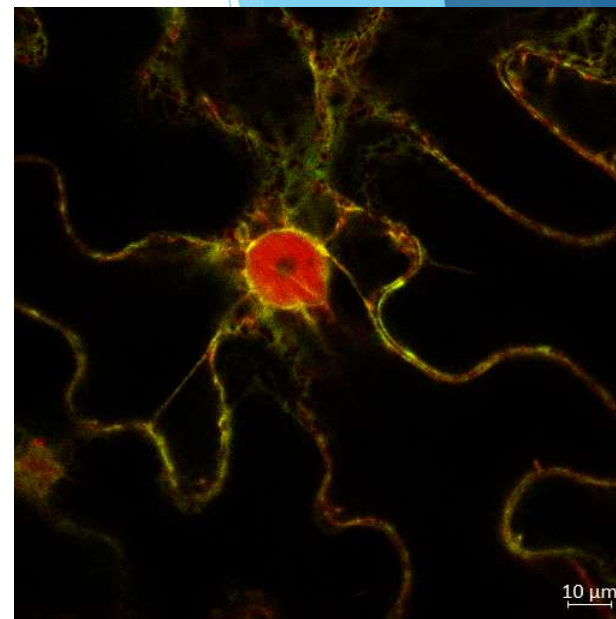
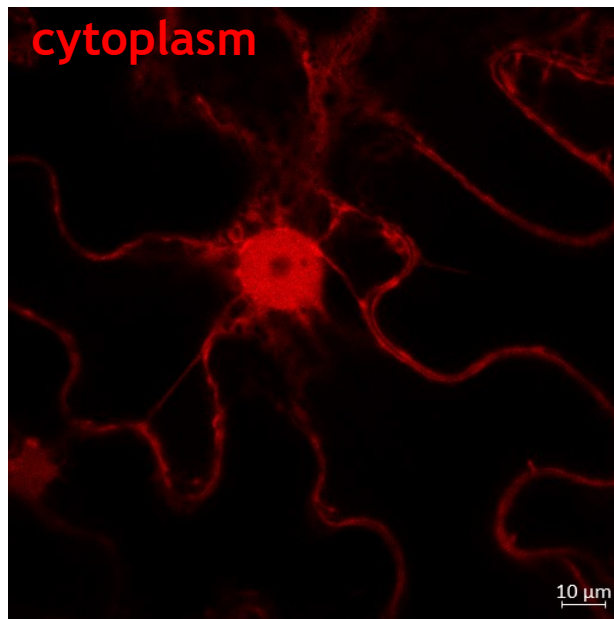
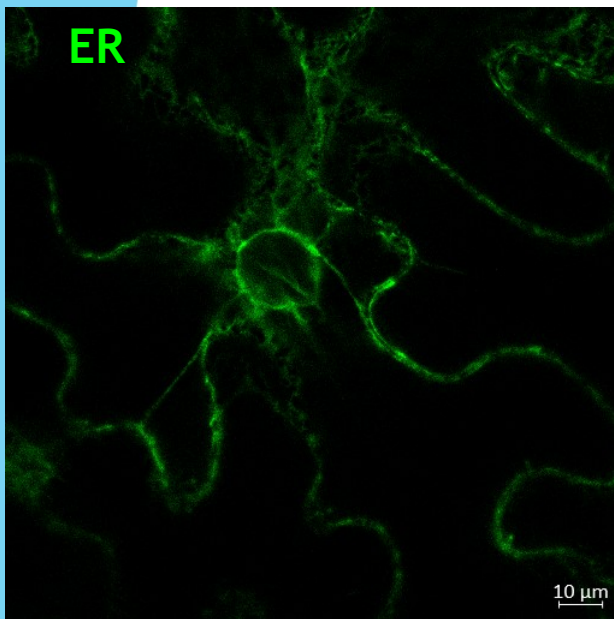
2A

sp

GFP

HDEL

Cytoplasm ER both



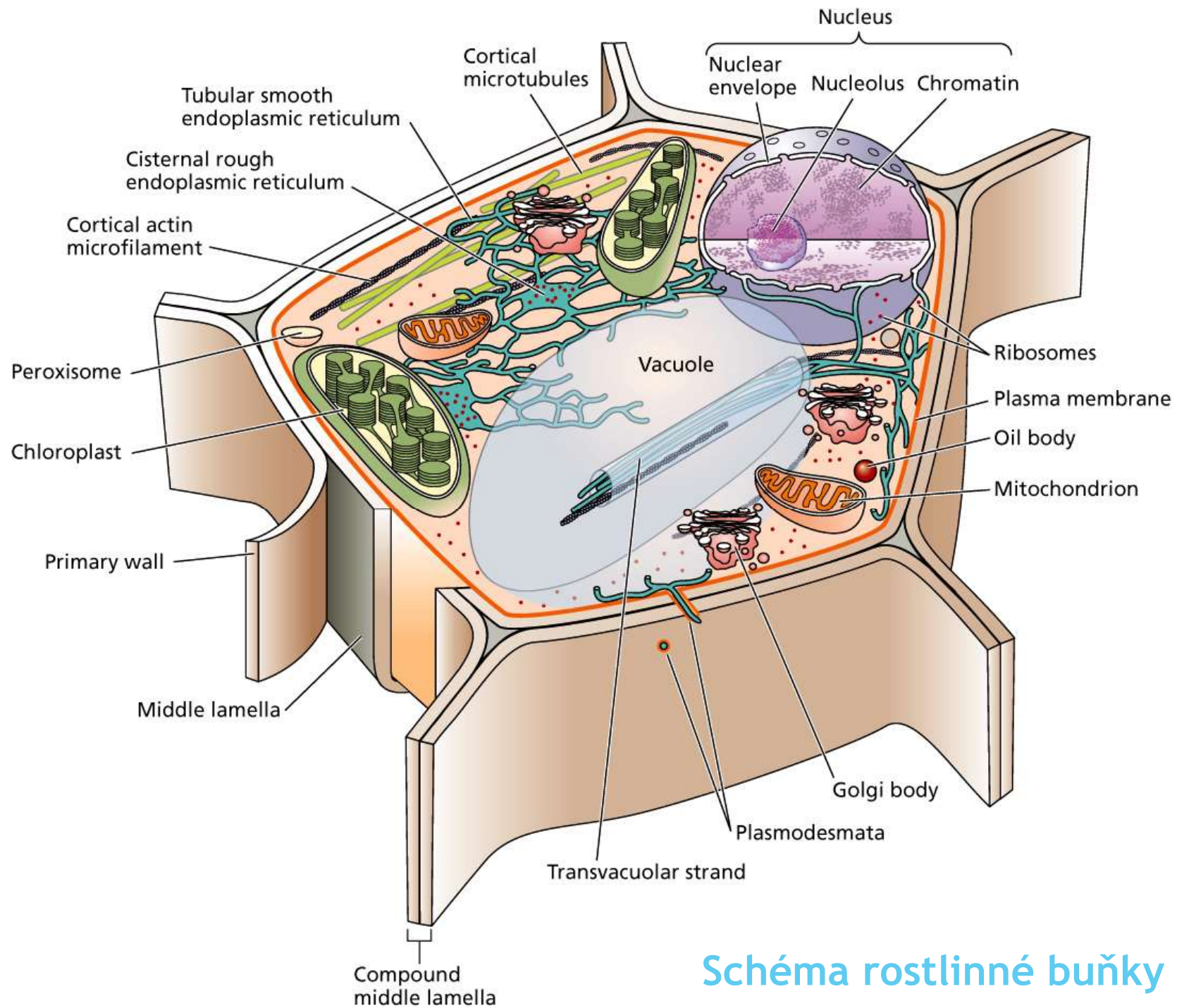


Schéma rostlinné buňky

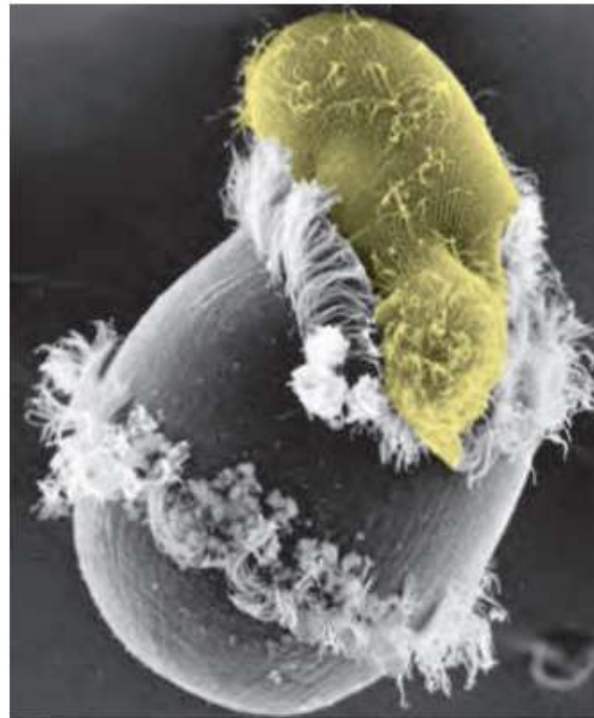
Moderní eukaryotické buňky se vyvinuly ze symbiůzy

- ▶ Predátorský způsob života může vysvětlit některé prvky eukaryotických buněk
 - ▶ např. mitochondrie a chloroplasty
- ▶ Volně žijící bakterie byly pohlceny ancestrální buňkou, ale unikly strávení a vyvíjely se v symbióze s buňkou, která je pohltila.



(A)

100 μm



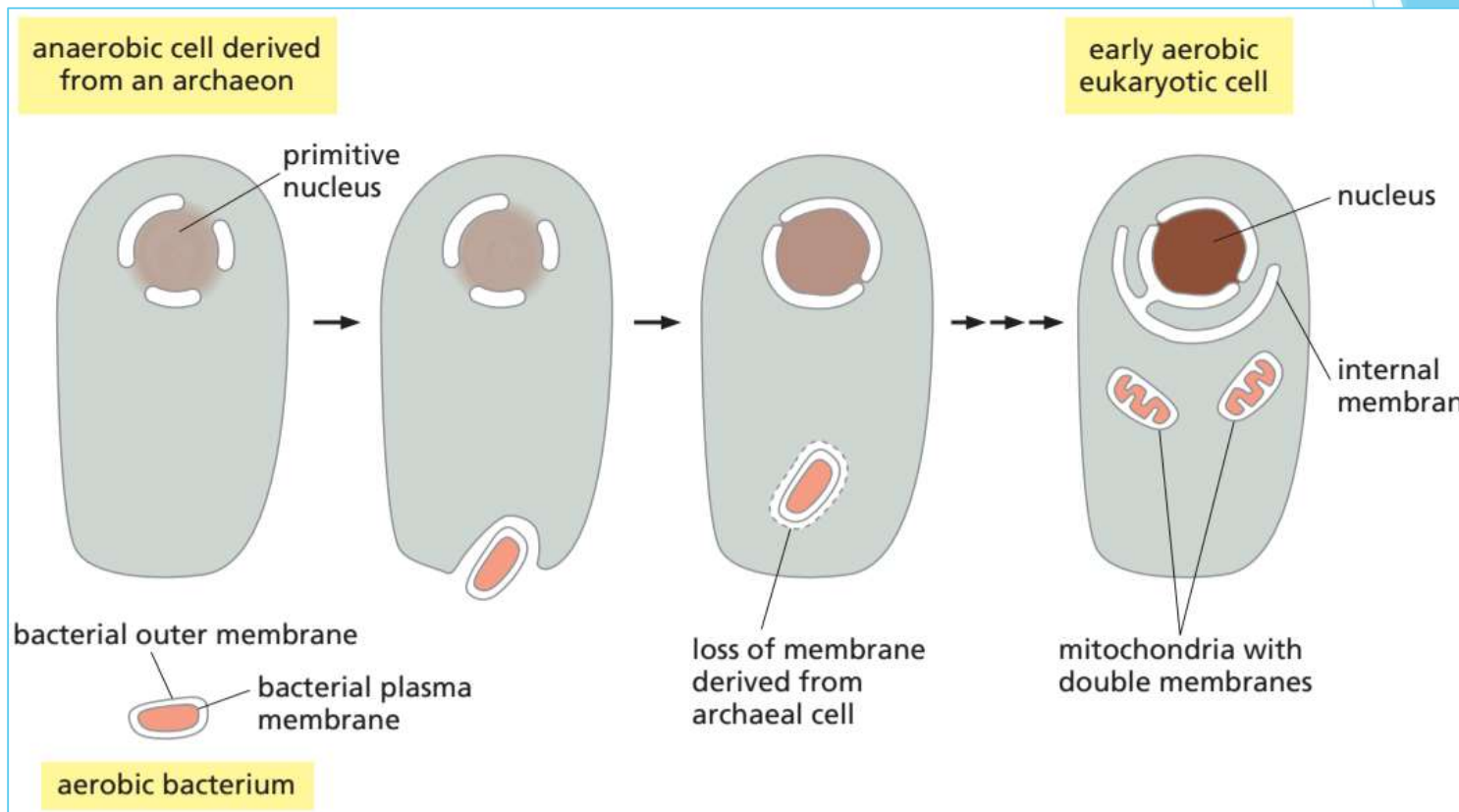
(B)

Jednobuněčný eukaryot (masožravý prvek *Didinium*), který požívá jinou buňku (jiného prvoka?)

- ▶ **Důkaz je v genomu všech eukaryot!**

Eukaryota mají hybridní genomy!

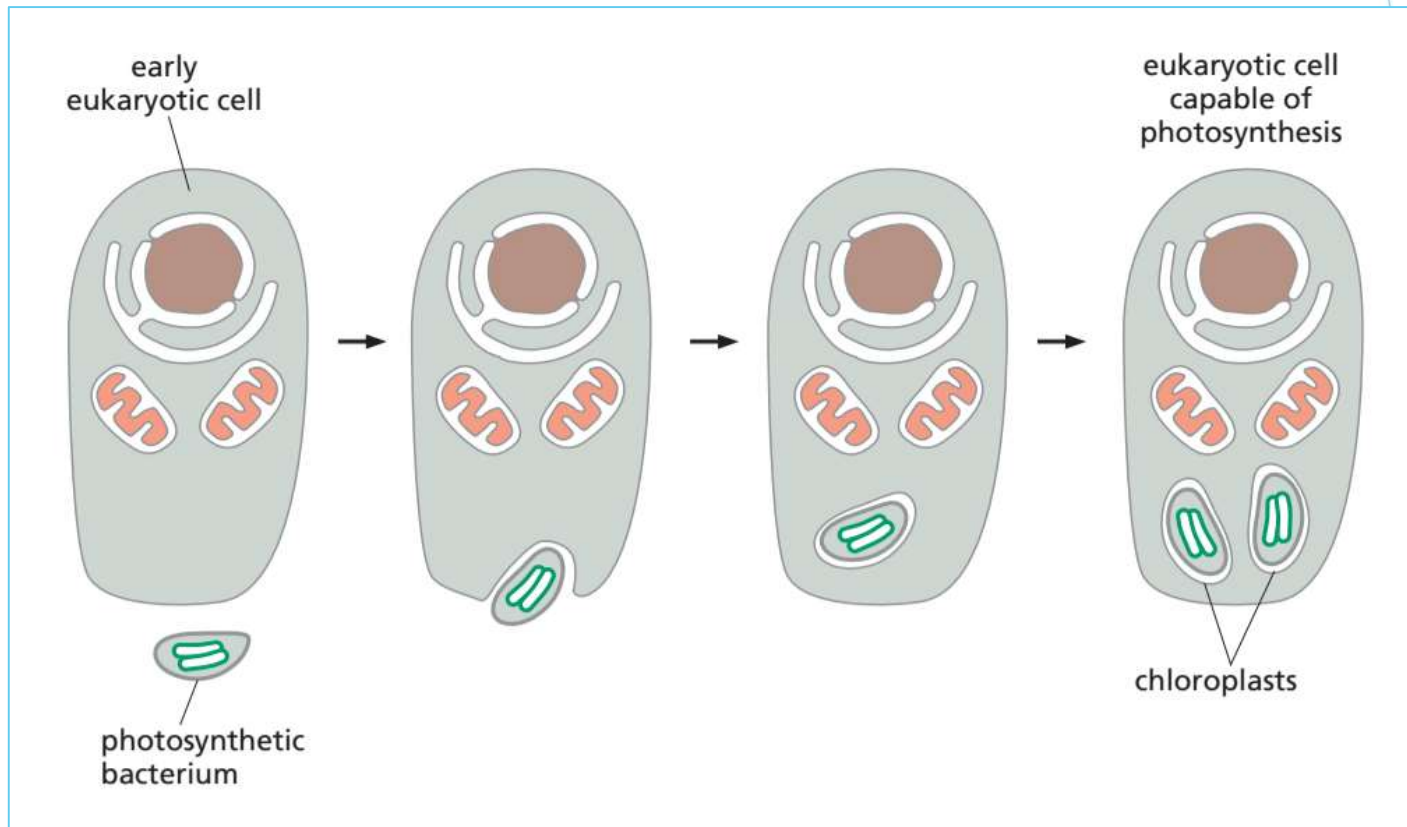
- ▶ **Původ mitochondrií**
- ▶ Buňka **anaerobního predátora** (*archaeon*) pohltila předchůdce mitochondrií = volně žijící (**aerobní**) bakterie metabolizující kyslík



- ▶ Mitochondrie jsou velikostí podobné bakteriím, jsou uzavřeny dvojitou vrstvou membrány a mají svůj vlastní genom v podobě kruhové molekuly DNA, vlastní ribozomy (odlišné od eukaryotických buněk) a vlastní transferovou RNA.

Eukaryota mají hybridní genomy!

- ▶ **Původ chloroplastů**
- ▶ Raná eukaryotická buňka, která již měla mitochondrie, pohltila **fotosyntetickou bakterii** (cyanobacterii, sinici) a udržela ji v symbióze.



- ▶ Současné chloroplasty pocházejí z jediného druhu sinice (cyanobacterie) přijaté jako vnitřní symbiont (*endosymbiont*) před více než miliardou let.
- ▶ *Mnoho genů z mitochondrií a chloroplastů se přesunulo do buněčného jádra!*

Co je buněčná biologie (*cell biology*) ?

- ▶ *"Biologie nebo teorie života"* J. B. Lamarck (1802)
- ▶ J. B. Carnoy (1884) zdůraznil důležitost vytvoření **oboru buněčné biologie** pro pochopení všech aspektů biologie, tedy buněčná biologie jako **multidisciplinární obor**.
- ▶ Abychom překročili „**umělé hranice**“ stanovené limity mikroskopického vidění a pochopili podstatu živé buňky, je nutné rozvíjet znalosti z *matematiky, chemie a fyziky, stejně jako z cytologie, anatomie, fyziologie, genetiky, vývojové biologie...*
- ▶ Používá **techniky a principy** biochemie, biofyziky, mikroskopie, imunologie, fyziologie, genetiky a různých „-omik“.
- ▶ *Studiem základní jednotky života, buňky, se pokusíme pochopit podstatu života a jeho jednotu.*
- ▶ Buněčná biologie je mladá, pulzující a rozvíjející se věda....

As discoveries made by cell biologists become techniques used by biotechnologists to create new choices for humanity, we realize that our own discoveries can have profound effects on the meaning of life!