

Předmět:
KBB/BB1P; KBB/BUBIO

Chemické složení buňky

Cíl přednášky: seznámit posluchače se složením buňky po chemické stránce

Klíčová slova: biogenní prvky, chemické vazby a interakce, uhlíkaté sloučeniny, biomakromolekuly

Obrázky v následující prezentaci jsou převzaty z níže uvedené knihy výlučně k výukovým účelům.

The illustrations in following lecture are taken from Alberts et al. Molecular Biology of the Cell, 5th Edition (Garland Science 2008) only and exclusively for the educational purposes.

Alberts • Johnson • Lewis • Raff • Roberts • Walter

Molecular Biology of the Cell

Fifth Edition

Copyright © Garland Science 2008

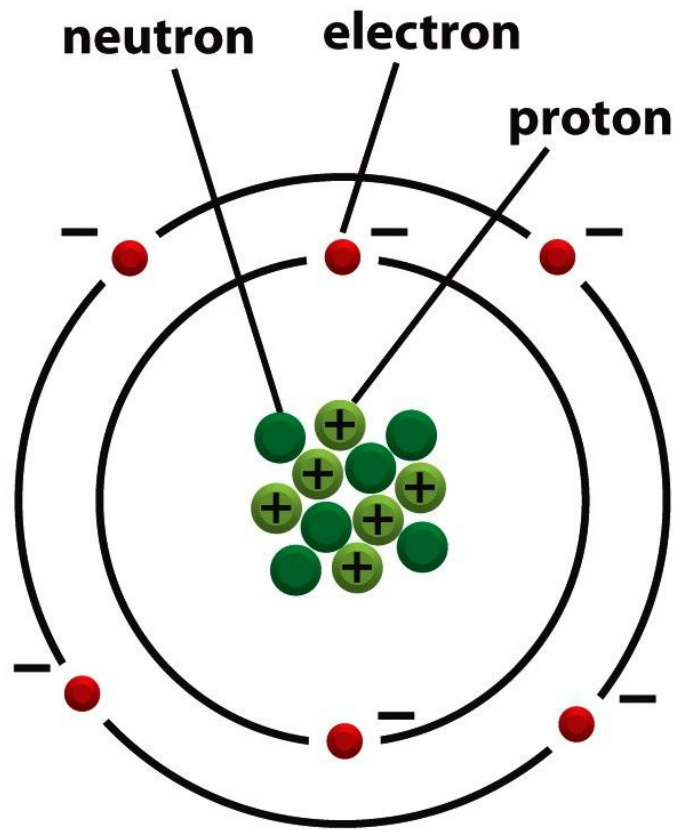
Chemické složení buňky

- všechny buňky lze velmi dobře popsat pomocí jejich chemického složení a chemických reakcí tzv. *organických* nebo lépe *uhlíkatých* látek (cukry, tuky, bílkoviny, nukleové kyseliny)
- veškerý známý život má velmi podobný chemický základ, např. nukleové kyseliny (stejný genetický kód) a bílkoviny (střídání týchž 20-23 základních aminokyselin)
- všechny buňky se zřejmě vyvinuly ze „stejného předka“, který se objevil na planetě asi před 3-4 miliardami let
- v průběhu evoluce dochází na úrovni DNA ke změnám a pomocí selekce a přežití nejschopnějších dochází ke vzniku obrovské rozmanitosti biosféry

Biogenní prvky

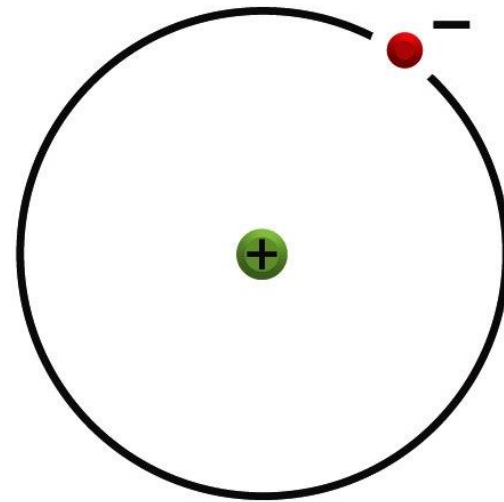
[illegible]

Atomy



carbon atom

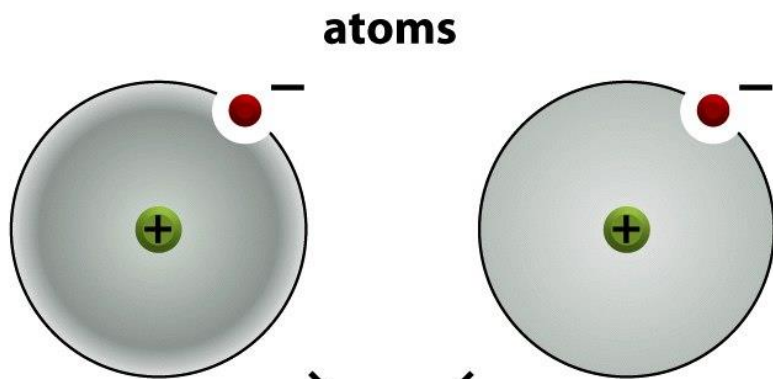
atomic number = 6
atomic weight = 12



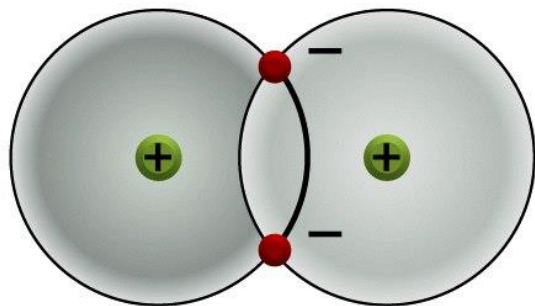
hydrogen atom

atomic number = 1
atomic weight = 1

Kovalentní a iontové vazby

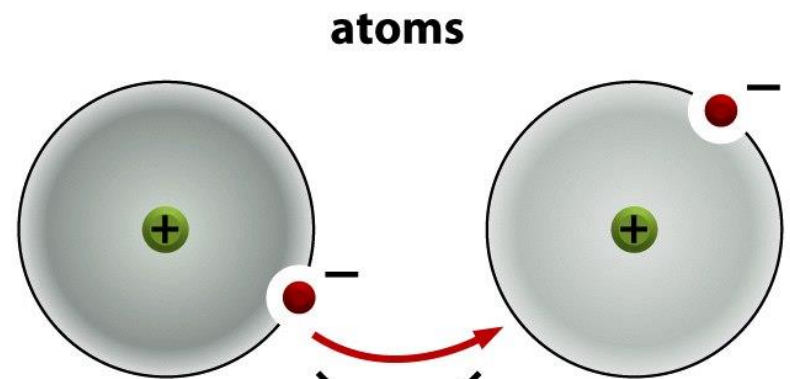


SHARING OF
ELECTRONS

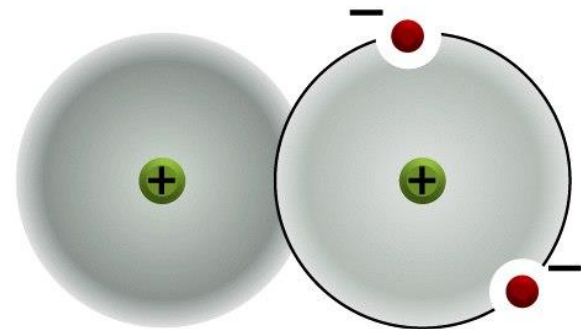


molecule

covalent bond



TRANSFER OF
ELECTRON

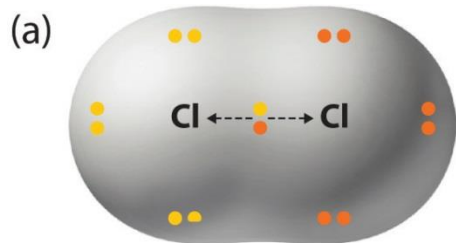


positive
ion

negative
ion

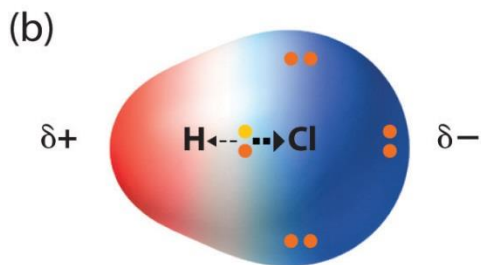
ionic bond

Kovalentní a iontové vazby



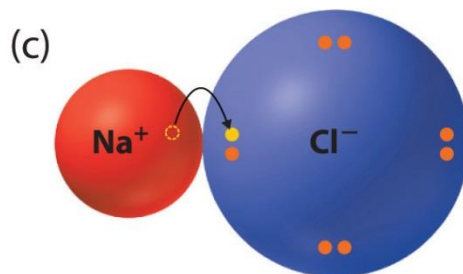
Nonpolar covalent bond

Bonding electrons shared equally between two atoms.
No charges on atoms.



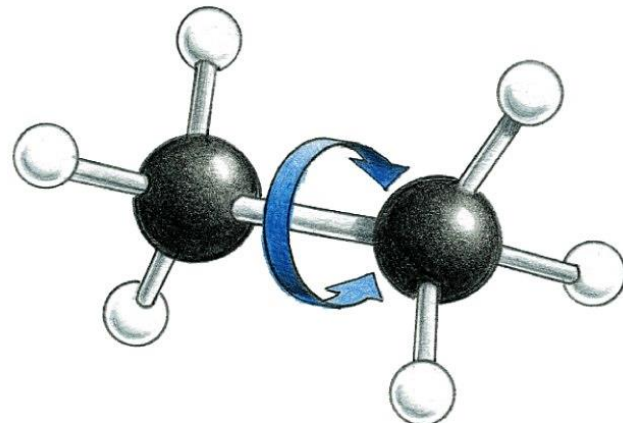
Polar covalent bond

Bonding electrons shared unequally between two atoms.
Partial charges on atoms.

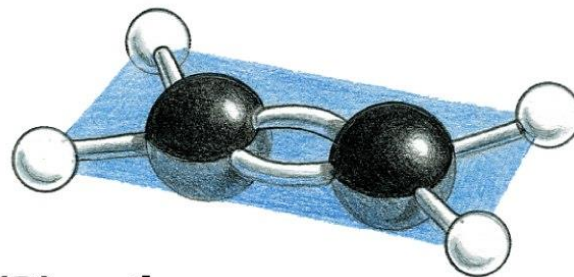


Ionic bond

Complete transfer of one or more valence electrons.
Full charges on resulting ions.



(A) ethane



(B) ethene

70% hmotnosti buňky tvoří voda

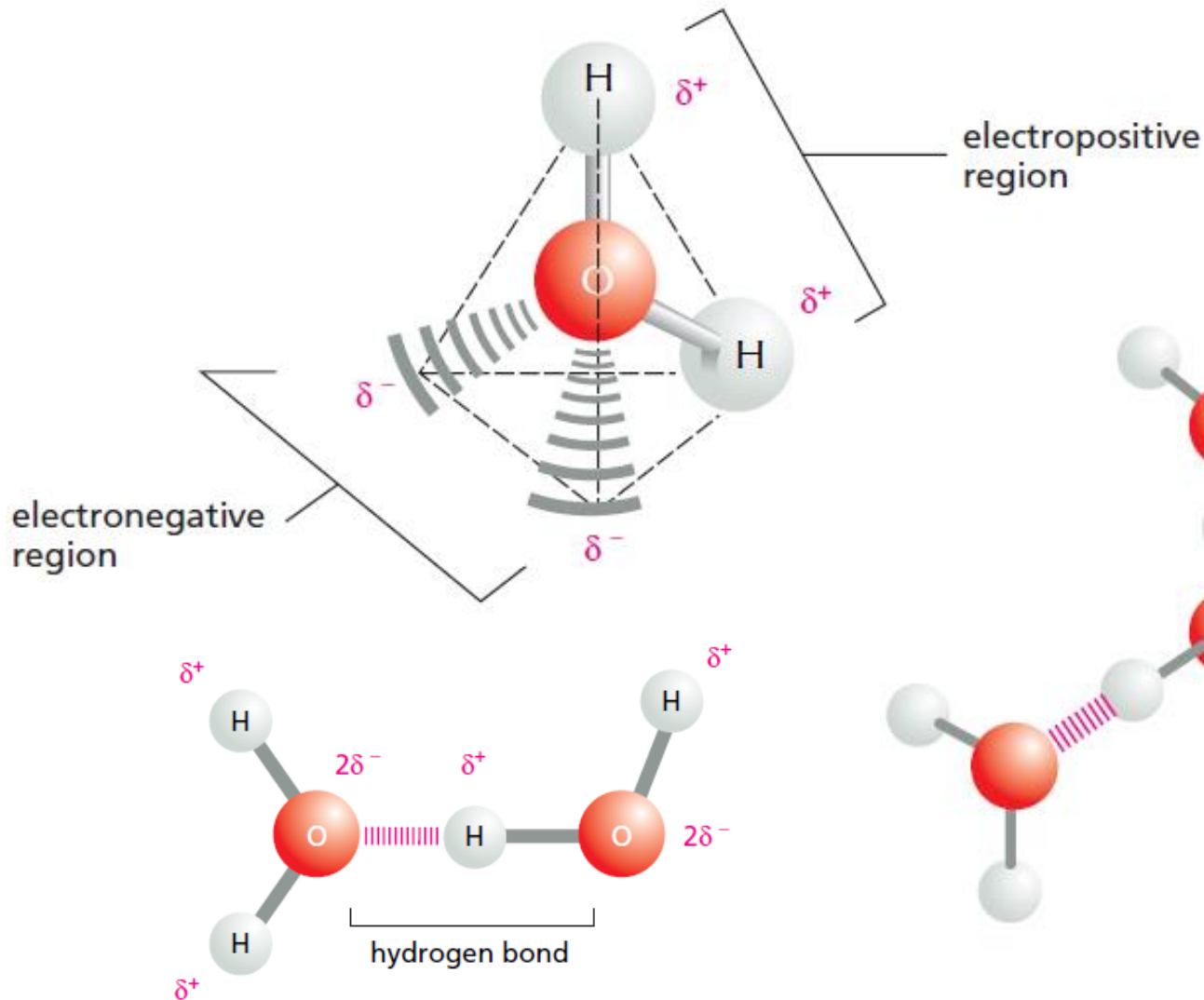
- celý chemismus buňky lze zjednodušit do této věty:
různé látky se chovají ve vodě různě
- rozpuštěnost** (polární/hydrofilní a nepolární/hydrofobní)
- nekovalentní (slabé) interakce** (van der Waalsovy síly, vodíkové můstky, hydrofobní síly, elektrostatické síly)
- pH** (acidobazické páry, slabé zásady a kyseliny, **pufry**)

Table 2–1 Covalent and Noncovalent Chemical Bonds

BOND TYPE	LENGTH (nm)	STRENGTH (kcal/mole)	
		IN VACUUM	IN WATER
Covalent	0.15	90	90
Noncovalent: ionic*	0.25	80	3
hydrogen	0.30	4	1
van der Waals attraction (per atom)	0.35	0.1	0.1

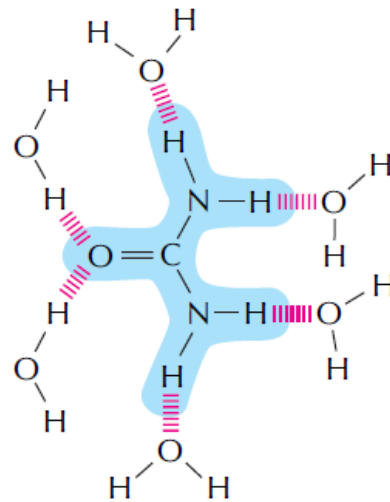
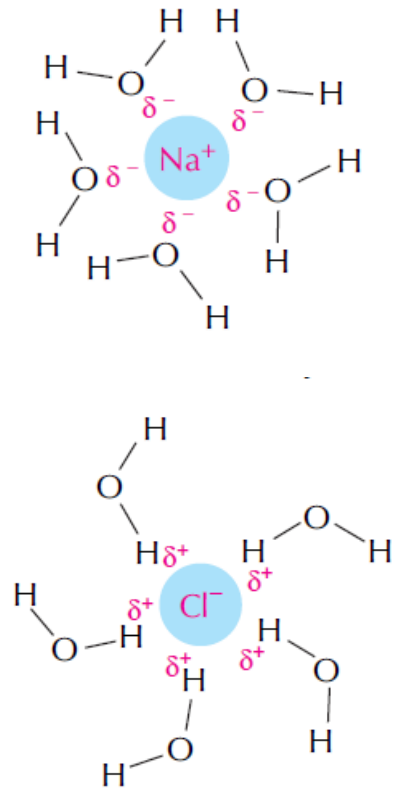
*An ionic bond is an electrostatic attraction between two fully charged atoms.

Voda – nejrozšířenější polární rozpouštědlo

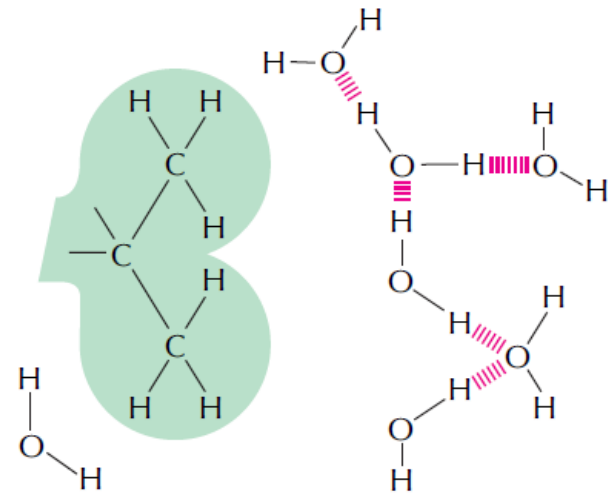


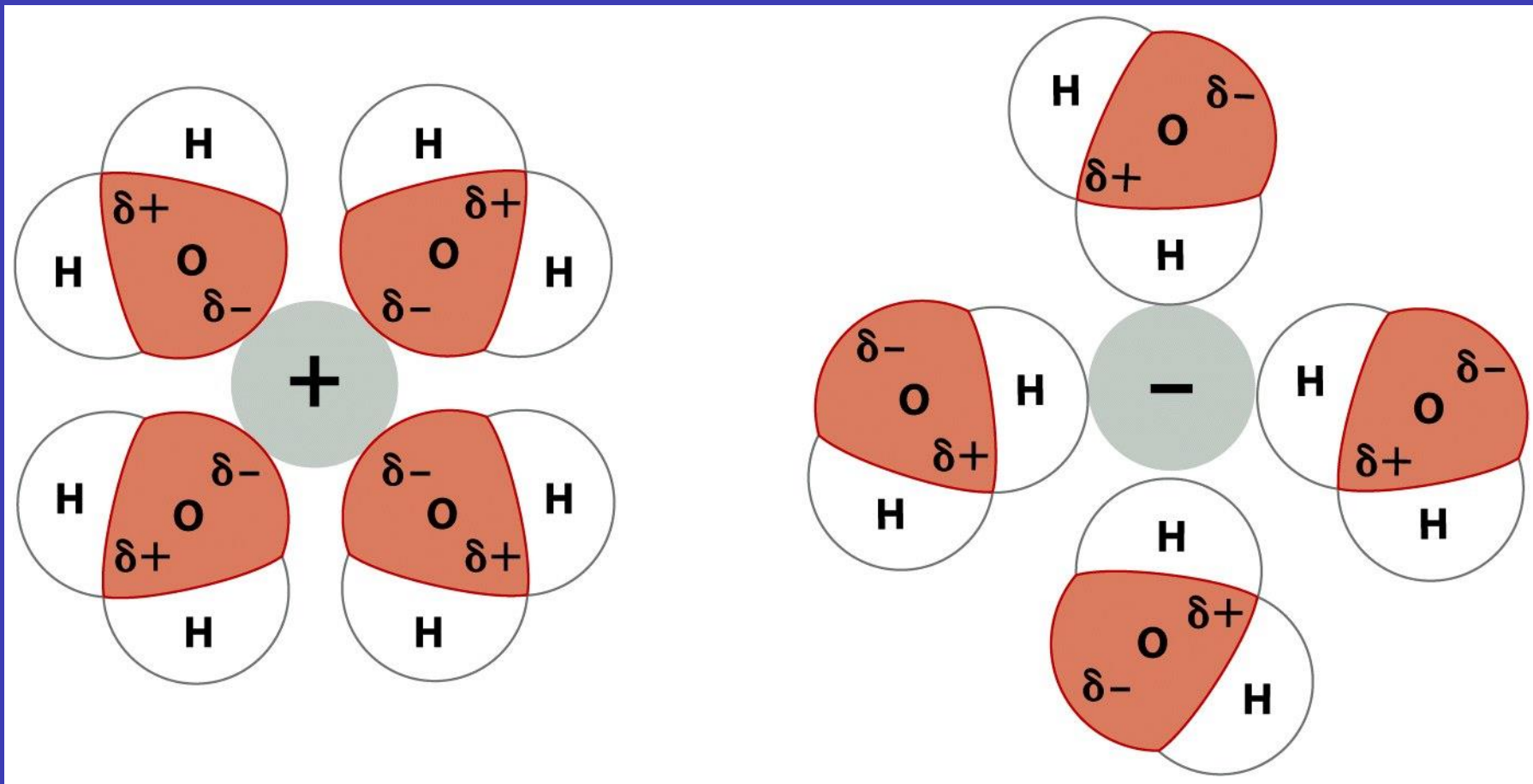
Hydrofilní a hydrofobní molekuly

HYDROPHILIC MOLECULES



HYDROPHOBIC MOLECULES

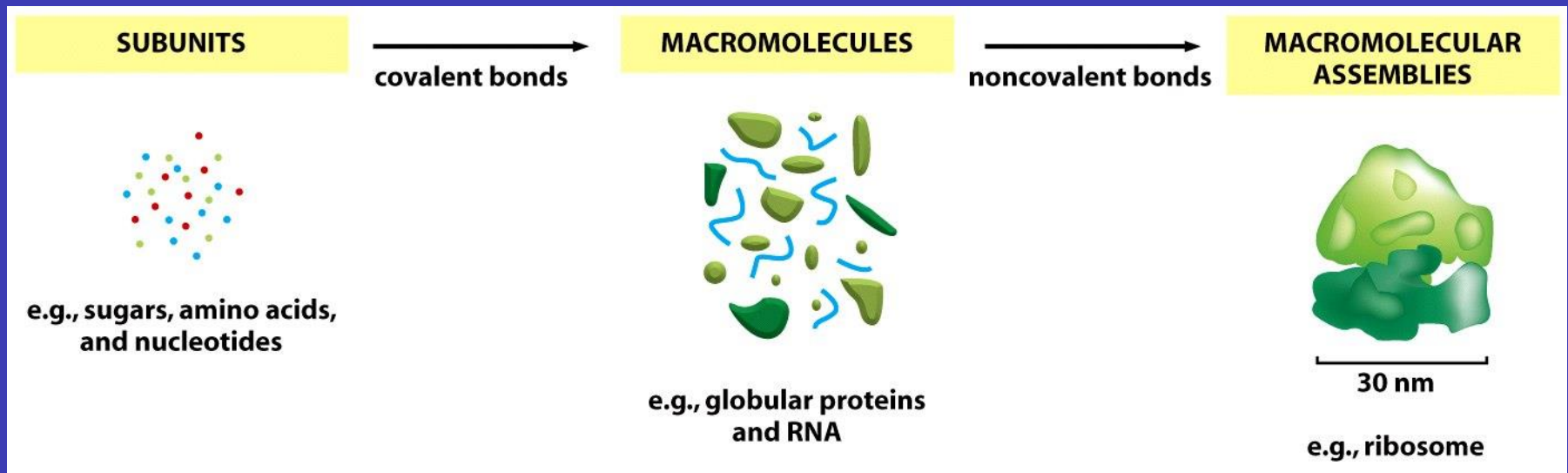




Iontové a polární látky se ve vodě rozpouštějí, protože k sobě přitahují molekuly vody a jsou jimi obklopeny. To vysvětluje, **proč je iontová vazba – velmi silná ve vakuu a ve vodě natolik slabá** (80 vs. 3 kcal/mol).

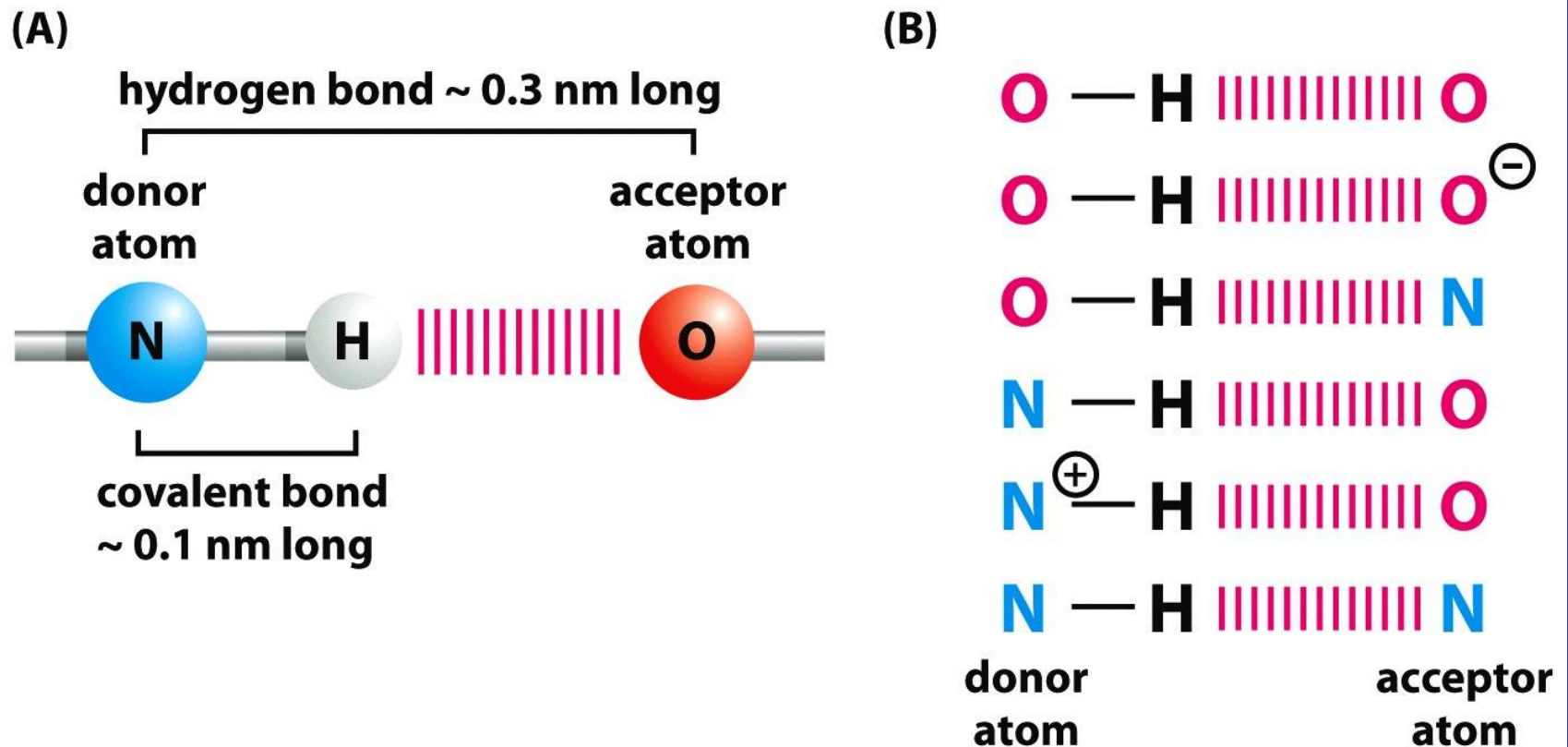
Klíčový význam nekovalentních interakcí

Kovalentní vazby spojují atomy jeden vedle druhého, jak se ale makromolekula (nukleová kyselina, protein, polysacharid) **uspořádá v prostoru**, o tom rozhodují **nekovalentní (slabé) interakce** mezi atomy z různých částí makromolekuly a mezi atomy makromolekuly a atomy rozpouštědla (vody).

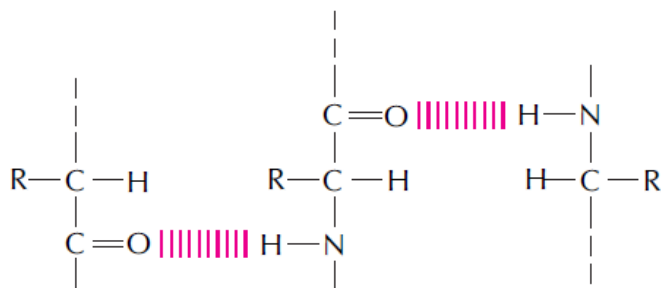


Vodíkové můstky

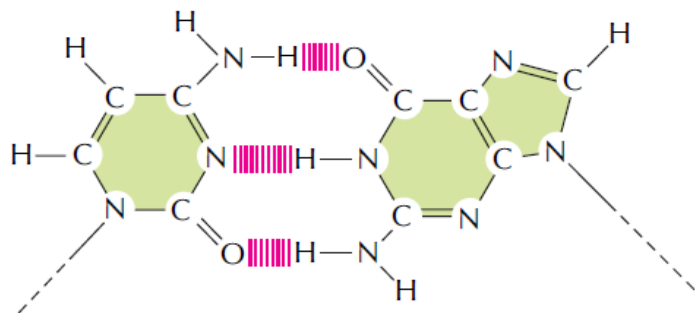
Parciální kladný náboj na H vázaném na elektronegativní prvek může být **přitahován záporným nábojem** z jiné molekuly (např. vody) či z jiné části makromolekuly.



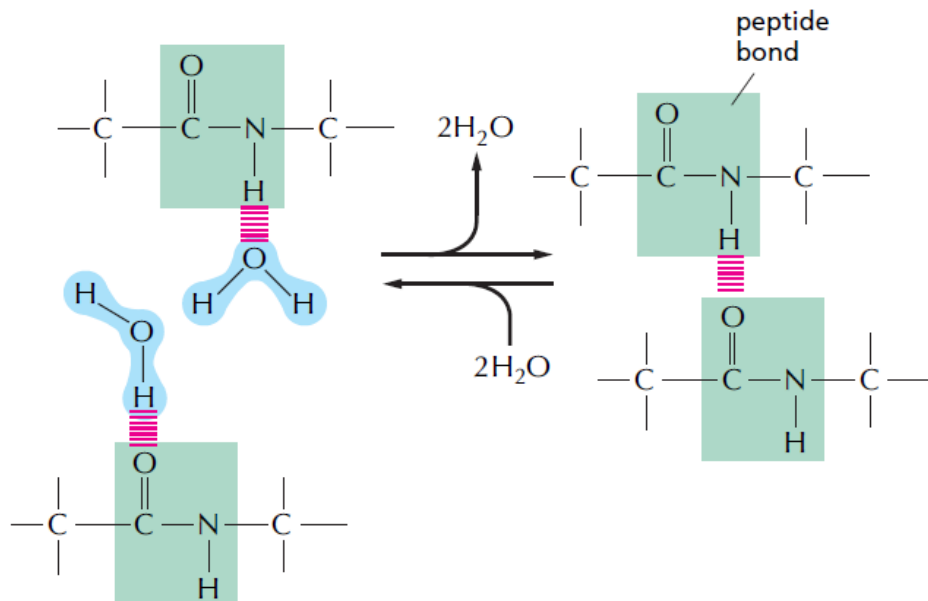
Amino acids in polypeptide chains hydrogen-bonded together.



Two bases, G and C, hydrogen-bonded in DNA or RNA.

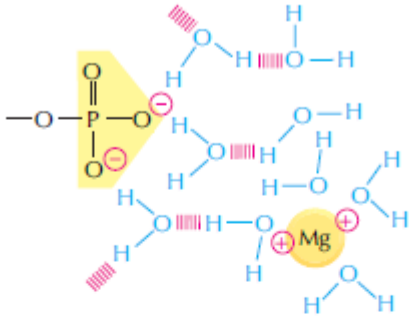


Any molecules that can form hydrogen bonds to each other can alternatively form hydrogen bonds to water molecules. Because of this competition with water molecules, the hydrogen bonds formed between two molecules dissolved in water are relatively weak.

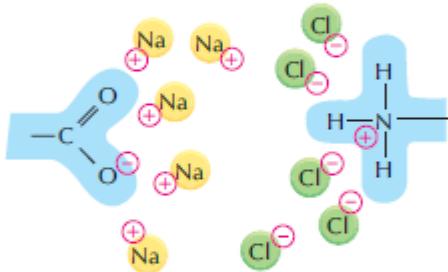


Vodíkové můstky určují **prostorovou strukturu** např. **peptidů** nebo **nukleových kyselin**. Vodíkové můstky mezi atomy A a B musí ovšem vždy čelit soutěži s molekulami vody, jež mohou tvořit vodíkové můstky s A i s B.

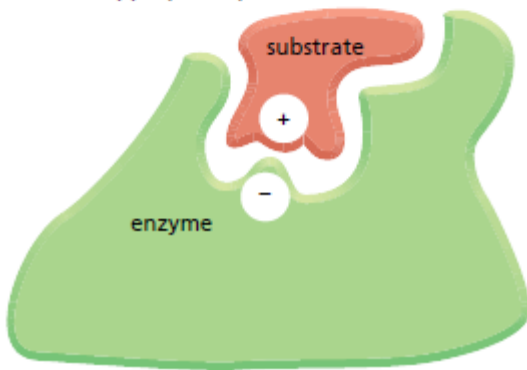
Charged groups are shielded by their interactions with water molecules. Electrostatic attractions are therefore quite weak in water.



Similarly, ions in solution can cluster around charged groups and further weaken these attractions.



Despite being weakened by water and salt, electrostatic attractions are very important in biological systems. For example, an enzyme that binds a positively charged substrate will often have a negatively charged amino acid side chain at the appropriate place.

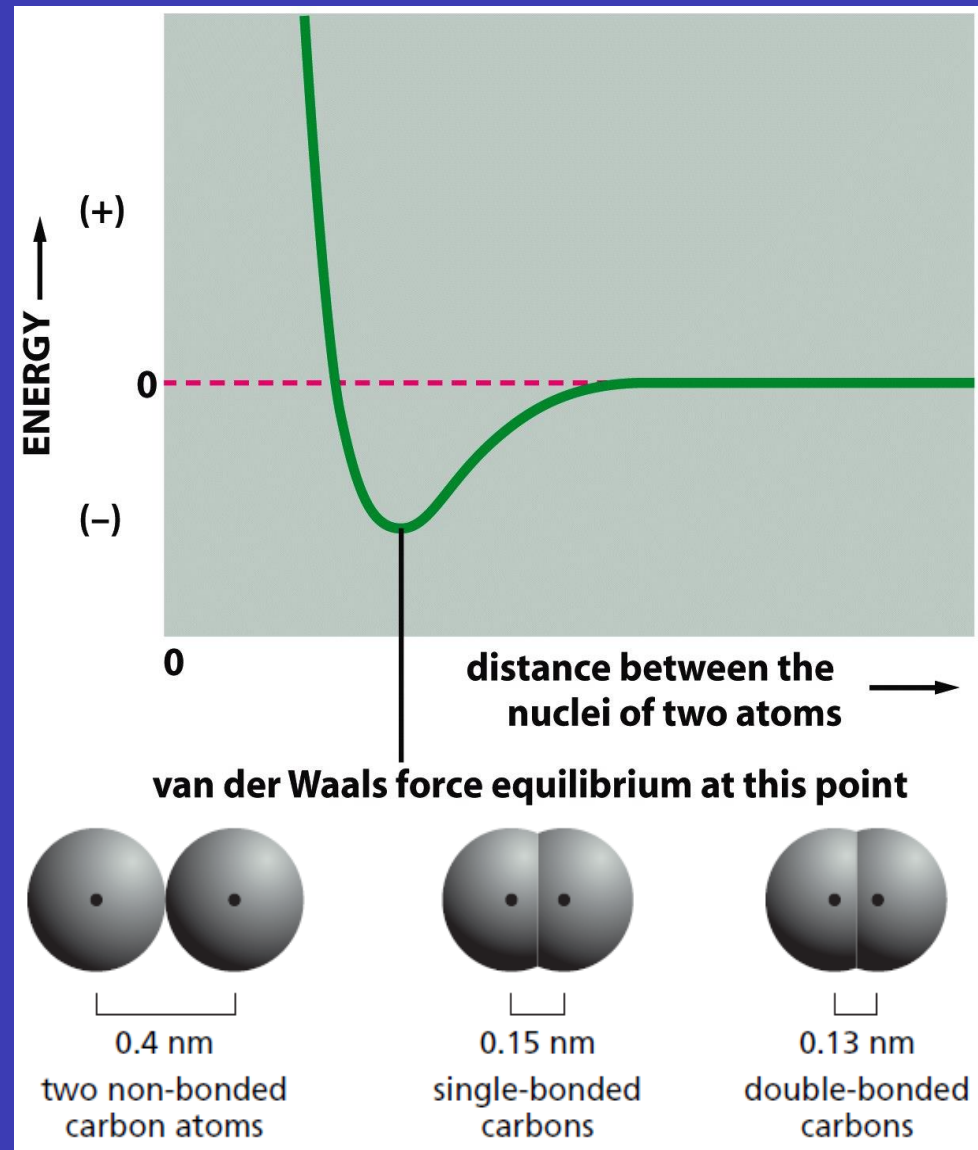


Elektrostatické síly

Kromě H-můstků, které jsou založeny na přitažlivosti parciálního kladného náboje na vodíku a záporných nábojů okolo, existují i jiné **přitažlivé síly mezi kladnými a zápornými náboji** na různých atomech, jež se obecně nazývají **elektrostatické**. Tyto síly stejně jako ostatní nekovalentní interakce hrají klíčovou roli v buněčné chemii, např. mohou umožňovat **vazbu substrátu do aktivního místa enzymu**.

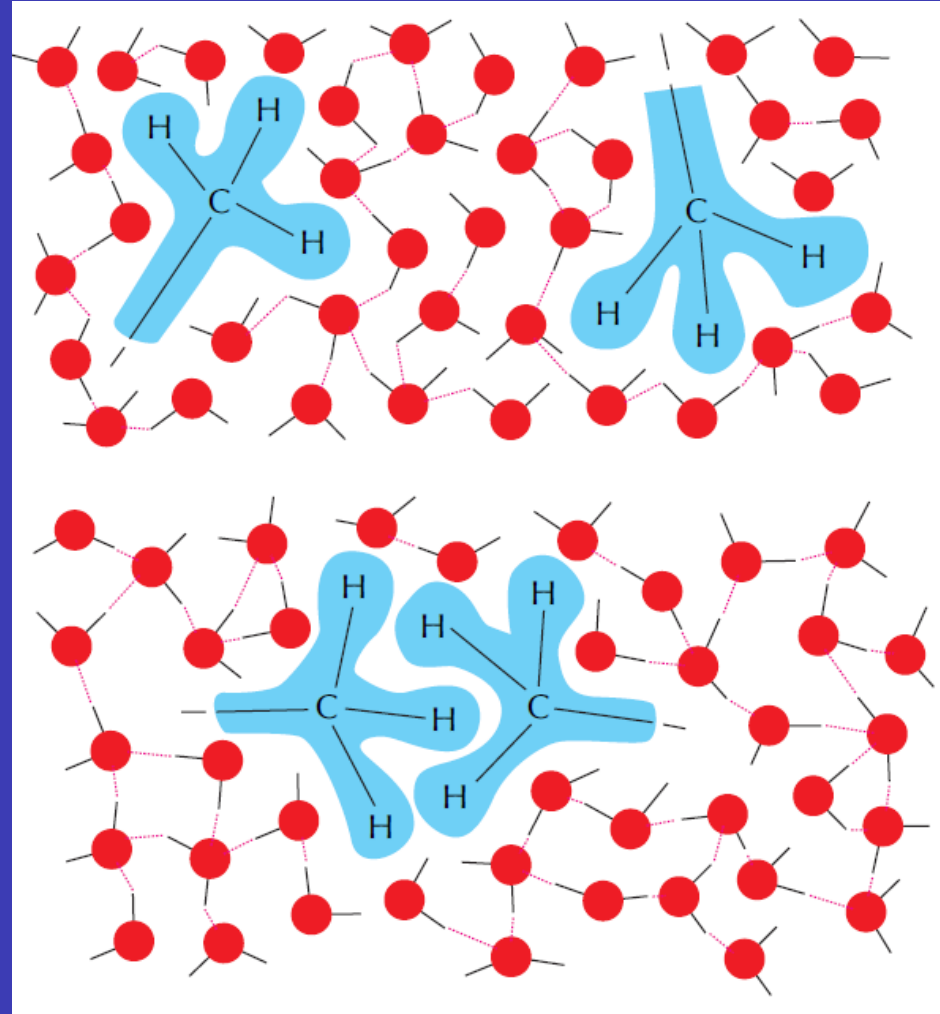
Van der Waalsovy síly

Také **atomy bez chemické vazby a polární/elektrické přitažlivosti** mají mezi sebou optimální vzdálenost, v níž je **energie systému nejnižší**. Ke změně této vzdálenosti je třeba na atomy působit silou, která překoná stav obou atomů zůstat v optimální pozici, tzv. *van der Waalsovu sílu*. Jedná se o **síly velmi slabé**, ale citelné a účinné.



Hydrofobní interakce

Nepolární molekuly se „cítí lépe“ v nepolárním (hydrofobním) prostředí než v polární vodě. Při střetu dvou nebo víc hydrofobních molekul se tyto orientují **nepolárními (hydrofobními) částmi k sobě** a **polární (hydrofilní) části** jsou orientovány **k vodnímu prostředí**. Tuto sílu můžeme najít např. v lipofilním nitru **biologických membrán**.



Hlavní uhlíkaté sloučeniny v buňce

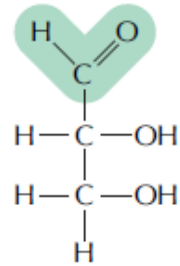
- **sacharidy** (glukóza, ribóza) → **disacharidy** (sacharóza) → **polysacharidy** (glykogen, škrob, celulóza); sacharidy představují především zdroj energie ale i stavební materiál
- **mastné kyseliny** (kyselina palmitová, olejová...) → **triacylglyceroly** (tuky, zásoba energie) a **fosfolipidy** (fosfatidylcholin, lecithin, buněčné membrány)
- **nukleotidy** (báze + cukr + fosfát) jsou součástí **ATP** nebo **koenzymu A** nebo tvoří makromolekuly, zvané **nukleové kyseliny** (kódují genetickou informaci)
- **L-aminokyseliny** → 20-23 základních aminokyselin tvoří pomocí **peptidových vazeb bílkoviny** (proteiny)

Sacharidy

- **monosacharidy** – $(\text{CH}_2\text{O})_n$, kde $n = 3-8$
- z chemického hlediska jsou monosacharidy aldosity (aldehydová skupina) nebo ketosy (ketonová skupina)
- mnoho monosacharidů se liší pouze prostorovým uspořádáním atomů (např. uspořádání $-\text{OH}$ skupiny) a vytvářejí tak **izomery**
- každý z těchto monosacharidů může existovat v jedné ze dvou **forem D a L**, které jsou navzájem zrcadlovým obrazem – **optické izomery**
- spájení dvou a více monosacharidů prostřednictvím vazby mezi $-\text{OH}$ skupinami (**glykosidová vazba**) – **kondenzační reakce**

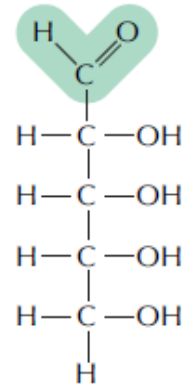
ALDOSES

3-carbon (TRIOSES)



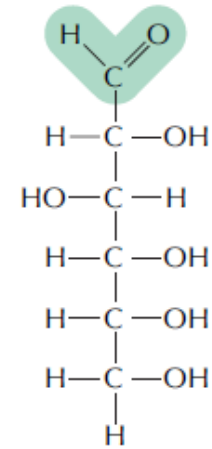
glyceraldehyde

5-carbon (PENTOSES)



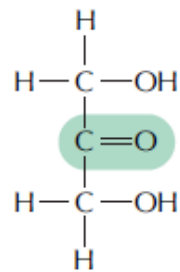
ribose

6-carbon (HEXOSES)

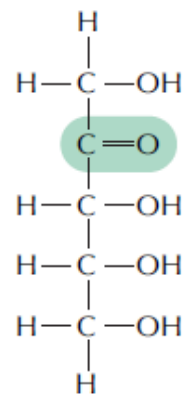


glucose

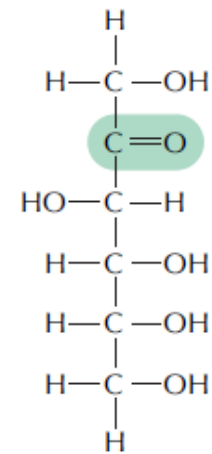
KETOSES



dihydroxyacetone

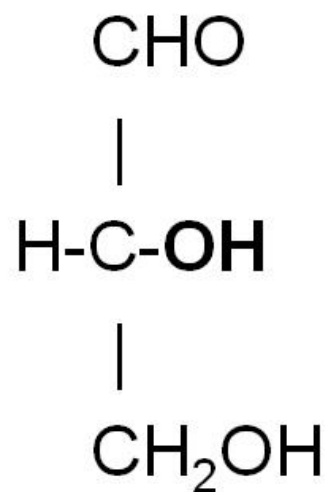


ribulose

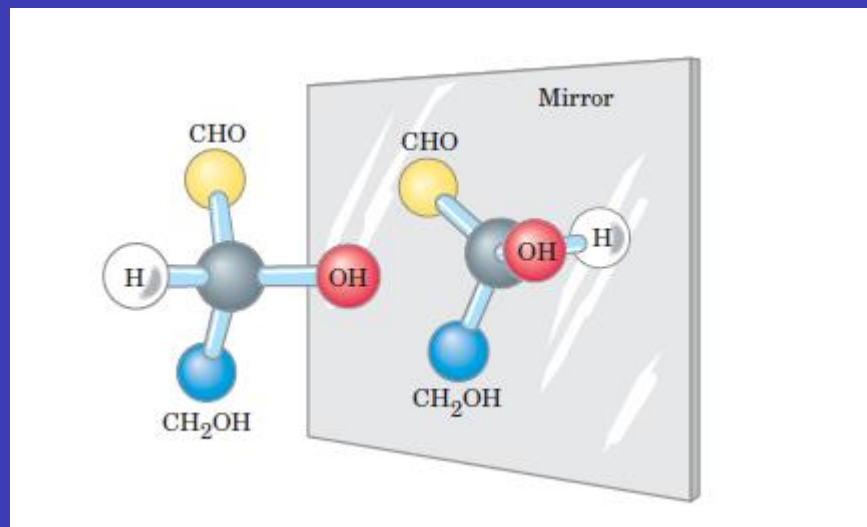
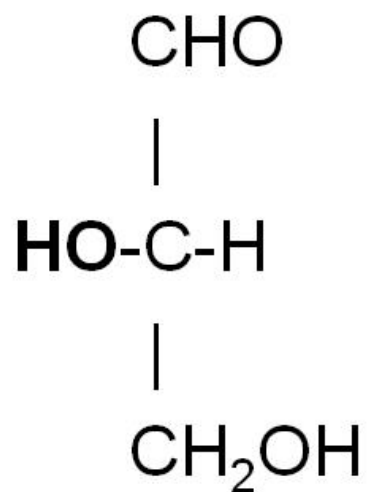


fructose

D-glyceraldehyd

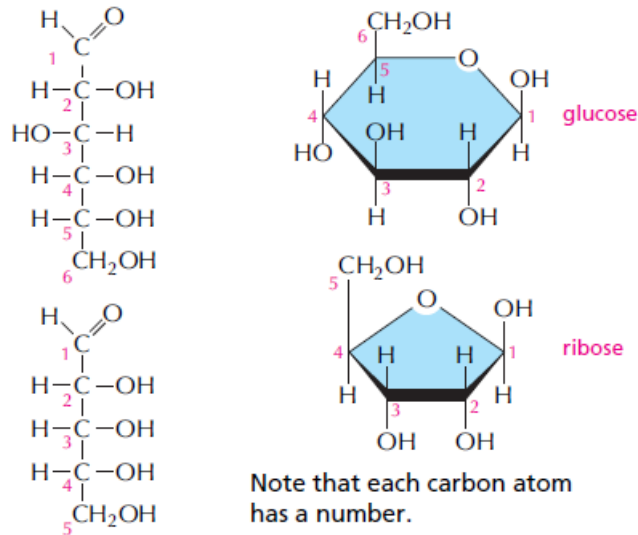


L-glyceraldehyd



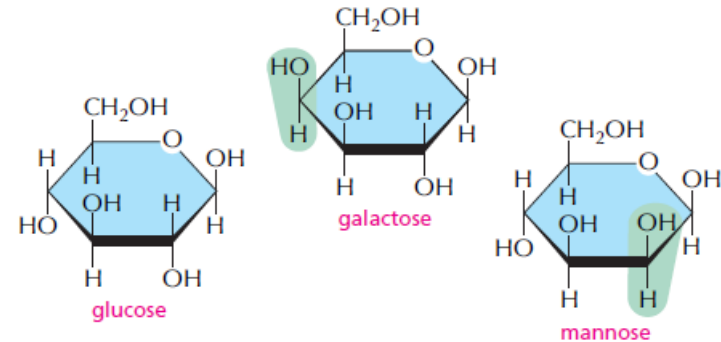
RING FORMATION

In aqueous solution, the aldehyde or ketone group of a sugar molecule tends to react with a hydroxyl group of the same molecule, thereby closing the molecule into a ring.



ISOMERS

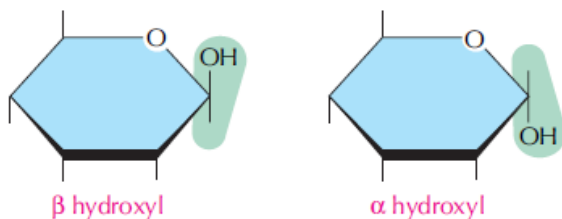
Many monosaccharides differ only in the spatial arrangement of atoms—that is, they are **isomers**. For example, glucose, galactose, and mannose have the same formula ($C_6H_{12}O_6$) but differ in the arrangement of groups around one or two carbon atoms.



These small differences make only minor changes in the chemical properties of the sugars. But they are recognized by enzymes and other proteins and therefore can have important biological effects.

α AND β LINKS

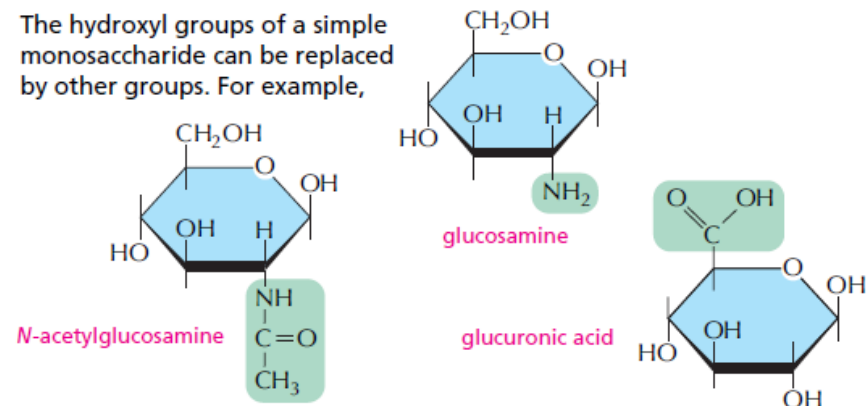
The hydroxyl group on the carbon that carries the aldehyde or ketone can rapidly change from one position to the other. These two positions are called α and β .



As soon as one sugar is linked to another, the α or β form is frozen.

SUGAR DERIVATIVES

The hydroxyl groups of a simple monosaccharide can be replaced by other groups. For example,



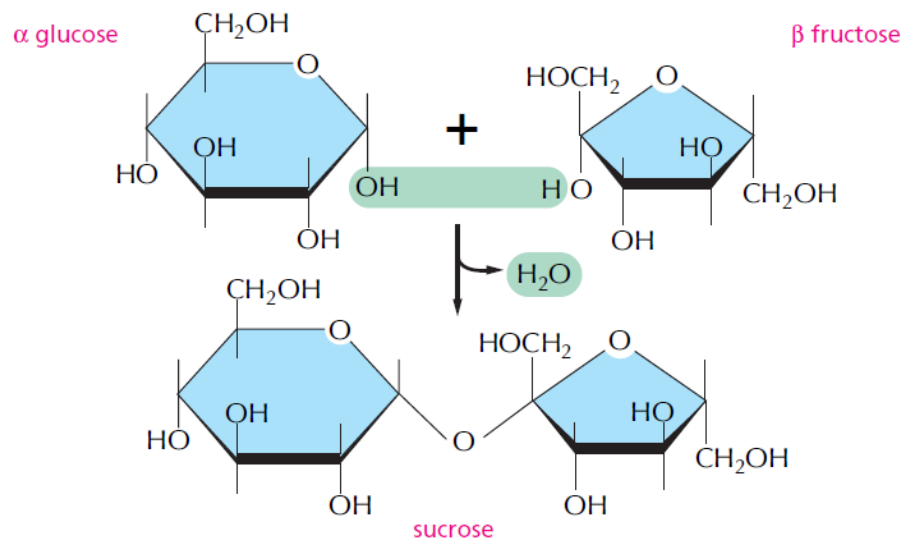
DISACCHARIDES

The carbon that carries the aldehyde or the ketone can react with any hydroxyl group on a second sugar molecule to form a **disaccharide**. The linkage is called a glycosidic bond.

Three common disaccharides are

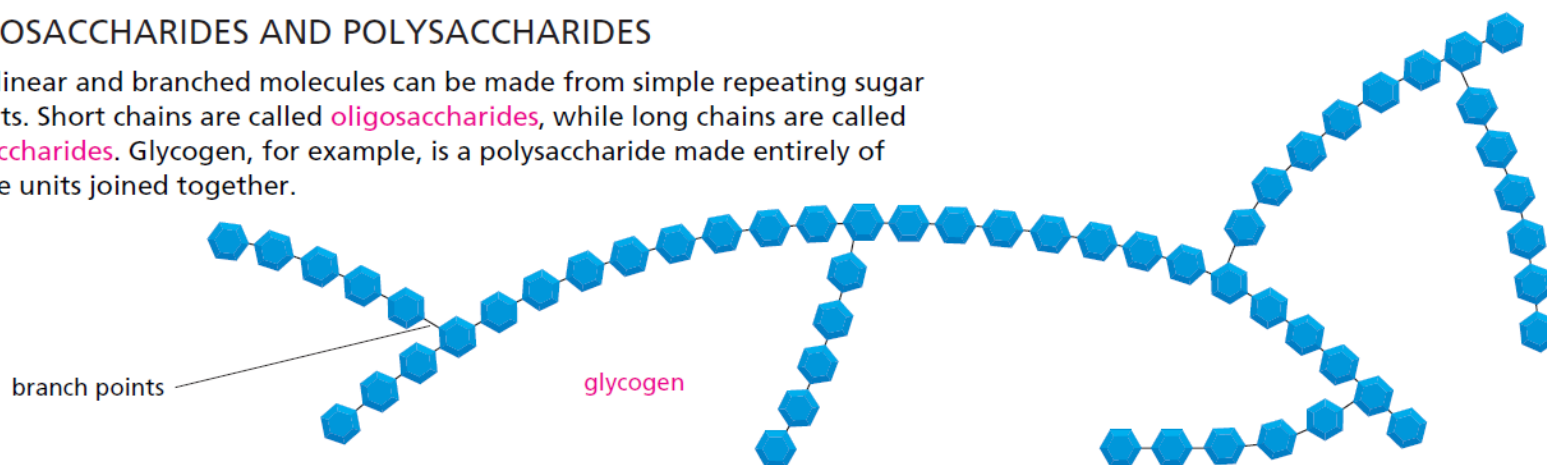
- maltose (glucose + glucose)
- lactose (galactose + glucose)
- sucrose (glucose + fructose)

The reaction forming sucrose is shown here.



OLIGOSACCHARIDES AND POLYSACCHARIDES

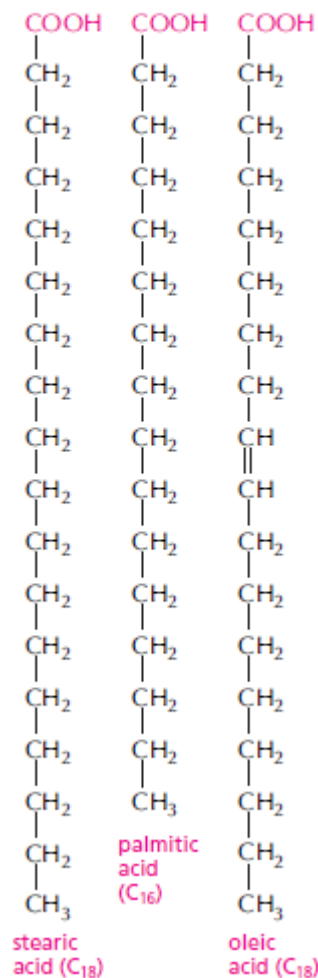
Large linear and branched molecules can be made from simple repeating sugar subunits. Short chains are called **oligosaccharides**, while long chains are called **polysaccharides**. Glycogen, for example, is a polysaccharide made entirely of glucose units joined together.



Lipidy

- **mastné kyseliny** obsahují dvě chemicky odlišné oblasti – dlouhý nepolární uhlovodíkový řetězec a polární karboxylovou skupinu ($-\text{COOH}$)
- karboxylová skupina se v roztoku vyskytuje v iontové formě, je chemicky reaktivní, obvykle je však vázána s dalšími skupinami a tvoří **estery** nebo **amidy**
- vysokoenergetické zásoby – **triacylglyceroly**
- hlavní komponenty buněčných membrán – **fosfolipidy**, které mají **amfifilní (amfipatické)** vlastnosti
- jiné lipidické sloučeniny: **steroidy** – obsahují polycyklickou strukturu (např. hormony), **glykolipidy** – obsahují cukerné zbytky

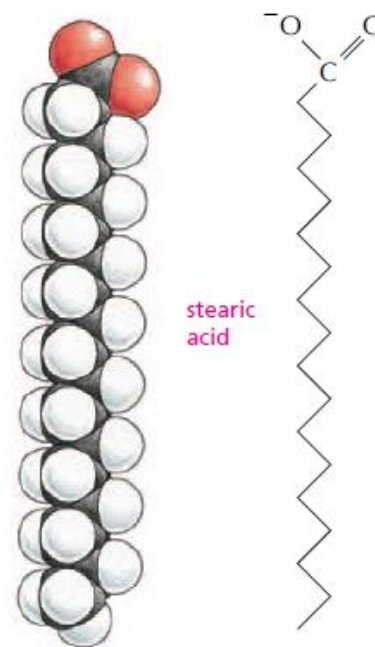
These are carboxylic acids with long hydrocarbon tails.



oleic acid

space-filling model carbon skeleton

UNSATURATED



SATURATED

CARBOXYL GROUP

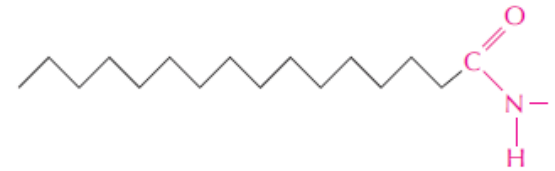
If free, the carboxyl group of a fatty acid will be ionized.



But more usually it is linked to other groups to form either **esters**

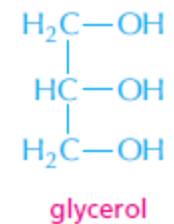
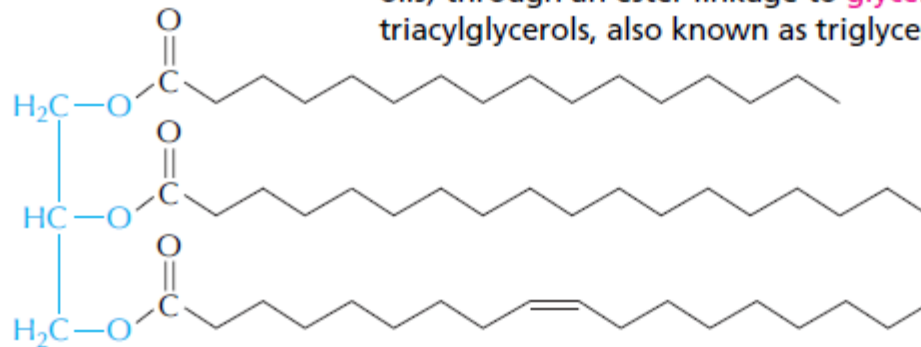


or **amides**.



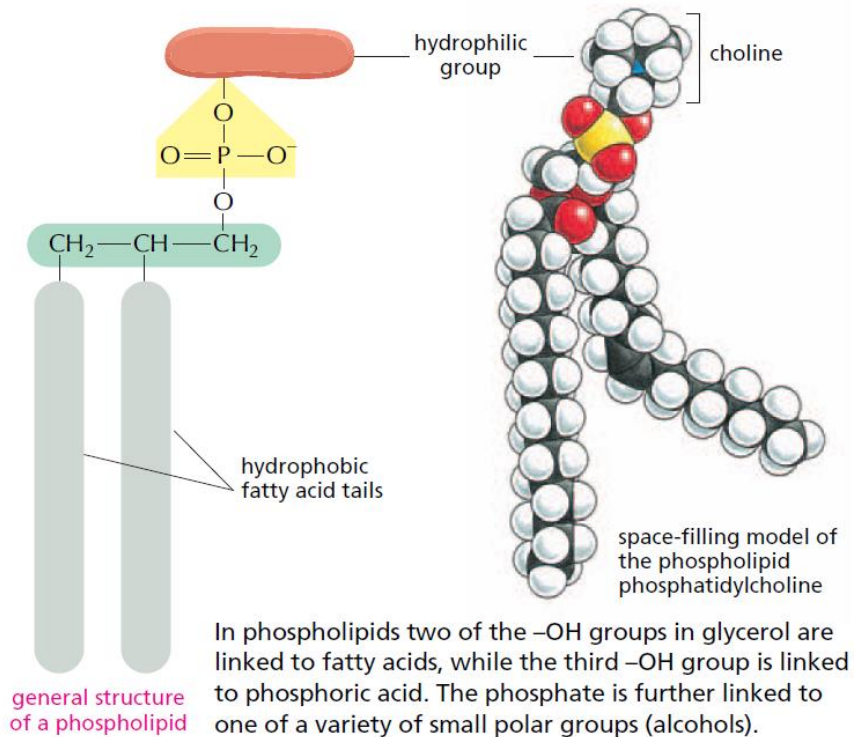
TRIACYLGLYCEROLS

Fatty acids are stored as an energy reserve (fats and oils) through an ester linkage to **glycerol** to form triacylglycerols, also known as triglycerides.



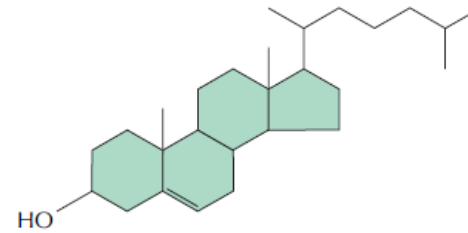
PHOSPHOLIPIDS

Phospholipids are the major constituents of cell membranes.

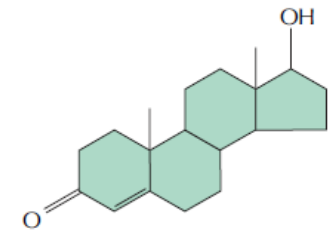


STERIODS

Steroids have a common multiple-ring structure.



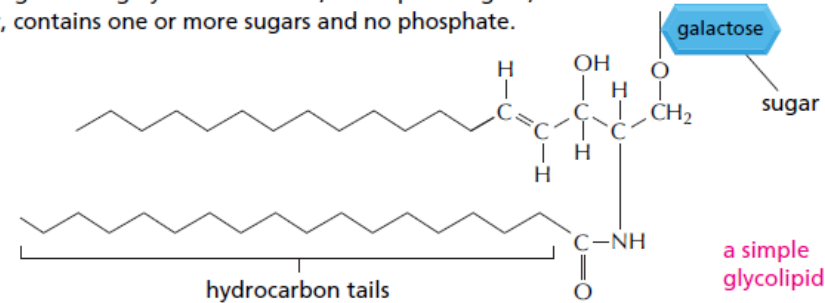
cholesterol—found in many membranes



testosterone—male steroid hormone

GLYCOLIPIDS

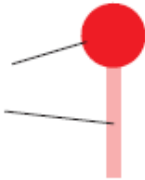
Like phospholipids, these compounds are composed of a hydrophobic region, containing two long hydrocarbon tails, and a polar region, which, however, contains one or more sugars and no phosphate.



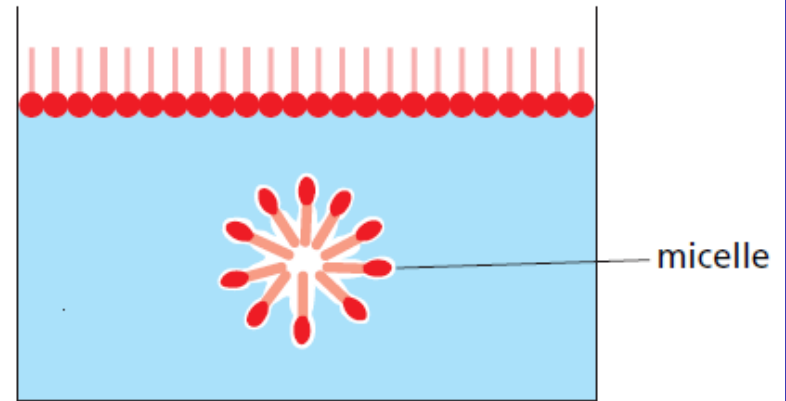
a simple glycolipid

Lipidové agregáty

Fatty acids have a hydrophilic head and a hydrophobic tail.



In water they can form a surface film or form small micelles.

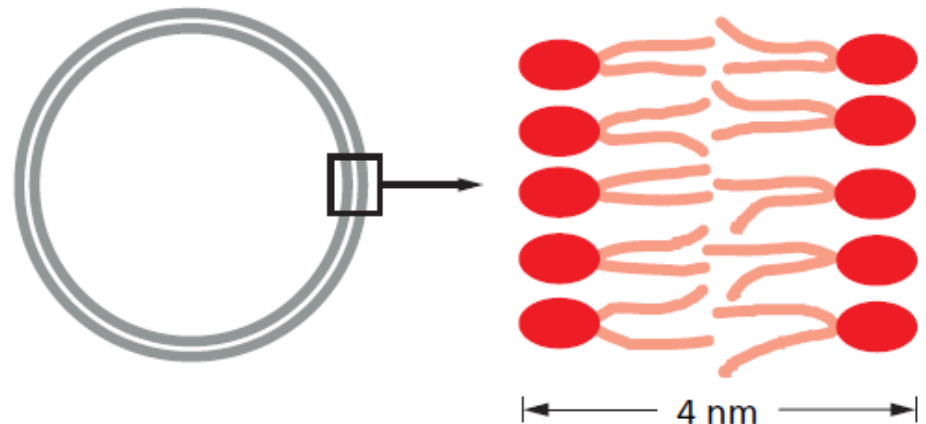


Their derivatives can form larger aggregates held together by hydrophobic forces:

Triglycerides can form large spherical fat droplets in the cell cytoplasm.

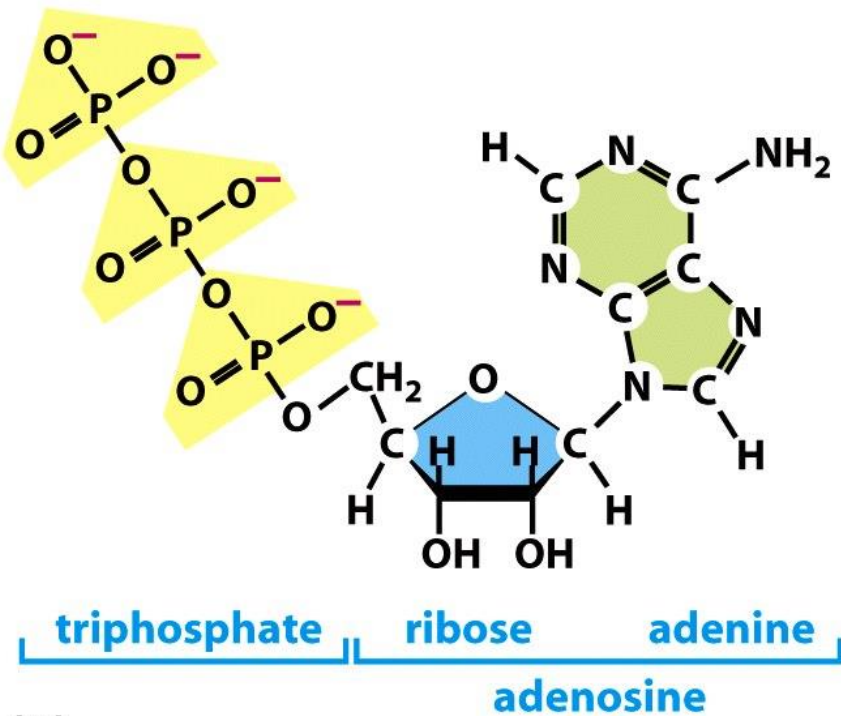


Phospholipids and **glycolipids** form self-sealing lipid bilayers that are the basis for all cell membranes.

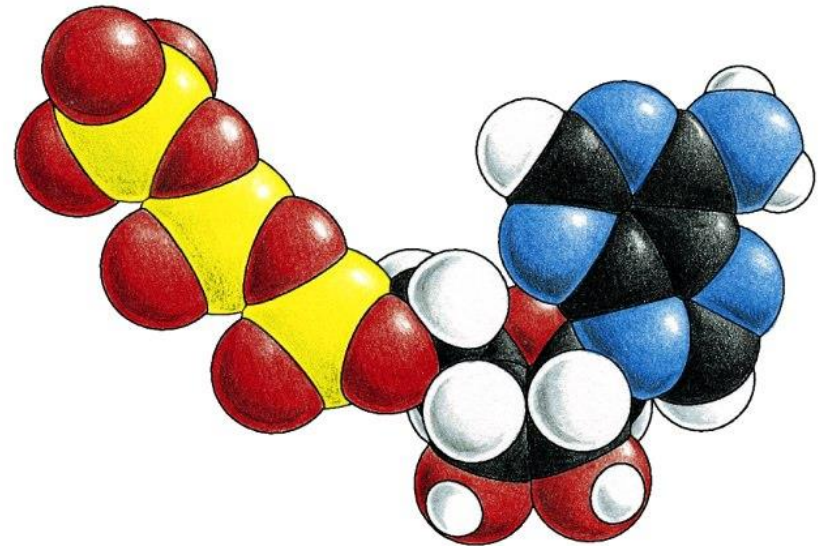


Nukleové kyseliny

- základní stavební jednotkou je **nukleotid**, který se skládá z **dusíkaté báze + cukru + fosfátové skupiny**

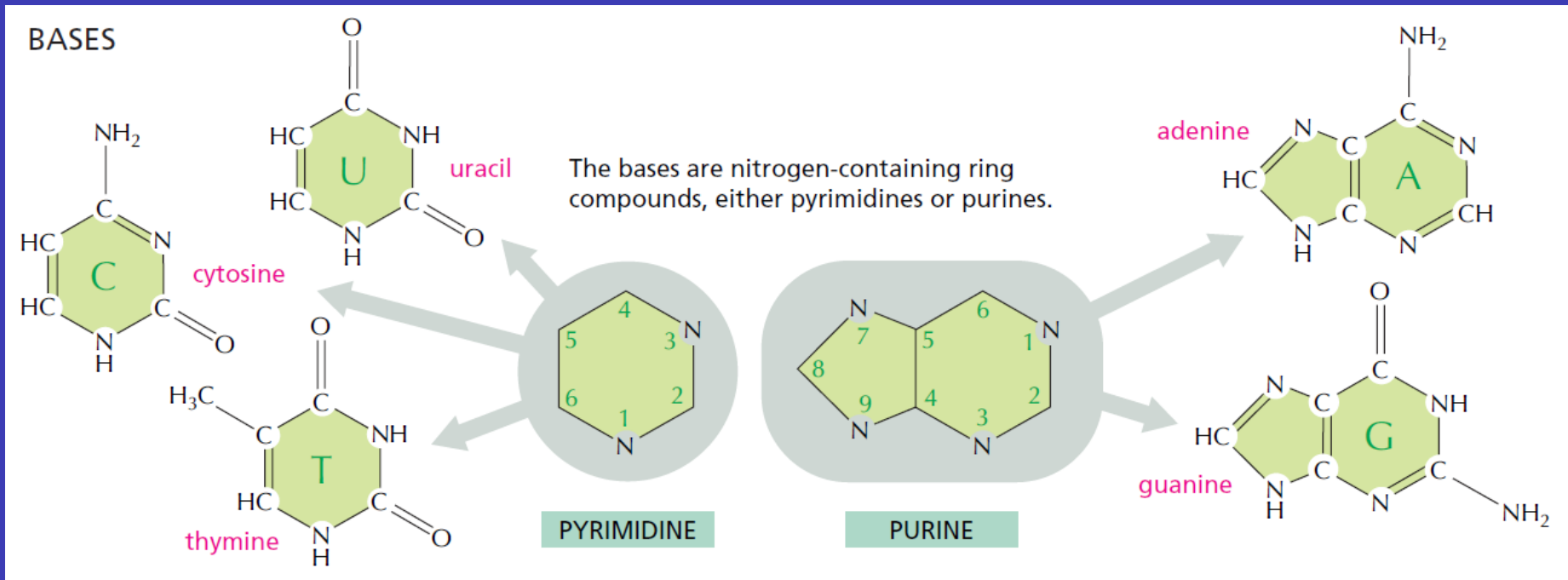


(A)



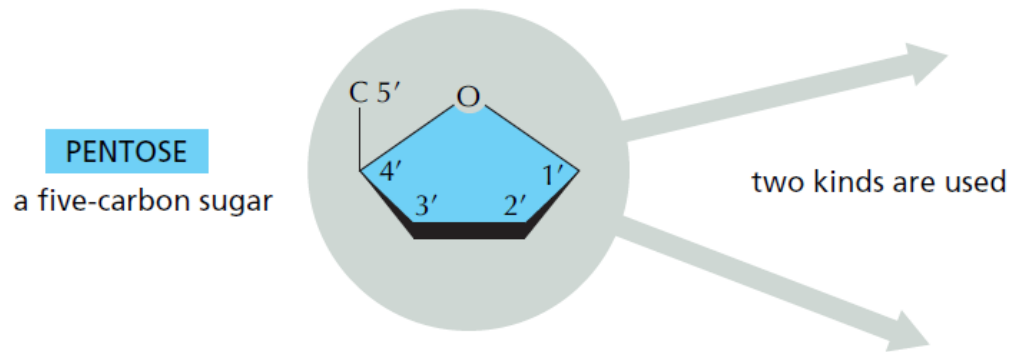
(B)

- dusíkaté báze:
 - pyrimidinové: **cytosin (C), thymin (T), uracil (U)**
(uracil nahrazuje thymin v molekule RNA)
 - purinové: **guanin (G), adenin (A)**

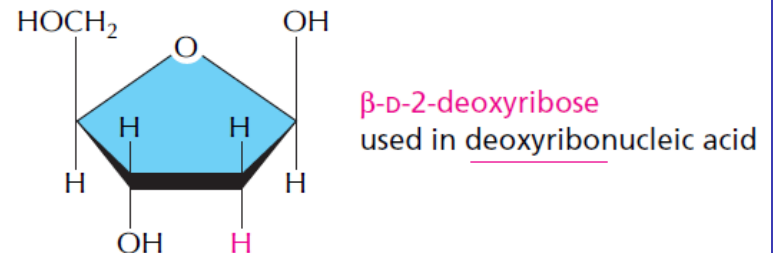
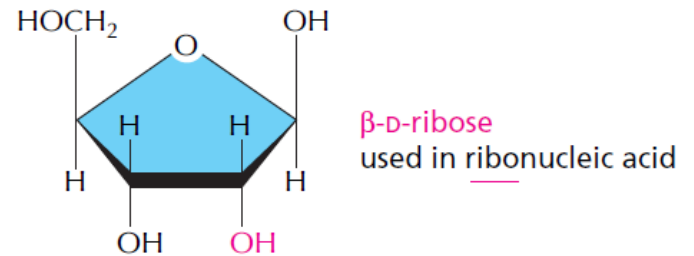


- cukernou složku tvoří pětiuhlíkatý cukr (pentosa):
 - β -D-ribose (RNA)
 - β -D-2-deoxyribose (DNA)

SUGARS



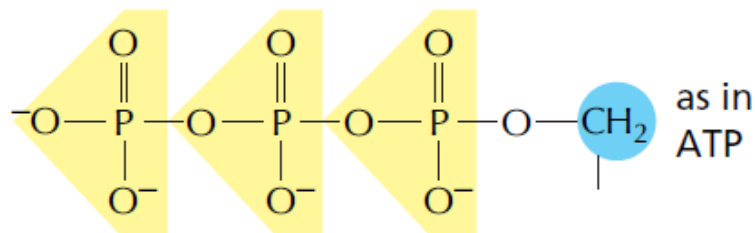
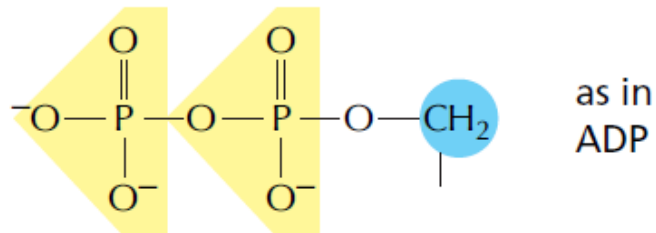
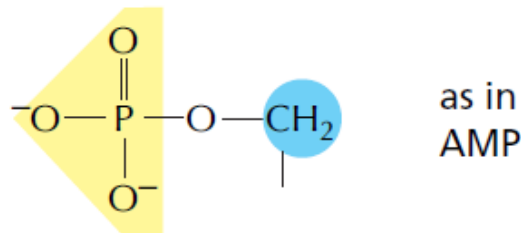
Each numbered carbon on the sugar of a nucleotide is followed by a prime mark; therefore, one speaks of the "5-prime carbon," etc.



- fosfátová složka:

PHOSPHATES

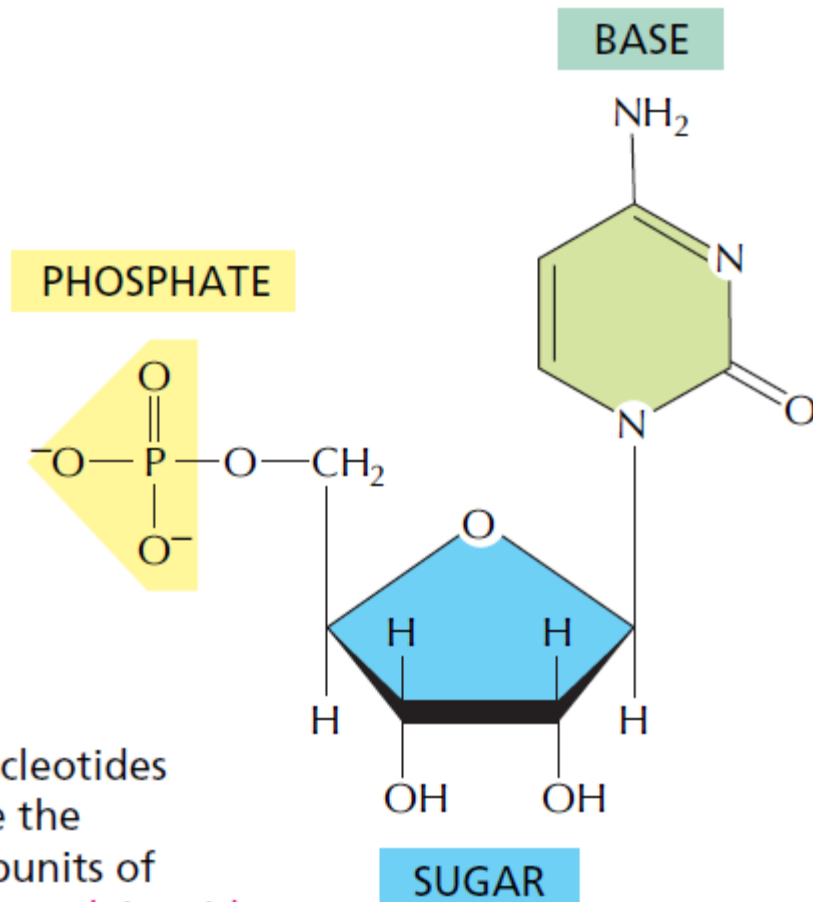
The phosphates are normally joined to the C5 hydroxyl of the ribose or deoxyribose sugar (designated 5'). Mono-, di-, and triphosphates are common.



The phosphate makes a nucleotide negatively charged.

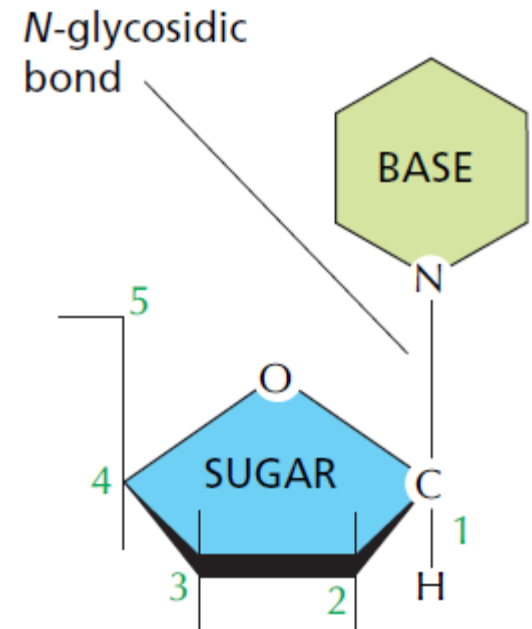
NUCLEOTIDES

A nucleotide consists of a nitrogen-containing base, a five-carbon sugar, and one or more phosphate groups.



Nucleotides are the subunits of the **nucleic acids**.

BASIC SUGAR LINKAGE



The base is linked to the same carbon (C1) used in sugar-sugar bonds.

Nomenklatura

- dusíkatá báze + cukr – **nukleosid**
- dusíkatá báze + cukr + fosfátová skupina – **nukleotid**

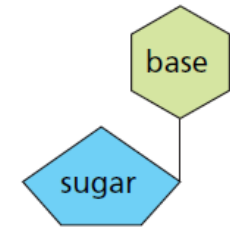
NOMENCLATURE

A nucleoside or nucleotide is named according to its nitrogenous base.

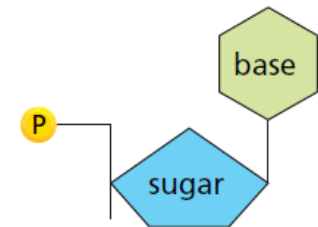
BASE	NUCLEOSIDE	ABBR.
adenine	adenosine	A
guanine	guanosine	G
cytosine	cytidine	C
uracil	uridine	U
thymine	thymidine	T

Single letter abbreviations are used variously as shorthand for (1) the base alone, (2) the nucleoside, or (3) the whole nucleotide—the context will usually make clear which of the three entities is meant. When the context is not sufficient, we will add the terms “base”, “nucleoside”, “nucleotide”, or—as in the examples below—use the full 3-letter nucleotide code.

AMP = adenosine monophosphate
dAMP = deoxyadenosine monophosphate
UDP = uridine diphosphate
ATP = adenosine triphosphate

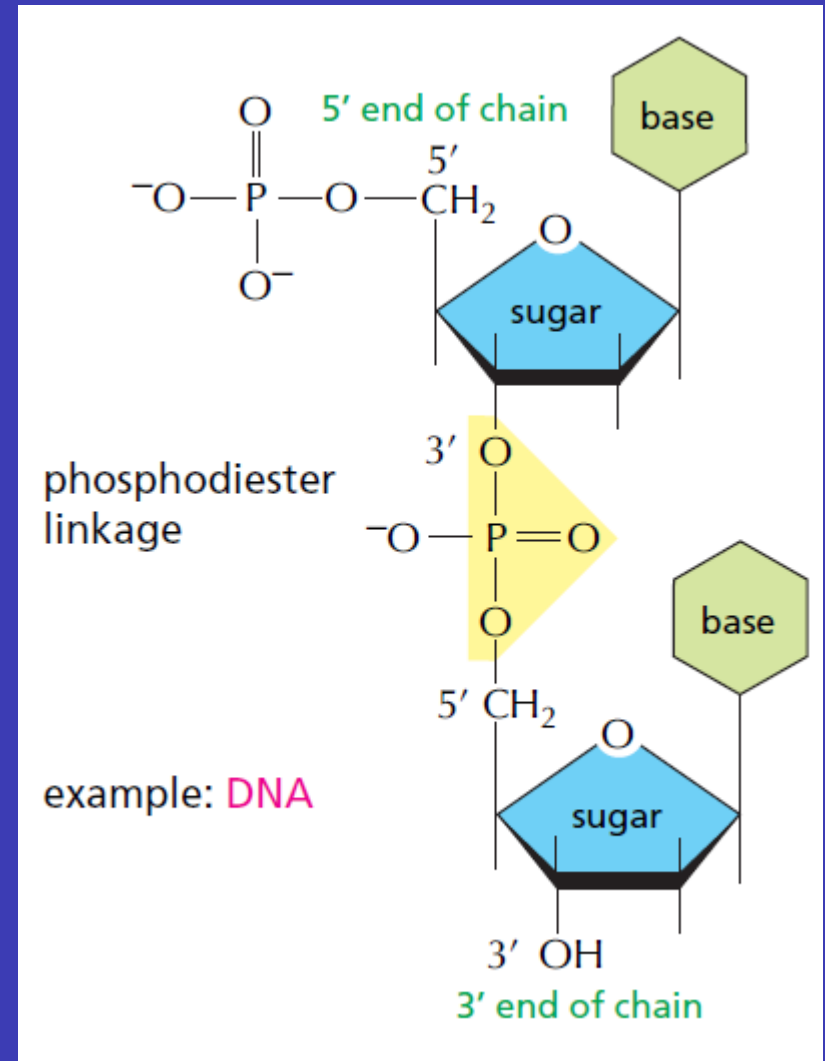
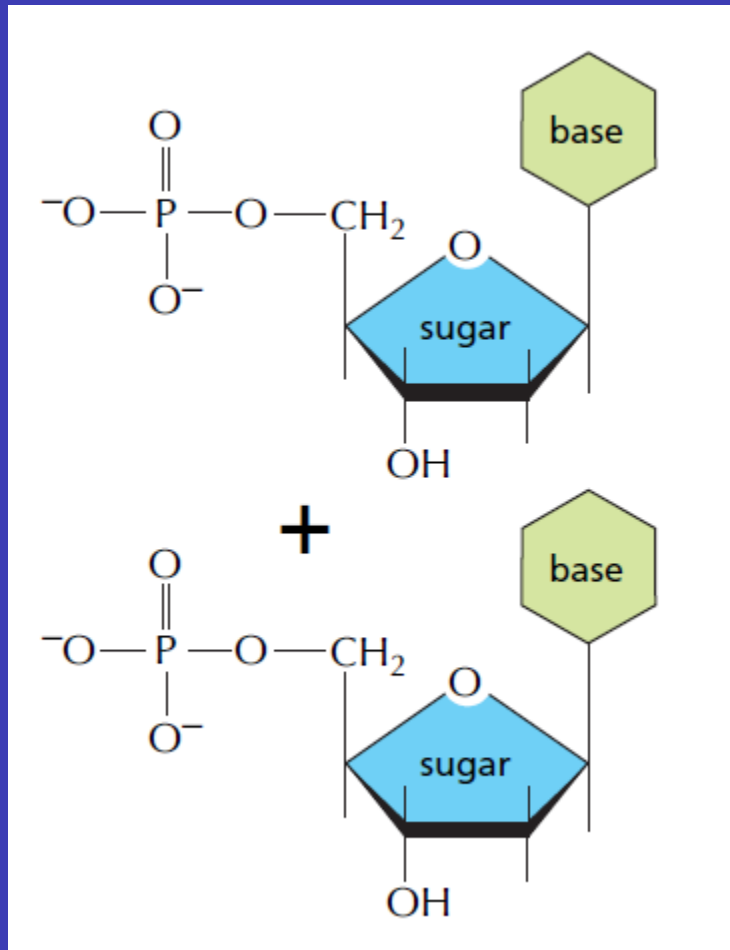


BASE + SUGAR = **NUCLEOSIDE**

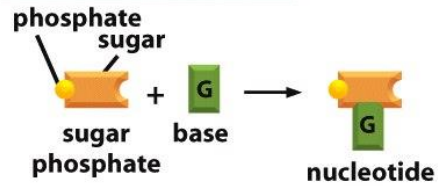


BASE + SUGAR + PHOSPHATE = **NUCLEOTIDE**

Spájení nukleotidů



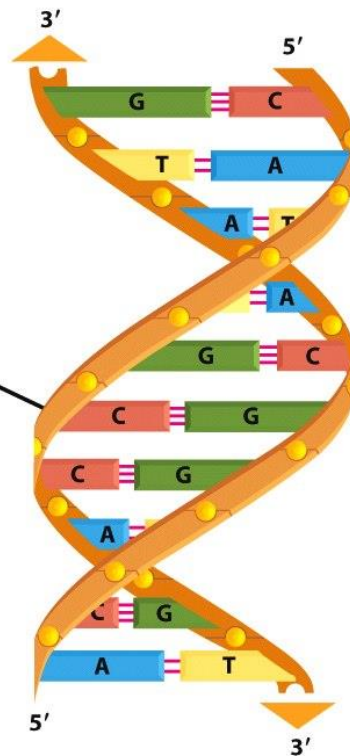
building blocks of DNA



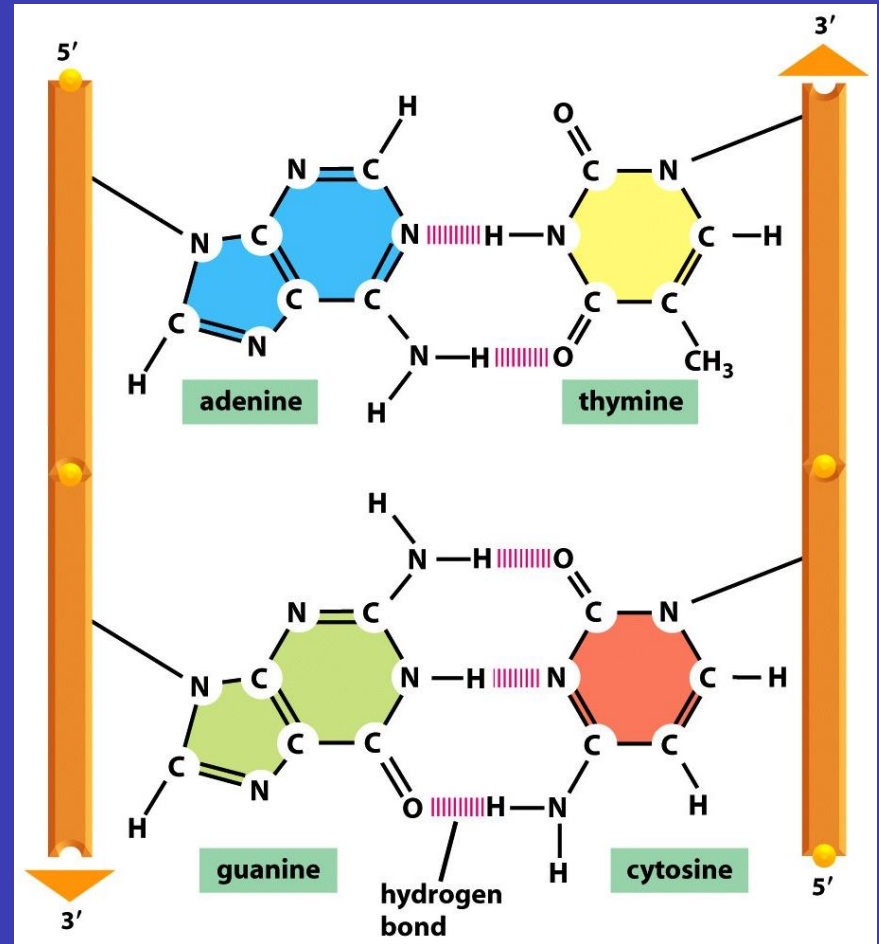
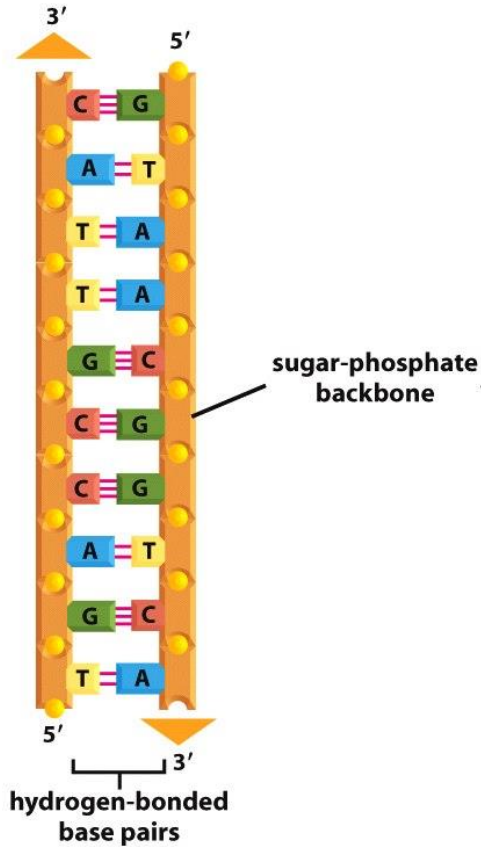
DNA strand



DNA double helix



double-stranded DNA



Hlavní druhy nukleových kyselin

Deoxyribonukleová kyselina – DNA

- β -D-2-deoxyribosa, A, G, C, T
- dlouhá dvouvláknová molekula složená ze dvou polynukleotidových řetězců **dsDNA** (double strand DNA)
- v některých případech (některé viry) se může vyskytovat jako jednovláknová molekula **ssDNA** (single strand DNA)
- nese genetickou informaci

Hlavní druhy nukleových kyselin

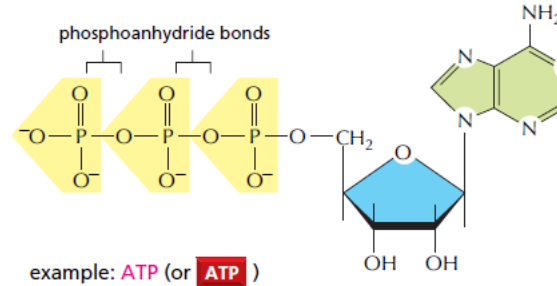
Ribonukleová kyselina – RNA

- β -D-ribosa, A, G, C, U
- kratší polynukleotidové řetězce, může vytvářet **vlásenky**
- hlavní úlohou je přenos genetické informace do proteinů, u některých virů slouží jako nositelka genetické informace
- **mRNA** (mediátorová RNA) – přepis genu, templát pro translaci
- **tRNA** (transferová RNA) – nese aminokyseliny, pomocí antikodonu nasedá na specifický kodon mRNA
- **rRNA** (ribosomální RNA) – součást ribozomů, podílí se na vzniku peptidové vazby (katalytická funkce)

Další funkce nukleotidů

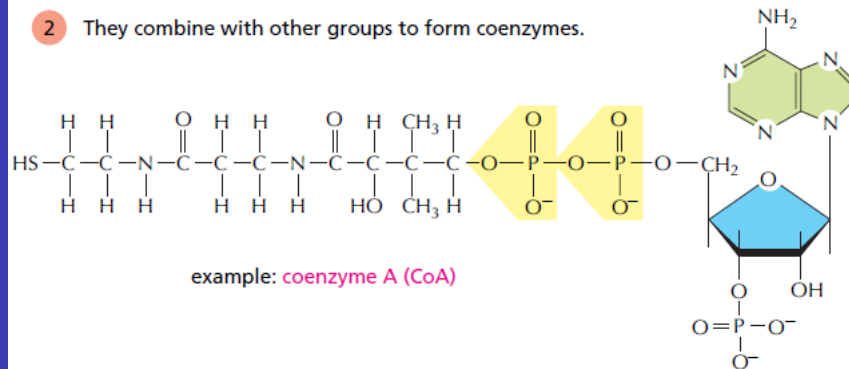
ATP

- 1 They carry chemical energy in their easily hydrolyzed phosphoanhydride bonds.



Koenzym A (CoA)

- 2 They combine with other groups to form coenzymes.



Cyklický AMP (cAMP)

- 3 They are used as specific signaling molecules in the cell.

example: cyclic AMP (cAMP)

