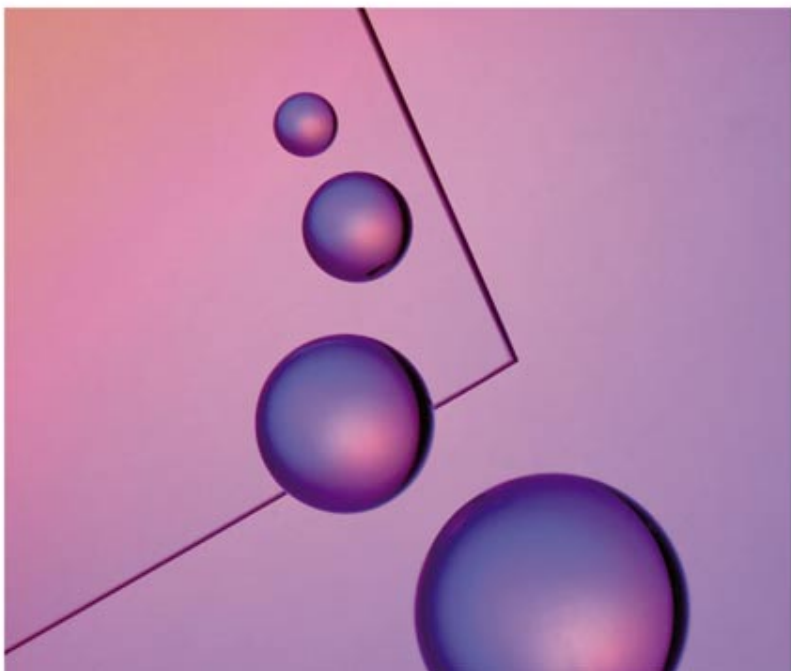


J. Rosina, H. Kolářová, J. Stanek

---

# Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů

---



# Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována a šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele. Neoprávněné užití této knihy bude **trestně stíháno**.

*Používání elektronické verze knihy je umožněno jen osobě, která ji legálně nabyla a jen pro její osobní a vnitřní potřeby v rozsahu stanoveném autorským zákonem. Elektronická kniha je datový soubor, který lze užívat pouze v takové formě, v jaké jej lze stáhnout s portálu. Jakékoliv neoprávněné užití elektronické knihy nebo její části, spočívající např. v kopírování, úpravách, prodeji, pronajímání, půjčování, sdělování veřejnosti nebo jakémkoliv druhu obchodování nebo neobchodního šíření je zakázáno! Zejména je zakázána jakákoliv konverze datového souboru nebo extrakce části nebo celého textu, umístování textu na servery, ze kterých je možno tento soubor dále stahovat, přitom není rozhodující, kdo takovéto sdílení umožnil. Je zakázáno sdělování údajů o uživatelském účtu jiným osobám, zasahování do technických prostředků, které chrání elektronickou knihu, případně omezují rozsah jejího užití. Uživatel také není oprávněn jakkoliv testovat, zkoušet či obcházet technické zabezpečení elektronické knihy.*



Copyright © Grada Publishing, a.s.

**Doc. MUDr. Jozef Rosina**  
**Doc. MUDr. Hana Kolářová, CSc.**  
**MUDr. Jiří Stanek, CSc., MSc.**

## **BIOFYZIKA PRO STUDENTY ZDRAVOTNICKÝCH OBORŮ**

### **Recenzovali:**

Prof. MUDr. Vlastimil Slouka, CSc.  
MUDr. Jiří Bakala

Obrázky překreslila MgA. Kateřina Novotná na základě podkladů dodaných autory.  
Fotografie dodali autoři.

Copyright © Grada Publishing, a.s., 2006  
Cover Photo © profimedia.cz/CORBIS, 2006

Vydala Grada Publishing, a.s.,  
U Průhonu 22, Praha 7  
jako svou 2596. publikaci

Odpovědná redaktorka Mgr. Helena Glezgová  
Sazba a zlom Josef Lutka  
Počet stran 232  
Vydání první, Praha 2006  
Vytiskly Tiskárny Havlíčkův Brod, a. s.,  
Husova 1881, Havlíčkův Brod

*Publikace vyšla za podpory firmy Medata, spol. s.r.o. – distribuce  
a servis kompletní špičkové lékařské ultrazvukové diagnostiky a moni-  
torovacích přístrojů*



*Názvy produktů, firem apod. použité v knize mohou být ochrannými známkami nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků, což není zvláštním způsobem vyznačeno.*

*Postupy a příklady v této knize, rovněž tak informace o lécích, jejich formách, dávkování a aplikaci jsou sestaveny s nejlepším vědomím autorů. Z jejich praktického uplatnění však pro autory ani pro nakladatelství nevyplývají žádné právní důsledky.*

*Všechna práva vyhrazena. Tato kniha ani její část nesmí být žádným způsobem reprodukována, ukládána či rozšiřována bez písemného souhlasu nakladatelství.*

**ISBN 80-247-1383-7**

# OBSAH

Úvod .....	9
<b>1 Stavba hmoty, síly v přírodě .....</b>	<b>11</b>
1.1 Elementární částice hmoty .....	11
1.2 Atomové jádro .....	12
1.3 Elektronový obal .....	12
1.4 Formy hmoty .....	13
1.5 Disperzní systém .....	13
1.6 Transportní jevy .....	15
1.7 Jevy na rozhraní mezi dvěma fázemi .....	18
1.8 Pohyb látek .....	19
1.9 Interakce v přírodě .....	20
<b>2 Přeměna energie v organismu .....</b>	<b>23</b>
2.1 Potřeba energie .....	23
2.2 Hladovění .....	25
<b>3 Sedimentace krve .....</b>	<b>27</b>
3.1 Fyzikální podstata sedimentace krve .....	27
<b>4 Odstředivá síla .....</b>	<b>31</b>
4.1 Využití odstředivé síly ve zdravotnictví .....	31
<b>5 Biofyzikální aspekty letecké dopravy .....</b>	<b>35</b>
5.1 Biofyzikální aspekty kosmických letů .....	35
5.2 Přetížení a beztížný stav .....	36
<b>6 Vnější tlak a organismus .....</b>	<b>41</b>
6.1 Působení vnějšího tlaku na organismus .....	41
6.2 Vliv podtlaku na organismus .....	41
6.3 Vliv přetlaku na organismus .....	45
6.4 Otrava kyslíkem .....	48
<b>7 Sterilizace .....</b>	<b>49</b>
7.1 Základní pojmy .....	49
7.2 Fyzikální postupy sterilizace .....	49
7.3 Chemické postupy sterilizace .....	53
7.4 Destilace, termostat, inkubátor .....	54

<b>8</b>	<b>Biofyzikální aspekty regulace teploty, využití tepla a chladu</b>	<b>57</b>
8.1	Regulace teploty lidského těla	57
8.2	Měření teploty	61
8.3	Infračervené záření	62
8.4	Koupele	63
8.5	Lokálně používané tepelné procedury	66
8.6	Chlad	67
8.7	Využití kryoterapie v medicíně	69
8.8	Priessnitzovy obklady	70
<b>9</b>	<b>Vliv vlhkosti vzduchu na organismus</b>	<b>71</b>
9.1	Vlhkost vzduchu	71
<b>10</b>	<b>Hluk a audiometrie</b>	<b>75</b>
10.1	Vliv hluku na organismus, ochrana proti hluku na pracovišti, audiometrie	75
<b>11</b>	<b>Fyzikální vyšetřovací metody</b>	<b>81</b>
11.1	Poslech, poklep, pohmat	81
<b>12</b>	<b>Ultrazvuk</b>	<b>85</b>
12.1	Charakteristika a vlastnosti	85
12.2	Výroba ultrazvuku	87
12.3	Obecný princip sonografie	88
12.4	Účinky ultrazvuku	89
12.5	Principy diagnostického užití ultrazvuku	91
12.6	Principy terapeutického užití ultrazvuku	95
<b>13</b>	<b>Biologické membrány, klidový a akční membránový potenciál</b>	<b>97</b>
13.1	Klidový membránový potenciál	97
13.2	Akční membránový potenciál	99
<b>14</b>	<b>Elektrický proud</b>	<b>101</b>
14.1	Obecná charakteristika	101
14.2	Pasivní elektrické vlastnosti tkání	104
14.3	Účinky elektrického proudu	106
14.4	Využití elektrického proudu v medicíně	107
14.4.1	Stejnoseměrný proud	107
14.4.2	Střídavý proud o nízké frekvenci	112

14.4.3	Střídavý proud středních frekvencí (několik kHz) .....	116
14.4.4	Vysokofrekvenční proud a elektromagnetické vlnění .....	118
14.5	Úrazy elektrickým proudem .....	122
14.5.1	Zasažení bleskem .....	123
14.5.2	Sekundární příznaky úrazů elektrickým proudem .....	124
14.6	Aktivní elektrické vlastnosti vzrušivých tkání .....	125
14.7	Elektroklima .....	129
<b>15</b>	<b>Fyzikální základy dýchání, krevní oběh a krevní tlak .....</b>	<b>131</b>
15.1	Dýchání .....	131
15.2	Krevní oběh a krevní tlak .....	134
15.3	Měření krevního tlaku .....	141
<b>16</b>	<b>Optické záření, oko, přístroje a zařízení využívající optické metody .....</b>	<b>143</b>
16.1	Optické záření .....	143
16.2	Viditelné světlo .....	145
16.3	Teorie barevného vnímání .....	146
16.4	Fyziologické a psychologické účinky barev, zrakové iluze .....	146
16.5	Zdravé oko, vady oka a korekce vad .....	148
16.6	Hygiena osvětlení pracoviště .....	153
16.7	Přístroje a zařízení využívající optické metody .....	155
16.8	Ultrafialové záření (UV) .....	162
16.9	Infračervené záření (IR) .....	166
<b>17</b>	<b>Biomechanika, deformace pevného tělesa a její význam ve zdravotnictví .....</b>	<b>169</b>
17.1	Biomechanické funkce kostí, kloubů a šlach .....	170
17.2	Síla pružnosti, meze .....	170
17.3	Mechanické vlastnosti chrupavky .....	173
17.4	Mechanické vlastnosti kloubu .....	174
17.5	Šlachy a vazy .....	175
17.6	Mechanické vlastnosti biologických materiálů .....	175
17.7	Biokompatibilita .....	175
<b>18</b>	<b>Ionizující záření .....</b>	<b>177</b>

18.1	Charakteristika ionizujícího záření	177
18.2	Jednotky v radioaktivitě	179
18.3	Druhy radioaktivní přeměny	179
18.4	Rentgenové záření	181
18.5	Neutrony	183
18.6	Kosmické záření	183
18.7	Biologické účinky ionizujícího záření	184
18.8	Přímý a nepřímý účinek ionizujícího záření	184
18.9	Radiosenzitivita	185
18.10	Ochrana před vnějším ozářením	186
18.11	Stochastické a deterministické účinky ionizujícího záření	188
18.12	Život buňky zasažené radioaktivitou	189
18.13	Akutní nemoc z ozářením	189
18.14	Přístroje pro osobní a ochrannou dozimetrii	191
<b>19</b>	<b>Využití ionizujícího záření v medicíně</b>	<b>201</b>
19.1	Záření $\gamma$	201
19.2	Scintilační kamera	203
19.3	Tomografická scintigrafie	204
19.4	Rentgenové záření	205
19.5	Radioterapie	207
19.6	Terapeutické využití rentgenového záření	208
19.7	Terapie pomocí záření $\gamma$	209
19.8	Léčba částicemi	210
19.9	Ozařovací plán	212
<b>20</b>	<b>Laser a jeho uplatnění ve zdravotnictví</b>	<b>213</b>
20.1	Lasery, fyzikální podstata	213
20.2	Využití laseru	216
<b>21</b>	<b>Nukleární magnetická rezonance</b>	<b>221</b>
21.1	Princip MR	221
21.2	MR angiografie	223
21.3	Funkční magnetická rezonance (fMR)	223
21.4	Využití magnetické rezonance (MR)	225
	<b>Rejstřík</b>	<b>227</b>



# Úvod

Vývoj moderního zdravotnictví je úzce spjat s vývojem přírodních věd, především biologie, fyziky a chemie. Právě na rozhraní fyzikálních a biologických věd vznikla jedna z mezioborových vědních disciplín – biofyzika.

Oblast lékařské biofyziky soustřeďuje svůj zájem na člověka, na fyziologické a patologické projevy organismu a s tím související principy diagnostiky a terapie. Její součástí je i biofyzika, která studuje základní mechanismy působení různých fyzikálních faktorů na zdraví člověka.

Učebnice lékařské biofyziky, kterou držíte v rukou, je napsána pro studující různých bakalářských zdravotnických programů. Autoři věří, že si v ní „svůj text“ najdou všichni budoucí bakaláři.

Jednotlivé kapitoly podávají dostatečný obecný výklad různých fyzikálních dějů. Každá kapitola je pak rozšířena o materiál potřebný pro výuku jednotlivých bakalářských specializací (např. fyzioterapie, ošetrovatelství, zdravotní vědy apod.). Tento výukový text je uveden menším typem písma a prohlubuje obecné formulace učiva základních kapitol a zdůrazňuje medicínské aplikace.

Vzhledem k tomu, že je učebnice určena zejména studentům bakalářských studijních programů a smyslem bakalářského studia je zejména „výuka dovedností“, jsou fyzikální děje vysvětlovány záměrně bez použití (někdy) složitějšího „matematického aparátu“.

Předkládaná učebnice má za cíl pomoci studentům lépe pochopit aplikace biofyziky pro jejich budoucí povolání v obecné rovině a také na mnoha konkrétních příkladech.

Praha, 2006

doc. MUDr. Jozef Rosina

doc. RNDr. Hana Kolářová, CSc.

MUDr. Jiří Stanek, CSc., MSc.

# 1 Stavba hmoty, síly v přírodě

## 1.1 Elementární částice hmoty

Elementární částice hmoty (protony, neutrony, elektrony) jsou stavebními kameny atomů (tab. 1). Všechny atomy (průměr atomu je řádově  $10^{-10}$  m) se skládají z atomového jádra a elektronového obalu. Elektronový obal je tvořen, jak již název napovídá, záporně nabitými elektrony a je odpovědný za chemické a spektrální vlastnosti atomu. Atomové jádro nese odpovědnost za fyzikální vlastnosti látek, je složené z protonů a neutronů, je v něm soustředěna téměř veškerá hmotnost atomu a nese kladný elektrický náboj. Počet protonů v jádře určuje celkový náboj jádra, a tím i atomové číslo  $Z$  prvku, a tedy i zařazení atomu v periodické soustavě prvků. Celkový počet nukleonů (protonů „ $Z$ “ a neutronů „ $N$ “) v jádře udává hmotnostní (nukleonové) číslo  $A$ . Počet protonů v jádře je stejný jako počet elektronů v obalu, proto se atom jeví jako elektricky neutrální. Platí:

$$A = N + Z.$$

Podle současné fyziky se protony a neutrony skládají z **kvarků**, nejmenších dosud známých elementárních částic. Kvarky mají neobvyklou vlastnost – nesou „neceločíselný“ elektrický náboj. Jeden typ, označovaný jako typ „ $u$ “ je nositelem kladného náboje o velikosti  $2/3$ , druhý, označovaný jako „ $d$ “ nese záporný zlomkový náboj velikosti  $-1/3$ . Všechny běžné částice mají přitom náboj celočíselný. To je možné proto, že například proton je složený ze dvou kvarků „ $u$ “ a jednoho kvarku „ $d$ “ ( $+2/3+2/3-1/3 = 1$ ). Neutron se skládá ze dvou kvarků „ $d$ “ a jednoho kvarku „ $u$ “ ( $-1/3-1/3+2/3 = 0$ ).

**Tab. 1** Základní charakteristiky částic atomu

Částice	symbol	hmotnost (kg)	relativní hmotnost	elementární náboj
proton	p ( $p^+$ )	$1,6725 \cdot 10^{-27}$	1,0072	$+1,6 \cdot 10^{-19}$ C (Coulomb)
neutron	n ( $n^0$ )	$1,6748 \cdot 10^{-27}$	1,0086	bez náboje
elektron	e ( $e^-$ )	$9,1091 \cdot 10^{-31}$	1/1836	$-1,6 \cdot 10^{-19}$ C

## 1.2 Atomové jádro

Počátkem 20. století existovalo několik modelů atomu, avšak žádný z nich se příliš nepřiblížil skutečnosti. Jádro atomu bylo objeveno v roce 1906 Ernestem Rutherfordem. Po mnoha experimentech své vědecké skupiny vyslovil závěr, že uvnitř atomu je malé jádro, v němž je soustředěna téměř veškerá hmota atomu a veškerý kladný náboj. Experimenty ukazují, že atomové jádro není ostře ohraničeno, ale že se hustota jaderné hmoty mění. Ukazuje se také, že v jádře působí na jaderné částice specifické přitažlivé síly – jaderné síly (silné interakce). Poloměr jádra se definuje jako poloměr oblasti, ve které působí jaderné síly (průměr jádra je řádově  $10^{-15}$  m). Pro určení hmotnosti jader (v jádře je umístěna prakticky celá hmotnost atomu) můžeme užít hmotnostní spektroskopii.

Principem je, že kladně nabitě ionty – atomy s odebraným elektronem – o prakticky stejné energii vstupují štěrbinou do homogenního magnetického pole s vektorem magnetické indukce kolmým ke směru svazku. Dráha iontů s menší hmotností je více zakřivená a ionty dopadnou na fotografické desce do jiného místa než ionty těžší. Další možností je určování hmotnosti jader ze studia jaderných reakcí.

Hmotnost jader se obvykle udává v atomových hmotnostních jednotkách (ta je definována jako  $1/12$  hmotnosti izotopu uhlíku  $^{12}\text{C}$ ) nebo pomocí klidové energie (udávané v eV).

## 1.3 Elektronový obal

Uspořádání elektronů se řídí obecnou zásadou, že libovolný systém (v daném případě elektronový obal) je stabilní, je-li jeho **celková energie minimální**. U atomu v základním stavu jsou tedy zaplněny energetické hladiny s nejnižší energií, hladiny se obsazují postupně tak, že každý další elektron obsadí dosud volnou hladinu s nejmenší energií. Energie elektronu roste se vzdáleností od jádra.

Charakteristika každého elektronu, nacházejícího se v elektronovém obalu, je jednoznačně určena **čtyřmi kvantovými čísly** (hlavní popisuje hladinu, na které se elektron nachází; vedlejší určuje typ orbitalů; magnetické určuje orientaci jednotlivých orbitalů v prostoru; spinové popisuje tzv. vnitřní moment hybnosti) a dále se podřizuje také **Pauliho vylučovacímu principu**. Toto pravidlo říká, že dva elektrony se nemohou nacházet

ve stejném stavu, ve kterém by měly všechna čtyři kvantová čísla stejná, jejich stavy se musí lišit alespoň v jednom kvantovém čísle.

Při absorpci energie (tepelné, světelné, energie ionizujícího záření apod.) elektronem může tento přejít na hladinu s vyšší energií a atom se tak dostane do **excitovaného stavu**. Vzhledem k výše popsané obecné zásadě stability atomu, charakterizované minimální energií, přechází elektron na hladinu s nižší energií: Při tomto přechodu dochází k vyzáření absorbované energie ve formě fotonů elektromagnetického vlnění. Pokud přijme atom tolik energie, že dojde k uvolnění elektronu z elektronového obalu, vznikne z atomu elektricky neutrálního kladně nabitá částice – kationt.

## 1.4 Formy hmoty

Hmota je základem všeho, co nás obklopuje. Je složena z malých pohybujících se částic. Jejich počet, druh pohybu a podmínky, ve kterých se částice vyskytují, určují, jak se bude hmota navenek jevit.

Dvě nejznámější formy hmoty jsou **pole (záření)** a **látka**. Pojem záření zahrnuje běžné jevy kolem nás: např. magnetické pole, teplo, světlo, zvuk aj. Nejlépe prozkoumané je pole elektromagnetické (jeho elementární kvanta – fotony – mají nulovou klidovou hmotnost, pohybují se konstantní rychlostí rovnou rychlosti světla ve vakuu). Mezi látky řadíme fyzikální objekty malých rozměrů, např. elektrony, protony a neutrony, atomy a molekuly. Každý ví, že látka se v prostředí naší Země může vyskytovat v různých skupenstvích (pevném, kapalném, plynném a plazmatickém). Látka v pevném skupenství si za daného tlaku a teploty zachovává objem i tvar; kapalina si zachovává pouze objem a plyn přijímá tvar i objem své nádoby. Plazmatický stav, vznikající zahříváním plynu, se v určitých směrech podobá plynnému skupenství. Látky jsou charakterizovány hmotností, elektrickým nábojem, rozměrem, tvarem, složením, vzájemným působením, při kvantovém popisu též kvantovými čísly.

## 1.5 Disperzní systém

Disperzní systém je soustava látek, která obsahuje alespoň **dvě složky** – fáze (chemická individua), přičemž jedna složka (disperzní podíl) je rozptýlena ve druhé složce (disperzním prostředí). Disperzním systémem

je například krev, která obsahuje složku korpuskulární (krvinky) a tekutou (plazma).

Obsahuje-li systém dvě složky a existuje-li určitá hranice mezi částicemi tvořícími obě složky, nazývá se takový systém **heterogenní**. Obsahuje-li naopak dvě složky a složka tvořící disperzní podíl, je rozptýlena ve složce tvořící disperzní prostředí v tak drobných částicích (atomech, molekulách), že nelze mluvit o rozhraní, nazývá se takový systém **homogenní**.

Suspenzi rozumíme hrubou disperzi tuhých látek v kapalném disperzním prostředí. Jejich koncentrovaným formám říkáme pasty. Emulze je disperzní systém sestávající ze dvou nemísitelných kapalin, z nichž jedna je ve formě kapiček rozptýlena ve druhé. Označení aerosol se používá pro hrubé (velikost rozptýlených částic 1  $\mu\text{m}$  až 1 mm) nebo koloidní disperze (velikost rozptýlených částic 1 nm až 1  $\mu\text{m}$ ) tuhých látek či kapalin v plynném disperzním prostředí (tab. 2). S emulzemi a suspenzemi se

**Tab. 2** Rozdělení disperzních systémů

<i>Disperzní prostředí</i>	<i>disperzní podíl</i>	<i>disperze hrubé velikost částic 1 <math>\mu\text{m}</math> – 1 mm</i>	<i>disperze koloidní velikost částic 1 nm – 1 <math>\mu\text{m}</math></i>	<i>disperze analytické velikost částic do 1 nm</i>
plyn	plyn	není	není	směsi plynů
	kapalina	děšť, mlha, aerosoly	aerosoly	páry kapaliny v plynu
	pevná látka	kouř, dým, aerosoly	aerosoly	páry tuhé látky v plynu
kapalina	plyn	bublíny, pěny	pěny	roztoky plynů v kapalinách
	kapalina	emulze (např. mléko)	lyosoly	směsi kapalin
	pevný	suspenze	lyosoly, koloidní roztoky	pravé roztoky (glukóza ve vodě)
pevná látka	plyn	bublíny plynů v pevných látkách	tuhé pěny	plyny rozpuštěné v pevných látkách
	kapalina	pevné látky s uzavřenými kapičkami	tuhé pěny	krystalická voda
	kapalina	tuhé směsi	tuhé soly	tuhé roztoky

setkáváme též v živé přírodě. Suspenzí je například krev, příkladem emulzí je mléko. Ke vzniku emulzí dochází například v tenkém střevě člověka. Potravou přijaté tuky, které jsou ve vodě nerozpustné, jsou emulgovány dříve, než jsou napadány lipázami. Funkci emulgátorů vykonávají soli žlučových kyselin. Účinek emulgátorů spočívá ve tvorbě adsorpčního filmu na povrchu kapek disperzní fáze, přičemž se částice emulgátorů orientují tak, že svou hydrofobní částí míří do nepolární složky a lyofilním zbytkem do fáze polární. Suspenze, emulze a aerosoly jsou častou formou léčebných, dezinfekčních a kosmetických preparátů.

Naopak, soustavné vdechování aerosolů obsahujících křemičitany způsobuje chorobu z povolání – silikózu plic. Zdravotní nebezpečí představuje též možnost vzniku aerosolů radioaktivních izotopů, které způsobí zamoření ovzduší a případnou kontaminaci osob vdechováním a po usazení i zamoření povrchu předmětů.

## 1.6 Transportní jevy

Transportní jevy jsou děje, které probíhají v důsledku pohybu disperzí a při nichž dochází k transportu látek. Mezi tyto jevy patří:

### Viskozita

Viskozitou se rozumí **vnitřní tření** (vznikající vzájemným silovým působením částic) mezi vrstvami proudící kapaliny. Na stykové ploše dvou vrstev kapaliny pohybujících se různou rychlostí se projevuje viskozita tečným napětím, jímž se snaží rychlejší vrstva urychlovat pomalejší a pomalejší naopak zadržovat vrstvu rychlejší.

Viskozita je jednou z nejdůležitějších vlastností, která ovlivňuje vlastnosti proudění látek. Kapalina s větším vnitřním třením teče pomaleji. Větší viskozita znamená větší brzdění pohybu kapaliny nebo těles v kapalíně. Rychlost pohybu molekul proudící kapaliny závisí na teplotě, s rostoucí teplotou viskozita klesá a kapalina se pohybuje rychleji. Praktický význam v medicíně má viskozita krve. Její hodnota je ovlivněna hlavně teplotou.

*Příklad:* Při teplotě 37 °C se viskozita udává v rozmezí 3,0–3,6 mPa.s, u plazmy je to 1,8–2,0 mPa.s. Hodnoty viskozity krve je třeba sledovat například při podávání většího množství erytrocytů (tzv. erymasy) nebo při patologickém zmnožení červených krvinek – polycytemia vera.

## Difuze

Difuzi definujeme jako pohyb částic (disperzního podílu) jedné látky do druhé. Pohyb je vyvolaný **koncentračním spádem** (gradientem) a řídí se snahou o úplné vyrovnání koncentrace v celém objemu. Molekuly rozpuštěné látky putují do míst s nižší koncentrací a jev trvá do té doby, než se koncentrace disperzního podílu v celém objemu vyrovnají. Difuze je jedním z nejdůležitějších fyzikálních dějů, které umožňují pohyb látek uvnitř a vně buněk.

## Dialýza

Je to difuze malých molekul a iontů z koloidního roztoku dialyzační membránou do čistého rozpouštědla. V medicíně jsou dialýzou z těla odstraněny odpady metabolismu, které jsou u zdravého člověka odstraňovány pomocí ledvin. Tento proces je život zachraňující výkon, bez něhož by člověk s nefunkčními ledvinami zemřel. Známe dvě formy dialýzy:

**Hemodialýza**, při níž je krev pacienta vyčištěna pomocí speciálního přístroje (tzv. umělá ledvina). Tento proces, který se opakuje obvykle třikrát týdně a trvá čtyři až šest hodin, se provádí v tzv. dialyzačních střediscích. Druhým typem dialýzy je **peritoneální dialýza**, kdy se krev čistí uvnitř těla pacienta pomocí pobřišnice (peritonea). Do těla se přitom čtyřikrát až pětkrát denně přivádí speciální roztok (starý roztok se přitom vždy nahradí novým), který provádí čištění krve.

**Princip dialýzy:** Jde o princip difuze přes dialyzační membránu. Na jedné straně membrány protéká krev, na druhé je dialyzační roztok. Látky s rozdílnou koncentrací v krvi a v roztoku přecházejí z oblasti s vysokou koncentrací do oblasti s nízkou koncentrací. A tak látky škodlivé, obsažené v krvi, které však nejsou v dialyzačním roztoku, postupně přecházejí z krve do tohoto roztoku. Látky, které se při dialýze nesmí z těla odstranit, musejí být přítomny i v dialyzačním roztoku. Všechny takové látky však do roztoku přidat nelze (například vitaminy a aminokyseliny), a tak je pacient musí nahrazovat klasickou cestou – v potravě (během dialýzy se doporučuje jíst), popřípadě v tabletách. Dialyzační roztok naopak nesmí obsahovat jiné cizorodé látky, které by přešly opačně do krve. Proto se k míchání roztoku používá absolutně čistá voda. Dialyzační roztok přitéká a odtéká většinou rychlostí kolem 500 ml/min.

K rychlému čištění nebo zahušťování (odstraňování rozpouštědla) lze místo dialýzy použít **ultrafiltraci**. Jde v podstatě o filtraci membránou, kte-

rá nepropouští koloidy, urychlenou podtlakem pod membránou nebo přetlakem nad membránou. Použitím různých membrán o známé propustnosti lze disperzní systém rozdělit na frakce podle velikosti částic, případně i odhadnout velikost částic. Hemofiltrace na rozdíl od dialýzy využívá konvektivní transport solutů (transport založený na proudění rozpuštěných látek) během ultrafiltrace přes dialyzační membránu. Konvektivní pohyb solutů závisí na filtračním tlaku rozpuštěných látek a vody na speciální hemofiltrační membráně.

## Osmóza

Mezi živými tkáněmi existují **polopropustné** (semipermeabilní) **membrány**, které propouštějí molekuly rozpouštědla (nejčastěji vody), ale přitom nepropouštějí molekuly látek, které jsou ve vodě rozpuštěné (disperzní podíl). Snaha po vyrovnání koncentrací se může realizovat pouze průnikem rozpouštědla do roztoku. To vede ke zředování více koncentrovaného roztoku. Tomuto samovolnému zředování říkáme osmóza. Roztok o nižším osmotickém tlaku se nazývá hypotonický, o vyšším osmotickém tlaku hypertonický. Rozpouštědlo proudí vždy z roztoku hypotonického do hypertonického. Roztoky o stejném osmotickém tlaku se nazývají izotonické nebo izosmotické. Mezi takovými k osmóze nedochází.

Velikost osmotického tlaku  $\Pi$  udává van't Hoffova rovnice:

$$\Pi = c \cdot R \cdot T,$$

kde  $c$  je molární koncentrace rozpuštěné látky,  
 $R$  plynová konstanta a  $T$  teplota.

Každá buňka reaguje změnou objemu na prostředí, do kterého je umístěna. Například erytrocyt přemístěný ze svého obvyklého prostředí do hypotonického prostředí začne přijímat vodu a může dojít k rozpadu erytrocytu (hemolýze). Naopak v hypertonickém prostředí proudí voda z erytrocytu ven a červená krvinka se srašťuje. Za normálních okolností jsou tkáně i tělní tekutiny v osmotické rovnováze, neboť orgány jsou schopny osmotický tlak regulovat. Největší úkol při osmoregulaci mají ledviny. Pokud organismus ztratil velké množství tekutin (krvácení, průjmky), je třeba ztrátu nahradit vpravením vody a případně též elektrolytů a živin do krevního řečiště. Tato kapalina (infuze) musí být ovšem s krví izotonická. Podání hypotonického nebo hypertonického roztoku poškozuje krevní elementy.



## 1.7 Jevy na rozhraní mezi dvěma fázemi

Molekuly nacházející se na povrchu kapaliny mají odlišné vlastnosti od molekul uvnitř kapalně fáze. Mají větší energii než ostatní molekuly a výsledkem je vznik **povrchového napětí**, veličiny, která charakterizuje závislost povrchové energie kapaliny na jejím povrchu (kapalina má snahu mít co nejmenší energii, proto se snaží mít i nejmenší energii povrchovou).

Povrchové napětí je definováno jako síla, nacházející se na povrchu kapaliny a působící kolmo na jednotku délky povrchu fáze ( $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ). Povrchové napětí klesá s rostoucí teplotou a nezávisí na velikosti povrchu, způsobuje dva biologicky důležité důsledky: kapilární elevaci a depresi (vodné roztoky mají spíše elevaci). Látky, které snižují povrchové napětí kapalin, se nazývají povrchově aktivní látky (surfaktanty, tenzory). Povrchové napětí se uplatňuje na fázových rozhraních živých organismů. Má velký význam například při dýchání. S povrchovým napětím na rozhraní dvou fází souvisí i další jev – adsorpce. Adsorpce je děj, při němž adsorbent váže adsorbovanou látku pouze slabými van der Waalsovými silami. Probíhá pouze na povrchu adsorbentu. V důsledku výhodnějšího energetického uspořádání soustavy se na fázovém rozhraní může významně zvýšit koncentrace látky z jedné fáze – rozpuštěné látky nebo plynu. Pro množství adsorbované látky je rozhodující v případě plynu tlak, v případě roztoku koncentrace.

*Příklady:* Některá léčiva upravují prostředí v tenkém i tlustém střevě, odstraňují tlak a napětí vzniklé na základě plynatosti. Jejich účinek spočívá ve snížení povrchového napětí tekutiny obsažené v žaludku a trávicím ústrojí, čímž usnadňují odchod plynu a odstraňují nepříjemné pocity s tím spojené. Jedná se o látky, které se po perorálním podání nevstřebávají, působí pouze uvnitř trávicí trubice a odchází v nezměněném stavu stolicí. Některé potravinové doplňky působí v těle člověka na všechny povrchy sliznic tak, že snižují povrchové napětí. Tím působí jako vylučovací a detoxikační funkce organismu.

Anti-HA protilátky neutralizující virus vyvolají ochranu před adsorpcí viru na receptorová místa cílových buněk, a tím zabraňují infekci.

Účinnost tetanického anatoxinu zvyšuje jeho adsorpce na fosforečnan nebo hydroxid hlinitý. Protilátková odpověď je pak 5–10x vyšší, protilátky perzistují po delší dobu a množství nutného anatoxinu pro vyvolání imunity je nižší než množství, které je potřebné bez adsorpce na minerální nosič.

## 1.8 Pohyb látek

Znalost mechanismů kinetiky látek je nezbytná například ve farmakoterapii, kde se hledá pro danou formu léčivé látky nejúčinnější způsob podání. **Cesta podání** může být intravaskulární (lék je podán do žíly, do arterie či přímo do dutiny srdce), extravaskulární (lék podáváme do tkáně, odkud se vstřebává do krevního oběhu; patří sem podání do svalů, do úst, pod jazyk, do konečníku, na kůži, do podkoží, do dutiny břišní a vdechováním) či lokální (lék se nevstřebává a vyvolá pouze místní účinek v místě aplikace).

Většina léků se váže (je absorbována) na plazmatické bílkoviny. **Vazba na plazmatické bílkoviny** je proces, který směřuje k vytvoření a k udržení rovnovážného stavu mezi vázaným a volným množstvím příslušného léčiva a je za definovaných podmínek pro každý lék specifický.

Adsorpce je děj, při němž adsorbent váže adsorbovanou látku pouze slabými van der Vallsovými silami. Probíhá pouze na povrchu adsorbentu.

Absorpce je děj, při němž se absorbovaná látka na absorpční činidlo váže poměrně silnými chemickými vazbami. Většinou probíhá v celém objemu adsorbentu.

*Příklad:* Ibuprofen se silně váže na plazmatické bílkoviny (až 99 %), warfarin má vazebnost více než 99 %, valproát se ve vysoké míře váže na plazmatické bílkoviny, tato vazba závisí na dávce a je nasytitelná. U hemofilie při vnitřním krvácení, například do svalů nebo kloubů, spočívá léčba v substituci plazmatické bílkoviny, resp. koagulačního faktoru, který chybí. Amoxicilin se váže na plazmatické bílkoviny asi z 20 %. Paracetamol se rychle a téměř úplně vstřebává z gastrointestinálního traktu. Rychle se distribuuje do všech tkání a tělesných tekutin. Maximální hladiny v plazmě je dosaženo za 10–60 minut po p.o. podání.

Vazbou látky na plazmatické bílkoviny se vytvářejí velké komplexy, které nemohou procházet biologickými membránami. Vázaná část látky je pak ve svém účinku neefektivní, protože nemůže proniknout do tkání ke svým receptorům. Zároveň se nemůže dostat k intracelulárním enzymům, není metabolizována a biochemickou transformací inaktivována. Prodlužuje se tak její účinek. Tento efekt se využívá ve farmakoterapii, chceme-li prodloužit dobu působení některého léku či prodloužit dobu jeho odbourávání.

*Příklady:* Léky s postupným uvolňováním účinné látky (často nazývané retardované) patří dnes mezi velmi atraktivní směr ve vývoji léčiv. Obvykle obsahují již dříve dlouho užívanou aktivní látku. Avšak novou lékovou

formu stačí vzít k dosažení stejného účinku, jako když jste užívali původní lék např. 4x denně, například jednou za den. Vedle toho, že podávání takového léku je pro pacienta pohodlnější, je často také dosaženo lepší udržování terapeutické hladiny účinné látky v krvi a s tím někdy spojeného snížení výskytu nežádoucích účinků.

Distribuci látek v organismu lze definovat jako děj, kterým jsou látky po svém podání rozdělovány v celém těle i mezi jeho jednotlivými částmi. Distribuce je podmíněna rozpuštěním látky v tělních tekutinách a její vazbou na bílkoviny plazmy a tkání. Biologicky nejdůležitějším rozpouštědlem je voda. Látka, která pronikla z krve do tkání, je zčásti rozpuštěna v extracelulární a intracelulární tekutině, zčásti se reverzibilně váže na povrch buněk a na různé makromolekulární struktury uvnitř buňky, případně se ukládá do depotních tkání.

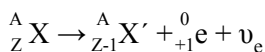
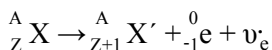
Z organismu jsou vylučovány jednak metabolity jednotlivých metabolických pochodů, jejichž zvýšená koncentrace je pro živý organismus zpravidla toxická (katabolity), jednak látky, které přijal organismus v nadbytečném množství a jejichž část se zbavuje. V těchto pochodech se uplatňuje řada již výše uvedených biofyzikálních dějů a fyzikálních zákonů. Vylučování látek z organismu se děje ledvinami, zažívacím traktem, plicemi, žlázami různých orgánů a kůží.

## 1.9 Interakce v přírodě

V přírodě existují čtyři základní druhy interakcí: **silná interakce**, **slabá interakce**, **elektromagnetická interakce** a **gravitační interakce**.

Silná interakce představuje základní **interakci mezi částicemi jádra**. Je to nejsilnější známá interakce, umožňuje existenci jader. Má dostatečnou sílu na to, aby překonala vzájemné elektromagnetické odpuzování kladně nabitých protonů. Dosah jejího působení je však velice krátký (řádově  $10^{-15}$  m).

Slabá interakce je zodpovědná za některé atomární jevy, např. **podílí se na přeměně beta**. Typickým příkladem slabé interakce je přeměna jaderného neutronu v elektron, nebo jaderného protonu v pozitron. Má také velmi malý dosah, řádově  $10^{-18}$  m. Je druhou nejslabší interakcí.



Elektromagnetická interakce působí **mezi elektricky nabitými částicemi jádra a obalu**. Její dosah je teoreticky nekonečně velký. Je druhou nejsilnější interakcí. Nosičem elektromagnetické interakce je foton. Fotonům v různých procesech (tj. při různých energiích) se říká například částice gama, rentgenové záření, světlo, mikrovlny, rádiové vlny apod.

Gravitační interakce je nejslabší interakce, ale **působí na všechny částice ve vesmíru**. Ze všech interakcí je nejznámější (není známa částice, která by nepodléhala gravitační interakci). Dosah gravitační interakce je nekonečně velký, její velikost se zmenšuje s kvadrátem vzdálenosti.

Gravitací se zdůvodňují fenomény, jako je struktura galaxií, Černá díra (ve fyzice oblast časoprostoru, kterou nic nemůže opustit. Uvnitř Černé díry je pravděpodobně místo, kde je časoprostor extrémně zakřiven a přestávají platit rovnice obecné teorie relativity.), oběžná dráha planety, ale i padání předmětů, či proč nemůžeme zvednout těžké předměty. V současnosti se vědci snaží o spojení teorie obecné relativity a kvantové mechaniky do teorie kvantové gravitace. V této teorii by měly gravitaci přenášet částice gravitony, ty ale dosud nebyly pozorovány.