

2.1.2 Vzájemné působení částic

Předpoklady: 2101

Poslední bod v červeném rámečku z minulé hodiny: **Částice na sebe neustále působí silami, které jsou při malých vzdálenostech odpuzivé, při velkých vzdálenostech přitažlivé.**

Př. 1: Dokumentuj na běžných situacích, že síly mezi částicemi, ze kterých se látky skládají, jsou: a) přitažlivé, b) odpuzivé.
Která veličina rozhoduje o tom, zda vzájemná síla bude přitažlivá nebo odpuzivá?

a) přitažlivé síly

- Pevné předměty drží pohromadě (když držíme v ruce sešit, podpíráme pouze malou část jeho částic, zbytek sešitu udrží vzájemné působení jeho částic).
- Předměty musíme natahovat silou, která se zvětšuje s protažením předmětu.
- Kapaliny vytvářejí kuličky a snaží se udržet pohromadě (například při vytahování předmětu z vody) = soudržnost.
- Kapaliny smáčí namočené předměty (přilnavost).

b) odpuzivé síly

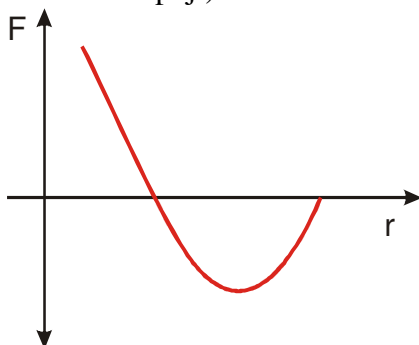
- Kapaliny jsou velmi málo stlačitelné.
- Pevné předměty musíme stlačovat silou, která se zvětšuje se stlačením předmětu.
- Odskok míčku od podložky, pružný ráz.

Přitažlivá síla se mění na odpuzivou, když od natahování (zvětšování vzdálenosti mezi částicemi) přejdeme ke stlačování (zmenšování vzdálenosti mezi molekulami) $\Rightarrow$ o znaménku vzájemných sil rozhoduje vzdálenost mezi částicemi.

Př. 2: Načrtni přibližný graf závislosti vzájemné síly mezi dvěma částicemi na jejich vzdálenosti. Odpuzivou sílu ber jako kladnou, přitažlivou jako zápornou.

Síla se při určité vzdálenosti mění z přitažlivé na odpuzivou $\Rightarrow$ při této vzdálenosti je vzájemná síla nulová.

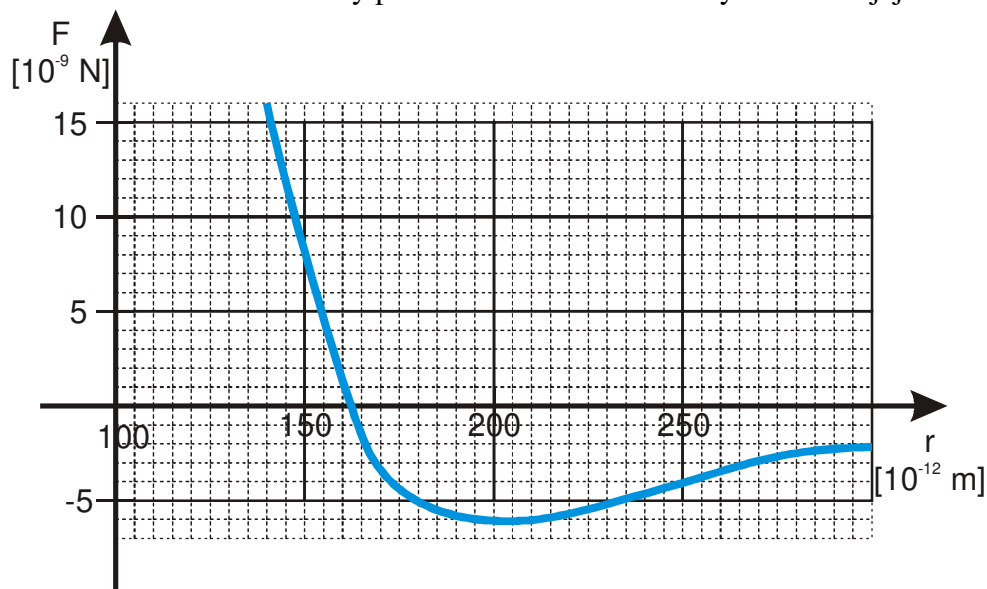
- Pokud se vzdálenost z předchozí hodnoty zmenšuje, stlačujeme předmět $\Rightarrow$ objeví se rostoucí odpuzivá síla mezi částicemi.
- Pokud se vzdálenost z předchozí hodnoty zvětšuje, natahujeme předmět $\Rightarrow$ objeví se rostoucí přitažlivá síla mezi částicemi.
- Přitažlivá síla neroste do nekonečna (při určitém natažení předmět přetrhne) $\Rightarrow$ v určité vzdálenosti se přitažlivá síla začne opět zmenšovat (když přiblížíme utržené kusy k sobě, většinou se nespojí).



$\Rightarrow$ přibližný tvar grafu

Pedagogická poznámka: Přibližný tvar grafu je v silách značné části žáků. Je třeba na grafech postupně pracovat. Často se žáci snaží dostat graf do bodu $[0;0]$ opětovným zmenšením odpudivé síly, většinou se stačí zeptat, zda je možné donutit vodu stlačováním k tomu, aby se úplně podvolila.

Graf závislosti velikosti síly působící mezi dvěma atomy uhlíku na jejich vzdálenosti



Pedagogická poznámka: Pro žáky, kteří graf nenakreslili, je dobré demonstrovat jeho význam pomocí dvou kousků křídly. Jeden umístím do počátku grafu a druhým šoupám po ose x . Během pohybu komentuji, jak se mění síla mezi dvě částice (kousky křídly).

Př. 3: Na obrázku je zachycen graf závislosti síly působící mezi dvěma částicemi uhlíku na jejich vzájemné vzdálenosti. Urči:

- velikost působící síly pro $r_1 = 140$ pm, $r_2 = 160$ pm, $r_3 = 200$ pm, $r_4 = 300$ pm. Ve všech případech rozhodni, zda jde o přitažlivou nebo odpudivou sílu,
- velikost maximální působící přitažlivé síly,
- vzájemnou vzdálenost obou atomů v rovnovážné poloze (předmět není ani natahován, ani stlačován),
- rozsah vzdáleností, ve kterých je silové působení částic přitažlivé,
- při jaké vzdálenosti mezi částicemi se lano z této látky přetrhne,
- kolikrát můžeme prodloužit lano z této látky.

a) velikost působící síly pro $r_1 = 140$ pm, $r_2 = 160$ pm, $r_3 = 200$ pm, $r_4 = 300$ pm

$r_1 = 140$ pm	...	odpudivá síla $F_1 = 15$ nN
$r_2 = 160$ pm	...	odpudivá síla $F_2 = 1$ nN
$r_3 = 200$ pm	...	přitažlivá síla $F_3 = -6$ nN
$r_4 = 300$ pm	...	přitažlivá síla $F_4 = -2,1$ nN

b) velikost maximální působící přitažlivé síly

Maximální přitažlivá síla $F_{\max} = -6,1 \text{ nN}$ působí mezi částicemi při vzdálenosti 205 pm.

c) vzájemnou vzdálenost obou atomů v rovnovážné poloze (předmět není ani natahován, ani stlačován)

Atomy jsou v rovnovážné poloze od sebe vzdáleny 162 pm. V této poloze na ně působí nulová síla. Při přiblížení by na ně působila odpudivá síla, která by se je snažila oddálit. Při oddálení by na ně působila přitažlivá síla, která by se je snažila přiblížit.

d) rozsah vzdáleností, ve kterých je silové působení částic přitažlivé

Přitažlivá síla působí na atomy při vzdálenostech větších než 162 pm.

e) při jaké vzdálenosti mezi částicemi se lano z této látky přetrhne

Lano by se mělo přetrhnout, pokud vzdálenost mezi atomy vzroste nad 205 pm. Atomy při této vzdálenosti nejsou schopni zareagovat na zvýšení vnějšího napětí zvýšením vzájemné přitažlivé síly, protože jejich dalším oddálením se přitažlivá síla naopak zmenší $\Rightarrow$ vzájemné přitahování částí nevyrovná působící vnější sílu a látka se přetrhne.

f) kolikrát můžeme prodloužit lano z této látky

Vzdálenost mezi atomy se může zvětšit z 162 pm na 205 pm $\Rightarrow$ pokud budeme považovat rozměry atomů vzhledem ke vzdálenostem mezi nimi za zanedbatelné, zvětší se při tomto

natažení délka lana ze 162 cm na 205 cm, tedy $\frac{205}{162} = 1,27$ krát.

Pedagogická poznámka: Body e), f) je třeba brát jako velice přibližný pohled na problematiku. V reálných situacích samozřejmě hrají roli i jiné okolnosti, ale základ spočívá právě ve vlastnostech vzájemného silového působení mezi částicemi.

Někteří žáci mají problém s tím, že při přetržení se oba vniklé konce rychle vzdálí a při tomto vzdalování necítíme odpor látky. Očekávají, že síla z maximální záporné hodnoty rychle (téměř kolmo) stoupne k nule. Je třeba jim vysvětlit, že při přetržení se vzdálenost mezi atomy, kde k němu došlo, velmi rychle zvětší a dostaneme se tak zcela mimo rozsah nakreslené x -ové osy.

Př. 4: (BONUS) Odhadni pomocí údajů z grafu pevnost uhlíkového vlákna o průřezu 1 mm^2

Z rovnovážné vzdálenosti můžeme odhadnout počet atomů v průřezu a něj pak sílu, kterou se přitahují.

Počet částic na 1 mm (při vzájemné vzdálenosti 162 pm): $\frac{1 \cdot 10^{-3}}{162 \cdot 10^{-12}} = 6,17 \cdot 10^6$.

Počet částic na průřezu 1 mm^2 : $(6,17 \cdot 10^6)^2 = 3,81 \cdot 10^{13}$.

Maximální síla, kterou se tyto částice mohou přitahovat: $3,81 \cdot 10^{13} \cdot 6,1 \cdot 10^{-9} \text{ N} = 232 \text{ N}$.

Uhlíkové vlákno o průřezu 1 mm^2 bude mít pevnost přibližně 230 N.

Uvedená závislost vzájemné síly mezi dvěma atomy je výsledkem vzájemného elektrostatického působení jejich elektronů a jader, nejde tedy o nový typ fyzikální síly. Výsledek je pouze přibližný, protože přesný popis vyžaduje použití kvantové mechaniky a je početně velmi náročný.

Důsledky:

- Přitažlivá síla mezi částicemi se vzdáleností klesá $\Rightarrow$ budeme předpokládat, že **částice je přitahována pouze nejbližšími částicemi** ve svém okolí (například u vody se přitahování projevuje do vzdáleností cca 1nm).
- Částice na sebe vzájemně působí $\Rightarrow$ soustava částic má vnitřní potenciální energii.
- Částice se silami vzájemného působení navzájem snaží udržet v rovnovážných polohách (místa na grafu, kde je vzájemná síla nulová)

Dodatek: [Model vzniku molekuly vodíku](#) ze seriálu Mechanical Universe (čas 22:45).

Př. 5: Navrhni znaménko, které by bylo vhodné připsat potenciální energii dvou atomů uhlíku, které jsou v rovnovážné poloze.

Pokud bychom chtěli atomy oddělit, museli bychom překonávat jejich přitažlivou sílu $\Rightarrow$ vykonávali bychom kladnou práci $\Rightarrow$ potenciální energie obou atomů v rovnovážné poloze je záporná (podobně jako u kuliček v dířku, které musíme zdvihnout, aby se mohly kutálet).

Potenciální energii částic v rovnovážné poloze nazýváme **vazebná energie**. Její velikost je rovna práci, kterou musí vykonat vnější síly, aby zrušily vazbu mezi částicemi (teoreticky vzdálily částice do nekonečné vzdálenosti).

Př. 6: Vysvětli, proč některé chemické reakce probíhají pouze při vyšších teplotách.

Při některých reakcích musí zaniknout vazby v původní molekule $\Rightarrow$ musíme dodat vazebnou energii (a tím přerušit vazby). Potřebnou energii atomy získají ze vzájemné srážky dvou molekul $\Rightarrow$ molekuly musejí mít dostatečnou energii $\Rightarrow$ látka musí mít dostatečnou teplotu.

Při chemické reakci musíme v první fázi dodávat energii na rozbití stávajících vazeb, v druhé fázi se při vzniku nových vazeb energie uvolňuje. Rozdíl těchto energií určuje, zda se při reakci teplo uvolňuje (exotermické reakce) nebo spotřebovává (endotermické reakce).

Vazebná energie určuje strukturu molekul a tím i jejich vlastnosti.

Shrnutí: Odpudivá síla mezi částicemi při velmi malých vzdálenostech se mění na přitažlivou, která se při větších vzdálenostech rychle zmenšuje.