

1.2.14 Hybnost, impulsová věta

Př. 1: Na základě zkušeností z tělocviku (chytání a házení míčů) vysvětli, které veličiny určují „množství pohybu“ schovaného v předmětu (a tedy i námahu, kterou musíme na chycení nebo hození vynaložit).

Hybnost tělesa je veličina definovaná jako součin hmotnosti a rychlosti: $p = mv$

Př. 2: Urči hybnosti:

- člověka o hmotnosti 70 kg jdoucího rychlostí 5 km/h,
- automobilu o hmotnosti 15 tun jedoucího rychlostí 90 km/h,
- kosmického smetí o hmotnosti 10 g letícího rychlostí 8 km/s,
- nákladního vlaku o hmotnosti 150 tun stojícího na nádraží.

a) člověk o hmotnosti 70 kg jdoucí rychlostí 5 km/h

$$v = 5 \text{ km/h} = 1,39 \text{ m/s}$$

$$p = mv = 70 \cdot 1,39 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 97 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

b) automobil o hmotnosti 15 tun jedoucí rychlostí 90 km/h

$$v = 90 \text{ km/h} = 25 \text{ m/s}, \quad m = 15 \text{ t} = 15000 \text{ kg}$$

$$p = mv = 15000 \cdot 25 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 375000 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

c) kosmické smetí o hmotnosti 10 g letící rychlostí 8 km/s

$$v = 8 \text{ km/s} = 8000 \text{ m/s}, \quad m = 10 \text{ g} = 0,01 \text{ kg}$$

$$p = mv = 0,01 \cdot 8000 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 80 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

d) nákladní vlak o hmotnosti 150 tun stojící na nádraží

$$v = 0 \text{ m/s} \Rightarrow p = mv = 0 \text{ m/s}$$

- $\Delta p = p_2 - p_1 = mv_2 - mv_1$
- $\Delta p = m\Delta v = m(v_2 - v_1)$

Př. 3: Urči změnu hybnosti:

- Auto o hmotnosti 1600 kg, které zpomalilo z 90 km/h na 50 km/h.
- Tenisového míčku o hmotnosti 58 g, který dopadl na tenisovou raketu rychlostí 25 m/s a odrazil se rychlostí 30 m/s zpět.

a) Auto o hmotnosti 1600 kg, které zpomalilo z 90 km/h na 50 km/h.

$$p_1 = mv_1 = 1600 \cdot 25 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 40000 \text{ kg} \cdot \text{m/s} \quad p_2 = mv_2 = 1600 \cdot 13,9 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 22200 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

$$\Delta p = p_2 - p_1 = 22200 - 40000 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = -17800 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

b) u tenisového míčku o hmotnosti 58 g, který dopadl na tenisovou raketu rychlostí 25 m/s a odrazil se rychlostí 30 m/s zpět

$$m = 58 \text{ g} = 0,058 \text{ kg}, \quad \Delta v = v_2 - v_1 = 30 - (-25) \text{ m/s} = 55 \text{ m/s} \quad (\text{rychlosti mají opačný směr})$$

$$\Delta p = m\Delta v = 0,058 \cdot 55 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 3,19 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

$$a = \frac{F}{m}, \quad a = \frac{\Delta v}{\Delta t}, \quad \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{F}{m} \quad / \cdot m \quad \frac{m\Delta v}{\Delta t} = F \quad m\Delta v = m(v_2 - v_1) = \Delta p$$

$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$ (Newtonovo vyjádření 2. pohybového zákona): Časová změna hybnosti

je rovna působící síle.

Př. 4: Urči průměrnou sílu, která musí urychlovat automobil o hmotnosti 1600 kg, aby za 9 sekund zrychlil z 0 km/h na 100 km/h. Jaká musí být minimální hodnota koeficientu

tření mezi koly vozu a povrchem silnice? Auto nemá speciální aerodynamickou úpravu, která by zvětšovala přítlak auta k silnici (a tedy i kolmou tlakovou sílu).

Použijeme Newtonův tvar 2. Newtonova zákona: $F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$.

$$v_1 = 0 \text{ m/s}, v_2 = 100 \text{ km/h} = 27,8 \text{ m/s}, m = 1600 \text{ kg}, \Delta t = 9 \text{ s}, F = ?$$

$$\Delta v = v_2 - v_1 = 27,8 - 0 \text{ m/s} = 27,8 \text{ m/s}$$

$$\Delta p = m\Delta v = 1600 \cdot 27,8 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 44500 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{44500}{9} \text{ N} = 4900 \text{ N}$$

Už víme, že auto pohání třecí síla \Rightarrow určíme hodnotu F_t :

$$F_t = N \cdot f = F_g \cdot f = mgf$$

$$f = \frac{F_t}{mg} = \frac{4900}{1600 \cdot 10} = 0,31$$

Auto musí urychlovat síla 4900 N. Koeficient tření mezi koly a povrchem silnice musí být větší než 0,31.

Předchozí rovnice se často upravuje do tvaru: $F \Delta t = \Delta p$

- pravá strana: změna hybnosti,
- levá strana: součin velikosti síly a doby, po kterou působila = **impuls síly**.

Impuls síly se rovná změně hybnosti.

Př. 5: Několik mincí je poskládáno na sebe do sloupce. Navrhni způsob, jak ze sloupce mincí dostat tu nejspodnější bez toho, aby se celý sloupec zborčil.

Př. 6: Basketbalový míč o hmotnosti 600 g, dopadl na zem rychlostí 5,5 m/s a odrazil se rychlostí 5,3 m/s zpátky. Jakou silou na něj působila podlaha haly, pokud odraz trval 0,005 s.

$$m = 600 \text{ g} = 0,6 \text{ kg}, v_1 = -5,5 \text{ m/s}, v_2 = 5,3 \text{ m/s}, \Delta t = 0,005 \text{ s}, F = ?$$

Použijeme vzorec $F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$.

$$\Delta v = v_2 - v_1 = 5,3 - (-5,5) \text{ m/s} = 10,8 \text{ m/s}$$

$$\Delta p = m\Delta v = 0,6 \cdot 10,8 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 6,48 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{6,48}{0,005} \text{ N} = 1300 \text{ N}$$

Podlaha působí na míč silou 1300 N.