

Gravitační pole

Gravitační síla (gravis=těžký) působí prostřednictvím gravitačního pole

Gravitační pole mají všechny hmotné objekty- toto pole je neodstranitelné (na rozdíl od elektromagnetického)

Gravitační interakce jsou vždy vzájemné (3. Newtonův zákon)

Newtonův gravitační zákon

Každá dvě tělesa se navzájem přitahují opačnými silami o stejné velikosti

$$F = G * \frac{m_1 * m_2}{r^2}$$

r= vzdálenost středů

gravitační konstanta (G)= $6,67 * 10^{-11}$ N*m²/kg

jak lze vidět ze vzorce, stejně jako u světla a zvuku, i u gravitace se uplatňuje zákon obrácených čtverců (r⁻²)- snižuje se se vzdáleností od středu Země

Gravitační zrychlení

$$W = F_g = G * \frac{M * m_{\text{t}}}{r^2} = m_{\text{t}} * g$$

$$g = G * \frac{M}{r^2}$$

Gravitační zrychlení je nezávislé na hmotnosti urychlovaného tělesa

Radiální (centrální) gravitační pole- gravitační síla směřuje vždy do středu koule (gravitace Země- makroskopické měřítko)

Homogenní gravitační pole- gravitační síla má stále stejný směr (povrch Země- mikroskopické měřítko)

Tíhové zrychlení při povrchu Země

Na tělesa při povrchu země kromě gravitace působí také setrvačná odstředivá síla díky zemskému otáčení se stálou úhlovou rychlostí:

$$\omega = \frac{2\pi}{86400 (1 \text{ den})}$$

Tíhová síla je tedy vektorovým součtem gravitační síly (do středu Země) a setrvačné síly (směřuje kolmo od osy otáčení)

$$\mathbf{F}_G = \mathbf{F}_g + \mathbf{F}_s$$

Tíhové pole = gravitační pole + setrvačné síly

Gravitační síly se mění v závislosti na vzdálenosti od centra Země

Setrvačné síly se mění v závislosti na vzdálenosti od osy otáčení (na rovníku nejsilnější a na pólech nulové) - na pólech je tedy gravitační síla rovna tíhové

$$F_s = m * \omega^2 * r \text{ (od osy otáčení)}$$

Odchylky tíhové síly jsou však tak malé, že můžeme mluvit o homogenním tíhovém poli

Navíc rozdíl gravitační síly a tíhové síly činí méně než 0,5 % (setrvačné síly jsou ve většině případů zanedbatelné)

Při velmi přesném měření (gravimetrie) se projeví také tvar Země, jakožto „zploštělé brambory“ (na pólech $9,83 \text{ m/s}^2$ a na rovníku $9,78 \text{ m/s}^2$)

Tíhová síla a tíha

Tíha (G) má působiště v místě stykové plochy mezi tělesem a podložkou

Tíhová síla (F_g) má působiště v těžišti tělesa

Tíhová síla a tíha jsou fyzikálně různé veličiny stejné velikosti, které však mají původ v tíhovém poli Země

Tento rozdíl vynikne v případech stavu tíže a beztíže:

- Stav tíže - účinek síly se projevuje na jiná tělesa (tlak, tah)
- Stav beztíže (weightlessness) - účinek síly se neprojevuje na jiných tělesech - tíhová síla stále působí, tíha však ne - objekt je ve volném pádu

Ve případech tíhy jde spíše o přítomnost a nepřítomnost normální/vztlakové síly (akčně-reakčního páru), než o jiný fundamentální rozdíl v daných situacích

Pohyby těles v homogenním tíhovém poli u povrchu země

Volný pád (free fall)

$$v_f = g * \Delta t$$

$$\Delta y = \frac{1}{2} * g * \Delta t^2$$

Vertikální vrh (free fall)

$$v_f = v_i - g * \Delta t$$

$$y_f = v_i * \Delta t - \frac{1}{2} * g * \Delta t^2$$

$$v_f^2 = v_i^2 - 2g * \Delta y$$

doba výstupu může být označena i (T) a výška výstupu také (h)

i ze zákona o zachování energie si můžeme odvodit, že těleso dopadá na povrch se stejnou rychlostí, jakou bylo vyhozeno vzhůru

Horizontální vrh (projectile motion)

Koná jej těleso s nenulovou rychlostí v ose x — rychlost v ose x se díky chybějící akceleraci (se zanedbáním odporu vzduchu) nemění

Počáteční rychlost v ose y je nulová

$$\Delta x = v_{ix} * \Delta t$$

$$y_f = y_i - \frac{1}{2} g * \Delta t^2$$

Pokud chceme zjistit délku vrhu (d) vyjádříme čas z y-ové rovnice a dosadíme jej do rovnice pro x-ovou souřadnici

Trajektorií je parabola

Šikmý vrh (projectile motion)

Těleso je vrženo pod elevačním úhlem- počáteční rychlost má x-ovou a y-ovou složku

Počáteční rychlost si za pomoci trigonometrie rozložíme na v_{ix} a v_{iy}

Maximální délky vrhu je dosaženo pod optimálním úhlem 45°

Ve vakuu je trajektorií parabola, díky odporu vzduchu má však ve standartním prostředí tvar nesouměrné balistické křivky

Pohyby těles v radiálním gravitačním poli Země

V oběžnic Země již nelze gravitační pole považovat za homogenní- gravitační síla stále směřuje do středu Země

Zejména je podstatný pohyb, při kterém je těleso dostatečně vzdáleno od Země (aby jeho oběžná dráha nemířila skrz Zemi + minimální odpor atmosféry) a má počáteční rychlost kolmou s vektorem gravitační síly

Při malé počáteční rychlosti těleso opisuje části elipsy- ta se se zvyšující rychlostí prodlužuje

Následně může dojít k situaci, kdy je elipsa dostatečně velká a již při jejím opisu nenarazí těleso do Země

Při určité hodnotě těleso opíše kružnici se středem v centrálním bodě Země (kruhová rychlost=**orbital velocity**)

Na těleso působí gravitační síla:

$$F_g = G * \frac{m * M_E}{(R + h)^2}$$

a dostředivá síla pro kružnicovou trajektorii:

$$F_c = m * \frac{v^2}{r} = m * \frac{v^2}{R + h}$$

$$m * \frac{v^2}{r} = G * \frac{m * M_E}{r^2}$$

$$v = \sqrt{\frac{G * M_E}{r}}$$

s rostoucí výškou se kruhová rychlost zmenšuje

první kosmická rychlost (r=R) pro planetu Zemi je 7900m/s s oběžnou dobou 85min

$$v (\omega r) = \frac{2\pi r}{T}$$

$$T = \frac{2\pi r}{v}$$

$$T = 2\pi * \sqrt{\frac{r^3}{G * M_E}}$$

Geostacionární družice- obíhá nad rovníkem s periodou 1 dne- vzhledem k zemi se nehýbe- převážně meteorologické a telekomunikační družice

Geosynchronní družice- jejich oběžná perioda je 1 den, ale nenacházejí se nad rovníkem

Příklady geosynchronních družic: SDO (Solar Dynamics Observatory), GPS (Global Positioning System- USA), Galileo (ESA + Evropská komise- obdoba GPS)

Pokud je tělesu udělena v dané výšce o něco menší rychlost, než je ta kruhová- těleso se bude pohybovat po elipse- jedním z ohnisk této elipsy bude střed Země- bod nejbližší zemskému středu se nazývá perigeum a nejdálčenější bod apogeum

Tvar elipsy ovlivňuje počáteční rychlost- čím je větší, tím je elipsa protáhlejší

Úniková rychlost- rychlost, při které se elipsa mění na parabolu a těleso se může vzdalovat od Země- je dána vzorcem:

$$v_e = \sqrt{\frac{2 * G * M_E}{r}} = v_{(orbital)} * \sqrt{2}$$

Úniková rychlost při povrchu Země je 11200m/s (druhá kosmická rychlost)- poté těleso uniká gravitačnímu působení Země a stává se družicí Slunce

Pohyby těles v gravitačním poli slunce

Slunce působí, díky své velikosti, na všechny objekty sluneční soustavy poměrně silnou gravitační silou

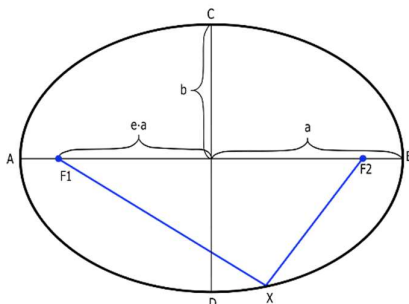
Gravitační pole slunce je radiální

Střední vzdálenost jednotlivých planet od slunce se uvádí v AU ($149,6 * 10^9$ m)

Mikuláš Koperník- jako první přišel s heliocentrickým modelem- navázali na něj Tycho Brahe a Johannes Kepler

Kepler formuloval tři zákony nebeské mechaniky:

1. Keplerův zákon- planety se pohybují kolem Slunce po elipsách málo odlišných od kružnic, v jejichž společném ohnisku je slunce (elipsa má ohniska 2)
 - a. Bod nejvyšší vzdálenosti od slunce se nazývá afélium a nejbližší perihelium



- b.
 - c. Vzdálenost perihelium-slunce se nazývá hlavní poloosa elipsy (a)
2. Keplerův zákon- obsahy ploch opsaných průvodičem planety (úsečka planeta-Slunce) za jednotku času jsou konstantní
 - a. průvodič se v periheliu zkracuje- rychlost v perihelium je tedy nejvyšší a v aféliu nejnižší
 - b. Země prochází periheliem v lednu a aféliem v červenci (zimní půlrok je tedy na severní polokouli kratší, než letní)- o 1 týden)
3. Keplerův zákon- poměr druhých mocnin oběžných dob dvou planet se rovná poměru třetích mocnin hlavních poloos (perihelium-Slunce) jejich trajektorií
 - a. $\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$
 - b. Zákon platí, pokud jsou hmotnosti planet zanedbatelně malé vzhledem k hmotnostem slunce

- c. Hlavní poloosy můžeme v některých případech nahradit poloměry kružnic (střední vzdálenosti)

Keplerovy zákony platí obecně pro všechna tělesa pohybující se v radiálním gravitačním poli, jejichž hmotnost je zanedbatelně malá vzhledem k obíhanému tělesu (planety obíhající kolem hvězdy, soustava umělých družic Země, měsíců Jupiteru atd.)