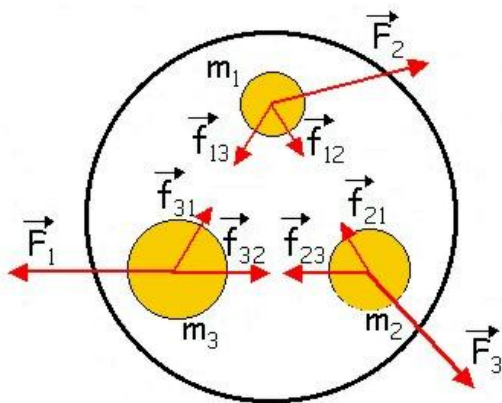


Impulss. Impulsi jäävuse seadus.

On olemas füüsikalised suurused, millel on huvitav omadus - jäävuse omadus. Seisneb see omadus selles, et suletud süsteemis jääb nende füüsikaliste suuruste summa konstantseks. Üheks selliseks füüsikaliseks suuruseks on keha impulss. Keha impulsiks nimetame keha massi ja kiiruse korrutist $\vec{p} = m\vec{v}$. Selgitusest ilmneb, et sama massiga kehal võivad olla erinevad impulsi väärtused kui keha kiirused on erinevad. Impulss on vektoriaalne suurus. Impulsi vektori suund langeb kokku keha kiiruse vektori suunaga.

Meile on teada Newtoni teine seadus kujul $\vec{F} = m\vec{a}$. Keha kiirendus on aga kiiruse muut ajaühiku kohta $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t}$. Kui kasutada seda kiirenduse määratlust Newtoni teise seaduse valemis, siis saame: $\vec{F} = \frac{m(\vec{v} - \vec{v}_0)}{\Delta t}$. Kui avada lugejas sulud, siis on lugejas keha impulsside vahe aja alg- ja lõpphetkel $\vec{F} = \frac{m\vec{v} - m\vec{v}_0}{\Delta t} = \frac{\vec{p} - \vec{p}_0}{\Delta t}$. Saame Newtoni teise seaduse uue määratluse. Mingi ajavahemiku jooksul mõjuva jõu tõttu muutub keha impulss p_0 kuni $\vec{F}\Delta t = \vec{p} - \vec{p}_0$.



Joonis 1

Suletud süsteemi impulss peab olema jääv. Olgu meil kolmest kehas koosnev süsteem (vt. joon. 1). Tähistame kehade massid vastavalt m_1 , m_2 ja m_3 . Süsteemi kuuluvad kehad mõjutavad teineteist vastastikku. Tähistame vastastikmõju jõud vastavalt \vec{f}_{12} -esimese keha mõju teisele, \vec{f}_{21} -teise keha mõju esimesele, \vec{f}_{23} -teise keha mõju kolmandale, \vec{f}_{32} -kolmanda keha mõju teisele, \vec{f}_{31} -kolmanda keha mõju esimesele, \vec{f}_{13} -esimese keha mõju kolmandale. Vastavalt Newtoni kolmandale seadusele $\vec{f}_{12} = -\vec{f}_{21}$, $\vec{f}_{23} = -\vec{f}_{32}$, $\vec{f}_{13} = -\vec{f}_{31}$. Oletame, et peale süsteemisestest jõudude mõjuvad kehadele ka süsteemivälised jõud. Väliste jõudude resultandid kehadele tähistame \vec{F}_1 , \vec{F}_2 ja \vec{F}_3 . Newtoni teine seadus esimese keha kohta näeks välja $\frac{\Delta\vec{p}_1}{\Delta t} = \vec{f}_{12} + \vec{f}_{13} + \vec{F}_1$. Analoogselt näeks välja Newtoni teine seadus ka keha kaks kohta $\frac{\Delta\vec{p}_2}{\Delta t} = \vec{f}_{21} + \vec{f}_{23} + \vec{F}_2$ ja kolm kohta $\frac{\Delta\vec{p}_3}{\Delta t} = \vec{f}_{31} + \vec{f}_{32} + \vec{F}_3$. Järgnevalt liidame kõigi kolme keha Newtoni teise seaduse avaldised kokku $\frac{\Delta\vec{p}_1 + \Delta\vec{p}_2 + \Delta\vec{p}_3}{\Delta t} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$. Kuna jõud

$\vec{f}_{12} = -\vec{f}_{21}$, $\vec{f}_{23} = -\vec{f}_{32}$, $\vec{f}_{13} = -\vec{f}_{31}$ on võrdsed ja vastassuunalised, siis nad kompenseerivad teineteist ja nii iga jõudude paari korral. Seega jääb liitmise tulemusel avaldise vasakule poolele impulsi muutude summa ajaühiku kohta ja paremale poolele väliste jõudude summa $\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} \sum \vec{F}$. Kui süsteem on suletud, siis välised jõud puuduvad või nende summa on null, sellest jäeldub aga, et süsteemi koguimpulsi muut on võrdne nulliga $\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = 0$.

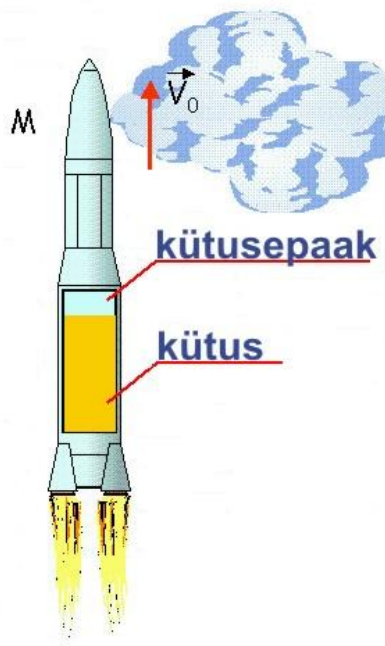


Joonis 2



Joonis 3

Vaatleme süsteemi, mis koosneb kahest kehast massidega m_1 ja m_2 ning väidame, et kehad liiguvad teineteisele vastu kiirustega \vec{v}_1 ja \vec{v}_2 vastavalt (vt. joon. 2). Kehad põrkuvad tsentraalselt, kusjuures põrkel ei lähe energiat kaduma. Peale põrget liigub keha massiga m_1 kiirusega \vec{v}'_1 ja keha massiga m_2 kiirusega \vec{v}'_2 (vt. joon. 3). Vastavalt Newtoni kolmandale seadusele: $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$. Lähtudes Newtoni teisest seadusest ja kiirenduse definitsioonist, saame kirjutada $\vec{F}_{12} = m_1 \frac{\vec{v}'_1 - \vec{v}_1}{\Delta t}$ ja $\vec{F}_{21} = m_2 \frac{\vec{v}'_2 - \vec{v}_2}{\Delta t}$, seega $m_1 \frac{\vec{v}'_1 - \vec{v}_1}{\Delta t} = -m_2 \frac{\vec{v}'_2 - \vec{v}_2}{\Delta t}$. Kuna ajavahemik Δt on mõlema keha jaoks sama, siis saab avaldise suurusega Δt läbi korrutada, ning kui avada sulud, siis saame $m_1 \vec{v}'_1 - m_1 \vec{v}_1 = -m_2 \vec{v}'_2 + m_2 \vec{v}_2$. Kui viia primme sisaldavad liikmed võrdumismärgi suhtes paremale, saame $m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2$. Tulemuseks saame seega avaldise, mille vasakul pool on kehade impulsside summa enne põrget (vastastikmõju) ja paremal pool impulsside summa peale põrget. Koguimpulss enne põrget ja peale põrget jäi muutumatuks. Impulsi ühikuks on $\left[\frac{kg \cdot m}{s} \right]$.



Joonis 4

Reaktiivliikumine. Impulsi jäävuse seadust kasutades saame arvutada kosmoselendudeks vajaliku kütuse hulga. Raketi liikumine on reaktiivliikumine. Kuumad gaasid paisatakse raketi düüsidest välja kiirusega u raketi suhtes ja rakett liigub vastupidises suunas kiirusega v . Süsteemi rakett-gaasid loeme suletuks (vt. joon. 4). Liikugu rakett massiga m mingil aja ajahetkel $t_0=0$ inertsiaalse taustsüsteemi suhtes kiirusega v_0 . Ajahetkel $t_0+\Delta t$ olgu raketi kiirus v . Aja Δt jooksul paisatakse düüsidest välja gaas massiga Δm kiirusega u raketi suhtes ja kiirusega $v_1=v-u$ inertsiaalse taustsüsteemi suhtes, kus v on raketi kiirus ajavahemiku Δt möödumisel. Vastavalt impulsi jäävuse seadusele peab süsteemi rakett-gaasid impulss ajahetkel t_0 ja $t=t_0+\Delta t$ olema võrdne. Seega $mv_0=(m-\Delta m)v+\Delta mv_1$. Arvestades sellega, et $v_1=v-u$ ja et $v-v_0=\Delta v$, ehk kiiruse muutuga ajavahemiku Δt jooksul, saame, et $m\Delta v=-\Delta mu$. Jagame võrduse mõlemad pooled läbi ajavahemikuga Δt , mille jooksul raketi mootorid töötasid, saame $\frac{m\Delta v}{\Delta t} = \frac{\Delta mu}{\Delta t}$. Tähistame suhte $\frac{\Delta m}{\Delta t} = \mu$, see on kütuse kulu ja tähistame suhte $\frac{\Delta v}{\Delta t} = a$, see on raketi kiirendus. Kui teha asendused, siis saame $ma = -\mu u$.