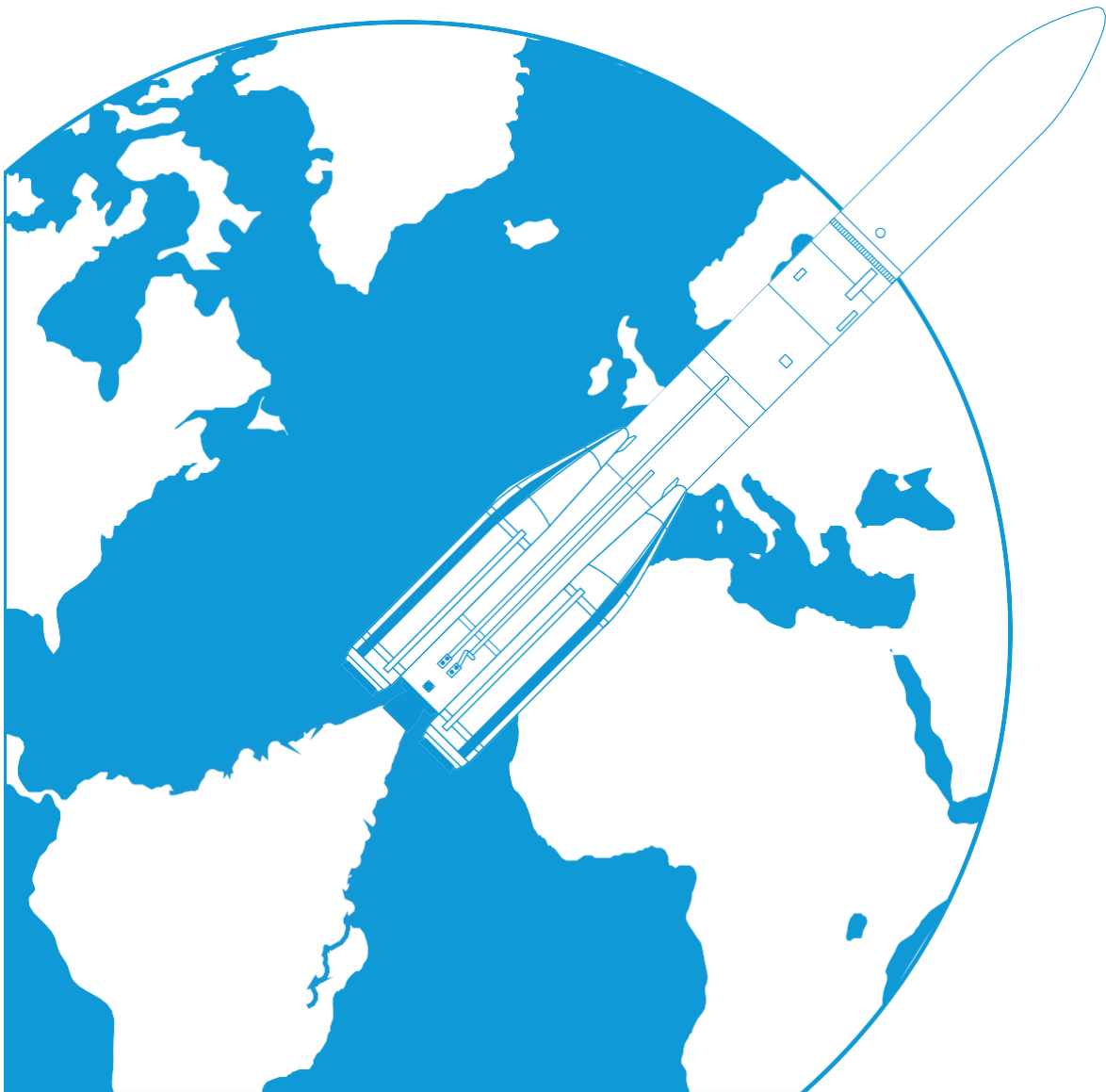


Õpeta kosmosega

→ 3...2...1 ÕHKUTÕUS!

Ehitame oma paberraketi





Õpetaja juhend

Lühike kokkuvõte	lk 3
Tegevus 1: ehita oma paberrakett	lk 6
Tegevus 2: lennuta oma rakett taevasse	lk 8
Tegevus 3: inimese kosmoselend	lk 13
Õpilase tööleht	lk 14
Lingid	lk 24
Lisa 1	lk 25
Lisa 2	lk 26
Lisa 3	lk 27
Lisa 4	lk 28

õpeta kosmosega – 3...2...1 õhkutõus! | P17
www.esa.int/education

ESA Haridusosakond ootab tagasisidet:
teachers@esa.int

Tegevuse idee on välja arendanud ESERO Nordic ja ESERO Poland

ESA Education produktsioon
Copyright 2019 © European Space Agency

→ 3...2...1 ÕHKUTÕUS!

Oma paberraketi ehitamine

Lühike kokkuvõte

Õppeaine: füüsika

Vanus: 14–16aastased

Tüüp: õpilaste tegevus

Raskusaste: keskmine

Õppetunnile kuluv aeg: 2 tundi

Maksumus: madal (5–10 eurot)

Tegevuskoht: sise- ja välisruumides

Sisaldab: omatehtud raketi stardisüsteem (vt Lisa 1 + 2)

Võtmesõnad: füüsika, rakett, parabolne liikumine, aerodünaamika, massikese, rõhukese, väljumiskiirus, orbitaalkiirus, kiirus, kiirendus

Ülevaade

Õpilased projekteerivad, ehitavad ja lennutavad oma paberraketi. Nad saavad teada, mida on vaja teha, et rakett oleks stabiilne ning õpivad arvestama raketi teekonda ja kiirust. Nad saavad teada ka, kui suur peab olema raketi kiirus Maalt lahkumiseks ning avastavad, miks Kuul on potentsiaali olla hüppelauaks edasiste kosmoseuuringute jaoks. Lõpuks arvutavad nad oma raketi kiirenduse lennutamise hetkel ning asetavad selle G-jõu konteksti, mida raketi väljalennutamisel kogevad astronautid.

Õpilased saavad teada:

- mis on massikese ning rõhukese;
- kuidas uurida lendkeha liikumist ning paraboole;
- kuidas arvutada kiirust ja kiirendust;
- millised on erinevad füüsikalised jõud.
- Lisaks areneb õpilaste teaduslik mõtlemine ja meeskonnatööoskus.

→ Tegevuste kokkuvõte

Tegevuste kokkuvõte					
	Pealkiri	Kirjeldus	Tulemus	Eeltingimused	Aeg
1	Paberraketi ehitamine	Paberraketi projekteerimine ja ehitamine	Õpitakse tundma rakette, aerodünaamikat, massi- ja rõhukeset ja tegureid, mis muudavad raketi stabiilseks.	Puuduvad	30 minutit
2	Oma raketi väljalennutamine	Raketi väljalennutamine, platvormilt lahkumise algkiiruse arvutamine. Tulemuse võrdlemine väljumiskiirusega, mis on vajalik Maalt ja Kuult lahkumiseks.	Teadmised erinevatest füüsikalistest jõududest, lendkena liikumisest, kiirusest ja väljumiskiirusest.	1. tegevuse lõpetamine. Raketiheitja olemasolu (Lisa 1 ja 2). Väljalennutamine tuleb teha avatud ruumis, soovitatavalt õues.	45 minutit
3	Mehitatud kosmoselend	Arvutatakse paberraketi kiirendus väljalennutamise hetkel. Tulemust võrreldakse astronautide poolt kogetud G-jõuga.	Õpitakse tundma kiirendust ja G-jõudu	2. tegevuse lõpetamine	45 minutit

→ Sissejuhatus

Kosmoseagentuurid kasutavad rakette regulaarselt. Nendega saadetakse meeskondi rahvusvahelisse kosmosejaama (ISS), veetakse Päikesesüsteemi uurimiseks vajalikke sonde, ja nendelt lennutatakse satelliite Maa orbiidile. Raketid varieeruvad suuruse, kuju ja kasutatava kütuse tüübi poolest; kõik sõltub nende otstarbest.

ESA kanderakettide hulka kuuluvad Vega, Vega-C ja Ariane 5. Satelliitide ja sondide jaoks töötatakse välja uut ja tõhusamat raketti: Ariane 6 (mis tuleb Ariane 62 ja Ariane 64 kujul). Nende kanderakettide pealt saab käivitada suure hulga kosmosemissioone – alates sidesatelliitidest kuni Päikesesüsteemi missioonideni. Nende võimsad mootorid annavad energiat, mis on vajalik Maa gravitatsioonist väljumiseks.



↑ ESA kanderakettide perekond.

ESA lennutab raketid välja oma kosmodroomilt, mis asub Prantsuse Guajaanas Lõuna-Ameerikas, mis on vaid 500 km ekvaatorist põhja pool. Maa pöörlemine on kiireim ekvaatoril ja raketid saavad seal ära kasutada katapuldi efekti. See suurendab raketi kiirust 460 m/s, mis säästab kütust ja raha. See asukoht on ideaalne ka geostatsionaarsele orbiidile saatmiseks, kuna satelliidi trajektooris tuleb teha üsna vähe muudatusi. Oluline on ka kosmodroomi ohutus. Prantsuse Guajaana on hõredalt asustatud ja 90% riigist on kaetud vihmametsaga. Lisaks puudub keeristormide või maavärinate oht. Kõik need tegurid teevad ESA kosmodroomist soodsaima stardikoha.



↑ Orion koos Euroopa teenusemooduliga

Selleks, et jõuda mehitatud missiooniga Kuule, peame väljalennutama võimsa raketi! Üks võimsamaid rakette oli Saturn V, mis osana Apollo programmist viis inimesed 6ondatel ja 7ondatel Kuule. Sellest ajast alates ei ole inimesed oma jalga Kuule tõstnud.

NASA Orioni kosmoselaev ja ESA Euroopa teenusemoodul lennutatakse välja uue põlvkonna raketidelt. Nad võimaldavad tulevikus astronautidel jõuda kaugemale kosmosesse, Kuust kaugemale, kuni asteroidide ja isegi Marsini.

Nende tegevuste käigus on õpilased raketiteadlased ning projekteerivad ja lennutavad välja oma raketi, et minna tagasi Kuule!

→ Tegevus 1: ehita oma paberrakett

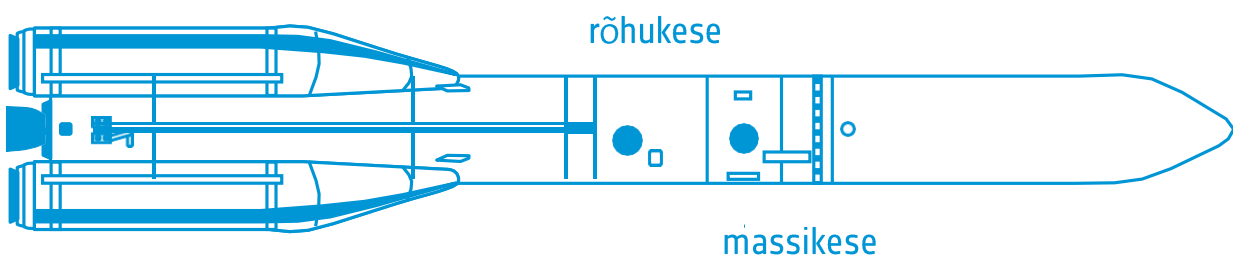
Selles tegevuses ehitavad õpilased omale paberraketi. Nad arvutavad massi- ja rõhukeskme ning püüavad oma raketi teha nii aerodünaamilise kui võimalik. Nad katsetavad raketi stabiilsust ja hindavad, millised raketi parameetrid mõjutavad raketi jõudlust.

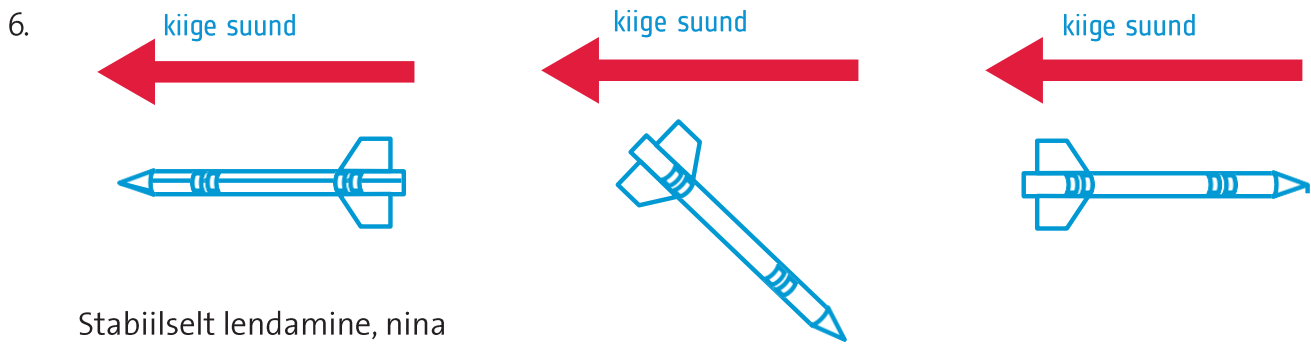
Vahendid rühma kohta

- Väljaprintitud õpilase töölehed
- Kaks A4 paberilehte
- Käärid
- Kleeplint
- Plastiliin
- Papp
- Raketi tiibade ja nina šabloonid (valikuline) – Lisa 3

Ülesanne

1. Jagage klass kuni kolme õpilasega rühmadeks ja paluge neil ehitada etteantud materjalidest rakett. Oluline on rõhutada, et rakett peab sobima teie poolt ette valmistatud stardisüsteemi. Õpilased peaksid olema oma raketi disainiga loomingulised ja otsustama ise tiibade suuruse ja arvu. Siiski leiate 3. lisast inspiratsiooniks tiibade ja ninakoonuse šabloonid.
2. Paluge õpilastel leida oma raketi massikesk. Massikesk iseloomustab kogu keha massi keskmist asukohta, selle saab leida, kui tasakaalustada rakett nõõri abil. Märkus: mõned allikad ajavad massikeskme segamini gravitatsioonikeskmeaga.
3. Paluge õpilastel leida oma raketi rõhukesk. Rõhukesk on raketi geomeetriline kesk, kus kõik aerodünaamilised jõud on tasakaalus. Kui rakett oleks seest homogeenne, langeksid massi- ja rõhukeskmed kokku. Rõhukeskme leidmiseks tuleb liita kokku kõik jõud, mis mõjuvad tiibadele, raketi tagaosale jne, kuid seda võib olla raske arvutada. Lihtsam viis ligikaudse keskme leidmiseks on välja lõigata paberraketi siluett ja panna see nt joonlaua serva peale seisma. Nii saab leida tasakaaluasendi.
4. Õpilastel tuleks märkida nii massi- kui rõhukeskme koht oma raketi peal ning mõtiskleda nende kohtade erinevuse üle. Paluge õpilastel läbi viia kiigetest ning hinnata, kuidas massi- ja rõhukeskme asukoht ning kaugus üksteisest mõjutab raketi stabiilsust.
5. Näide selle kohta, kuidas massi- ja rõhukeskme peaksid stabiilse raketi puhul paiknema.





Stabiilselt lendamine, nina eespool. Massikeske asub rõhukeskme ees. See on ideaalse konfiguratsiooni näide.

Hundirattana pöörlemine. Massikeske on liiga lähedal rõhukeskmele.

Tagurpidi lendamine. Rõhukeske on massikeskest eespool.

7. Tabelis on mõned muutujad, mida saab raketi projekteerimisel ja käivitamisel muuta.

Muutuja	Kuidas muutuja muutmine mõjutab raketi toimimist?
Tiibade arv	Kuna tiivad lisatakse raketi tagumisele osale, siis mõjutab see massikeset. See võib mõjutada ka rõhukeset, kuna raketi pindala muutub. Kui tiibade arv on paaritu, siis võib muutuda stabiilsus ning takistusjõud.
Tiibade suurus ja kuju	Suuremad tiivad nihutavad rõhukeset raketi tagaossa.
Ilmastikutingimused	Erinevad ilmastikutingimused võivad sõltuvalt raketi disainist õhikutõusmist kas soodustada või muuta keerulisemaks. Näiteks on suurte tiibadega rakett tugevast tuulest rohkem mõjutatud. Enamasti töötavad paberraketid tuule ja eriti vihmaga üsna kehvasti.
Raketi pikkus	Raketi pikkus mõjutab rõhukeset. Liiga lühikese raketi puhul pole raketil vajalikke aerodünaamilisi omadusi. Liiga pika raketi puhul aga võib see rakett laguneda (kuna on tehtud paberist).
Raketi kaal	Raskuse jaotumine raketis määrab kindlaks massikeskme. Raske ninaosa liigutab massikeskme ettepoole. Seda võib teha plastiliini lisamisega ninaosale.

Märkus. Kui on olemas ligipääs internetile, võite alla laadida tasuta raketi simulatsiooni tööriista: <http://openrocket.info/>. Selles saab proovida erinevaid mõõtmeid ja kujundusi ning uurida massi- ja rõhukeskme suhet.

→ Tegevus 2: raketi väljalennutamine

Selle tegevuse käigus saavad õpilased teada, et matemaatika on osa raketiteadusest. Nad õpivad tundma erinevaid füüsikalisi jõude ning joonistavad kehale mõjuvate jõudude diagrammi. Nad vaatavad raketi trajektoori enne ja peale raketi väljalennutamist ning teevad kiirusega seotud arvutused.

Vahendid

- Grupi kohta üks välja prinditud õpilase töölehtede komplekt
- Stardisüsteem (vt lisa 1 ja 2)
- Isetehtud paberrakett
- Pikk mõõdulint
- Mall (vabatahtlik)

Turvalisus

Veenduge, et väljalennutamise ajal poleks inimesi läheduses. Ärge suunake raketti kellegi poole. Soovitatav on väljalennutamise ajal kaitsta silmi.

Ülesanne

Rakettide väljalennutamisel pidage meeles, et selleks on vaja tasast pinda ning palju ruumi (jalgpalliväljak sobiks hästi). Kui kasutate lisa 2 olevat stardiplatvormi, võivad raketid lennata 100 m või rohkem! Juhendage õpilasi, et maksimaalne rõhk ei tohiks olla üle 7 baari.

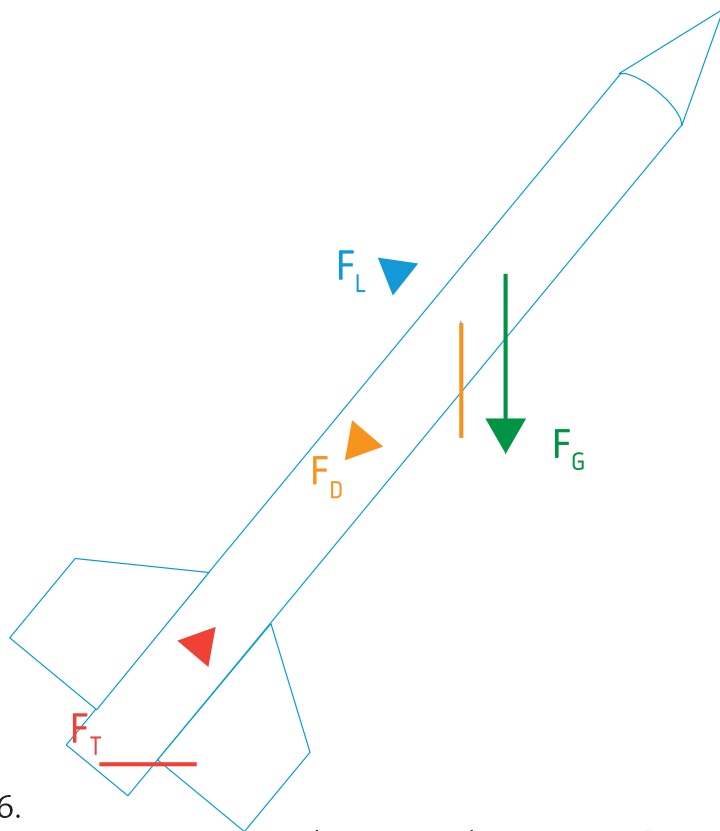
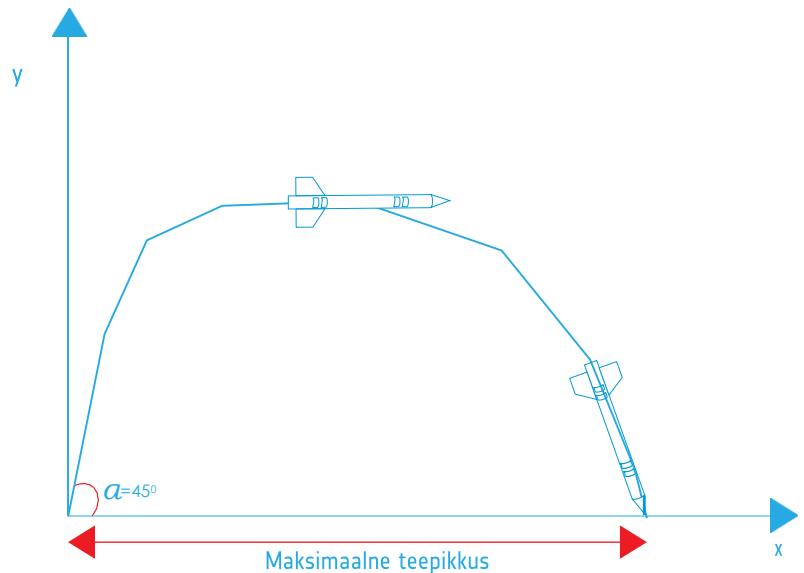
Laske õpilastel arutleda, millise nurga alt on kõige parem raketti õhku lennutada. Hiljem võite rääkida optimaalsest nurgast, mis on vajalik maksimaalse vahemaa saamiseks. Õpilased võiksid lennutada kõik sama nurga all, et võrrelda, millise meeskonna rakett on parim. Teise võimalusena võiksid õpilased lennutada erinevate nurkade all, et leida optimaalseim väljalennunurk.

Võite korraldada võistluse ja premeerida kõige kaugemale lendavate rakettide eest. Lisas 3 on tabel, kuhu saate märkida rakettide lennutee pikkused (seda teavet läheb hiljem vaja).

Pärast lennutamist rääkige sellest, kuidas raketid kiirendavad ülespoole ja miks nad järgivad parabolset trajektoori. Tutvustage Newtoni kolme liikumisseadust ja gravitatsioonijõudu. Tutvustage väljumiskiiruse ja orbitaalkiiruse kontseptsioone ning võrrelge paberrakettide väljalennutamist reaalse Kuule lendava raketi väljalennutamisega.

Tulemused

1. Raketi trajektoori skeem.
2. Maksimaalse teepikkuse saamiseks tuleks raketit välja lennutada 45° nurga all.
4. Algtingimused, mis võivad raketi trajektoori mõjutada:
 - tuul,
 - raketile antud esialgne kiirus,
 - väljalennunurk.
5. Jõudiagramm, mis näitab raketile mõjuvaid jõude väljalennu faasis.



$F_T =$ Tõukejõud

Tõukejõud mõjub raketile väga lühikest aega väljalennutamise ajal. See jõud panebki raketi lendama.

$F_G =$ Gravitatsioonijõud

Gravitatsioonijõud on kogu lennu ajal enam-vähem konstantne.

$F_D =$ Hõõrdejõud

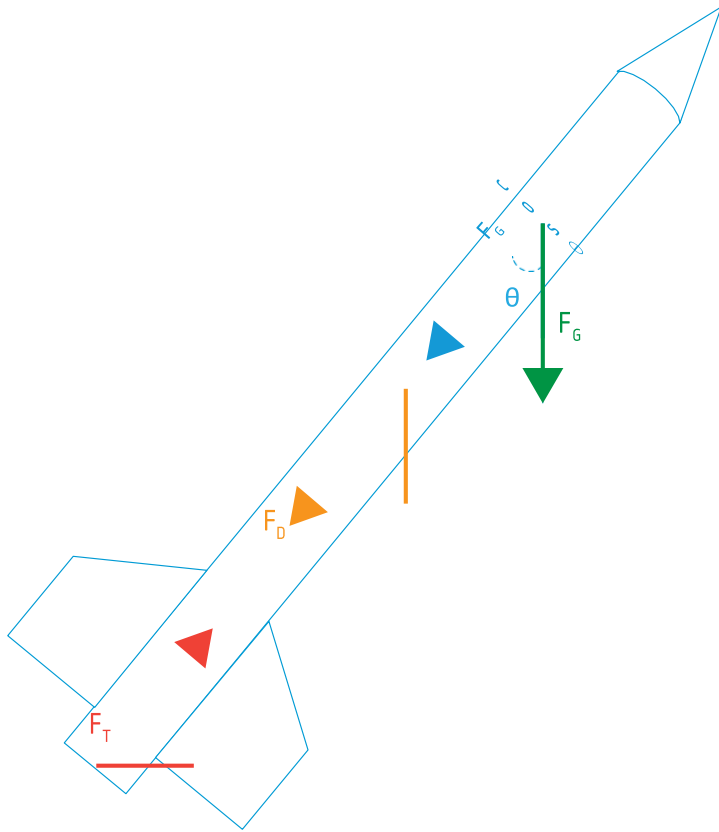
Hõõrdejõud sõltub õhu tihedusest, viskoossusest ja kokkusurutavusest; samuti raketi kiirusest, kujust ja kaldenurgast.

$F_L =$ Tõstejõud

Tõstejõud sõltub õhu tihedusest, viskoossusest ja kokkusurutavusest; samuti raketi kiirusest, kujust ja kaldenurgast. Selle ülesande juures hindame tõstejõu ebaoluliseks.

6.
 - a. Tõelisel ESA raketil (nt Ariane 5) kestab see faas paar minutit, meie paberrakettide puhul vaevalt sekundi.
 - b. Jõudude summa liikumissuunas võib väljendada järgmiselt:

$$F = -F_D + F_T - F_G \cos\theta$$



$F=ma$, m on mass ja a on kiirendus.

$F_T=-u_e dm/dt$, u_e on heitgaaside kiirus raketi suhtes ja dm/dt on raketi massi muutuse kiirus.

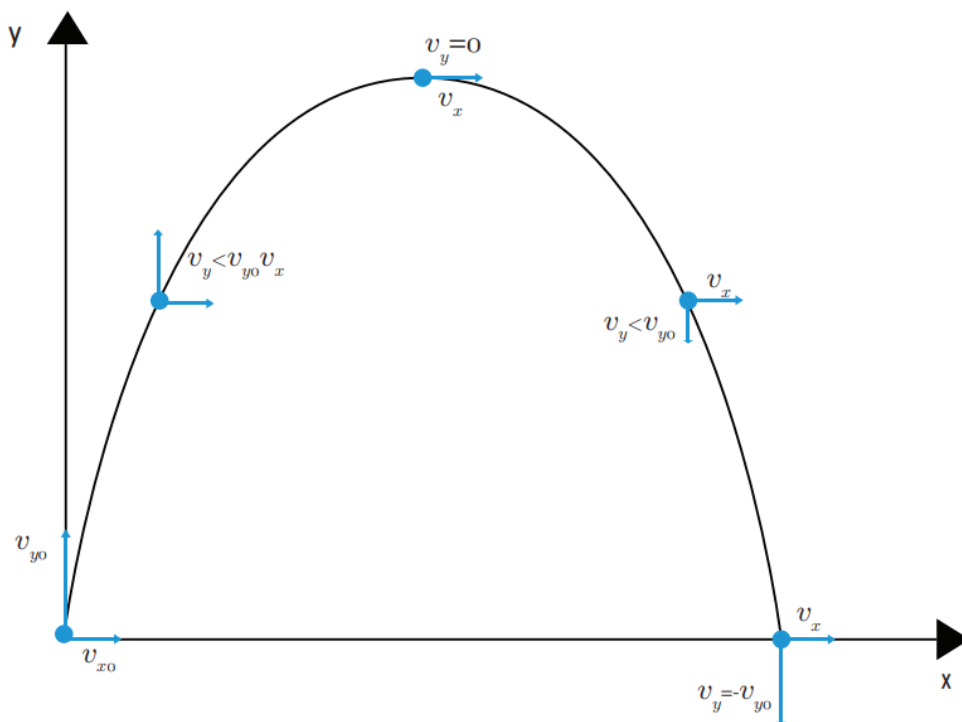
$F_G \cos \theta$ on raketi liikumise suunas mõjuv gravitatsioonijõud. $F_G=mg$, m on mass ja g on raskuskiirendus ja θ on nurk raketi liikumise suuna ning F_G -vahel.

F_D on hõõrdejõud.

c. Kui asendame muutujad ja jagame m -ga, saame kiirenduse:

$$a = -\frac{F_D}{m} - \frac{u_e}{m} \frac{dm}{dt} - g \cos(\theta)$$

7. a. Joonisel on vertikaalsed ja horisontaalsed kiiruse komponendid. Ärgitage õpilasi mõtlema, millised jõud mõjuvad erinevates trajektoori punktes ning miks see tingib paraboolse liikumise.



7. b. Tõukefaasis antakse raketile stardiplatvormil olles suur kiirendus. Pärast raketi stardiplatvormilt lahkumist tõukejõud puudub. Kui ignoreerida hõõrdejõudu, siis võib öelda, et pole enam ka jõudu, mis suruks raketti x-telje poole, seega vastavalt Newtoni esimesele seadusele on x-kiiruse komponent (v_x) konstantne. Y-teljel mõjub raketile gravitatsioonijõud Maa keskmee suunas (risti maapinnaga), seega y-kiiruse komponent (v_y) muutub.

8. Kiiruse taandamine võrrandist:

$$v = \sqrt{\frac{dg}{\sin(2\alpha)}}$$

9. Kasutame vahemaad $d = 40 \text{ m}$, ja nurka $\alpha = 45^\circ$:

$$v = \sqrt{\frac{40 \times 9,81}{\sin(2 \times 45^\circ)}}$$

$$v = \sqrt{\frac{392,40}{1}} = 19,81 \text{ m/s}$$

10. Teisendame ühikuteks km/h

$$v = \frac{19,81}{1000} \times 60 \times 60 = 71,3 \text{ km/h}$$

11. Maalt lahkumiseks vajaliku väljumiskiiruse saab arvutada järgnevalt:

$$v_e = \sqrt{\frac{2 \times 6,67 \times 10^{-11} \times 5,97 \times 10^{24}}{6,371 \times 10^6}} = 1,12 \times 10^4 \text{ m/s} = 4,03 \times 10^4 \text{ km/h}$$

12. Kiirus, mis on vajalik anda kosmoselaevale, et see jõuaks maapinnalt 300 km kõrgusele orbiidile.

$$v_{\text{orbital}} = \sqrt{\frac{6,67 \times 10^{-11} \times 5,97 \times 10^{24}}{6,371 \times 10^6 + 3,00 \times 10^5}} = 7,73 \times 10^3 \text{ m/s} = 2,78 \times 10^4 \text{ km/h}$$

Kus r on orbiidi raadius (Maa keskpaigast), st $6371 \text{ km} + 300 \text{ km}$.

13. Võrreldes 9. küsimuses toodud näitega on see $2,78 \times 10^4 / 71,3 = 390$ korda kiirem kui isetehtud paberraketi kiirus.

14. Kuult väljumise kiirus on palju väiksem, kuna Kuul on Maaga võrreldes oma raadiuse kohta oluliselt väiksem mass.

15. Väljumiskiiruse Kuult lahkumiseks saab arvutada järgnevalt:

$$v_e = \sqrt{\frac{2 \times 6,67 \times 10^{-11} \times 7,35 \times 10^{22}}{1,737 \times 10^6}} = 2,38 \times 10^3 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 8,57 \times 10^3 \text{ km/h}$$

16. Kuna väljumiskiirus Kuult on väiksem, läheb Kuult kosmoselaeva väljalennutamiseks vaja palju vähem energiat (ja seega kütust), mis lihtsustab suure lasti väljalennutamist Kuu pinnalt.

Arutelu

Arutlege tulemuste üle klassis. Mida iga rühm tegi selleks, et nende rakett lendaks kaugemale? Kas see töötas? Miks? Miks mitte?

Küsige õpilastelt, miks võiks kaugemale kosmosesse minnes (nt Marsile) olla kasulik rakette väljalennutada Kuu pinnalt? Aita neil aru saada, et kuna võrreldes Maaga on Kuu orbitaalkiirus ja väljumiskiirus palju väiksemad, kulub Kuult väljumiseks vähem kütust, st see on palju odavam. Võiksite arutleda ka selle üle, miks Maa peal lennutatakse raketid välja ekvaatori lähedal (kasutage sissejuhatuses toodud teavet).

Rääkige läbi arvutustes tehtud lihtsustused ja eeldused. Näiteks ei võtnud me arvesse hõõrdejõust tulenevat aeglustust. Kiiruse kasvades kasvab ka hõõrdejõud. Arutlege millal ja kus võiks hõõrdejõul olla raketile kõige suurem mõju. Tegelikult on Maa orbitaal- ja väljumiskiirus suurem kui meie arvutustes. Arutlege selle üle, et kuna Kuul ei ole atmosfääri ega õhutakistust, on olemas veel üks põhjus, miks on Kuult lihtsam lahkuda.

→ Tegevus 3: mehitatud kosmoselend

Selle tegevuse käigus õpitakse tundma kiirendust, G-jõudu ning teisi füüsikalisi jõude. Õpilased saavad teada, miks on vaja mehitatud raketi väljalennutamisel arvestada mõne lisa ettevaatusabinõuga.

Ülesanne

Alustuseks küsige klassilt, kuidas raketid väljalennates kiirendavad. See on suurepärane võimalus rääkida Newtoni kolmest liikumisseadusest ja gravitatsioonijõust.

Tulemused

1. Avaldame võrrandist (1) ja (2) aja (**t**) ja saame:

$$\frac{2S}{u+v} = \frac{v-u}{a}$$

Siis avaldame **a**

$$a = \frac{v^2 - u^2}{2S}$$

2. Raketi algne kiirus on $u = 0$ m/s. Kui kasutame 2. tegevuse 9. küsimuse väljalennutamise kiirust saame:

$$a = \frac{19,81^2 - 0^2}{2 \times 0,3} = \frac{392,4}{0,6} \text{ m/s}^2$$

3. Õpilastel tuleb välja arvutada raketi G-jõud väljalennutamise ajal. G-jõud pole jõud, vaid pigem suhe, mis mõjub objektile võrreldes Maa gravitatsiooniga. Saame:

$$G_{jõud} = \frac{654}{9,81} = 67$$

See on Maa gravitatsioonijõust 67 korda suurem.

Arutelu

Arutlege klassis, miks astronaut ei koge tavaliselt rohkem kui 3–6 G-d, samas kui raketile mõjub oluliselt suurem jõud?

Inimene ei suuda taluda 67 G suurust jõudu. Kui palju G-jõudu suudab inimene taluda, sõltub ka sellest, kui kaua ta jõududega kokku puutub: mõnest sekundist minutini. Tuletage õpilastele meelde, et see sõltub kiirendusest, mitte kiirusest. Kiirendus on kiiruse muutus ajas. Mehitatud missiooni puhul on kiirendus väiksem ja kosmoselaeval võtab vajaliku kiiruse saavutamise palju rohkem aega.

Kolmanda tegevuse lõpetamisel võite paluda õpilastel kirjutada oma eksperimendi kohta eraldi aruanne. Nad peaksid kasutama nende tegevuste käigus saadud teadmisi ja hindama, kuidas neil läks ja mida oleks saanud paremini teha.

→ 3...2...1 ÕHKUTÕUS!

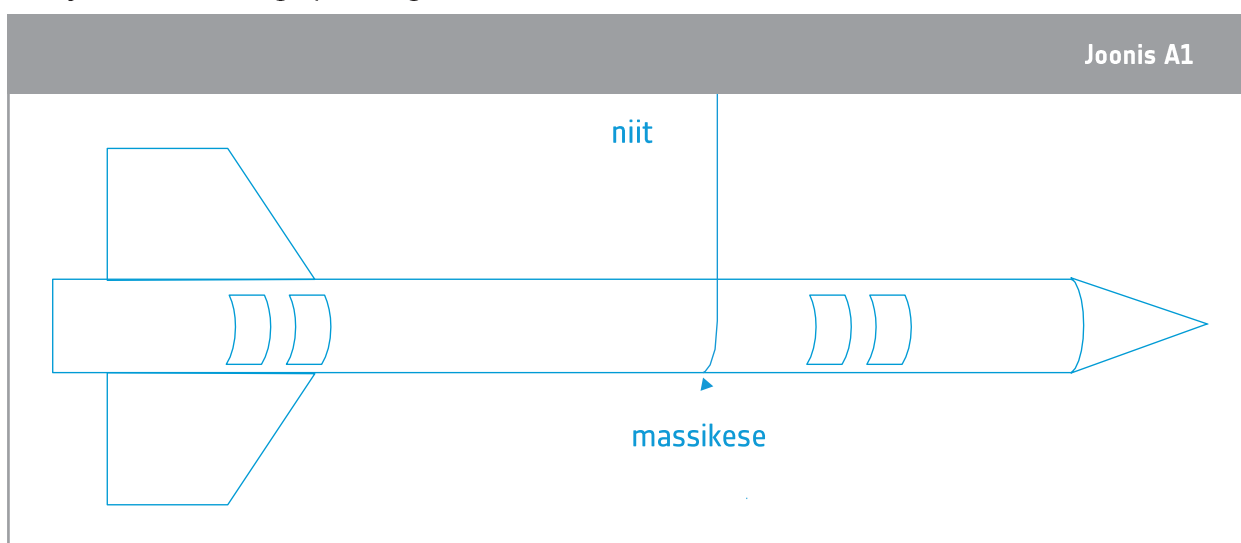
Ehitame oma paberraketi

→ Tegevus 1: Ehitage oma paberrakett

Paberraketi ja kosmoseraketi ehitamise põhimõtted on samad. Selles tegevuses projekteerite ja ehitate oma paberraketi ning uurite selle käigus mõningaid elemente, mis võivad teie raketi stabiilsust ja jõudlust mõjutada.

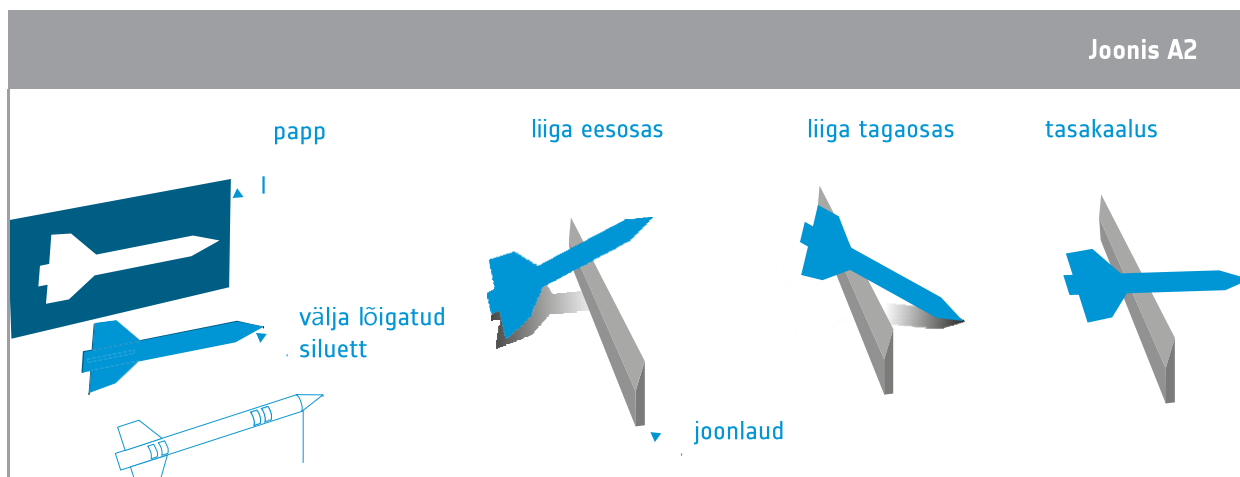
Ülesanne

1. Ehitage õpetaja antud vahendite abil paberist rakett. Saate ehitada täpselt sellise raketi nagu soovite, aga see peab mahtuma stardisüsteemi.
2. Leidke oma raketi massikeske. See on punkt, mis näitab keha või süsteemi massi keskmist asukohta. Massikeskme saab leida, kui seote niidi ümber oma raketi ja tasakaalustate selle, nagu on näidatud all oleval joonisel. Märkige pliatsiga koht, kus teie arvates massikeske asub.



↑ Illustratsioon paberraketi massikeskme leidmise kohta: Rakett on tasakaalustatud niidi abil – massikeske asub niidiga samas kohas.

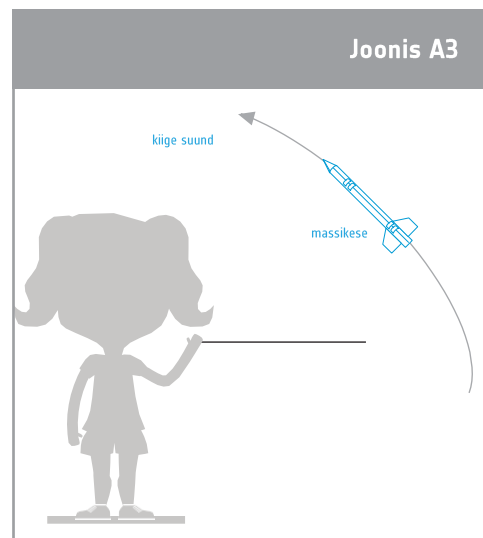
3. Leidke oma raketi rõhukeske. See on raketile mõjuva rõhu keskmine asukoht ja antud juhul võib selle leida raketi silueti tasakaalu leidmisega. Lõigake papist välja raketi siluett ning leidke selle tasakaalupunkt (vt joonist). Märkige see raketile.



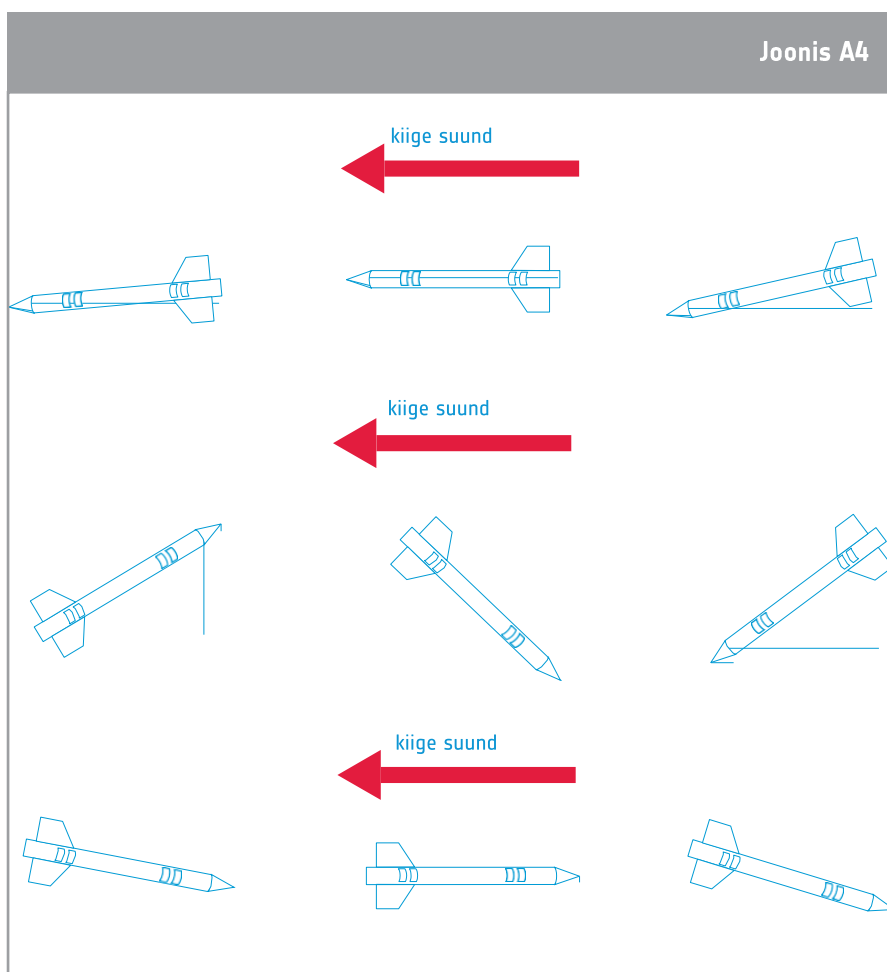
↑ Illustratsioon paberraketi rõhukeskme leidmise kohta. Raketi siluett on papist välja lõigatud. Rõhukeske asub seal, kus siluett on joonlaua peal tasakaalus.

4. Mis on massi- ja rõhukeskme vaheline kaugus? _____ cm
5. Kas rõhukese on massikeskmest eespool? Jah / Ei
6. Saate simuleerida tuuletunneli katset kiigetestiga: siduge nõor (niit) massi keskme ümber ja keerutage raketti ümber enda:

Analüüsige enda ja klassikaaslaste raketite stabiilsust ning mängige massikeskmega – lisage natukene raskust ette- või tagaossa. Milline on teie arvates massikeskme asend rõhukeskme suhtes kolmes allpool toodud näites?



↑ Kiigetesti illustratsioon. Nõor (või tugev niit) on seotud massikeskme ümber ning raketti keerutatakse ümber enda.



Massikeskme asend rõhukeskmeiga võrreldes:

Massikeskme asend rõhukeskmeiga võrreldes:

Massikeskme asend rõhukeskmeiga võrreldes:

↑ Paberraketi võimalikud olekud kiigetestis.

7. Kas teie raketi nina oli kogu kiigetest jooksul liikumise suunas? Kui ei olnud, siis mida te peaksite tegema?

8. Lisage tabelisse muutujaid juurde ja mõelge, kuidas saate oma raketi muutujaid muuta, et rakett oleks stabiilsem.

Tabel A1	
Muutuja	Kirjeldus
Tiibade arv	
Tiibade suurus ja kuju	

↑ Raketi disaini juures olevad muutujad ja nende mõju stabiilsusele.

9. Pange oma raketile äge nimi: _____

Kas teadsite?

Rakett on jagatud mitmeks väiksemaks osaks. Igal väiksemal osal on oma mootor ja oma kütusevaru. Raketi esiosa, mida nimetatakse ninakoonuseks, transpordib lasti, nt satelliite või astronaute.

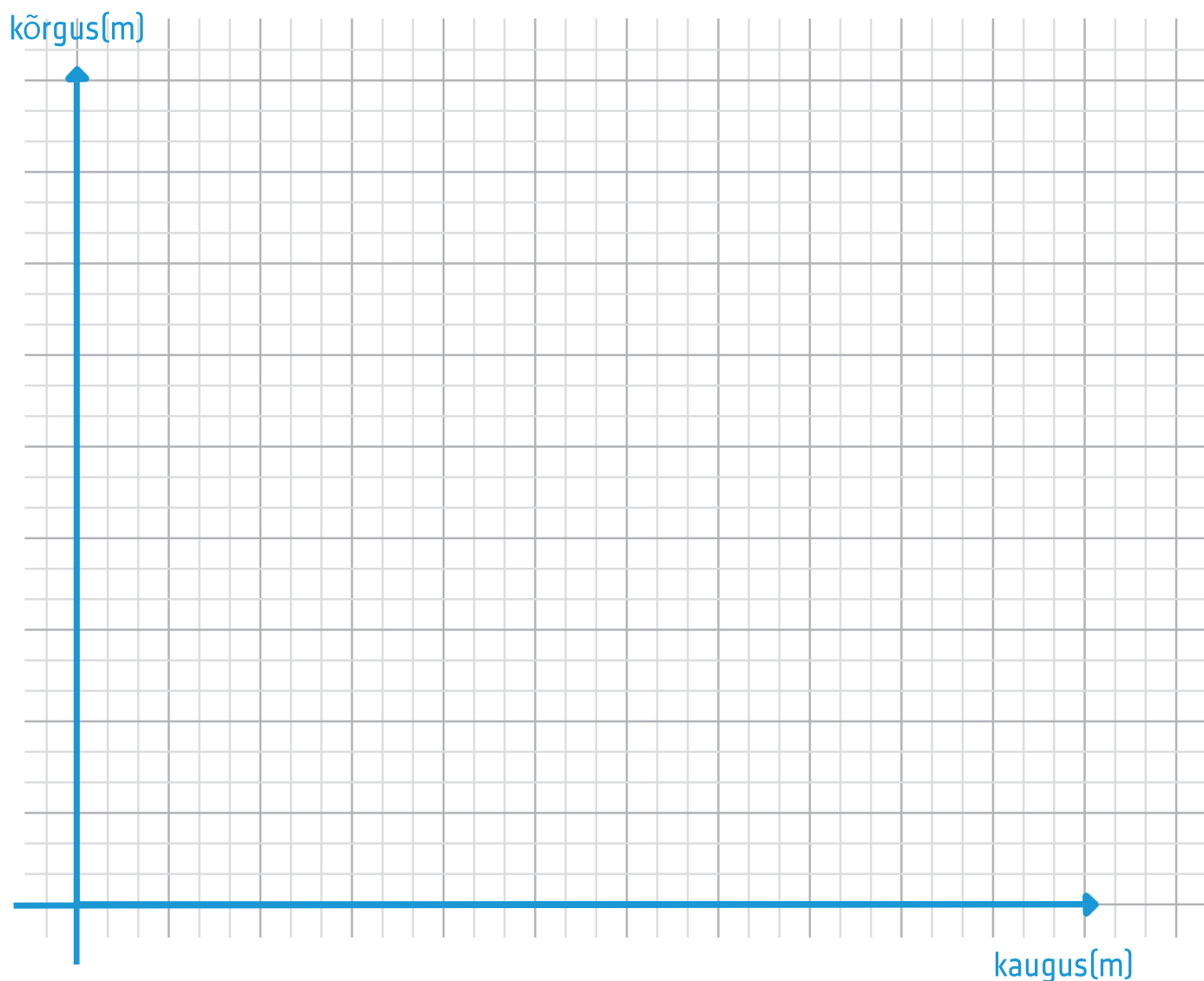


→ Tegevus 2: raketi väljalennutamine

Nüüd olete valmis oma raketi väljalennutamiseks! Hästi ehitatud paberrakett võib lennata 30 m või rohkem! Selles tegevuses kasutate oma raketi lennutamise tulemusi, et arvutada välja kiirus ja saada teada, kui kiiresti peaks rakett lendama, et jõuda Kuule.

Ülesanne

1. Enne raketi väljalennutamist joonistage maapinnalt väljalennutatava raketi arvatav trajektoor.



2. Millise nurga all (maapinna suhtes) peaksite raketi välja lennutama, et saada võimalikult pikk lend?

3. Kui kaugele teie rakett lendas (meetrites)?

4. Kas teie rakett järgis arvatavat trajektoori? **Jah / Ei**
 Vaadake oma tulemusi ning tooge välja kolm algtingimust, mis mõjutasid teie raketi trajektoori.

a. _____

b. _____

c. _____

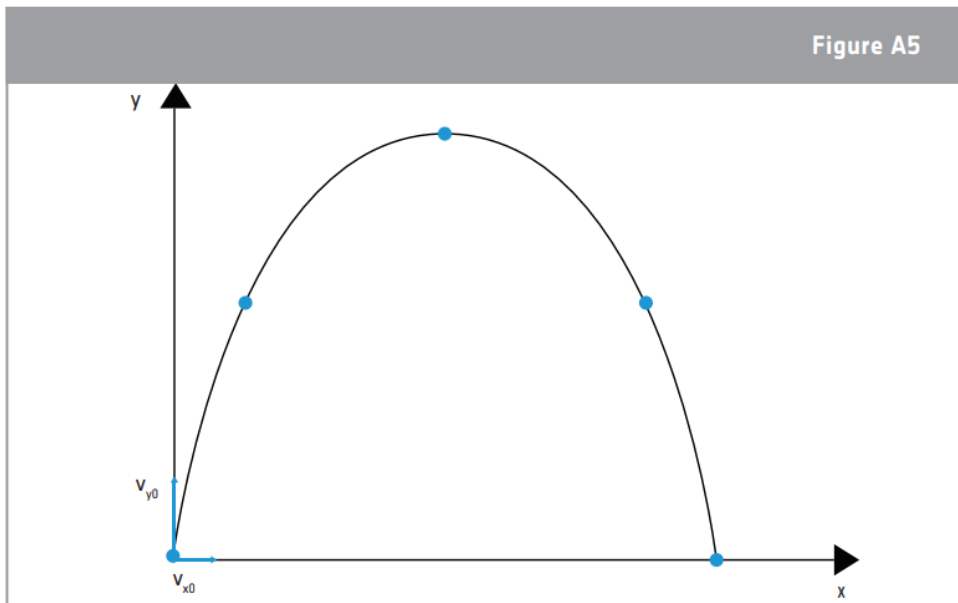
5. Joonistage jõudiagramm, mis näitab jõudusid, mis teie arvates mõjuvad raketile tõusufaasis (kui tõukejõud on aktiivne).

6. a. Mis te arvate, kui pikalt kestab kosmoseraketi jõuallikaga tõusufaas? Ja teie paberraketi puhul?

b. Kirjutage jõudude võrrand raketi jaoks (võtke arvesse ainult raketi liikumise suunas mõjuvaid jõude).

c. Leidke avaldis raketi kiirendusele.

7. a. Kirjutage parabooli märgitud punktidesse raketi horisontaalse kiiruse komponent (v_x) ja vertikaalse kiiruse komponent (v_y). Graafikul on juba antud algkiiruse v_{x0} ja v_{y0} . Samuti peaksite kaaluma raketile mõjuvaid jõude kogu lennu vältel ja mõtlema, miks trajektoor on just sellise kujuga. Hõrdejõudu me selle küsimuse juures ei arvesta.



↑ Paberraketi paraboolne liikumine.

b. Kirjeldage graafikul olevaid erinevaid kiiruseid

8. Objekti puhul, mis järgib maapinna lähedal (kus võime eeldada, et gravitatsiooniväli on ühtlane) paraboolset trajektoori, on võimalik näidata, et kaugus, kiirus ja väljalennunurk sõltuvad üksteisest järgmiselt:

$$d = \frac{v^2 \sin(2\alpha)}{g}$$

d = vahemaa [m]
 v = kiirus [m/s]
 α = väljalennunurk
 g = gravitatsioonikiirendus [m/s^2]

Avaldage toodud valemist kiirus:

9. Kasutage stardisüsteemist väljalendamise kiiruse arvutamiseks eelmise ülesande mõõtmistulemusi (meetrites) ja 8. küsimuse võrrandit; $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

10. Teisendage tulemus km/h: _____

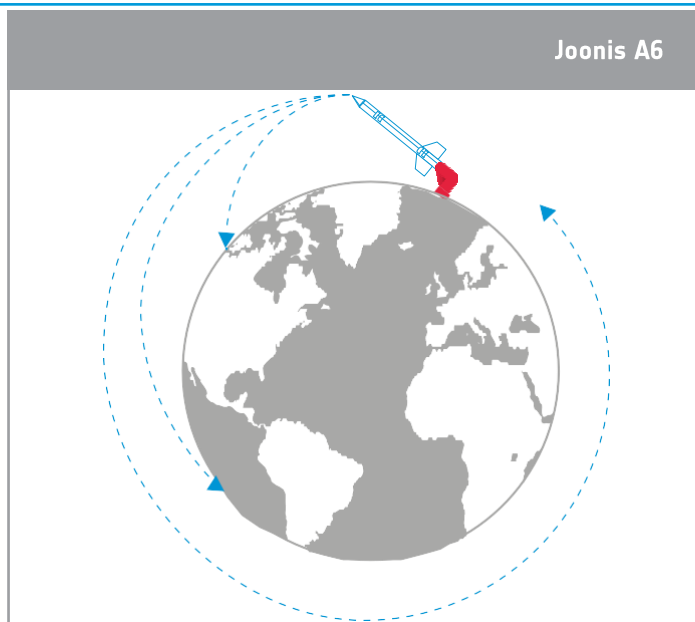
11. Teil on teada oma raketi kiirus, nüüd uurime edasi, kuidas jõuda Kuule! Teil tuleb jõuda **väljumiskiiruseni**, mis on defineeritud järgmiselt:

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

G on gravitatsioonikonstant, $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$,
 M on Maa mass, $M = 5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$,
 r on Maa raadius, $r = 6371 \text{ km}$.

Arvutage Maalt lahkumiseks vajalik väljumiskiirus.

Kuna Maa väljumiskiirus on suur, lennutame raketid kõigepealt orbiidile, enne kui teeme manöövreid, et liikuda edasi kosmosesse. Kui me lennutame raketi otse üles, langeb see kiiresti Maale tagasi. Selle asemel peaksime raketi lennutama suure tangentsiaalse kiirusega.



↑Raketi väljalennutamise suure tangentsiaalse kiirusega (maapinnaga paralleelne kiiruse komponent). Kui lennutada piisavalt kõrgele, võib rakett jõuda Maa orbiidile.

12. Mida suurem on raketi kiirus, seda kaugemale see enne Maale langemist jõuab. Teatud kiirusest alates ei kuku rakett kunagi alla! See läheb orbiidile! Orbiidile minekuks vajalikku kiirust nimetatakse orbitaalkiiruseks. Orbitaalkiiruse saab arvutada selle võrrandi abil:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

G = gravitatsioonikonstant, r = orbiidi raadius (lisage Maa raadiusele orbiidi kõrgus maapinnalt)

M = Maa mass

Arvutage millise kiiruse peame kosmoselaevale andma maapinnalt 300 km kõrgusel orbiidil lendamiseks.

13. Mitu korda on see teie paberraketi kiirusest suurem?

14. Pärast Kuule maandumist tahaksime kas naasta koju Maale või kasutada Kuud kaugemale kosmosesse reisimiseks. Selleks on vaja teada, kuidas Kuu pealt välja lennata. Väljumiskiirus on võrdeline objekti massiga ja pöördvõrdeline objekti raadiusega.

$$M_{\text{Kuu}} = 7.35 \times 10^{22} \text{ kg}$$

$$r_{\text{Kuu}} = 1737 \text{ km}$$

Kas Kuult lahkumiseks vajalik väljumiskiirus on suurem või väiksem kui Maa oma? _____

15. Arvutage Kuult lahkumiseks vajalik väljumiskiirus:

16. Arutlege, miks on hea kasutada Kuud hüppelauaks kaugemate kosmoseuuringute jaoks.

Kas teadsite?

Euroopa kosmodroom asub Prantsuse Guajaanas Lõuna-Ameerikas, ekvaatori lähedal. Maa pöörlemine on kiireim ekvaatoril ja raketid saavad kasu katapuldi efektist. See suurendab raketi kiirust 460 m/s, mis säästab kütust ja raha. See asukoht on ideaalne ka geostatsionaarsele orbiidile saatmiseks, kuna satelliidi trajektooris tuleb teha üsna vähe muudatusi.



→ Tegevus 3: mehitatud kosmoselend

Selle tegevuse käigus saate teada, miks tuleb mehitatud kosmoselennu puhul arvestada kiirenduse ja erinevate füüsikaliste jõududega.

Ülesanne

Analüüsime nüüd edasi paberraketi väljalennutamist. Teise tegevuse 9. küsimuses arvutasite raketi kiiruse (v) stardiplatvormilt lahkumise hetkel. Enne starti oli rakett endiselt starditorus, see tähendab, et selle algkiirus u on 0 m/s. Nüüd hindame raketi kiirendust selle väga lühikese aja jooksul.

$$(1) \quad a = \frac{v - u}{t}$$

kus

u = algne kiirus
 v = väljalendamise kiirus
 a = kiirendus
 t = aeg

Siiski on raske mõõta aega, mis kulub raketi torust väljumiseks. Seega tahaksime võrrandit ilma aja muutujata (t). Saame kasutada lähendust, et läbitud vahemaa (s , mis antud juhul vastab starditoru pikkusele) võrdub keskmise kiiruse korda aeg:

$$(2) \quad s = \frac{(u + v)}{2} t$$

1. Kasutage kiirenduse (a) leidmiseks võrrandeid (1) ja (2).

2. Eeldame selle võrrandi (mis arvutab raketi kiirenduse enne stardiplatvormilt lahkumist) juures, et kiirendus on konstantne. Võtke starditoru pikkuseks (s) 30 cm ja kasutage 2. tegevuse juures saadud kiirust (kui teil seda pole, kasutage $19,81 \text{ ms}^{-1}$).

Kas teadsite?

G-jõud ei ole jõud, vaid pigem kogu kiirenduse suhe, mis mõjub objektile võrreldes Maa gravitatsiooniga. Kokkupuude tugeva G-jõuga võib meid mõjutada erineval viisil. Näiteks võib kõrvakiilu tugevus olla lühikese aja jooksul lokaalselt sadu G-sid ja teha vähe kahju, kuid minutipikkune pidev kokkupuude 16 G-ga võib olla surmav. Tavaliselt kogevad astronautid väljalennu ajal 3–6 G-d! Sellise suure G-jõuga toime tulemiseks treenivad nad eelnevalt tsentrifuugil (vt pilti).



- Arvutage milline oleks astronautile mõjuv G-jõud teie paberraketis. Selleks jagage 2. küsimuses välja arvatud kiirendus raskuskiirendusega $g = 9,81\text{m/s}^2$.

→ Lingid

ESA allikad

3D printitav lihtne väljalennutamise torupõlve mudel

<https://esamultimedia.esa.int/docs/edu/1PBL.zip>

Kuulaagri väljakutse

esa.int/Education/Moon_Camp

Animatsioon sellest, kuidas jõuda Kuule

esa.int/Education/Teach_with_the_Moon/Travelling_to_the_Moon

ESA klassiruum

esa.int/Education/Classroom_resources

Kuidas raketid töötavad

esa.int/kids/en/learn/Technology/Rockets/How_does_a_rocket_work

ESA missioonid

Orion

esa.int/Our_Activities/Human_and_Robotic_Exploration/Orion

ESA kanderaketid

esa.int/Our_Activities/Space_Transportation/Launch_vehicles/Europe_s_launchers

ESA kosmosetransport

esa.int/Our_Activities/Space_Transportation

Ariane 6

ariane6.esa.int

Euroopa kosmodroom

blogs.esa.int/spaceport

Lisateave

Raketi simulatsiooni tööriist

<http://openrocket.info>

Millise raketiga sõita kosmosesse?

esa.int/spaceimages/Images/2019/06/To_space!_But_on_which_rocket

→ Lisa 1: Lihtsa stardisüsteemi valmistamine

Kasutage paberraketide väljalennutamise stardiplatvormi ehitamiseks plastpudelit ja 3D trükitud torupõlve (<https://esamultimedia.esa.int/docs/edu/1PBL.zip>). Seda on vaja pudeli raketi külge kinnitamiseks. Torupõlve printimiseks võite kasutada kas enda 3D printerit, 3D printerit MakerSpace'is (või samaväärset), või veebiteenust, mis võimaldab failist objekti printida. Selle torupõlve võib asendada näiteks papist või plastist torupõlvega.

Vahendid

- A4 paberileht
- 3D printitud torupõlv
- 500 ml plastpudel

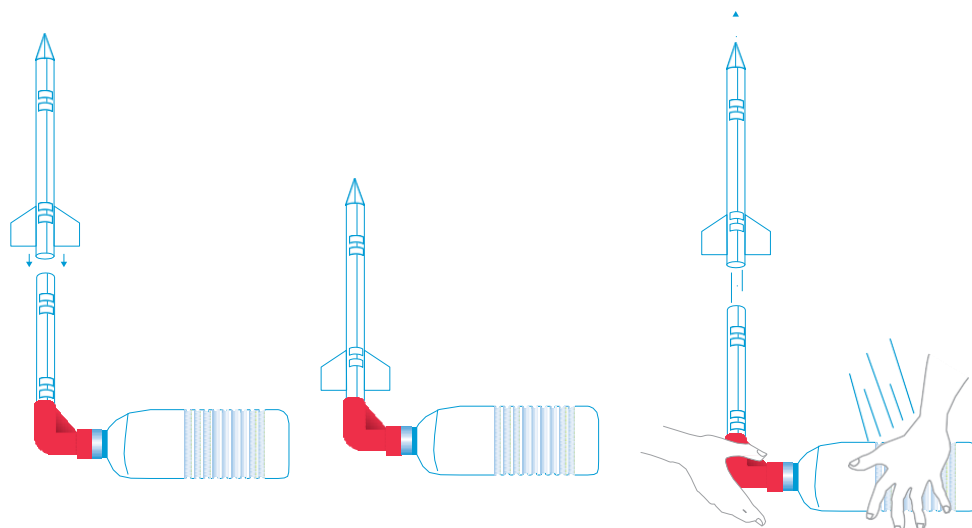
Lihtsa stardiplatvormi kokkupanemine

1. Rullige paberileht tihedalt silindriks.
2. Pange silinder torupõlve ning laske lahti; silinder läheb nii suureks kui toruauk võimaldab (vt joonis 1).
3. Keerake plastpudel torupõlve teise otsa.
4. Raketi stardisüsteem on valmis.



Stardisüsteemi kasutamine

1. Libistage raket ümber torupõlves oleva paberi.
2. Asetage stardisüsteem koos raketiga põrandale.
3. Astuge pudelile või suruge pudelit, et raketti välja lennutada.



→ Lisa 2: Suruõhuga stardiplatvormi valmistamine

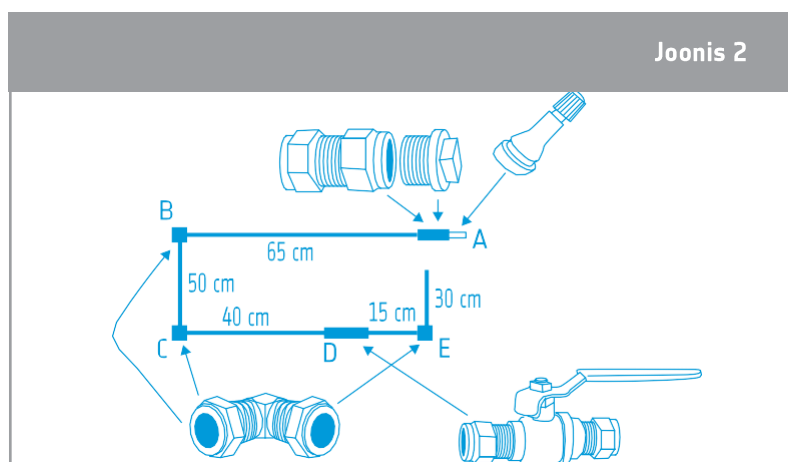
Juhised suruõhuga raketi stardiplatvormi ehitamiseks.

Vahendid

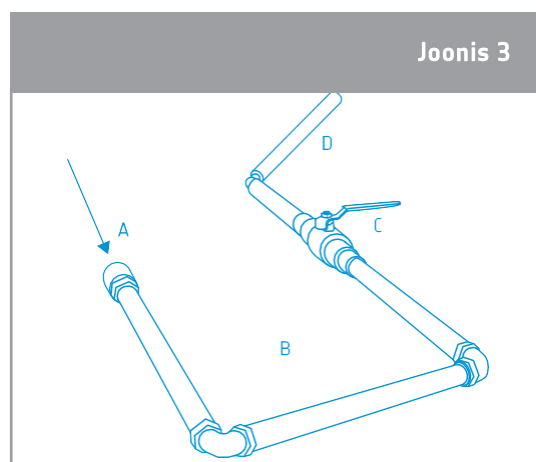
- Vasktorud (läbimõõt: 22 mm, pikkus: 65 cm, 50 cm, 40 cm, 30 cm, 15 cm)
- 3 põlvühendust
- 1 toru liitmik (korgi ühendamiseks)
- 1 toru kork
- 1 kuulkraan
- 1 õhuventiil
- Õhupump või kompressor

Hermeetilise stardiplatvormi kokkupanemine:

1. Puuri toru korki auk ning lisa ventiil.
2. Ühenda ventiil toruühendusega.
3. Ära pinguta kolmandat põlvühendust liiga palju, sest see võimaldab muuta stardiplatvormi nurka.
4. Ühendage ülejäänud torud ja ühendused alljärgnevalt:



↑ Raketi stardisüsteem. A – sirge ühendus, kork ja ventiil; B – põlvühendus; C – põlvühendus; D – kuulkraan, et vabastada surve stardiplatvormi sisse; E – kolmas põlvühendus



↑ Joonis kokku pandud raketi stardisüsteemist

Stardisüsteemi kasutamine

1. Korrigeerige stardiplatvormi nurka.
2. Sulgege õhukraan.
3. Pumbake rattapumbaga maksimaalselt 7-baarine rõhk.
4. Avage kuulkraan ning laske kokkusurutud õhk süsteemi (see lennutab raketi välja).

Turvalisus

- Kontrollige ja vajadusel pingutage toruühendusi regulaarselt.
- Hoidke jalaga stardiplatvormi kinni, et see liikuma ei hakkaks.
- Kontrollige, et keegi ei seisaks stardiplatvormi ees sellel hetkel, kui see on rõhu all.
- Suurim väljalennutamise rõhk on 7 baari või 101 psi-d.

→ Lisa 3: 1. tegevuse jaoks vajalikud raketi ninakoonus ja tiivad

