

9 Noste ja väliaineen vastus vaikuttavat nesteissä ja kaasuissa

Tehtävien ratkaisut

Tehtävät 1–4 ovat automaattisesti tarkistettavia tehtäviä ja ne ovat digikirjassa.

9-1.

Täydennä.

Väliaineessa olevaan kappaleeseen vaikuttaa ***noste***. Väliaineessa kappaleen alapintaan vaikuttaa ***suurempi*** hydrostaattinen paine kuin yläpintaan. Noste syntyy tämän ***paine-eron*** seurauksena. Noste on voima, jonka suuruuteen vaikuttavat väliaineen tiheys, kappaleen upoksissa olevan osan ***tilavuus*** sekä ***putoamiskiihtyvyy***.

Nesteessä tai kaasussa liikkuvan kappaleen liikettä vastustavaa ***voimaa*** sanotaan väliaineen vastukseksi. Sen suuruus riippuu mm. kappaleen ***nopeudesta***, koosta ja muodosta sekä väliaineesta. Ilmassa putoavaan kappaleeseen vaikuttavat voimat ovat ***ilmanvastus*** ja kappaleeseen kohdistuva ***paino***.

9-2.

Oikein/väärin väittämät

- Syrjäytämme ilmaa, joten meihin kohdistuu jatkuvasti noste. ***Kyllä//Ei***
Kommentti: Meihin kohdistuu jatkuvasti noste, mutta se on hyvin pieni, koska ilman tiheys on pieni.
- Kappaleeseen kohdistuva paino on vedessä pienempi kuin ilmassa. ***Kyllä//Ei***
Kommentti: Kappaleen painoon ei vaikuta se, onko se vedessä vai ei. Veteen upottaminen vaikuttaa kyllä nosteeseen ja kappaleen nostamisessa tarvittavaan voimaan.
- Jotta laiva voisi kellua vedessä, sen pitää olla valmistettu materiaalista, jonka tiheys on veden tiheyttä pienempi. ***Kyllä//Ei***
Kommentti: Jos kelluvan laivan koko massa jaetaan laivan viemällä tilavuudella, saadaan laivan keskimääräinen tiheys. Kyseinen tiheys on veden tiheyttä pienempi, koska laiva ei ole umpinainen, vaan sen sisällä on ilmaa.
- Kun kappale upotetaan väliaineeseen, sen alapintaan vaikuttaa suurempi hydrostaattinen paine kuin yläpintaan. ***Kyllä//Ei***
- Jotta kappale voisi kellua vedessä, vettä pitää olla ainakin kappaleen tilavuuden verran. ***Kyllä//Ei***
Kommentti: Pienikin määrä vettä riittää kellumiseen, jos astian muoto myötäilee kelluvan kappaleen muotoa.
- Väliaineen vastus aiheutuu siitä, että liikkuvan kappaleen täytyy työntää väliainetta pois tieltään ja samalla saattaa väliaine liikkeelle. ***Kyllä//Ei***
- Väliaineen vastuksen suuruus riippuu mm. kappaleen muodosta. ***Kyllä//Ei***

9-3.

Monivalintatehtävä

- Kappaleeseen kohdistuvaan nosteeseen väliaineessa vaikuttavat
 - väliaineen tiheys**
 - kappaleen materiaali
 - kappaleen väliaineessa olevan osan tilavuus.**

9 Noste ja väliaineen vastus vaikuttavat nesteissä ja kaasuissa

- b) Veteen upotetaan samalle syvyydelle samankokoiset umpinaiset pallot, joista toinen on terästä ja toinen puuta. Tällöin
- teräksiseen palloon kohdistuu suurempi noste kuin puiseen
 - puiseen palloon kohdistuu suurempi noste kuin teräksiseen
 - **molempiin palloihin kohdistuu yhtä suuret nosteet.**
- c) Heliumilla täytetty ilmapallo kohoaa ylöspäin, koska
- **ilma on heliumia tiheämpää**
 - helium on ilmaa tiheämpää
 - **palloon kohdistuva noste on suurempi kuin siihen kohdistuva paino.**
- d) Ilmanvastus riippuu kappaleen
- **nopeudesta**
 - **muodosta**
 - väristä.
- e) Kun ilmassa liikkuvan kappaleen nopeus kasvaa, siihen kohdistuva ilmanvastus
- pienenee
 - ei muutu
 - **kasvaa.**
- f) Kun pallo putoaa ilmassa vakionopeudella, palloon kohdistuva ilmanvastus on
- pienempi kuin siihen kohdistuva paino
 - suurempi kuin siihen kohdistuva paino
 - **yhtä suuri kuin siihen kohdistuva paino.**

9-4.

kappale uppoaa nesteeseen	$G > N$
kappale kohoaa nesteessä kohti nesteen pintaa	$N > G$
kappale leijuu nesteessä (eli ei koho ylös eikä painu pohjaan)	$G = N$
kappaleeseen kohdistuva paino	$G = mg$
noste	$N = rVg$

9-5.

- a) Suolaisen meriveden tiheys on suurempi kuin järveden tiheys, joten noste merivedessä on suurempi kuin järvedessä. Siksi merivesi kannattelee järvivettä paremmin.
- b) Vedessä kiven kannattelu on helpompaa veden nosteen vuoksi. Myös ilmassa kiveen kohdistuu noste, mutta se on ilmassa (kaasuissa) huomattavasti pienempi kuin nesteissä.
- c) Alussa palloa on helppo työntää veteen, koska vedestä palloon kohdistuva noste on pieni. Mitä syvemmälle yrität painaa palloa, sitä suurempi noste on. Nosteen suuruus riippuu vedenpinnan alapuolella olevan pallon osan tilavuudesta.

9 Noste ja väliaineen vastus vaikuttavat nesteissä ja kaasuissa

9-6.

- a) Epäily rautalaivojen kellumisesta johtui siitä, että raudan tiheys on suurempi kuin veden. Rautalaivan pysyminen pinnalla johtuu veden nosteesta. Kelluva laiva on ontto, eli valtaosa laivan tilavuudesta on ilmaa. Laivaan kohdistuva veden noste on yhtä suuri kuin laivan syrjäyttämään vesimäärään kohdistuva paino.
- b) Pelastusliivit valmistetaan vedenpitävästä, kevyestä ja kelluvasta materiaalista. Pelastusliivien varassa ihminen kelluu, vaikka uimiseen tai veden pinnalla pysymiseen tarvittavat voimat vedessä loppuisivat. Varsinaisten pelastusliivien (ei uimaliivien) etupuolella on suuret kellukkeet, jotka kääntävät veden varaan joutuneen tajuttoman henkilön selälleen, jolloin pää pysyy veden yläpuolella.

9-7.

- a) Alumiinikappaleeseen kohdistuvan nosteen suuruus on $N = 0,28 \text{ N} - 0,17 \text{ N} = 0,11 \text{ N}$.
- b) Nosteen yhtälöstä $N = \rho V g$ saadaan alumiinikappaleen tilavuudeksi
- $$V = \frac{N}{\rho g} = \frac{0,11 \text{ N}}{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} = 11,2130 \text{ cm}^3 \approx 11 \text{ cm}^3.$$

9-8.

- a) Kiveen kohdistuvan painon suuruus on $G = mg = 2,8 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 27,4680 \text{ N} \approx 27 \text{ N}$.
- b) Kiven massa ilmassa on sama kuin massa vedessä eli 2,8 kg.
- c) Lasketaan ensin kiven tilavuus. Tiheyden yhtälöstä $r = m/V$ saadaan kiven tilavuudeksi
- $$V = \frac{m}{\rho} = \frac{2,8 \text{ kg}}{2670 \text{ kg/m}^3} = 1,04869 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \approx 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3.$$
- Kiveen vedessä kohdistuvan nosteen suuruus on
- $$N = \rho V g = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,04869 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \approx 10 \text{ N}.$$

9-9.

$$\rho_{\text{vesi}} = 1000 \text{ kg/m}^3, a = 0,38 \text{ m}, p_1 = 8730,9 \text{ Pa}, p_2 = 12458,7 \text{ Pa}$$

TAPA 1:

Hydrostaattisesta paineesta aiheutuvan voiman suuruus laatikon yläpinnalla on

$$\begin{aligned} F_1 &= p_1 A = p_1 a^2 \\ &= 8730,9 \text{ Pa} \cdot (0,38 \text{ m})^2 \\ &= 1260,74 \text{ N} \end{aligned}$$

ja alapinnalla

$$\begin{aligned} F_2 &= p_2 A = p_2 a^2 \\ &= 12458,7 \text{ Pa} \cdot (0,38 \text{ m})^2 \\ &= 1799,04 \text{ N} \end{aligned}$$

Laatikkoon kohdistuvan nosteen suuruus on

$$N = F_2 - F_1 = 1799,04 \text{ N} - 1260,74 \text{ N} \approx 0,54 \text{ kN}.$$

Ilmanpainetta ei tarvitse ottaa mukaan tarkasteluun, koska se vaikuttaa kumpaankin pintaan yhtä suurena, ja sen vaikutus kumoutuu vähennyslaskussa.

TAPA 2:

Laatikkoon kohdistuvan nosteen suuruus on

$$N = \rho V g = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot (0,38 \text{ m})^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \approx 0,54 \text{ kN}.$$

9 Noste ja väliaineen vastus vaikuttavat nesteissä ja kaasuissa

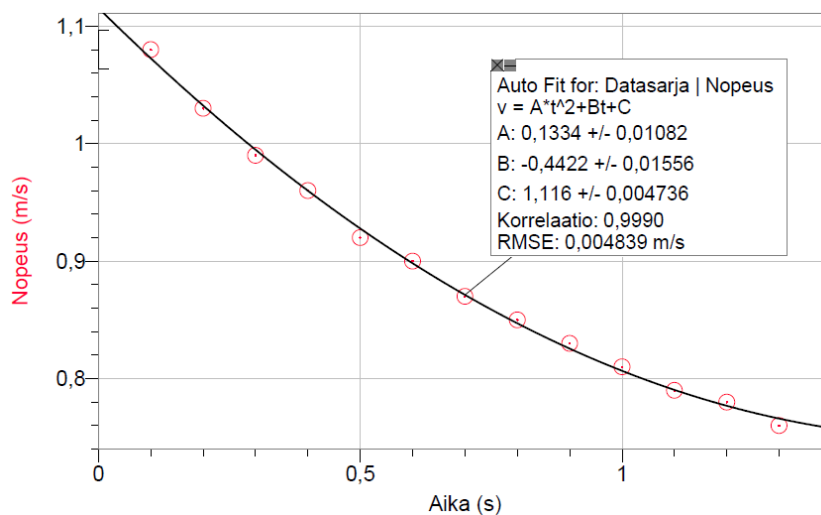
9-10.

- a) Videolla havainnollistetaan ilmassa liikkuvan kappaleen muodon ja asennon vaikutusta kappaleeseen kohdistuvaan ilmanvastukseen. Samamassaisia paperiarkkeja pudotetaan samalta korkeudelta siten, että paperiarkin pinta on vuoroin kohtisuorassa ja vuoroin samansuuntaisesti arkin etenemissuuntaan nähden. Myös rutistetun ja sileän paperiarkin liikettä verrataan toisiinsa.
- b) Sileään paperiin, jonka pinta on kohtisuorassa etenemissuuntaa vastaan, kohdistuu suurin ilmanvastus ja paperi putoaa hitaimmin. Paperiarkki, jonka pinta on samansuuntainen etenemissuunnan kanssa, putoaa tarkastellulla aikavälillä likimain yhtä nopeasti kuin kokoon rutistettu paperiarkki. Niihin kohdistuu siis likimain yhtä suuri ilmanvastus.

9-11.

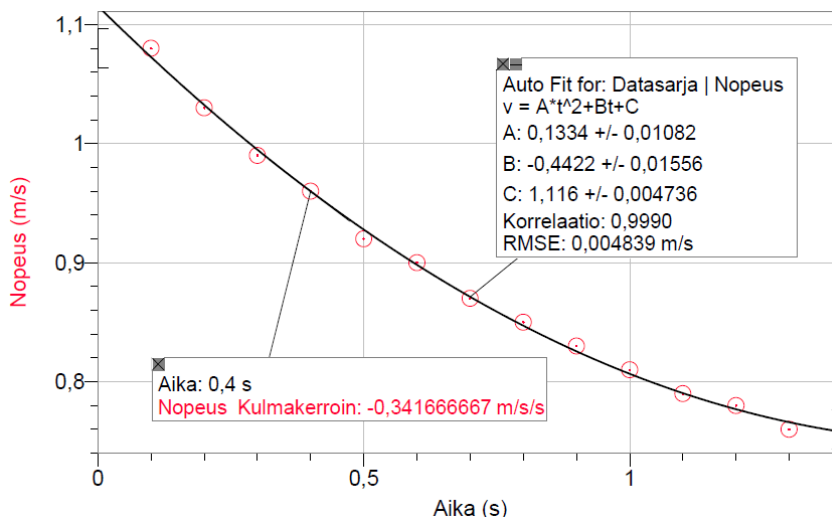
$$m = 290 \text{ g}$$

- a) Nopeuden kuvaaja ajan funktiona:



Kitka ilmatyynyradalla on hyvin pieni. Vaunun nopeuden pienenemisen aiheuttaa ilmanvastus. Kuvaaja kaartuu, koska ilmanvastus pienenee vaunun nopeuden pienentyessä ja myös vaunun hidastuvuus pienenee.

- b) Kappaleen kiihtyvyys ajanhetkellä 0,4 s kuvaajalle kyseiseen kohtaan piirretyn tangentin kulmakerroin.



9 Noste ja väliaineen vastus vaikuttavat nesteissä ja kaasuissa

Mittausohjelman mukaan vaunun kiihtyvyys ajanhetkellä 0,4 s on $-0,341667 \text{ m/s/s} = -0,341667 \text{ m/s}^2$. Negatiivinen etumerkki kertoo, että kappaleen liike on hidastuvaa eli kiihtyvyyden suunta on liikkeen suunnalle vastakkainen.

Ilmanvastuksen suuruus on $F_i = ma = 0,290 \text{ kg} \cdot 0,341667 \text{ m/s}^2 \approx 0,10 \text{ N} = 100 \text{ mN}$.

9-12.

Kun lasikuvusta imetään ilmaa pois, ilmanpaine kuvun sisällä pienenee ja ilman tiheys alenee. Tällöin ilman lasipalloon kohdistama noste pienenee ja lasipallo painuu alaspäin.

9-13.

- a) Putoamisen aikana kappaleeseen kohdistuvat voimat ovat paino alas ja ilmanvastus ylös. Kappale lähtee levosta, joten putoamisen alkuvaiheessa siihen kohdistuva ilmanvastus on hyvin pieni ja kokonaisvoima alaspäin on suurimmillaan. Nollasta poikkeava kokonaisvoima aiheuttaa kiihtyvyyden, joten kappaleen nopeus kasvaa. Nopeuden kasvaessa ilmanvastus kasvaa, joten kokonaisvoima pienenee. Lopulta ilmanvastus on yhtä suuri kuin kappaleeseen kohdistuva paino ja kokonaisvoima on nolla. Tällöin kappale ei enää ole kiihtyvässä liikkeessä, vaan liike on tasaista. Tätä tasaista liikkeen nopeutta kutsutaan raja- eli terminaalinopeudeksi.
- b) Kun valitaan suunta alas positiiviseksi, saavutettu rajanopeus on $2,886 \text{ m/s} \approx 2,9 \text{ m/s}$.

9-14.

Galilein lämpömittarissa suljettu lasisylinteri on täytetty kirkkaalla nesteellä, tyypillisesti veden ja alkoholin seoksella. Nesteessä on pieniä suljettuja lasiastioita, jotka sisältävät värjättyä nestettä. Lasiastioista roikkuu metallipala, johon on merkitty lämpötilalukema.

Nesteessä oleviin lasiastioihin (metallipaloihin) kohdistuu paino ja noste. Kun nämä voimat ovat yhtä suuret, lasiastia asettuu leijumaan sylinterin keskivaiheille. Kun lasiastiaan kohdistuva paino on suurempi kuin noste, lasiastia uppoaa sylinterin pohjalle. Vastaavasti kun noste on suurempi kuin paino, lasiastia asettuu kellumaan sylinterin sisältämän kirkkaan nesteen pinnalle.

Lasiastioihin kohdistuva paino ei muutu. Lasiastioiden massat on säädetty tietyn suuruiseksi mittarin valmistusvaiheessa mm. roikkuvien metallipalojen avulla. Lasiastioihin kohdistuva noste kuitenkin pienenee, kun sylinterin sisältämän kirkkaan nesteen lämpötila kasvaa. Tämä johtuu siitä, että neste laajenee lämmitessään ja näin ollen sen tiheys pienenee: lasiastian syrjäyttämän nestemäärän paino (eli samalla lasiastiaan kohdistuva noste) pienenee. Vastaavasti lasiastioihin kohdistuva noste suurenee, kun nesteen lämpötila laskee. (Lasiastiatkin lämpölaajenevat/-kutistuvat lämpötilan muuttuessa, mutta vähemmän kuin ympäröivä neste.)

Lämpömittarin nesteen lämpötila mukautuu ympäristön lämpötilaan. Lämpömittari on kalibroitu lasiastioiden massojen avulla siten, että jos lämpötila on esimerkiksi 24°C , sylinterin keskivaiheille jää leijumaan se lasiastia, josta roikkuvaan metallipalaan on merkitty lukema 24°C .

9-15.

Kun auton vauhti kasvaa, ilman hitaus saa ilman pakkautumaan auton peräosaan. Ilman tiheys siis kasvaa auton peräosaa kohti siirryttäessä. Tästä aiheutuu ilmassa olevaan heliumpalloon noste vaakasuorassa suunnassa kohti auton etuosaa. Nosteen suunta on aineen tiheämmästä osasta kohti harvempaa osaa, eli kohti pienenevää painetta.

Kun auton vauhti pienenee, ilman hitaus saa ilman pakkautumaan auton etuosaan. Ilman tiheys kasvaa auton etupäätä kohti mentäessä. Tästä aiheutuu ilmassa olevaan heliumpalloon noste vaakasuorassa suunnassa kohti auton peräosaa.

9 Noste ja väliaineen vastus vaikuttavat nesteissä ja kaasuissa

9-16.

Lautta kelluu, eli lauttaan kohdistuvalla nosteella on sama suuruus kuin lauttaan kohdistuvalla painolla. Näin ollen jäälautan täytyy syrjäyttää 1000 kg vettä. Koska 1000 kg vettä vie yhden kuutiometrin tilavuuden, jäälautta syrjäyttää vettä 1 m³. Tämä on samalla jäälautan pinnan alapuolisen osan tilavuus.

Jäälautan tilavuus saadaan yhtälöstä

$$V_{\text{jää}} = \frac{m_{\text{jää}}}{\rho_{\text{jää}}} = \frac{1,00 \cdot 10^3 \text{ kg}}{0,917 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \approx 1,09051 \text{ m}^3.$$

Vedenpinnan yläpuolelle jäävän tilavuuden osuus koko jäälautan tilavuudesta on

$$\frac{1,09051 \text{ m}^3 - 1,00 \text{ m}^3}{1,09051 \text{ m}^3} = 0,083 = 8,3 \%$$

Huomaa, että osuus on sama, vaikka jäälautan massaa muutettaisiin. Kelluvasta jäädästä on aina likimain kymmenesosa vedenpinnan yläpuolella ja loput 9/10 vedenpinnan alapuolella. (Osuus vaihtelee hieman riippuen veden ja jään tiheyksistä.) Tästä juontuu myös sanonta ”asia on vain jäävuoren huippu”.

9-17.

Kuumailmapallo syrjäyttää kylmää ilmaa oman tilavuutensa V verran. Kuumailmapalloon kohdistuu tällöin noste, jonka suuruus on

$$N = \rho_{\text{kylmä}} Vg = 1,30 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2,40 \cdot 10^3 \text{ m}^3 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 30607,2 \text{ N}.$$

Kuumailmapallo pystyy kannattelemaan kuorman, joka kuumailmapallon omaan painoon summattuna on nosteen suuruinen. Kuumailmapalloon itseensä kohdistuva paino on

$$G_{\text{kuuma}} = m_{\text{kuuma}} g = \rho_{\text{kuuma}} Vg = 0,94 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2,40 \cdot 10^3 \text{ m}^3 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 22131,4 \text{ N}.$$

Kuorma voi olla korkeintaan

$$G_{\text{max}} = N - G_{\text{kuuma}} = 30\,607,2 \text{ N} - 22\,131,4 \text{ N} = 8475,84 \text{ N} \approx 8,4 \text{ kN}. \text{ (Huom. pyöristetään tässä tapauksessa alaspäin, koska kyseessä maksimikuorma, jota kuumailmapallo pystyy kannattelemaan.)}$$

Maksimikuormaa vastaava massa on

$$m_{\text{max}} = \frac{G_{\text{max}}}{g} = \frac{8475,84 \text{ N}}{9,81 \text{ m/s}^2} = 860 \text{ kg}.$$

9-18.

- a) Painevastusvoima vastustaa kappaleen liikettä väliaineessa. Painevastusvoima vaikuttaa väliaineen vastuksen suuruuteen yhdessä väliainekerrosten välisen kitkan kanssa. Painevastusvoima syntyy, kun väliaineessa liikkuvan kappaleen nopeus on tarpeeksi suuri, eikä väliaine pysty enää seuraamaan kappaleen muotoa, vaan irtoaa kappaleen pinnasta. Irtoamiskohtaan muodostuu alipaineinen alue, ja siten kappaleen etu- ja takapinnan välille paine-ero.
- b) $C_{v,p} = 0,040$, $A = 0,24 \text{ m}^2$, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $v = 14 \text{ m/s}$

Kappaleeseen vaikuttavan painevoimavastuksen suuruus on

$$F_{v,p} = C_{v,p} \cdot A \cdot \frac{1}{2} \rho v^2 = 0,04 \cdot 0,24 \text{ m}^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot (14 \text{ m/s})^2 \approx 940 \text{ N}.$$

9 Noste ja väliaineen vastus vaikuttavat nesteissä ja kaasuissa

9-19.

Käden asento vaikuttaa ilmanvastuksen suuruuteen; kun kämmenpuoli on kohtisuorassa etenemissuuntaa vastaan, ilmanvastus on suurin.

Myös auton nopeus vaikuttaa ilmanvastuksen suuruuteen; mitä suurempi nopeus, sitä suurempi ilmanvastus.

9-20.

Kun sormi viedään vesilasiin, vaa'an lukema kasvaa. Lukema on sitä korkeampi, mitä syvemmälle sormi upotetaan. Kun sormi otetaan pois vesilasista, lukema palaa alkuperäiseksi (jos sormeen tarttunutta vettä ei huomioida).

Vedessä olevaan sormen osaan kohdistuu noste. Newtonin III lain mukaan sormi kohdistaa veteen nosteen suuruisen alaspäin suuntautuvan voiman, joka havaitaan vaa'an lukeman kasvuna.

9-21.

Veden pinta lasissa laskee.

Kuvitellaan aluksi, että vene kelluu ilman kiveä. Kun kivi asetetaan veneeseen, veneeseen tulee lisäpainoa. Vene kuitenkin edelleen kelluu, joten noste on kasvanut juuri sen verran, että se kumoaa kivistä tulleen lisäpainon vaikutuksen. Nosteen suuruus määräytyy veneen syrjäyttämän vesimäärän mukaan. Nyt siis syrjäytyvän veden tulee painaa yhtä paljon kuin kivi. Kiven tiheys on suurempi kuin veden. Siispä kiven painoinen vesimäärä on tilavuudeltaan kiveä suurempi. Näin ollen kiven vaikutuksesta syrjäytyy enemmän vettä kiven ollessa veneessä kuin sen ollessa lasin pohjalla. Lasin pohjalla kivi syrjäyttää ainoastaan oman tilavuutensa verran vettä.