**Isotermilise protsessi uurimine süstla ja rõhuanduri abil**

**Vanuseaste:** gümnaasium

**Materjali tüüp:** õpilase tööleht (lihtsam versioon meetodid 1 ja 2 ning keerukam versioon meetodid 3 ja 4)

**Eesmärk:** määrata gaasi rõhu ja ruumala vaheline sõltuvus konstantsel temperatuuril (õhu näitel).

**Seos õpitulemustega:**

* nimetab mudeli *ideaalgaas* olulisi tunnuseid;
* kasutab probleemide lahendamisel seost $\frac{pV}{T}= \frac{m}{M} R$ ;
* määrab graafikutelt isoprotsesside parameetreid.

**Põhimõisted:** absoluutne temperatuur, makroparameeter, mikroparameeter, gaasi rõhk, ideaalgaas, olekuvõrrand, molaarmass, isotermiline protsess.

**Töö eesmärgid**

1. Määrata gaasi rõhu ja ruumala vaheline sõltuvus konstantsel temperatuuril (õhu näitel).

Ideaalse gaasi olekuvõrrand ehk Mendelejev-Clayperoni võrrand kirjeldab gaasi iseloomustavate füüsikaliste suuruste vahelist sõltuvust ja on kirja pandav järgmiselt:

$$\frac{pV}{T}=\frac{m}{M}R$$

kus p – gaasi rõhk [1 Pa], V – gaasi ruumala [1 m3], T – gaasi temperatuur [1 K], m – gaasi mass [1 kg], M – gaasi molaarmass [1 kg/mol] ja R=8,31 J/(kg·K) on universaalne gaasikonstant. Antud katses uurime vaid seost rõhu ja ruumala vahel ning võime kasutada ka teisi ühikuid. Juhul, kui gaasi mass ja molaarmass ei muutu, võime anda selle järgneva kuju:

$$\frac{pV}{T}=const$$

Juhul, kui loeme gaasi temperatuuri konstantseks, kuid gaasi rõhk ja ruumala võivad muutuda, siis saame Boyle’i – Mariotte’i seaduse ehk isotermilise protsessi – jääval temperatuuril on gaasi rõhu ja ruumala korrutis konstantne:

$$p\_{1}V\_{1}=p\_{2}V\_{2}=const$$

Kui temperatuur ja rõhk ei ole eriti kõrged, siis võime õhu lugeda ideaalseks gaasiks. Temperatuur saab muutuda soojusülekandumisega läbi vahetu kokkupuute või soojuskiirgusena. Selle vältimiseks tuleb alljärgnevat katseseadet käsitledes süstalt võimalikult vähe puutudes.



Isotermilise protsessiga on lihtsasti võimalik lihtsasti selgitada, kuidas inimese hingamissüsteem töötab. Muutes oma kopsude ruumala tekib kopsudesse välisest õhurõhust suurem või väiksem rõhk, mis tekitab rõhuerinevuse, mille tagajärjel toimub sisse ja välja hingamine, et rõhku kopsudes välisrõhuga ühtlustada.

**Töövahendid**

Süstal, Vernieri gaasirõhu andur, Vernieri andmetöötleja LabQuest 2.

Boyle’i – Mariotte’i seaduse ehk rõhu ja ruumala vahelise sõltuvuse uurimiseks on antud töövahenditega erinevad katse ja andmeanalüüsi meetodid.

**I MEETOD**

**Töö käik**

1. Tutvu töövahenditega. Ühenda rõhusensor andmelugeriga ja hinda, kas rõhusensor töötab korrektselt. Rõhuandur ilma süstlata mõõdab normaalrõhku, mis peab olema ~100kPa ehk ~ 1 atm ehk ~ 760 mmHg.
2. Ühenda süstal ETTEVAATLIKULT rõhusensoriga kasutades kinnituskeeret.
3. Kontrollige, kas ühendused on õhukindlad. Selleks liigutage süstla kolbi, ruumala muutudes peaks kolbi olema raskem liigutada ning andur peaks näitama rõhu muutumist. Pange tähele, et rõhuanduri mõõtevahemik on 0 – 215 kPa ning seda ületada ei tohi. Uuesti alustamiseks tuleb süstal uuesti ühendada.
4. Kontrollige, et rõhku mõõdetakse ühikutes kPa. Ühikud saab muuta vajutades mõõteväärtuse peale ning valides „Muuda ühik“.
5. Andmelugerisse ruumala sisestamiseks tuleb valida andmelugeris „Sensorid“ ja „Andmete kogumine“ ning muuta rippmenüüst Režiim „Mõõtmine lisamõõteriistadega“. Tulpade arvuks jääb 1 ning Päiseks tuleb sisestada „Ruumala“ või selle tähis „V“ ning ühikuks süstla mõõteühik „ml“. Kinnitage režiim vajutades OK.
6. Nüüd on võimalik asuda uurima rõhu ja ruumala vahelist seost. Alustage ühendades süstal, mille kolb on tõmmatud lahti kuni 20 ml, andmelugeriga. NB! Ärge hoidke süstalt pihus, sest selles olev õhk soojeneb ja võib muuta katse tulemusi!
7. Alustage mõõtmist vajutades rohelist „Start“ nuppu ekraani allnurgas või Start nuppu lugeri peal. Ekraani alla nurka ilmus sinine ring. Vajutage seda ning sisestage süstla ruumala väärtus, mis peaks katse alguses olema 20 ml ning kinnitage vajutades OK. Suruge süstla kolbi kuni 18 ml-i ning vajutage uuesti sinist ringi sisestades uue ruumala väärtuse 18 ml. Jätkake 2 ml sammuga kuni 10 ml-ni. Tehke koostööd! Jõudnud 10 ml vajutage lõpetage mõõtmine „Stopp“ nupuga.

**Andmeanalüüs**

1. Uurige tekkinud graafikut ja funktsiooni.
2. Ennustame, millise funktsiooniga peaks tegu olema. Eelnevalt kirjutasime välja lihtsustatud võrrandi $pV=const$ ning andes sellele lihtsamini mõistetava kuju $p= \frac{const}{V}$. Nüüd saame seda lihtsasti võrrelda erinevate matemaatiliste üldkujudega. Vali, millise matemaatilise sõltuvuse üldkuju see võrrand kirjeldab:
3. $y=ax$ b. $y=\frac{a}{x}$ c. $y=x^{2}$ d. $y=ax+b$

Järelikult on rõhu ja ruumala vahel on ………………………………….. seos.

1. Kas tekkinud graafik kirjeldab pöördvõrdelist graafikut? Selle täpsemaks hindamiseks saame kasutada LabQuesti andmeanalüüsi. Vali menüü „Analüüsi“ ning „Joone sobitus“ ja uuritavaks graafikuks on „rõhk“ graafik. Eelnevalt ennustasime, et tegemist on pöörvõrdelise funktsiooniga, ning selle hindamiseks tuleb valida kasutatavaks võrrandiks „Astmefunktsioon“. Luger annab astmefunktsiooniks võrrandi $y=AxˆB$, mis tähendab, et B väärtus näitab muutuja astet. Negatiivne aste tähendab, et tegemist on pööratud funktsiooniga. Võrrandi $y=\frac{a}{x}$ saab samuti kirjutada negatiivse astendajaga $y=ax^{-1}$.

Kirjutage välja, mis on Teie katses saadud astendaja B väärtus: B =

Mida lähemal on B väärtus -1 – le, seda rohkem antud tulemus iseloomustab pöördvõrdelist seost. Katse võib lugeda õnnestunuks, kui astendaja B väärtus on vahemikus -0,9 kuni -1,1.

**Kui on piisavalt aega, siis on võimalik katset korrata vastupidise katsega, kus ruumala suurendatakse ehk tuleb alustada 10 ml pealt ning 2 ml sammuga ruumala suurendada.**

**Küsimused**

1. Millises seoses on omavahel rõhk ja ruumala jääval temperatuuril toimuvas protsessis?
2. Mis juhtub kopsudes oleva õhu rõhuga, kui me suurendame kopsude ruumala? Kas tegu on sisse- või väljahingamisega?
3. Mis võivad olla antud katses vigade põhjuseks?

**II Meetod**

1. Ennustame, millise funktsiooniga peaks rõhu ja ruumala vahel tegu olema. Eelnevalt kirjutasime välja lihtsustatud võrrandi $pV=const$ ning andes sellele lihtsamini mõistetava kuju $p= \frac{const}{V}$. Nüüd saame seda lihtsasti võrrelda erinevate matemaatiliste üldkujudega. Vali, millise matemaatilise sõltuvuse üldkuju see võrrand kirjeldab:

$a. y=ax$ b. $y=\frac{a}{x}$ c. $y=x^{2}$ d. $y=ax+b$

Järelikult on rõhu ja ruumala vahel on ………………………………….. seos.

1. Vali, milline on pöördvõrdelise seose graafiku kuju:
2. sirge b. parabool c. sinusoid d. hüperbool
3. Kuna pöördvõrdelist seost on raske uurida oma hüperboolse graafiku pärast, siis on lihtsam kasutada seoste uurimiseks lineariseerimist. Lineariseerimine on sõltuvuse muutmine lineaarseks, mille graafik on sirge joon, mida on lihtsam uurida. Pöörvõrdelise sõltuvuse lineariseerimiseks tuleb sõltumatust muutujast võtta pöördväärtus ehk antud katses ruumalast :

$$p= \frac{const}{V}⇒p= const∙\frac{1}{V}⟹P=const V^{-1}$$

Järelikult on **rõhu ja ruumala pöördväärtuse vahel võrdeline seos** ja graafikul iseloomustab sellist seost sirgjoon, mida on väga hea uurida, sest läbib telgede alguspunkti (0:0).

1. Tutvu töövahenditega. Ühenda rõhusensor andmelugeriga ja hinda, kas rõhusensor töötab korrektselt. Rõhuandur ilma süstlata mõõdab normaalrõhku, mis peab olema ~100kPa ehk ~ 1 atm ehk ~ 760 mmHg.
2. Ühenda süstal ETTEVAATLIKULT rõhusensoriga kasutades kinnituskeeret.
3. Kontrollige, kas ühendused on õhukindlad. Selleks liigutage süstla kolbi, ruumala muutudes peaks kolbi olema raskem liigutada ning andur peaks näitama rõhu muutumist. Pange tähele, et rõhuanduri mõõtevahemik on 0 – 215 kPa ning seda ületada ei tohi. Uuesti alustamiseks tuleb süstal uuesti ühendada.
4. Kontrollige, et rõhku mõõdetakse ühikutes kPa. Ühikud saab muuta vajutades punase mõõteväärtuse peale ning valides „Muuda ühik“.
5. Andmelugerisse ruumala pöördväärtuse sisestamiseks tuleb valida andmelugeris „Sensorid“ ja „Andmete kogumine“ ning muuta rippmenüüst Režiim „Mõõtmine lisamõõteriistadega“. Tulpade arvuks jääb 1 ning Päiseks tuleb sisestada „Ruumala pöörd“ või selle tähis „1/V“ ning ühikuks süstla mõõteühik „1/ml“. Kinnitage režiim vajutades OK.
6. Arvutage välja ruumala pöördväärtused alljärgnevas tabelis, et sisestamist lihtsustada.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| V/ ml | 20 | 18 | 16 | 14 | 12 | 10 |
| 1/V / 1/ml | 0,050 |  |  |  |  |  |

1. Nüüd on võimalik asuda uurima rõhu ja ruumala pöördväärtuse vahelist seost. Alustage ühendades süstal, mille kolb on tõmmatud lahti kuni 20 ml, andmelugeriga. NB! Ärge hoidke süstalt pihus, sest selles olev õhk soojeneb ja võib muuta katse tulemusi!
2. Alustage mõõtmist vajutades rohelist „Start“ nuppu ekraani allnurgas või Start nuppu lugeri peal. Ekraani alla nurka ilmus sinine ring. Vajutage seda ning sisestage süstla ruumala pöördväärtus, mis peaks katse alguses olema süstla 20 ml näidu peal 0,05 ning kinnitage vajutades OK. Suruge süstla kolbi kuni 18 ml-i ning vajutage uuesti sinist ringi sisestades uue ruumala pöördväärtuse. Jätkake 2 ml sammuga kuni 10 ml-ni. Tehke koostööd! Jõudnud 10 ml vajutage lõpetage mõõtmine „Stopp“ nupuga.

**Andmeanalüüs**

1. Uurige tekkinud graafikut ja funktsiooni. Mis on sõltuv ja sõltumatu muutuja?
2. Kas tekkinud graafik kirjeldab võrdelist seost?
3. Seose täpsemaks hindamiseks saame kasutada LabQuesti andmeanalüüsi. Vali menüü „Analüüsi“ ning „Joone sobitus“ ja uuritavaks graafikuks on „rõhk“ graafik. Vali kasutatavaks võrrandiks „lineaarne“. Luger näitab musta joonena lineaarset seost ning arvuliselt iseloomustab „korrelatsioon“, mis näitab punktide vastavust lineaarsele seosele.

Korrelatsioonikordaja :

Mida lähemal on korrelatsioonikordaja arvule 1, seda tugevam on seos. Katse võib lugeda õnnestunuks, kui korrelatsioonikordaja väärtus on suurem kui 0,95.

Rõhu ja ruumala pöördväärtuse vahel on …………………………….. seos, mis tähendab, et rõhu ja ruumala vahel on …………………….. seos.

**Kui on piisavalt aega, siis on võimalik katset korrata vastupidise katsega, kus ruumala suurendatakse ehk tuleb alustada 10 ml pealt ning 2 ml sammuga ruumala suurendada.**

**Küsimused**

1. Mis juhtub kopsudes oleva õhu rõhuga, kui me suurendame kopsude ruumala? Kas tegu on sisse- või väljahingamisega?
2. Mis võivad olla antud katses vigade põhjuseks?
3. Miks on kasulik andmeid lineariseerida?

**Töö käik**

1. Rõhu ja ruumala vahel on ………………………………….. seos, mille graafikuks on ………………
2. Kuna pöördvõrdelist seost on raske uurida oma hüperboolse graafiku pärast, siis on lihtsam kasutada seoste uurimiseks lineariseerimist. Lineariseerimine on sõltuvuse muutmine lineaarseks, mille graafik on sirge joon, mida on lihtne uurida. Pöörvõrdelise sõltuvuse lineariseerimiseks tuleb sõltumatust muutujast võtta pöördväärtus ehk antud katses ruumalast :

$$p= \frac{const}{V}⇒p= const∙\frac{1}{V}⟹P=const V^{-1}$$

1. Rõhu ja ruumala pöördväärtuse vahel on ……………………………. seos, mille graafikuks on ………………….
2. Tutvu töövahenditega. Ühenda rõhusensor andmelugeriga ja hinda, kas rõhusensor töötab korrektselt. Rõhuandur ilma süstlata mõõdab normaalrõhku väärtusega ………………
3. Ühenda süstal ETTEVAATLIKULT rõhusensoriga kasutades kinnituskeeret.
4. Kontrollige, kas ühendused on õhukindlad. Selleks liigutage süstla kolbi, ruumala muutudes peaks kolbi olema raskem liigutada ning andur peaks näitama rõhu muutumist. Pange tähele, et rõhuanduri mõõtevahemik on 0 – 215 kPa ning seda ületada ei tohi. Uuesti alustamiseks tuleb süstal uuesti ühendada.
5. Kontrollige, et rõhku mõõdetakse ühikutes kPa. Ühikud saab muuta vajutades mõõteväärtuse peale ning valides „Muuda ühik“.
6. Alustage ühendades süstal, mille kolb on tõmmatud lahti kuni 20 ml, andmelugeriga.. NB! Ärge hoidke süstalt pihus, sest selles olev õhk soojeneb ja võib muuta katse tulemusi! Suruge süstal kokku kuni ruumalani 18 ml, kirjutage saadud rõhu väärtus tabelisse. Jätkake mõõtmisi vähendades ruumala 2 ml kaupa kuni ruumalani 10 ml. **Ärge laske tulemuste kirjutamise vahepeal süstalt tagasi algaasendisse**. Arvutage ruumala pöördväärtused.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| V/ ml | 20 | 18 | 16 | 14 | 12 | 10 |
| 1/V / 1/ml |  |  |  |  |  |  |
| p / kPa |  |  |  |  |  |  |

1. Ühendage süstal korraks lahti, lükake kolb asendisse 10 ml ja korrake siis katset alustades 10 ml ja lõpetades 20 ml-ga 2 ml-se sammuga. Täidke tabel.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| V/ ml | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |
| 1/V / 1/ml |  |  |  |  |  |  |
| p / kPa |  |  |  |  |  |  |

**Andmeanalüüs**

1. Joonesta mõlema katse graafikud teljestikus p=f(V) ja p = f(1/V). Tee seost iseloomustavad trendijooned graafikutele võttes kõiki katsepunkte arvesse.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**Küsimused**

1. Märgi kõigile funktsioonidele protsessi suund.
2. Arvestades oma töö tulemusi ja graafikut, andke hinnang, kui hästi kirjeldavad teie poolt leitud graafilised tulemused teoreetilist ennustust? Mille põhjal sellise järelduse tegite?
3. Mis võib olla eksperimendi vigade põhjuseks?
4. Mis juhtub kopsudes oleva õhu rõhuga, kui me suurendame kopsude ruumala? Kas tegu on sisse- või väljahingamisega?

**IV Meetod**

Ideaalse gaasi olekuvõrrand ehk Mendelejev-Clayperoni võrrand kirjeldab gaasi iseloomustavate füüsikaliste suuruste vahelist sõltuvust ja on kirja pandav järgmiselt:

$$\frac{pV}{T}=\frac{m}{M}R$$

kus p – gaasi rõhk [1 Pa], V – gaasi ruumala [1 m3], T – gaasi temperatuur [1 K], m – gaasi mass [1 kg], M – gaasi molaarmass [1 kg/mol] ja R=8,31 J/(kg·K) on universaalne gaasikonstant.

Küsi õpetajalt alljärgnev katseseade, uuri selle mõõteseadmeid ning toimimist.

Disaini ja soorita katse, mis uurib rõhu, ruumala ja temperatuuri vahelisi seoseid. Vormista tulemused tabeli ning graafikuna. Formuleeri järeldused.

**HÜPOTEESID:**

**Lisaülesanne:** Kasutades joonlauda, süstalt ning rõhuandurit määrata süstlaseina ja kolvi vaheline seisuhõõrdejõud.