



**Kauno technologijos universitetas**  
Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas

## **Fizika 1 Aerostatas**

P190B101 Fizika 1 probleminė užduotis 1

---

**Lukas Kuzmickas**  
**Domantas Bieliūnas**  
**Martynas Žibas**  
**Daugardas Lukšas**  
**Gustas Miliukas**

Projekto autoriai

**IFF-1/6**  
Akademinė grupė

**Doc. Aleksandras Iljinas**  
Vadovai

**Kaunas, 2022**

## Turinys

Santrauka .....	3
Įvadas.....	4
1. Tvlakaraštis .....	5
2. Problemos sprendimo būdų ir metodų apžvalga .....	6
3. Fizikinių dėsnų taikomų problemos sprendimui aprašymas .....	7
4. Laboratoriniai darbai: fizikinių dėsnų iliustracija .....	9
4.1 Laboratorinis darbas „Boilo ir Marioto dėsnis“ .....	9
4.2 Laboratorinis darbas „Kietojo kūno temperatūrinio ilgėjimo koeficientas“ .....	13
5. Problemioio uždavio rezultatai.....	17
6. Išvados.....	22
Literatūros sąrašas .....	23

## Santrauka

### Problema:

Jūsų užduotis yra suprojektuoti aerostata galintį į 30 km aukštį iškelti 8 kg masės krovinį (įskaitant ir paties aerostato masę). Aerostato balionas gaminamas iš netamprios medžiagos ir pripildomas helio dujų.

1. Reikia apskaičiuoti koks turi būti baliono tūris ir baliono užpildymui reikiamą helio masę.
2. Nustatyti kilimo aukščio ir pagreičio priklausomybes nuo laiko. Per kiek laiko balionas pasieks numatytą aukštį.

### Sprendimo būdai:

- Apskaičiuoti baliono tūrį.
- Apskaičiuoti balionui užpildyti reikiamą helio masę.
- Nustatyti kilimo aukščio ir pagreičio priklausomybes nuo laiko.
- Apskaičiuoti per kiek laiko balionas pasieks numatytą 30 km aukštį.

### Reikalingos formulės:

- Baliono tūrio skaičiavimo formulė.
- Baliono dujų masės skaičiavimo formulė.
- Kilimo aukščio ir pagreičio formulė.
- Kilimo laiko skaičiavimas.

### Gauti rezultatai:

- Baliono tūris –  $595,1 \text{ m}^3$ .
- Baliono dujų masė – 1,51 kg.
- Kilimo aukščio laikas – 8457 sekundės arba apytiksliai 2 valandos ir 21 minutės.
- Baliono spindulys – 5,22 m.
- Baliono dujų tankis –  $2,54 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ .
- Baliono svoris su krovinio - 9,2 kg.

## **Ivadas**

### **Problema:**

Šiame PBL mums reikia sumodeliuoti aerostatą, kuris gali pakilti į 30 km aukštį bei iškelti 8kg masės krovinį – tuo pačiu įskaitant ir paties aerostato masę. Šis balionas yra gaminamas iš netamprios medžiagos ir yra pripildomas helio dujų.

### **Problemų svarba:**

Aerostatas yra skraidymo aparatas, norint geriau suprasti termodinamikos reiškinius, turime plačiau pasigilinti į šio aparato veikimo principus. Šio baliono modeliavimas mums suteiks taip reikalingų žinių apie termodinamikos dėsnius šiuose oro skraidymo aparatuose, duos bendro supratimo, kaip veikia šie baliono mechanizmai ir kodėl jis būtent kyla.

### **Uždaviniai:**

Turime sąlyga, kad mūsų modeliuojamas balionas privalo gebėti pakilti į 30km aukštį, tuo pačiu iškelti papildomą 8kg masės krovinį + įskaitant ir pačio aerostato baliono ir jo dujų masę. Mums reikia apskaičiuoti šio baliono tūrį, reikiamą baliono dujų masę. Tuo pačiu mums reikia nustatyti šio modeliuojamo baliono kilimo aukščio ir pagreičio priklausomybes nuo laiko ir apskaičiuoti per kiek būtent laiko šis balionas pasieks numatytą 30km aukštį.

## 1. Tvarkaraštis

Data	Darbai
3/29	Išrinkta PBL tema ir darbų pasiskirstymas
4/05	Laboratorinio darbo „Boilio ir Marioto dėsnis“ darymas
4/12	Laboratorinio darbo „Kietojo kūno temperatūrinio ilgėjimo koeficiento“ darymas
4/14	Medžiagos rinkimas ir apjungimas
<b>Atostogos</b>	
4/26	Ataskaitos aptarimas
5/01	Ataskaitos užbaigimas

1 pav. Darbo tvarkaraštis

## 2. Problemos sprendimo būdų ir metodų apžvalga

Norint apskaičiuoti aerostato baliono tūrį ir baliono užpildymui reikalingą helio dujų masę, mes turime sužinoti kokios yra atmosferos sąlygos 30 km aukštyje ir koks bus mūsų pačio aerostato svoris. Atmosferos sąlygas galime sužinoti atsidarę ši tinklapį. Norint sužinoti, koks yra mūsų aerostato svoris, be krovinio, mes susiradome straipsnį, kuriame rašoma apie tą patį bandymą, kuris yra paminėtas mūsų probleminio uždavinio sąlygoje. Ten minima, kad bandymas buvo atliktas su Totex TX1200 balionu, kurio svoris yra 1,2 kg. Sužinoję visas reikšmes, aerostato baliono tūrį apskaičiuosim pasinaudoję Archimedo dėsnio, o helio dujų masę apskaičiuosime pasinaudoję masės, tankio ir tūrio santykiu, kai jau žinosime reikalingą tūrį.

Baliono kilimo laikui nustatyti, susirandame baliono kilimo pagreičius skirtingais kilimo etapais ir pagal kelio formulę galime susirasti laiko sumą – t.y. visą baliono kilimo laiką iki 30km aukščio.

Kilimo aukščio ir pagreičio priklausomybės grafikams sudaryti, reikia surasti atskirus intervalus – pagreičio ir kitų svarbių duomenų priklausomybes nuo aukščio. Kylant aukštyn mažėja temperatūra, mažėja laisvojo kritimo pagreitis, didėja tūris. Suradus skirtingus pagreičius, skirtingomis kilimo aukščio sąlygomis gauname priklausomybės grafikus.

### 3. Fizikinių dėsnių taikomų problemos sprendimui aprašymas

#### Fizikiniai dydžiai:

P – slėgis [Pa]

V – tūris [m<sup>3</sup>]

m – masė [kg]

M – molinė masė [kg/mol]

R – universalioji dujų konstanta (8,31 J/mol\*K)

k –  $1,38 \cdot 10^{-23}$  J/K Bolcmano konstanta

T – temperatūra (Kelvinais)

t – temperatūra (Pagal Celcijų)

q – tankis (kg/m<sup>3</sup>)

F – jėga [N]

N – dalelių skaičius

n – dalelių koncentracija [m<sup>-3</sup>]

g – laisvojo kritimo pagreitis ( $\approx 9,81$  m/s<sup>2</sup>)

h – aukštis [m]

F<sub>A</sub> – Archimedo jėga [N]

v – medžiagos kiekis [mol]

a – pagreitis [m/s<sup>2</sup>]

t – laikas [s]

p<sub>0</sub> – slėgis jūros lygyje [Pa]

r – spindulys [m]

#### Pagrindinės formulės:

$$pV = \frac{m}{M}RT$$

$$p = nkT$$

$$n = \frac{N}{V}$$

$$p = \frac{F}{S}$$

$$p = \frac{q}{M}RT$$

$$p = qgh$$

$$T = t + 273$$

$$t = T - 273$$

$$q = \frac{pM}{RT}$$

$$a = \frac{v - v_0}{t}$$

$$s = v_0t - \frac{at^2}{2}$$

$$v = v_0 + at$$

$$F_a = qgh$$

$$F_s = mg$$

$$t = \sqrt{\frac{2s}{a}}$$

$$m = qV$$

$$pV = \frac{m}{M}RT$$

$$p = nkT$$

$$A = \frac{m}{M}RT \ln \left( \frac{p_1}{p_2} \right)$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{J/K}$$

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$R = 8,31 \text{ J/(K} \cdot \text{mol)}$$

$$m/M \text{ (mol)} = \frac{pV}{RT}$$

$$T = t + 273 \text{ (K)}$$

$$L = L_0(1 + a_1(t - t_0)^1 + a_2(t - t_0)^2 + a_3(t - t_0)^3 + a_4(t - t_0)^4 \dots)$$

$$a = a_1 + 2a_2(t - t_0) + 3a_3(t - t_0)^2$$

$$a_v = \frac{L}{L_0(t - t_0)}$$

$$\frac{\Delta a}{a_v} = \left| \frac{\Delta L_0}{L_0} \right| + \left| \frac{\Delta L_1}{L_1} \right| + \left| \frac{\Delta(t_1 - t_0)}{t_1 - t_0} \right|$$



## 4. Laboratoriniai darbai: fizikinių dėsnių iliustracija

### 4.1 Laboratorinis darbas „Boilio ir Marioto dėsnis“

#### Darbo užduotis:

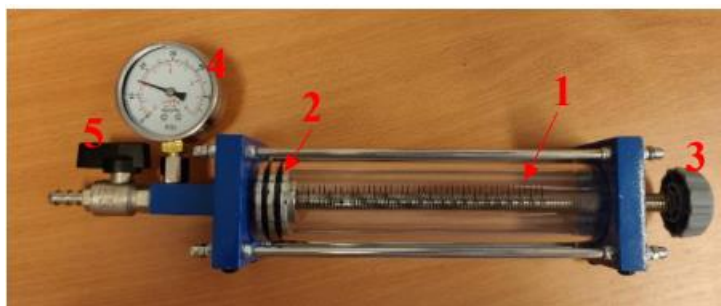
Patikrinti Boilio ir Marioto dėsnį matuojant slėgį ir tūrį bei apskaičiuoti dujų kiekį ir darbą cilindre suspaudžiant dujas.

#### Teorinė dalis:

Izoterminio proceso dėsnis – Boilio ir Marioto dėsnis. Esant pastoviai temperatūrai, dujų slėgio ir tūrio sandauga yra pastovus dydis. Kitaip tariant šio izoproceso metu šie dydžiai yra atvirkščiai proporcingi, vienam didėjant – kitas mažėja.

1.  $pV = \frac{m}{M}RT$  – Klaiperiono lygtis
2.  $p = nkT$  – Kitaip išreikšta lygtis
3.  $A = \frac{m}{M}RT \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right)$  – dujų atliktas darbas
4.  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$  – Bolcmano konstanta
5.  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  – Avogadro skaičius
6.  $R = 8,31 \text{ J/(K} \cdot \text{mol)}$  – Universalioji dujų konstanta
7.  $m/M (\text{mol}) = \frac{pV}{RT}$  – molio skaičiaus formulė
8.  $T = t + 273 (\text{K})$  – Celcijaus konvertavimas į Kelvinus

#### Priemonės (numeravimo tvarka) :



2 pav. Pirmojo laboratorinio darbo priemonės

1. Matavimo cilindras (sugraduotas).
2. Stūmoklis.
3. Sraigtas, judinti stūmokliui pirmyn ir atgal.
4. Manometras slėgiui matuoti
5. Ventilis sistemai išretinti arba suslėgti.

**Darbo metodas:**

- 1) Išmatuojame matavimo cilindro skersmenį, nustatome vienos padalos tūrio vertę.
- 2) Pirmajam bandymui uždaromas ventilis ir sraigta pastumiamas ties 5 padala.  
Užfiksuojamas pradinis sistemos tūris.
- 3) Lėtai sukant sraigta tūrio mažėjimo kryptimi (puse padalos/ pilna padala) fiksuojamas slėgis ir tūris. (po kiekvieno sraigto sukimo padaroma 30 sekundžių pertrauka – pastovi temperatūra).
- 4) Šis bandymas dar kartojamas du kartus, su skirtingomis pradinėmis tūrio reikšmėmis.
- 5) Po bandymų apskaičiuojamas dujų molinis skaičius ir dujų atliktas darbas kiekvienam bandymui, remiantis formulėmis.
- 6) Šių bandymų rezultatus pavaizduojame slėgio priklausomybės nuo tūrio grafike.

**Darbo rezultatai:**

Matavimo cilindro vienos padalos vertė:  $19,46 \cdot 10^{-6} m^3$

1 lentelė Pirmojo laboratorinio rezultatai

V <sub>0</sub> = 97,35*10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup>			
V, m <sup>3</sup>	p, Pa	V, mol	A, J
97,35*10 <sup>-6</sup>	1*10 <sup>5</sup>	3,95*10 <sup>-3</sup>	29,15
87,61*10 <sup>-6</sup>	1,12*10 <sup>5</sup>		
77,88*10 <sup>-6</sup>	1,31*10 <sup>5</sup>		
68,14*10 <sup>-6</sup>	1,5*10 <sup>5</sup>		
48,675*10 <sup>-6</sup>	1,7*10 <sup>5</sup>		
38,94*10 <sup>-6</sup>	2,08*10 <sup>5</sup>		
29,20*10 <sup>-6</sup>	2,49*10 <sup>5</sup>		
19,46*10 <sup>-6</sup>	3.33*10 <sup>5</sup>		
V <sub>0</sub> = 136,29*10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup>			
V, m <sup>3</sup>	p, Pa	V, mol	A, J
136,29*10 <sup>-6</sup>	1*10 <sup>5</sup>		

		$5,54 \cdot 10^{-3}$	-16,354
$126,55 \cdot 10^{-6}$	$1,12 \cdot 10^5$		
$116,82 \cdot 10^{-6}$	$1,23 \cdot 10^5$		
$107,08 \cdot 10^{-6}$	$1,32 \cdot 10^5$		
$97,35 \cdot 10^{-6}$	$1,43 \cdot 10^5$		
$87,61 \cdot 10^{-6}$	$1,58 \cdot 10^5$		
$77,88 \cdot 10^{-6}$	$1,79 \cdot 10^5$		
$68,14 \cdot 10^{-6}$	$2,01 \cdot 10^5$		
$58,41 \cdot 10^{-6}$	$2,31 \cdot 10^5$		
$48,67 \cdot 10^{-6}$	$2,76 \cdot 10^5$		
$38,94 \cdot 10^{-6}$	$3,32 \cdot 10^5$		
$V_0 = 194,71 \cdot 10^{-6} m^3$			
$V, m^3$	$p, Pa$	$V, mol$	$A, J$
$194,71 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^5$	$7,91 \cdot 10^{-3}$	-13,592
$184,96 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^5$		
$175,23 \cdot 10^{-6}$	$1,14 \cdot 10^5$		
$165,49 \cdot 10^{-6}$	$1,21 \cdot 10^5$		
$155,76 \cdot 10^{-6}$	$1,26 \cdot 10^5$		
$146,02 \cdot 10^{-6}$	$1,35 \cdot 10^5$		
$136,29 \cdot 10^{-6}$	$1,47 \cdot 10^5$		
$126,55 \cdot 10^{-6}$	$1,58 \cdot 10^5$		
$116,82 \cdot 10^{-6}$	$1,69 \cdot 10^5$		
$107,08 \cdot 10^{-6}$	$1,82 \cdot 10^5$		
$97,35 \cdot 10^{-6}$	$2,01 \cdot 10^5$		



3 pav. Slėgio priklausomybės nuo tūrio grafikas kiekvienam bandymui

### Laboratorinio darbo išvados:

Sėkmingai atlikome pirmąjį laboratorinį darbą, dar kartą patikrinome Boilio ir Marioto dėsnius. Plačiau pagilinome savo žinias apie izoterminį izoprocesą ir jo savybes. Apskaičiavome mūsų bandymo metu dujų kiekį ir atliktą darbą. Galimos mažos paklaidos, dėl skaičiavimo paklaidų, oro sąlygų, įrangos netikslumo.

### Naudojama literatūra:

1. Hugh Young, Roger Freedman, A. Lewis Ford, University Physics with Modern Physics Technology Update: Pearson New International Edition, Feb 2016, Paperback, 1599 p. Komentarai: Elektroninė versija prieinama visiems.
2. Tamašauskas A., Joneliūnas S. Fizikos laboratoriniai darbai. Kaunas: Technologija, 2005. 1 dalis
3. Javorskis B., Detlafas A. Fizikos kursas. Vilnius: Mintis, 1970. T1. P 327.
4. E-kursas Moodle sistemoje

## 4.2 Laboratorinis darbas „Kietojo kūno temperatūrinio ilgėjimo koeficientas“

**Darbo užduotis:** Pažinti kūno šiluminio plėtimosi dėsningumus, nustatyti pasirinktos medžiagos vamzdelio vidutinį ilgėjimo koeficientą.

### Teorinė dalis:

Šiluminis plėtimosi dėsningumas – kūnas sudarytas iš dalelių sujungtomis sąveikos jėgomis, todėl virpesiai perduodami kitoms dalelėms ir t.t.

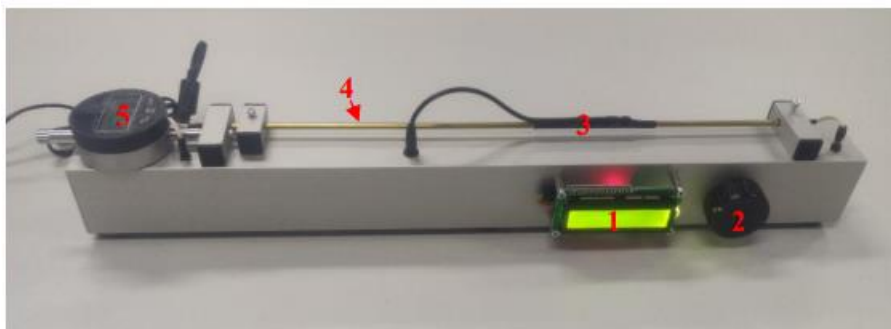
1.  $L = L_0(1 + a_1(t - t_0)^1 + a_2(t - t_0)^2 + a_3(t - t_0)^3 + a_4(t - t_0)^4 \dots)$

2.  $a = a_1 + 2a_2(t - t_0) + 3a_3(t - t_0)^2$

3.  $a_v = \frac{L}{L_0(t - t_0)}$  - vidutinio ilgėjimo koeficientas.

4.  $\frac{\Delta a}{a_v} = \left| \frac{\Delta L_0}{L_0} \right| + \left| \frac{\Delta L_1}{L_1} \right| + \left| \frac{\Delta(t_1 - t_0)}{t_1 - t_0} \right|$  – santykinė paklaida.

### Priemonės:



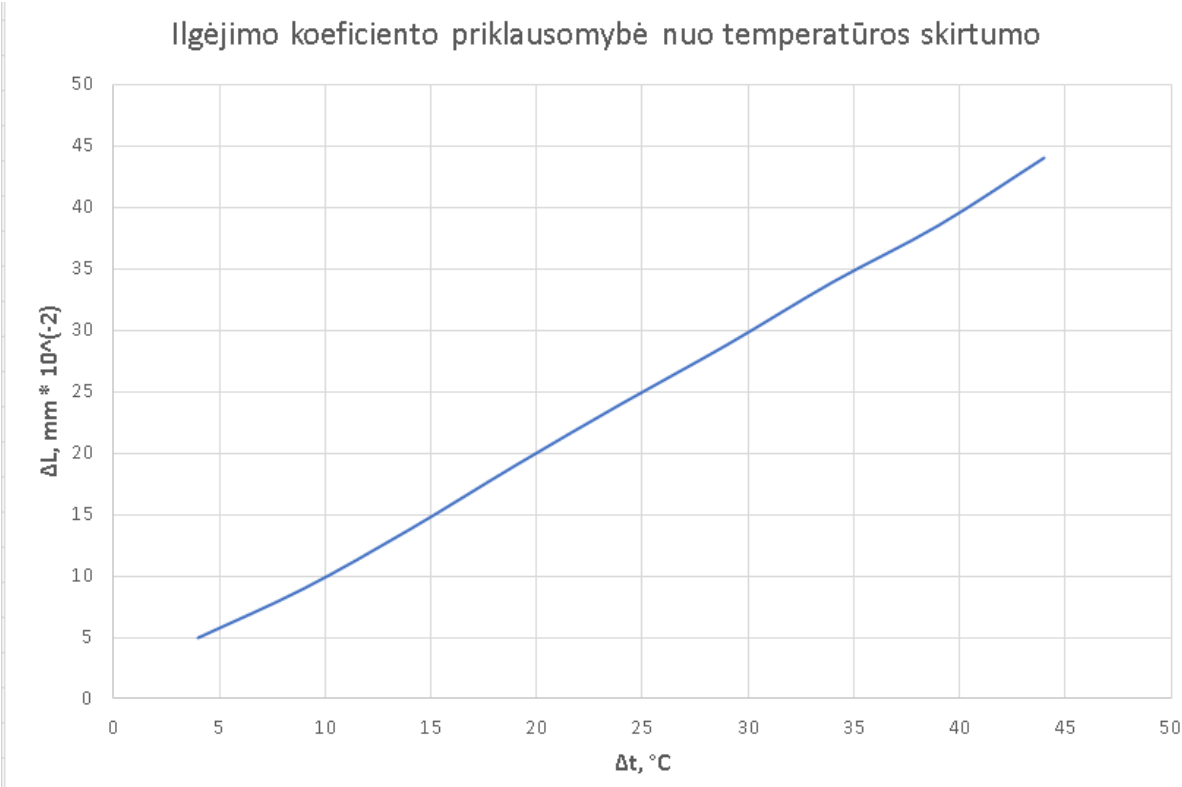
4 pav. Antrojo laboratorinio darbo priemonės

- 1) Temperatūros indikatorius.
- 2) Temperatūros valdymo rankenėlė.
- 3) Temperatūros jutiklis.
- 4) Žinomo ilgio tiriamos medžiagos vamzdelis.
- 5) Gylmatis.

### **Tyrimo metodas:**

- 1) Išmatuojame ir užsirašome pradinį vamzdelio ilgį  $L_0$  ir atsižymime pradinę temperatūrą  $t_0$  rodoma temperatūros indikatoriuje.
- 2) Įjungiamo gylmatį ir nusistatome 0 ant jo esančiu mygtuku „Zero”.
- 3) Nustatome pirmąjį temperatūros tašką į  $30^{\circ}\text{C}$ . Naudojame temperatūros valdymo rankenėlę. Temperatūra nustatoma rankenėlę paspaudžius du kartus. Indikuojama pasirinktoji temperatūra.
- 4) Kai temperatūra tampa kelias sekundes pastovi, atsižymime gylmačio rodmenys  $L$ . Užpildome šiuos rezultatus į lentelę.
- 5) Toliau didiname temperatūrą kas  $5^{\circ}\text{C}$  iki  $70^{\circ}\text{C}$ . Kiekvieną kartą nusistovėjus temperatūrai fiksuojame duomenys į rezultatų lentelę.
- 6) Baige matavimus išjungiame įrenginį.
- 7) Nubraižome medžiagos pailgėjimo nuo temperatūros priklausomybės grafiką.
- 8) Iš grafiko pasirinktam temperatūros pokyčiui randame  $L$  ir pagal duotą formulę apskaičiuojame vidutinį ilgėjimo koeficientą  $\alpha_v$ . Gavus vidutinį ilgėjimo koeficientą, apskaičiuojame santykinę paklaidą  $\Delta\alpha/\alpha_v$ .
- 9) Visi matavimų ir skaičiavimų duomenys surašomi į laboratorinio darbo rezultatų lentelę.

Rezultatai:



5 pav. Ilgėjimo priklausomybės nuo temperatūros grafikas

2 lentelė Antrojo laboratorinio rezultatai

$L_0 = 600 \text{ mm}, t_0 = 26 \text{ }^\circ\text{C}$				
$t, \text{ }^\circ\text{C}$	$t - t_0, \text{ }^\circ\text{C}$	$\Delta L, \text{mm} * 10^{-2}$	$a_v$	$\Delta a / a_v$
30	4	5	$16 * 10^{-6} \text{ K}$	$\frac{11}{600}$
33	9	9		
40	14	13,8		
45	19	19		
50	24	24		
55	29	28.8		
60	34	33,9		
63	39	38,5		
70	44	44		

### **Laboratorinio darbo išvados:**

Gauta apskaičiuota ilgėjimo koeficiento reikšmė yra artima vario ilgėjimo koeficiento reikšmei  $13 \cdot 10^{-6}$  K (mūsų gauta  $16 \cdot 10^{-6}$  K). Gautos menkos paklaidos, dėl skaičiavimo paklaidų, įrangos netikslumo.

### **Naudojama literatūra:**

1. Hugh Young, Roger Freedman, A. Lewis Ford, University Physics with Modern Physics Technology Update: Pearson New International Edition, Feb 2016, Paperback, 1599 p. Komentaras: Elektroninė versija prieinama visiems.
2. Tamašauskas A., Joneliūnas S. Fizikos laboratoriniai darbai. Kaunas: Technologija, 2005. 1 dalis P 59.
3. Javorskis B., Detlafas A. Fizikos kursas. Vilnius: Mintis, 1970. T1. P 327.
4. Tamašauskas A., Joneliūnas S. Fizikos laboratoriniai darbai. Kaunas: Technologija, 2005. 1 dalis P 59.
5. E-kursas Moodle sistemoje.



## 5. Probleminio uždavinio rezultatai

Mes žinome, kad 30 km aukštyje atmosferos slėgis yra 1,2 kPa, tankis – 0,018 kg/m<sup>3</sup>, o temperatūra lygi -46°C arba 227 K.

Taip pat žinome, kad mūsų baliono svoris yra 1,2 kg, tai vadinasi išviso turime iškelti 9,2 kg svorį į 30 km aukštį.

Kad balionas pakiltų iki 30 km aukščio ir ten išliktų, reikia kad baliono Archimedo jėga būtų lygi baliono ir krovinio masei, bei helio dujų masei balione (1) :

$$\rho_a V_b g = 9,2 * g * \rho_{He} * V_b g \quad (1)$$

$\rho_a$  – atmosferos tankis 30 km aukštyje.

$V_b$  – baliono tūris.

$\rho_{He}$  – helio dujų tankis 30 km aukštyje.

Šią lygtį (2) galime suprastinti:

$$\rho_a V_b = 9,2 * \rho_{He} * V_b \quad (2)$$

Kad sužinotume helio dujų tankį 30 km aukštyje, galime pasinaudoti idealiųjų dujų būsenos lygtimi (3) :

$$P = \frac{\rho}{M} * R * T \quad (3)$$

Išsireiškiame tankį, pagal kurį apskaičiuosime helio dujų tankį (4):

$$\rho_a = \frac{p_a * M_{He}}{RT} \quad (4)$$

Įsistatome reikšmes ir apskaičiuojame helio dujų tankį 30 km aukštyje:

$$\rho_{He} = \frac{1200 \text{ Pa} \bullet 0,004 \text{ kg/mol}}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \bullet \text{K}} \bullet 227 \text{ K}} \approx 2,54 \bullet 10^{-3} \text{ kg/m}^3$$

6 pav. Tankio skaičiavimas

Dabar galime apskaičiuoti baliono tūrį, įstatę  $\rho_{\text{He}}$  į anksčiau nurodytą formulę:

$$\begin{aligned} 0,018V_B &= 9,2 + 2,54 \cdot 10^{-3} V_B; \\ V_B &= \frac{9,2}{(0,018 - 2,54 \cdot 10^{-3})}; \\ V_B &\approx 595,1 \text{ m}^3. \end{aligned}$$

7 pav. Tūrio skaičiavimas

Kadangi dabar žinome helio dujų tankį ir baliono tūrį, galime sužinoti reikalingų helio dujų masę (5), kad balionas pakiltų iki 30 km aukščio ir ten išsilaikytų.

$$m_{\text{He}} = \rho_{\text{He}} * V_b \approx 1,51 \text{ kg. (5)}$$

Teigdami, kad mūsų balionas yra sferinis, jo skersmuo būtų:

$$\begin{aligned} V_B &= \frac{4}{3} \pi r^3; \\ r &= \sqrt[3]{\frac{3V_B}{4\pi}} \approx 5,22 \text{ m.} \end{aligned}$$

8 pav. Spindulio skaičiavimas

Norint sudaryti baliono kilimo aukščio ir pagreičio priklausomybės nuo laiko grafikus, pirma turime susirasti kelio ir laiko formules.

Turint baliono pagreitį, pasinaudodami viena iš kelio formulių surandame baliono kilimo laiką pasinaudodami kelio formule (6) :

$$s = \frac{at^2}{2} \text{ (6)}$$

Iš kelio formulės išsireiškiame laiką ir taip galime susiskaičiuoti visą baliono kilimo laiką (7):

$$t = \sqrt{\frac{2s}{a}} \quad (7)$$

Susidarome įvairių fizikinių dydžių priklausomybės nuo kilimo aukščio lentelę pagal interneto svetainės šaltinių duomenis.

3 lentelė Skaiciavimo duomenys

Dujų tankis, $\text{kg/m}^3$	Kilimo aukštis, m	Temperatūra, K	Baliono tūris, $\text{m}^3$	Archimedo jėga, N	Sunkio jėga, N	Laisvojo kritimo pagreitis, $\text{m/s}^2$	Atmosferos slėgis, Pa
0,1692	0	288	8,713	104,599	104,1152	9,8	101325
0,113	4000	262	13,02	104,491	104,0278	9,7943	61707
0,0572	10000	223	25,82	104,373	103,87	9,7759	26547
0,0431	12000	216	34,22	104,2068	103,726	9,7634	19353
0,0169	18000	216	87,7	104,01	103,61	9,7451	7599
$8,94 \cdot 10^{-3}$	22000	218	165,58	103,947564	103,46	9,733	4053
$6,42 \cdot 10^{-3}$	24000	220	227,27	103,6786	103,10514	9,7269	2938
$4,8 \cdot 10^{-3}$	26000	222	311,86	103,9825	103,4887	9,7209	2229
$3,48 \cdot 10^{-3}$	28000	224	425,53	103,729	103,244	9,7118	1621
$2,54 \cdot 10^{-3}$	30000	227	595,15	104,07	104,05	9,7088	1200

Iš turimų duomenų pasiskaičiuojame pagreitį kiekviename aukštyje pagal  $F=ma$  formulę (8) ir sudarome grafiką.

$$a = \frac{F}{m} \quad (8)$$

4 lentelė Pagreičio priklausomybė nuo kilimo aukščio

Pagreitis, $\text{m/s}^2$	Kilimo aukštis, m	Baliono dujų masė, kg	Visa baliono masė, kg (9,15 kg + dujų masė)
0,04553	0	1,47423	10,624
0,04364	4000	1,47126	10,6216
0,04733	10000	1,476	10,626
0,04525	12000	1,474	10,624
0,037621	18000	1,48213	10,63213
0,04586	22000	1,48	10,63
0,0541	24000	1,45	10,6
0,0463	26000	1,496	10,646
0,0456221	28000	1,4808	10,6308

0,00187	30000	1,511,51	10,66
---------	-------	----------	-------

5 lentelė Pagreičio ir kilimo aukščio priklausomybė nuo laiko

Pagreitis, m/s <sup>2</sup>	Laikas, s	Kilimo aukštis, m
0,04553	0	0
0,04364	423,59	4000
0,04733	1086,69	10000
0,04525	1806,74	12000
0,037621	2738,85	18000
0,04586	3765,56	22000
0,0541	4745,55	24000
0,0463	5763,32	26000
0,0456221	6867,14	28000
0,00187	8456,71	30000

Žinodami pagreitį ir laiką iš kelio formulės galime rasti tikslų laiko tarpą (9) kada buvo minimas pagreitis.

$$t = \sqrt{\frac{2s}{a}} \quad (9)$$

Apskaičiavę kiekvieno intervalo kylimo laiką ir visus sudėję, galūtinai gavome, jog kylimo laikas bus 8457 sekundės arba apytiksliai 2 valandos ir 21 minutės.

Visus šiuos duomenis sutraukiame ir nubraižome kylimo aukščio priklausomybės nuo laiko bei kylimo pagreičio priklausomybės nuo laiko grafikus.



9 pav. Kylimo aukščio priklausomybė nuo laiko



10 pav. Kylimo pagreičio priklausomybė nuo laiko grafikas

## **6. Išvados**

### **Pagrindiniai gautieji rezultatai:**

- Baliono tūris - 595,1 m<sup>3</sup>.
- Baliono helio masė – 1,51 kg.
- Kilimo aukščio laikas – 8457 sekundės.

### **Svarbiausi rezultatai:**

Mūsų grupė sėkmingai suprojektavo aerostatą galinti pakilti į 30km aukštį, kuris naudoja helio dujas. Apskaičiuoti duomenys gali skirtis nuo realiųjų, nes atsiranda skaičiavimo paklaidos, baliono modeliai, kitų dujų naudojimas ir t.t.

### **Mokymosi rezultatai:**

Atlikdami aerostato modeliavimo PBL užduotį plačiau panagrinėjome savo fizikos termodinamikos žinias, susipažinome su aerostato veikimu ir jo pagrindiniais fizikiniais procesais, kurie leidžia balionui pakilti aukštyn naudojant dujas, o ne kurą.

## Literatūros sąrašas

### Knygos, vadovėliai:

1. E-kursas Moodle sistemoje.
2. BYRNE, T. Hot Air Balloons. *Investigating: Australian Primary & Junior Science Journal*, 2001, vol. 17, no. 1. pp. 16-22 ISSN 0815-9602.

### Elektroniniai leidiniai:

1. <https://www.naa.edu/aerostat/>
2. <https://news.mongabay.com/2016/03/a-beginners-guide-to-aerostats/>
3. <https://ehne.fr/en/encyclopedia/themes/material-civilization/material-modernityies-europe-in-expansion/origins-aerostat-1780s>
4. <https://de2.lt/naudinga-informacija/lentel%C4%97s/2336-oro-sl%C4%97gis,-tankis-ir-temperat%C5%ABra-auk%C5%A1tyje>
5. [https://totex.info/hinmoku\\_kikyu\\_e.html](https://totex.info/hinmoku_kikyu_e.html)
6. [http://www.glory.lt/glory\\_1.php](http://www.glory.lt/glory_1.php)
7. <http://www.glory.lt/index.php>