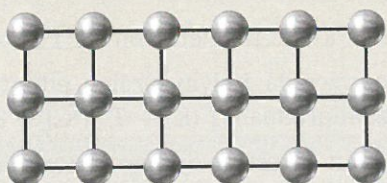


## Fisika eta Kimika

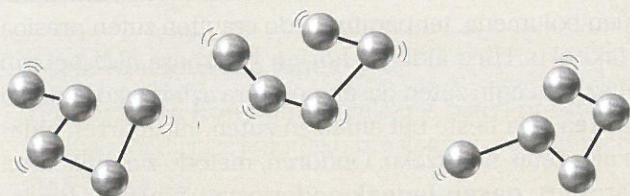
### Materiaren egoera

Materiaren teoria atomiko-molekularraren arabera, etengabe mugitzen ari diren partikulek osatzen dute materia, hura edozein egoeratan dagoela ere:

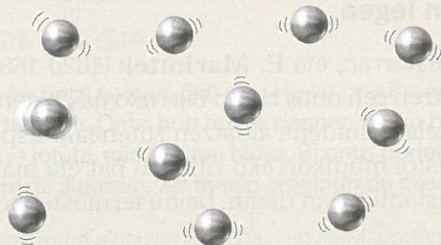
- **Solido**-egoeran, partikulek bibrazio-mugimendu txiki bat egiten dute oreka-puntu baten inguruan.



- **Likido** baten partikulek bibrazio-mugimendu handiagoa dute solido batenek baino.



- **Gas** baten partikulak, berriz, askatasun osoz mugitzen dira.



### Gasen portaera

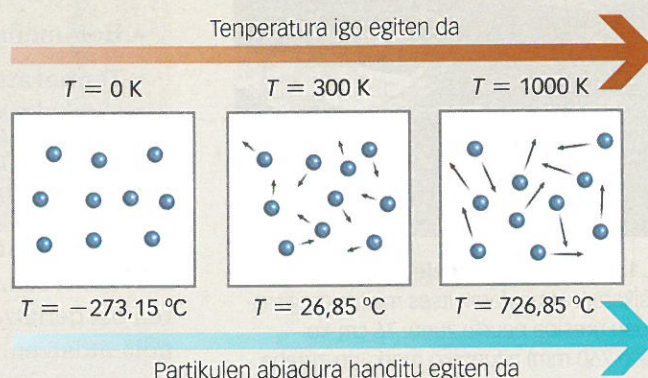
Gasen portaera azaltzeko, zientzialariek **teoria zinetikoa** asmatu zuten. Gasei dagokionez, teoria zinetikoak hau adierazten du:

- Gasak oso **partikula** txikiz osatuta daude. Partikula horiek etengabe mugitzen dira, eta **talka** egiten dute elkarrekin eta ontziaren hormekin. Talka horiek **elastikoak** dira; alegia, partikulen norabidea aldatzen da, baina ez haien abiadura.
- Gasek barruan dituzten ontzien **bolumen** osoa hartzen dute.
- Gasek **presioa** egiten diete barruan dituzten ontzien hormei. Presio hori gasaren partikulen eta hormen arteko talken ondorio da.
- Zenbat eta **bizkorrago** mugitu gasaren partikulak, **orduan eta handiagoa da tenperatura**.

### Teoria zinetikoa eta tenperatura

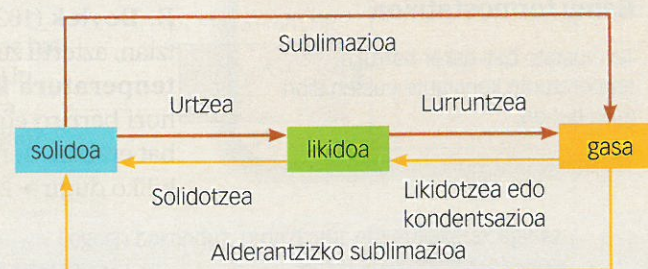
Materiari dagokionez, teoria zinetikoak azaltzen du substantzia baten tenperatura handiagoa dela zenbat eta azkarago mugitu haren partikulak.

Partikulak motelago mugitzen badira, tenperatura jaitsi egiten da.



### Egoera-aldaketak

Materia egoera batetik bestera igaro daiteke beroa hartzen edo galtzen duenean. Egoeraz aldatzen dela esaten da. Egoera-aldaketak irauten duen bitartean, tenperatura ez da aldatzen.



### PRAKTIKATU

3. Gasen forma aldakorra dela esaten da. Zer esan nahi du horrek?
4. Zeren arabera aldatzen da gas baten tenperatura, teoria zinetikoaren arabera?
5. Zergatik usaindu dezakegu gela bateko beste aldean dagoen pertsona baten lurrina?
6. Teoria zinetikoaren arabera, zer gertatzen da  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -an dagoen ura eta  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ -an dagoen izotza elkartzen baditugu? Zer energia-truke gertatuko dira?





**2.1. irudia.** E. Torricelli (1608-1647) fisikariak atmosferak itsas mailan eragiten duen presioa neurtu zuen. 76 cm-ko (edo 760 mm) altuerako merkurio-zutabe batek eragiten duen presio bera zela ohartu zen.

## BA OTE DAKIZU?

### Bainu termostatikoa

Termostato bati esker barruko tenperaturari konstante eusten dion gailu bat da.

## 1 Gasen legeak

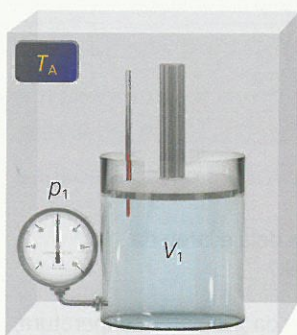
Naturan, substantzia asko gas-egoeran daude, hala nola airea, gas naturala eta karbono dioxidoa. Zaila da ontzi baten barruan zenbat gas dagoen zuzenean neurtzea; hori dela eta, zeharka kalkulatzen da. Horretarako, ontziaren **bolumena**, gasaren **temperatura** eta eragiten duen **presioa** neurtu behar dira.

- **Bolumena**  $m^3$ -tan (SI), L-tan edo mL-tan neurtzen da.  $1 m^3 = 10^3 L$ .
- **Temperatura** K-etan (SI) neurtzen da, Kelvin eskalan, edo  $^{\circ}C$ -tan, Celsius eskalan edo eskala zentigraduan.  $T (K) = T' (^{\circ}C) + 273 K$ .
- **Presioa** Pa-etan (SI) –pascaletan– neurtzen da, edo atmosferatan edo mm merkuriotan.  $1 atm = 1,013 \cdot 10^5 Pa$ ;  $1 atm = 760 mm Hg$ .

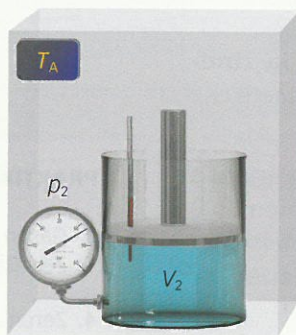
XVII. mendean, gasen portaera aztertzen hasi ziren zientzialariak, aldaketaren bat gertatzean haien bolumena, temperatura edo eragiten zuten presioa nola aldatzen ziren jakiteko. Hiru aldagai horien bilakaera aldi berean aztertzea oso zaila denez, hau egin zuten gasen portaera aztertzeko: aldagai horietako bat **konstantea** zela beste bat aldatzen zuten, hirugarren aldaian gertatzen ziren aldaketak neurtzeko. Ondoren, metodo zientifikoaren prozedura zorrotzei jarraituz, **gasen legeak** ondorioztatu zituzten: Boyle-Mariotteren legea, Gay-Lussacen legea eta Charlesen legea.

### 1.1. Boyle-Mariotteren legea

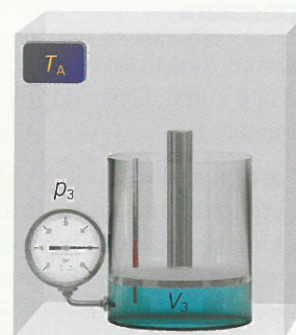
**R. Boylek** (1627-1691), Ingalaterran, eta **E. Mariottek** (1620-1684), Frantzia, aztertu zuten nola aldatzen zen ontzi baten barruko gas baten presioa, **temperatura konstantea** zela bolumena aldatzen zutenean. Esperientzia hori berriro egin daiteke, pistoi mugikorrekoko zilindro bat eta manometro bat erabiliz. Temperatura konstantea izan dadin, bainu termostatiko bat erabiliko dugu (► 2.2. irudia).



Zilindroa bainuan sartuko dugu tenperatura jakin batean ( $T_A$ ), eta gasaren presioa ( $p_1$ ) eta bolumena ( $V_1$ ) idatziko.



Temperatura aldatu gabe, bolumena ( $V_2$ ) txikitu eta presioa ( $p_2$ ) neurtuko dugu. Bi balioak idatziko ditugu.



Temperatura berean, bolumena ( $V_3$ ) berriro txikitu eta presioa ( $p_3$ ) neurtuko dugu. Bi balioak idatziko ditugu.

**2.2. irudia.** Boyle-Mariotteren esperimientua.

Gas baten temperatura konstantea bada, zenbat eta txikiagoa izan bolumena, orduan eta presio handiagoa eragingo du.  $T_A = kte.$ ;  $V_1 > V_2 \Rightarrow p_1 < p_2$ . Bainuaren temperatura ( $T_B$ ) aldatu eta berriro egingo dugu esperimientua. Antzeko emaitzak lortuko ditugu, baina zenbakizko balio desberdinekin.



Taula honetan, bi esperimentuetan erregistratutako balioak adierazita daude. Ondoa (► 2.3. irudia), balio horiei dagokien grafikoa dago.

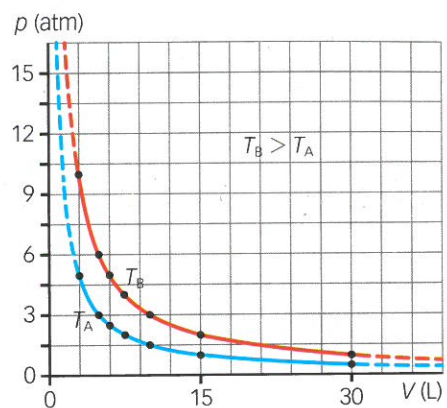
A esperimentua, a $T_A$			B esperimentua, a $T_B$		
V(L)	p (atm)	$p \cdot V$	V(L)	p (atm)	$p \cdot V$
30	0,5	15	30	1	30
15	1,0	15	15	2	30
10	1,5	15	10	3	30
7,5	2,0	15	7,5	4	30
6,0	2,5	15	6,0	5	30
5,0	3,0	15	5,0	6	30
3,0	5,0	15	3,0	10	30

Emaitzek jakitera ematen dutenez, aldagaiak biderkatzean zenbaki konstante bat lortzen dugu. Eskuinaldean (► 2.3. irudia) ikus daiteke temperatura konstantea izanda gas baten presioa eta bolumena **alderantziz proportzionalak** direla.

### Boyle-Mariotteren legea

**Temperatura konstantea** dela gas baten presioa eta bolumena aldatzen badira, eragindako presioaren eta bolumenaren biderkadura konstantea da:

$$p \cdot V = \text{kte.}; \text{ edo beste modu batean idatzita: } p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$



**2.3. irudia.** Bolumena txikitzean, presioa handitu egiten da, eta alderantziz. Matematikoki,  $p \cdot V = \text{kte.}$  dela esan daiteke. Konstantearen balioa temperaturaren arabera da.

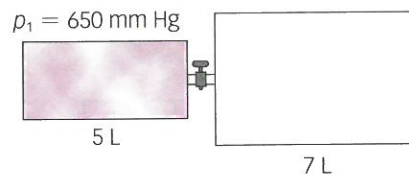
### ADIBIDE EBATZIA

- 2 5 L-ko ontzi batean, 650 mm Hg-ko presioa eragiten duen gas bat sartu dugu. Ontzi hori hutsik dagoen 7 L-ko beste ontzi batekin dago lotuta, giltza baten bidez. Bi ontzi horietako temperatura ez bada aldatzen, zer presio eragingo du gasak giltza irekitzean?

Temperatura aldatzen ez denez, Boyle-Mariotteren legea beteko da:  $p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$

Kontuan izan behar duzu giltza ireki ondoren gasa bi ontzietan banatuko dela:

$$V_2 = 5 \text{ L} + 7 \text{ L} = 12 \text{ L}$$

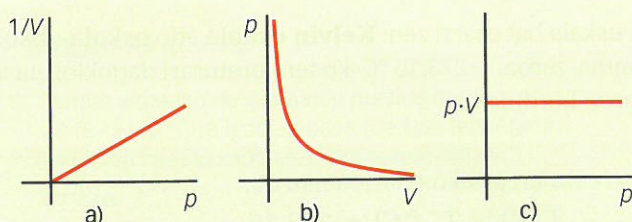


Legean bakanduz, ordezkatzuz eta eragiketaz eginuz:

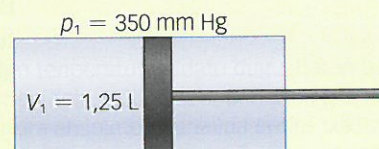
$$p_2 = \frac{V_1}{V_2} \cdot p_1 = \frac{5 \cancel{\text{L}}}{12 \cancel{\text{L}}} \cdot 650 \text{ mm Hg} = \mathbf{270,8 \text{ mm Hg}}$$

### JARDUERAK

7. Esan grafiko hauetatik zeinek adierazten duen gas baten presioaren aldaketa, temperatura konstantea dela ontziaren bolumena aldatzen bada.



8. Pistoi mugikorrek zilindro batean, 30 °C-an dagoen gas bat daukagu. Gas horrek 350 mm Hg-ko presioa eragiten du zilindroaren bolumena 1,25 L denean. Zer presio eragingo du gasak bolumena 250 cm<sup>3</sup>-koa bada, temperatura konstantea dela kontuan hartuta?



Emaitza: 1750 mm Hg





Esperimentu horietako datuak berriro idazten baditugu, baina tenperatura kelvintan adierazita, eta grafikoa berriro egiten badugu, hau izango dugu:

A esperimentua, $V_A$				B esperimentua, $V_B$				C esperimentua, $V_C$			
$T$ (°C)	$T$ (K)	$p$ (atm)	$p/T$	$T$ (°C)	$T$ (K)	$p$ (atm)	$p/T$	$T$ (°C)	$T$ (K)	$p$ (atm)	$p/T$
-73	200	0,5	$2,5 \cdot 10^{-3}$	60	333	0,5	$1,5 \cdot 10^{-3}$	-130	143	0,5	$3,5 \cdot 10^{-3}$
47	320	0,8	$2,5 \cdot 10^{-3}$	260	533	0,8	$1,5 \cdot 10^{-3}$	-44	228	0,8	$3,5 \cdot 10^{-3}$
127	400	1,0	$2,5 \cdot 10^{-3}$	394	667	1,0	$1,5 \cdot 10^{-3}$	13	286	1,0	$3,5 \cdot 10^{-3}$
247	520	1,3	$2,5 \cdot 10^{-3}$	594	867	1,3	$1,5 \cdot 10^{-3}$	98	371	1,3	$3,5 \cdot 10^{-3}$
327	600	1,5	$2,5 \cdot 10^{-3}$	727	1.000	1,5	$1,5 \cdot 10^{-3}$	156	429	1,5	$3,5 \cdot 10^{-3}$

Gasaren presioaren eta tenperatura erlatiboaren arteko erlazioa grafiko bidez adieraztean (► 2.6. irudia), koordenatu-puntutik (0 K, 0 atm) igarotzen den zuzen bat lortuko dugu. Matematikoki, **zuzeneko proportzionaltasun** bati dago-kio, hots, gai independenterik ez duen ekuazioko zuzen bati:

$$y = m \cdot x + n; \quad \text{eta hor, } n = 0$$

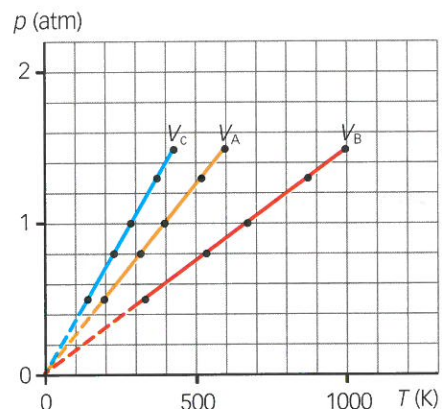
$$y = m \cdot x$$

Gure kasuan,  $p = y$  da, eta  $T = x$ . Eskuinaldeko grafikotik (► 2.6. irudia) ondorioztatzen den lege matematikoa hau da:

$$\frac{p}{T} = \text{kte.}$$

**Gay-Lussacen legea. Bolumena konstantea** dela gas batek eraldaketak izaten baditu, presioaren eta tenperatura absolutuaren zatidura konstantea da.

$$\frac{p}{T} = \text{kte.}; \quad \text{beste modu batean idatzita: } \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$



**2.6. irudia.** Bolumena konstantea dela gas bat aldatzen bada, eragiten duen presioa tenperatura absolutuarekiko zuzenki proportzionala da. Zuzenaren malda ( $p/T$ ) bolumenaren araberakoa da.

### ADIBIDE EBATZIA

- 3** 500 mL-ko bonbona batean dagoen gasak 850 mm Hg-ko presioa eragiten du 80 °C-an dagoenean. Zer tenperaturaino berotu dezakegu presioa halako bi izan gabe?

Gasak aldatetak izango ditu bolumen konstantean; izan ere, bonbonaren barruan mugatuta baitago. Beraz, Gay-Lussacen legea bete behar da.

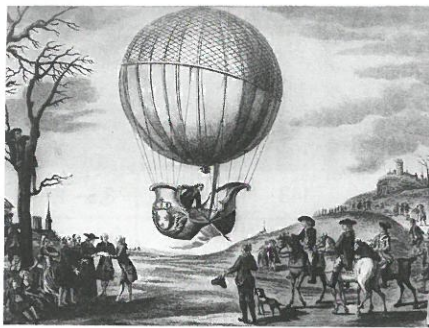
$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}; \quad \text{bakanduko dugu: } T_2 = \frac{p_2}{p_1} \cdot T_1 = \frac{2 \cdot p_1}{p_1} \cdot T_1$$

$$T_2 = 2 \cdot (80 + 273) \text{ K} = 2 \cdot 353 \text{ K} = 706 \text{ K} = \mathbf{433 \text{ }^\circ\text{C}}$$

### JARDUERAK

- 9.** Zenbat aldatuko da gas baten presioa haren tenperatura 20 °C-tik 40 °C-ra igotzen bada (Celsius tenperatura bikoizten bada), bolumena konstantea dela?
- Eraitza:**  $p_2/p_1 = 1,07$
- 10.** Gas baten tenperatura aldatu dugu, haren bolumena konstantea dela. Nola aldatu behar du gas horren tenperatura absolutuak presioa erdira txikitzeko? Gasaren Celsius tenperatura ere proportzio berean aldatuko al da?





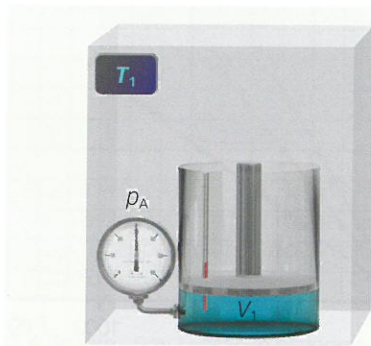
**2.7. irudia.** J. A. Charlesek 1783an globo batean egindako igoera erakusten duen grabatua. Charlesek berak Montgolfier anaien asmakizuna hobetu zuen, airearen ordez **hidrogenoa** erabilita.

### 1.3. Charlesen legea

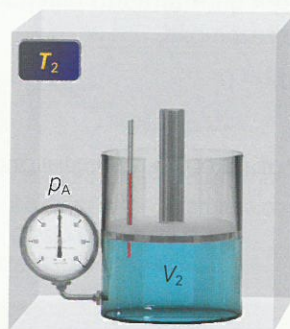
J. A. Charlesek (1746-1823) gas baten bolumenean zer aldaketa gertatzen ziren aztertu zuen; horretarako, tenperatura aldatu eta **presioari konstante** eutsi zion.

Bere ikerketetan, globo aerostatikoak erabili zituen neurketak egiteko. Ohartu zen, globo aerostatikoaren inguruko airearen presioa aldatzen ezenez, barruko airea berotu behar zuela, haren bolumena handitzeko eta globoaren igoera kontrolatzeko; jaitsiera kontrolatzeko, berriz, beharrezkoa zen globoaren barruko airea hoztea (► 2.7. irudia).

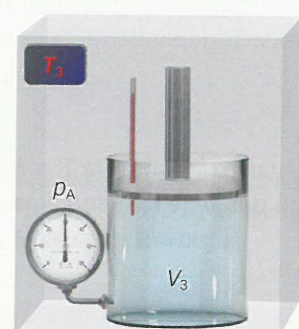
Charlesek egindakoen antzeko esperimenduak egin ditzakegu, pistoi mugikorra duen zilindro bat eta presioa neurtzeko manometro bat erabiliz, presioari konstante eutsi behar zaiola kontuan hartuta (► 2.8. irudia). Zilindroa zenbait tenperaturatan berotuko dugu.



Manometroak  $p_A$  adierazten du. Zilindroa bainuan sartuko dugu  $T_1$  tenperaturan, eta  $V_1$  bolumenaren balioa idatziko dugu.



Bainua  $T_2$  tenperaturaraino berotuko dugu. Bolumenak  $V_2$  izan behar du, manometroak  $p_A$  adierazten jarrai dezan.



Temperatura berriro igoko dugu ( $T_3$ ). Bolumena ere aldatu behar dugu ( $V_3$ ), manometroak  $p_A$  adierazten jarrai dezan. Datuak idatziko ditugu.

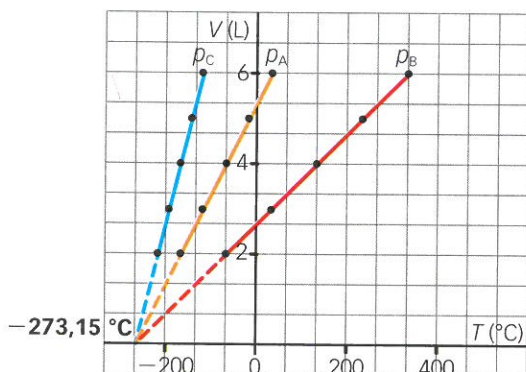
### 2.8. irudia.

 Charlesen esperimentua.

Gasaren presioa konstantea izan dadin, ontziaren bolumena handitu behar da tenperatura igo ahala:  $p = kte.$ ;  $T_1 < T_2 \Rightarrow V_1 < V_2$ .

Esperimentua berriro egingo dugu, presioaren beste balio batzuk erabilita ( $p_B$ ,  $p_C$ , etab.). Antzeko emaitzak lortuko ditugu, baina zenbakizko balioak desberdinak izango dira.

Esperimentua hiru aldiz egin eta taula honetan adierazi ditugu haietan lortutako datuak. Ezkerraldean (► 2.9. irudia), balio horien grafikoak daude.



**2.9. irudia.** Tenperatura igotzean, bolumena handitu egiten da; eta tenperatura jaistean, bolumena txikitzen da.

A esperimentua, $p_A$		B esperimentua, $p_B$		C esperimentua, $p_C$	
$T$ (°C)	$V$ (L)	$T$ (°C)	$V$ (L)	$T$ (°C)	$V$ (L)
-173	2	-73	2	-223	2
-123	3	27	3	-198	3
-73	4	127	4	-173	4
-23	5	227	5	-148	5
27	6	327	6	-123	6

Emaitzek agerian uzten dutenaren arabera, gas baten bolumena eta tenperatura **zuzenki proportzionalak** dira presio konstantean. Konturatu tenperatura jaistean bolumena proportzio berean txikitzen dela eta kasu guztietan zerora jotzen duela, tenperatura  $-273,15$  °C denean. Gay-Lussacen esperimentuak aztertu genituenean ikusi genuenez, horregatik erabiltzen da Kelvin eskala.



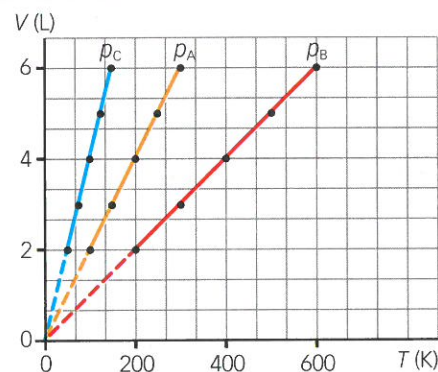
Esperimentu horietako datuak berriro idatziko ditugu, baina temperatura eskala absolutuan adierazita, eta berriro egingo dugu grafikoa (► 2.10. irudia). **Zuzeneko proportzionaltasuna** dagoela ikus daiteke.

A esperimentua, $p_A$				B esperimentua, $p_B$				C esperimentua, $p_C$			
$T$ (°C)	$T$ (K)	$V$ (L)	$V/T$	$T$ (°C)	$T$ (K)	$V$ (L)	$V/T$	$T$ (°C)	$T$ (K)	$V$ (L)	$V/T$
-173	100	2	0,02	-73	200	2	0,01	-223	50	2	0,04
-123	150	3	0,02	27	300	3	0,01	-198	75	3	0,04
-73	200	4	0,02	127	400	4	0,01	-173	100	4	0,04
-23	250	5	0,02	227	500	5	0,01	-148	125	5	0,04
27	300	6	0,02	327	600	6	0,01	-123	150	6	0,04

**Charlesen legea** edo Charlesen eta Gay-Lussacen legea:

**Presio konstantean** gas batek eraldaketak izaten dituenean, haren bolumenaren eta temperatura absolutuaren zatidura konstantea da.

$$\frac{V}{T} = \text{kte.}; \text{ honela ere idatz daiteke: } \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$



**2.10. irudia.** Esperimentua egiteko edozein presio aukeratu dela ere, gasaren bolumenaren eta Kelvin tenperaturaren arteko erlazioaren adierazpen grafikoa zero absolututik igarotzen den lerro bat izango da.

**ADIBIDE EBATZIA**

- 4 Pistoi mugikorrek zilindro batean, 90 °C-ko temperatura duenean 1,2 L-ko bolumena duen gas bat dago. Zer temperatura izango du gas horrek, pistoia jaitsi eta zilindroaren barruko bolumena 750 cm<sup>3</sup> bada? Gasaren presioa ez da aldatzen; 1,5 atm-koa da prozesu osoan.

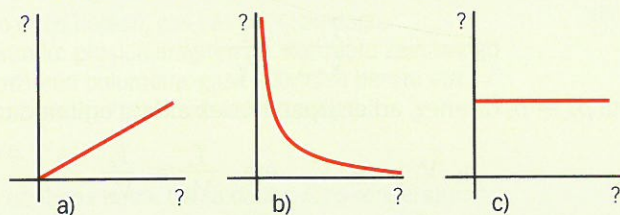
Presio konstantean, aldatetak gertatzen dira gasean; hortaz, Charlesen legea bete behar da:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}; \text{ bakanduz eta ordezkatur: } T_2 = \frac{V_2}{V_1} \cdot T_1 = \frac{0,75 \cancel{\text{L}}}{1,2 \cancel{\text{L}}} \cdot (90 + 273)\text{K}$$

$$T_2 = 226,9 \text{ K} = -46,1 \text{ °C}$$

**JARDUERAK**

11. Hiru grafiko horiek gas baten bolumenaren eta tenperaturaren arteko erlazioa adieraz dezakete, gas horrek presio konstantean eraldaketak izaten dituenean. Esan zer magnitude adierazi behar den ardatz bakoitzean.



12. Pistoi mugikorrek ontzi batean (ikus irudia), gas kantitate jakin bat daukagu. 10 °C-an dagoenean, 500 mL-ko bolumena du. Zer bolumen izango du gas horrek -10 °C-an, presioa aldatzen ez bada?

Emaitza: 465 mL



$T_1 = 10 \text{ °C}$   
 $V_1 = 500 \text{ mL}$   
 ↓  $p = \text{kte.}$   
 $T_2 = -10 \text{ °C}$   
 $V_2 = ?$



## BA OTE DAKIZU?

### Zer dira gas idealak?

Boyle-Mariotteren, Gay-Lussacen eta Charlesen legeak betetzen dituzten gasak dira gas idealak.

Esate baterako, hidrogenoa, oxigenoa, nitrogenoa eta karbono dioxidoa gas idealak dira giro-temperaturan.

Irakite-puntutik hurbileko temperaturan gas-egoeran dauden substantziak ez dira gas idealtzat hartzen. Adibidez, 105 °C-an, ur-lurruna ez da gas ideal bat.

**2.11. irudia.** Gasa **hasierako 1. egoera** batetik **amaierako 2. egoera** batera igarotzen da, eta prozesu horretan, presio, bolumen eta temperaturaren balioak aldatu egiten dira. Aldaketa bi urratsetan egiten da: lehena, temperatura konstantean, eta bigarrena, presio konstantean.

## Gogoratu

Gas idealen ekuazio orokorretik, ikasi ditugun gasen legeak ondoriozta daitezke.

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

- Eraldaketak  $T = \text{kte.}$  dela (Boyle-Mariotteren legea). Horrek esan nahi du  $T_1 = T_2$  dela:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \Rightarrow p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

- Eraldaketak  $V = \text{kte.}$  dela (Gay-Lussacen legea). Horrek esan nahi du  $V_1 = V_2$  dela:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

- Eraldaketak  $p = \text{kte.}$  dela (Charlesen legea). Horrek esan nahi du  $p_1 = p_2$  dela:

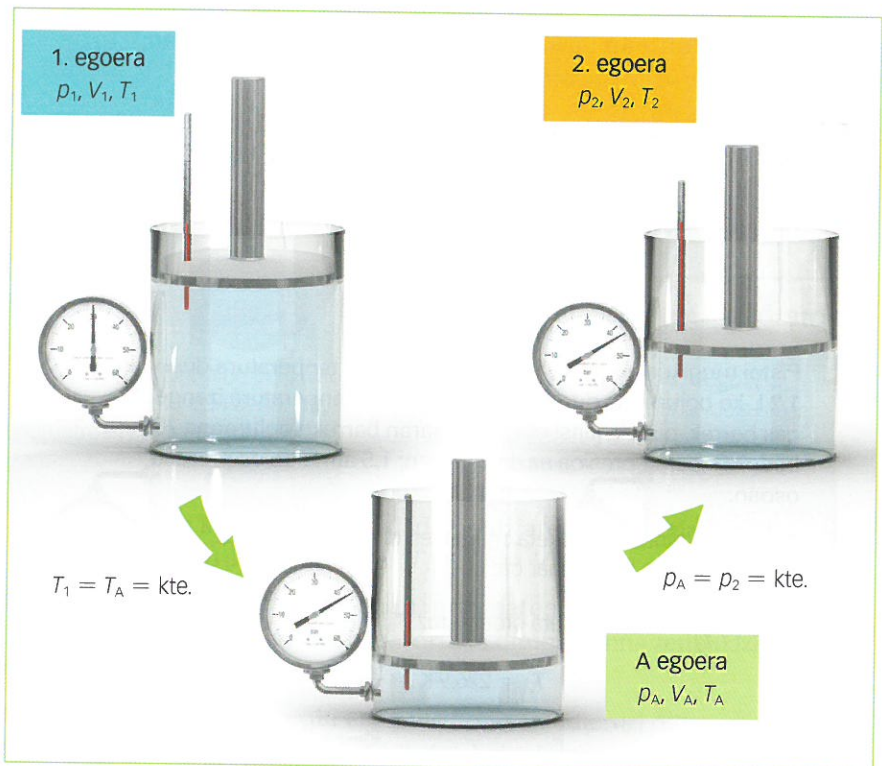
$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

## 1.4. Gas idealen ekuazio orokorra

Askotan, gas batek eraldaketa bat izaten duenean, haren hiru magnitudeak aldatzen dira. Aurreko hiru legeak konbinatuz gero, lotura bat aurkituko dugu gas batek hasieran eta amaieran dituen presioaren, bolumenaren eta temperaturaren artean.

Demagun gas bat **hasierako egoera** batean (1) dagoela, eraldaketa bat izaten duela, eta horren ondorioz, **amaierako egoera** batera (2) igarotzen dela. Hasiera batean, eraldaketa horretan, gasaren presioa eta temperatura alda daitezke, eta ontziaren bolumena ere bai.

Magnitudeen arteko erlazioak ezartzeko, demagun gasa ez dela 1. egoeratik 2. egoerara zuzenean igarotzen, **A tarteko egoera** baten bidez baizik. 1 eta A egoeren arteko eraldaketa temperatura konstantean gertatzen da, eta A eta 2. egoeren artekoa, berriz, presio konstantean (► 2.11. irudia).



1 eta A arteko eraldaketa:  $T_1 = T_A = \text{kte.}$  Boyle-Mariotteren legea betetzen da:

$$p_1 \cdot V_1 = p_A \cdot V_A$$

A eta 2 arteko eraldaketa:  $p_A = p_2 = \text{kte.}$  Charlesen legea betetzen da:

$$\frac{T_A}{V_A} = \frac{T_2}{V_2}$$

$T_1 = T_A$  eta  $p_A = p_2$  direnez, adierazpen horiek aldatu egiten dira:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_A \quad \text{eta} \quad \frac{T_1}{V_A} = \frac{T_2}{V_2}$$

Bi adierazpenetan  $V_A$  bakandu, eta berdindu egingo ditugu adierazpenak:

$$V_A = \frac{p_1 \cdot V_1}{p_2}, \quad V_A = \frac{T_1 \cdot V_2}{T_2}$$

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{p_2} = \frac{T_1 \cdot V_2}{T_2}$$