

Bibl. Sem. Phil. S.J.  
Prov. Neerl.

NATUURKUNDIGE

# VRAAGSTUKKEN

MET

VOORBEELDEN VAN OPLOSSING

DOOR

DR. J. SCHÜNGEL,

Leeraar aan de Rijk's Hoogere Burgerschool en het Gymnasium te 's-Hertogenbosch.

TWEEDE DEEL.



's-HERTOGENBOSCH,

FIRMA ROBIJNS & Co.

1898.

W

m XI

32.3.  
c

NATUURKUNDIGE  
VRAAGSTUKKEN

MET

VOORBEEDEN VAN OPLOSSING

DOOR

DR. J. SCHÜNGEL,

Leeraar aan de Rijks Hoogere Burgerschool en het Gymnasium te 's-Hertogenbosch.

Bibl. Sem. Phil. S  
Prov. Neerl.

TWEEDE DEEL.

W  
—  
m x +  
—  
—  
—  
32



3870  
—  
2167-2  
—  
O

's-HERTOGENBOSCH,  
FIRMA ROBIJNS & Co.  
1898.

## XV. Geluid.

**233.** Een materieel punt (massa = 0,25 G), dat om zijn evenwichtsstand elastische trillingen kan volbrengen, kan door eene kracht van 25 G op 0,4 cM afstand van den evenwichtsstand gebracht worden. Men geeft aan dit punt eene uitwijking van 1 cM en laat het vervolgens los. *a)* Hoeveel bedraagt het aantal trillingen per seconde? *b)* Hoe groot is de snelheid van het punt op een afstand van 0,5 cM van den evenwichtsstand? Men stelle de versnelling der zwaartekracht = 1000 kines per sec.

**234.** Teeken de grafische voorstelling eener trilling, die samengesteld is uit drie enkelvoudige trillingen, die langs dezelfde lijn plaats hebben, indien de trillingstijden zich verhouden als 3 : 2 : 1, en de amplituden als 20 : 5 : 3, terwijl bij het begin der beweging de trillingen in dezelfde phase verkeerden.

**235.** Teeken de figuren van Lissajous voor twee trillingen, waarvan de trillingsvlakken loodrecht op elkaar staan, waarvan de trillingsgetallen zich verhouden als 2 : 3, en waarvan de amplituden gelijk zijn. Men neme het aanvankelijk verschil in phase achtereenvolgens 0,  $\frac{2}{12}$  en  $\frac{3}{12}$ .

**236.** Teeken de figuren van Lissajous voor twee trillingen, waarvan de eene in een vertikaal, de andere in een horizontaal vlak plaats heeft, terwijl het trillingsgetal der eerste tweemaal zoo groot en hare amplitude 1,5 maal zoo groot is als bij de tweede trilling. Men neme het aanvankelijk verschil in phase achtereenvolgens  $\frac{6}{12}$ ,  $\frac{7}{12}$  en  $\frac{9}{12}$ .

**237.** Teeken de figuren van Lissajous voor twee trillingen, waarvan de trillingsvlakken een hoek van  $60^\circ$  met elkaar maken, de trillingsgetallen zich verhouden als 2 : 1 en de amplituden gelijk zijn. Men neme het aanvankelijk verschil in phase achtereenvolgens 0,  $\frac{1}{12}$  en  $\frac{3}{12}$ .

**238.** Hoe groot is de elasticiteitsmodulus van glas, als eene

glazen buis van 150 cM lengte, die als eene geheele (longitudinale) golf trilt, in de met lucht gevulde golfbuis van Kundt staande golven van 10 cM lengte voortbrengt?

Voortplantingssnelheid van trillingen in lucht = 33 300 kines.  
Dichtheid van glas = 2,5.

OPLOSSING. Aantal trillingen per sec. in de lucht

$$n = \frac{c}{l} = \frac{33300}{10} = 3330.$$

Aantal trillingen der trillingsbuis  $n = 3330$ .

Voortplantingssnelheid in glas  $c_1 = n \times l_1 = 3330 \times 150 = 499500$  kines.

Dus (form. 127):

$$499500 = \sqrt{\frac{E}{2,5}}$$

$$E = 62374 \times 10^7 \text{ (dynes).}$$

**239.** Door de trillingen eener koperen buis van 132 cM lengte, die eene geheele golf vormt, worden in de golfbuis van Kundt, die met lichtgas \*) gevuld is, knoopen op onderlinge afstanden van 10 cM gevormd. a) Hoeveel trillingen maakt de koperen buis per sec.? b) Hoe groot is de elasticiteits-coëfficiënt van koper?

Voortplantingssnelheid eener trilling in lucht = 34 000 kines.

Dichtheid van lichtgas met betrekking tot lucht = 0,36.

Dichtheid van koper = 8,5.

**240.** Door een stalen buis van 120 cM lengte, die als geheele golf trilt, worden in eene met lichtgas gevulde golfbuis staande golven voortgebracht. Hoe groot is in de golfbuis de afstand van twee op elkaar volgende knoopen?

Elasticiteits-coëfficiënt van staal =  $5\,916 \times 10^{10}$  (C. G. S. eenh.).

Dichtheid van staal = 7,8.

Voortplantingssnelheid van trillingen in lucht = 33 270 kines.

Dichtheid van lichtgas met betrekking tot lucht = 0,36.

**241.** Een glazen trillingsbuis van 150 cM lengte, die eene geheele staande golf vormt, brengt in eene Kundt'sche, met

---

\*) Als de factor van Laplace niet gegeven is, neme men aan, dat hij voor alle gassen een groot is als voor lucht.



lucht van  $0^\circ$  gevulde golfbuis staande golven voort, zóo dat de afstand van twee op elkaar volgende knoopen 5 cM is. Hoe hoog moet de temperatuur der lucht in de golfbuis zijn, als men daarin dezelfde golflengte wil verkrijgen door eene glazen trillingsbuis van 120 cM lengte?

De dichtheid van een gas bij  $t^\circ$  wordt voorgesteld door

$$D_t = \frac{D_0}{1 + \frac{1}{273} \times t} \quad (\S 514, 2).$$

OPLOSSING. Voor de beide trillingsbuizen heeft men:

$$c = n_1 l_1 \text{ en } c = n_2 l_2$$

$$\text{dus: } n_1 : n_2 = l_2 : l_1$$

$$n_1 : n_2 = 120 : 150.$$

De golflengte in de lucht der trillingsbuis is  $\lambda = 2 \times 5 = 10$  cM.

Men heeft dus voor de lucht bij  $0^\circ$  en bij  $t^\circ$

$$c_0 = n_1 \lambda \text{ en } c_t = n_2 \lambda$$

$$c_0 : c_t = n_1 : n_2 = 120 : 150.$$

Of volgens form. 132:

$$1 : \sqrt{1 + \frac{1}{273} t} = 120 : 150$$

$$t = 153^\circ, 56.$$

242. Een glazen buis, waarin men een weinig van een licht poeder gebracht en waarvan men de uiteinden door lichte kurken gesloten heeft, kan tegelijk als trillingsbuis en als golfbuis dienen. De buis is lang 120 cM; zij wordt in het midden vastgehouden en door strijken aan het trillen gebracht. Bij eene temperatuur van  $0^\circ$  worden in de lucht binnen de buis 16 halve golven gevormd. a) Hoe groot is het aantal trillingen der buis per sec.? b) Hoe groot is de voortplantingsnelheid eener longitudinale trilling in glas? c) Hoeveel halve golven zou het poeder aangewezen hebben, als de buis met koolzuurgas (van  $0^\circ$ ) gevuld was? d) Hoe groot zou de dichtheid van het gas in de buis (met betrekking tot lucht) moeten zijn, om daarin 12 halve golven te verkrijgen? e) Hoe hoog moet men de temperatuur der lucht in de buis doen stijgen, om het aantal halve golven op 18 te brengen?

Voortplantingssnelheid eener trilling in lucht van  $0^\circ = 33\,300$  kines.

Voortplantingssnelheid in koolzuur ( $0^\circ$ ) = 26 640 kines.

$\alpha = \frac{1}{273}$  (§ 514, 2).

**243.** Bij eene proef van Kundt maakt de trillingsbuis 3 330 trillingen per sec. *a)* Hoe groot is in de golfbuis de afstand van twee op elkaar volgende knoopen, als zij met lucht van  $0^\circ$  en *b)* als zij met waterstof van  $20^\circ$  gevuld is? *c)* Hoe hoog moet de temperatuur van het waterstofgas zijn, om daarin staande golven van 40 cM lengte te verkrijgen?

Voortplantingssnelheid van trillingen in lucht van  $0^\circ = 33\ 300$  kines.

Gewicht van 1 L waterstof = 0,0897 G.

Soort. gewicht van lucht = 0,0013.

$z = \frac{1}{273}$  (§ 514, 2).

**244.** Bij eene proef van Kundt was de afstand van twee op elkaar volgende knoopen in de golfbuis 5 cM, als deze met lucht, en 4,618 cM, als zij met argon van dezelfde spanning en temperatuur gevuld was. De dichtheid van argon met betrekking tot lucht is 1,38. Hoe groot is de factor van Laplace voor argon, als die voor lucht 1,41 is?

**245.** Met eene glazen trillingsbuis van 132 cM verkrijgt men in de golfbuis van Kundt knoopen op een onderlingen afstand van 4 cM; met eene koperen trillingsbuis van 110 cM wordt die afstand 5 cM. Hoe lang zou de glazen buis moeten zijn, om (longitudinaal trillende) de quint van den toon der koperen buis voort te brengen?

**246.** Als men  $\frac{10}{17}$  van de lengte eener snaar doet trillen, verkrijgt men den toon  $\bar{f}$ . De toon eener Kundt'sche trillingsbuis is even hoog als die van  $\frac{1}{17}$  van de lengte der snaar. Gevraagd de afstand van twee op elkaar volgende knoopen in de golfbuis, als deze gevuld is met een gas, waarvan de dichtheid met betrekking tot lucht 1,44 is.

Voortplantingssnelheid van trillingen in de lucht der golfbuis = 34 000 kines.

Men stelle het trillingsgetal van  $\bar{a} = 425$ .

Oplossing. Daar  $\bar{a}$  de terts van  $\bar{f}$  is, bedraagt het aantal trillingen van  $f = \frac{4}{5} \times 425 = 340$ .

Het trillingsgetal van  $\frac{10}{17}$  der snaar is dus 340. Trillingsgetal van  $\frac{1}{17}$  der snaar =  $10 \times 340 = 3400 =$  trillingsgetal der trillingsbuis.

Voor de voortplantingssnelheden in lucht ( $c_1$ ) en in het gas ( $c_2$ ) heeft men (form. 133):

$$c_l : c_g = \sqrt{D_g} : \sqrt{D_l} = \sqrt{1,44} : \sqrt{1} = 1,2 : 1.$$

$$c_g = \frac{34\,000}{1,2} \text{ kines.}$$

Golfengte in het gas  $l = \frac{c_g}{n} = \frac{3\,400}{1,2 \times 3\,400} = 8\frac{1}{3}$  cM.

Afstand van twee op elkaar volgende knoopen  $4\frac{1}{6}$  cM.

**247.** Men verdeelt de snaar van een monochord door een kam in twee deelen, zóo dat het grootste deel de quint van den toon der geheele snaar geeft. Hoe moet men de spanning der snaar wijzigen, om nu het kleinste deel dezelfde quint te doen geven?

**248.** Met lucht van  $15^\circ$  aangeblazen geeft eene opene orgelpijp den grondtoon  $e$ , met sterker verwarmde lucht den grondtoon  $f$ . Hoe hoog is de temperatuur der lucht in dit laatste geval? Hoe lang is de pijp?

Voortplantingssnelheid van het geluid in lucht van  $0^\circ = 33\,300$  kines.

$$z = \frac{1}{273} (\$ 514, 2).$$

Trillingsgetal van  $\bar{c} = 512$ .

**249.** Hoe groot is de dichtheid van een gas (met betrekking tot lucht), dat in eene fluit de quart van den toon geeft, dien lucht in die fluit zou voortbrengen?

**250.** Welk is het interval van de tonen, die eene opene pijp van 25 cM lengte voortbrengt, als ze met lucht en als ze met koolzuur aangeblazen wordt? Welke zijn de verkregen tonen?

Voortplantingssnelheid van het geluid in lucht = 34 000 kines, in koolzuur = 25 500 kines.

Men stelle het trillingsgetal van  $\bar{a} = 425$ .

**251.** Eene opene orgelpijp, die met lichtgas en eene geslotene, die met lucht wordt aangeblazen, geven denzelfden grondtoon. Hare lengten verschillen  $46\frac{2}{3}$  cM. a) Hoe lang zijn de pijpen? b) Welke is de grondtoon, als men het trillingsgetal van  $\bar{c} = 255$  stelt?

Voortplantingssnelheid van het geluid in lucht = 34 900 kines.

Dichtheid van lichtgas met betrekking tot lucht = 0,36.

**252.** Eene opene orgelpijp, 6 dM lang en met lucht gevuld, geeft, als zij aangeblazen wordt, eene reeks van tonen. De

toon, die op den grondtoon volgt, heeft een trillingsduur van  $\frac{1}{555}$  sec. Men vraagt, welke voortplantingssnelheid van het geluid in de lucht hieruit berekend wordt.

Tevens vraagt men naar de snelheid in geelkoper, als eene staaf van dat metaal, 8 dM lang en aan haar eene uiteinde vastgemaakt, longitudinaal trillende een grondtoon geeft, die de tweede hoogere octaaf is van den grondtoon der orgelpijp. (Eindex. H. B. S.)

**253.** Eene geslotene pijp, die met koolzuur aangeblazen wordt, geeft de quint van den toon eener opene pijp van 25 cM lengte, die met lucht aangeblazen wordt. a) Welke zijn de beide tonen? b) Hoe lang is de geslotene pijp?

Voortplantingssnelheid van het geluid in lucht = 34 000 kines.

Voortplantingssnelheid van het geluid in koolzuur = 25 500 kines.

Men stelle het trillingsgetal van  $a = 425$ .

**254.** De eerste boventoon eener geslotene orgelpijp, die met lucht aangeblazen wordt, is de quint van den eersten boventoon eener opene orgelpijp, die met lichtgas aangeblazen wordt. De grondtoon der opene orgelpijp maakt, met lichtgas aangeblazen, 425 trillingen. Hoe lang zijn de beide pijpen?

Voortplantingssnelheid van het geluid in lichtgas =  $56\ 666\frac{2}{3}$  kines.

Dichtheid van lichtgas met betrekking tot lucht = 0,36.

OPLOSSING. a) De golflengte van den grondtoon der opene pijp, die met gas aangeblazen wordt, is  $l = \frac{c_1}{n} = \frac{56\ 666\frac{2}{3}}{425} = 133\frac{1}{3}$  cM.

Pijplengte =  $\frac{1}{2}$  golflengte =  $66\frac{2}{3}$  cM.

b) Trillingsgetal van den eersten boventoon der opene pijp  $n_1 = 2 \times 425 = 850$ .

Trillingsgetal der quint van dezen toon  $n_2 = \frac{3}{2} n_1 = 1275 =$  trillingsgetal van den eersten boventoon der gesloten pijp.

Trillingsgetal van den grondtoon der gesloten pijp  $n_3 = \frac{1}{3} n_2 = 425$ .

Voortplantingssnelheid in lucht  $c_1 = c_2 \times \sqrt{0,36} = 34\ 000$  kines.

Golflengte van den grondtoon der gesloten pijp  $l = \frac{c_1}{n_3} = \frac{34\ 000}{425} =$

80 cM.

Pijplengte =  $\frac{1}{4}$  golflengte = 20 cM.



**255.** Eene trillingsbuis van Kundt geeft een toon, die dezelfde hoogte heeft als de toon, dien men verkrijgt, als men  $16\frac{1}{11}$  van de lengte eener stalen snaar doet trillen. Het trillingsgetal van den grondtoon der geheele snaar heeft men met de sirene bepaald. Men heeft daarvoor gebruikt eene rij van 16 openingen, en heeft, toen de tonen der sirene en der geheele snaar gelijk waren, 1800 omwentelingen in de minuut geteld.

Hoe lang is eene geslotene orgelpijp, die als tweeden toon van de reeks van tonen, die zij kan voortbrengen, denzelfden toon geeft als de trillingsbuis?

Voortplantingssnelheid van het geluid in lucht = 33 300 kines.

**256.** Eene snaar geeft, gespannen door een gewicht van 1 KG, den grondtoon  $\bar{c}$  van 512 trillingen. Hoe lang moet eene opene orgelpijp zijn, om met lichtgas aangeblazen als eersten boventoon te geven den grondtoon, dien de snaar geeft, als ze door een gewicht van 2,25 KG gespannen wordt? Welke is die toon?

Voortplantingssnelheid van het geluid in lichtgas = 51200 kines.

**257.** Hoe verhouden zich de spannende gewichten van twee even lange en even dikke stalen snaren, als de tweede harmonische toon der eene snaar dezelfde toonhoogte heeft, als de derde harmonische toon der andere snaar?

**258.** Hoe verhouden zich de dikten van twee even lange stalen snaren, die even sterk gespannen zijn, als de derde boventoon der eene snaar de quint is van den tweeden boventoon der andere?

**259.** Hoe hoog moet een met een gas van de dichtheid (met betrekking tot lucht) 1,44 gevuld cilinderglas zijn, als de gaskolom zal medetrillen met eene stemvork, die den toon  $\bar{c}$  = 256 trillingen voortbrengt? Welke zijn de andere tonen, waarmede de kolom nog kan medetrillen?

Voortplantingssnelheid van het geluid in lucht = 33 600 kines.

**260.** Men leidt een toon van 2664 trillingen in eene interferentiebuis van Quincke, waarin zich lucht van  $0^{\circ}$  bevindt. De beide helften van den toestel zijn elk 100 cM lang. Men verwarmt nu de lucht in de ééne helft van den toestel, totdat de toon geheel verdwijnt voor een oor, dat zich aan de tweede opening der buis bevindt. a) Welke temperatuur moet men



daarvoor aan de lucht geven? *b)* Hoever zou men de eene helft van den toestel moeten uittrekken, om het geluid onverzwakt te blijven hooren, nadat men aan de lucht in deze helft eene temperatuur van  $57^{\circ},33$  gegeven heeft?

Voortplantingssnelheid van het geluid in lucht van  $0^{\circ} = 33\ 000$  kines.

$$x = \frac{1}{273} (\$ 514, 2).$$

**261.** Eene opene orgelpijp, 50 cM lang, brengt, met lucht aangeblazen wordende, den tweeden toon voort van de reeks van tonen, die men met haar kan verkrijgen. Eene geslotene pijp brengt evenzoo den tweeden toon van hare reeks voort. De toon, door de gesloten pijp voortgebracht, maakt met den iets lageren toon, dien men met de opene pijp verkrijgt, 4 zwevingen per sec. Hoe groot is de trillingsduur van den grondtoon der geslotene pijp, als de voortplantingssnelheid van het geluid in de lucht op 34 000 kines wordt gesteld? (Eindex. H. B. S.)

**262.** Twee pijpen geven, met lucht aangeblazen, 6 zwevingen per sec. Hoeveel zwevingen zullen zij geven, als zij met lichtgas van de dichtheid (met betrekking tot lucht)  $= 0,36$  aangeblazen worden?

**263.** Bij een harmonium heeft men het interval der terts  $c : e$  niet geheel zuiver gestemd, zoodat men, als beide tonen te gelijker tijd voortgebracht worden, de beide boventonen  $e$  1 zweving per sec. hoort geven. Welk is het onzuivere interval der beide tonen, als de toon  $e$  iets te hoog is?

**264.** Als men op eene piano, die volgens de gelijkzwevende temperatuur gestemd is, de tonen  $c$  en  $g$  tegelijk aanslaat, hoeveel zwevingen per sec. maakt dan de gemeenschappelijke boventoon  $g$ ?

Stel het trillingsgetal van  $a = 435$ .

**265.** De grondtoon eener geslotene orgelpijp, lang 57 cM, die met lucht aangeblazen wordt, geeft met den grondtoon eener andere geslotene pijp, die met lichtgas aangeblazen wordt, in 2 sec. 15 zwevingen. Het bovenvlak der tweede pijp is een zuiger. Brengt men dezen 5 cM dichter bij den voet der pijp, dan verdwijnen de zwevingen. *a)* Hoe lang was de tweede pijp? *b)* Hoe groot is de dichtheid van het lichtgas met betrekking tot lucht?

Voortplantingssnelheid van het geluid in lucht = 34 200 kines.

**266.** Een geslotene, met koolzuur van  $0^{\circ}$  aangeblazen pijp geeft een grondtoon van 340 trillingen per sec. Eene eveneens geslotene met lucht van  $0^{\circ}$  aangeblazen pijp geeft een grondtoon, die met dien der eerste pijp 7 zwevingen per sec. maakt. Door verwarming der lucht in de tweede pijp vermindert het aantal zwevingen. *a)* Welke temperatuur moet men aan de lucht geven om de zwevingen geheel te doen verdwijnen? *b)* Hoe lang is de tweede pijp?

Voortplantingssnelheid in koolzuur van  $0^{\circ}$  = 25 500 kines.

Voortplantingssnelheid in lucht van  $0^{\circ}$  = 33 300 kines.

$$\alpha = \frac{1}{273} (\S 514,2).$$

**267.** Van twee stemvorken, wier tonen het interval eener secunde hebben, geeft elke met eene derde stemvork 10 zwevingen per sec. Hoe groot zijn de trillingsgetallen der drie stemvorken?

**268.** De draaibare schijf eener sirene maakt 32 omwentelingen per sec., en geeft twee tonen door eene rij van 12 en eene van 16 openingen. *a)* Hoe lang is eene geslotene orgelpijp, die den verschil- (combinatie-) toon der beide verkregen tonen als grondtoon geeft? *b)* Welke is die toon?

Voortplantingssnelheid van het geluid in lucht = 34 133 $\frac{1}{3}$  kines.

Stel het trillingsgetal van  $a = 426^{\frac{2}{3}}$ .

**269.** Twee tonen geven een verschil- (combinatie-) toon gelijk aan den eersten boventoon eener geslotene orgelpijp, terwijl de lagere der beide tonen dezelfde hoogte heeft als de grondtoon der orgelpijp. Welk is het interval der beide tonen?

## XVI. Uitzetting van vaste lichamen en vloeistoffen.

**270.** Een zinken slinger heeft in Nederland bij  $0^{\circ}$  een slingertijd van 1 sec. Hoeveel zal men zijne lengte bij  $0^{\circ}$  moeten veranderen, om te verkrijgen, dat hij, naar den evenaar overgebracht, bij  $25^{\circ}$  eveneens een slingertijd van 1 sec. heeft?

Lin. nitz.-coëff. van zink = 0,00003.

Versnelling der zwaartekracht in Nederland = 981,2 kines per seconde.

Versnelling der zwaartekracht aan den evenaar = 987,1 kines per sec.

**271.** Op de beide grootste vlakken van eene platte houten liniaal (dikte 0,1 cM) zijn even groote linialen, een van zink, de andere van ijzer, en waarvan men de dikte kan verwaarloozen, bevestigd. Het geheel is bij  $0^\circ$  recht; bij  $100^\circ$  vormen de beide metalen concentrische cirkelbogen met gelijke middelpuntshoeken. Hoe groot zijn de stralen dezer cirkels?

Lin. uitz.-coëff. van ijzer = 0,000012, van zink = 0,00003.

De afstand der beide metalen reepen blijft overal 0,1 cM.

**272.** Een koperen bol weegt (in het luchtledige) 281,344 G. Bij  $125^\circ$  is zijne middellijn even groot als die van een zinken ring. Hoe groot is het door den ring omsloten vlak bij  $25^\circ$ ?

Dichtheid (soort. gewicht) van koper (bij  $0^\circ$ ) = 8,4.

Inhoud van een bol =  $\frac{4}{3} \pi r^3$ . —  $\pi = 3,14$ .

Lin. uitz.-coëff. van zink = 0,00003, van koper = 0,00002.

**273.** Een vat heeft bij  $0^\circ$  een inhoud van  $150 \text{ cM}^3$ . Hoeveel van het kwik, dat het vat bij  $0^\circ$  bevat, zal er bij  $25^\circ$  uitgestroomd zijn?

Lin. uitz.-coëff. der stof, waaruit het vat vervaardigd is, = 0,00001.

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{5550}$ .

Dichtheid van kwik bij  $0^\circ$  = 13,596.

Oplossing. Volume van het kwik, dat het vat bij  $0^\circ$  vult,  $V_0 = 150 \text{ cM}^3$ .

Massa van dit kwik  $P_0 = V_0 D_0 = 150 \times 13,596 \text{ G}$ .

Inhoud van het vat bij  $25^\circ = V_t = V_0 (1 + 3 \lambda t) = 150 (1 + 3 \times 0,00001 \times 25) \text{ cM}^3$ .

Even groot is het volume  $V_t$  van het kwik, dat het vat bij  $25^\circ$  vult.

Dichtheid van kwik bij  $25^\circ = D_t = \frac{D_0}{1 + \Delta t} = \frac{13,596}{1 + \frac{25}{5550}}$ .

Massa van dit kwik  $P_t = V_t D_t = \frac{150 (1 + 3 \times 0,00001 \times 25) \times 13,596}{1 + \frac{25}{5550}} \text{ G}$ .

Hoeveelheid uitgelopen kwik ( $P_0 - P_t$ ) G.

**274.** Een glazen gewichtsthermometer weegt 52,64 G, en gevuld met kwik van  $0^\circ$  2771,84 G. Dompelt men den gevulden

toestel in water van  $100^{\circ}$ , dan stroomt er 23,60 G kwik uit. Gevraagd de kub. uitz.-coëff. van glas.

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{5550}$ .

Dichtheid (soort. gewicht) van kwik = 13,596.

**275.** Een ijzeren flesch heeft bij  $10^{\circ}$  een inhoud van  $250 \text{ cM}^3$ . Hoeveel van het kwik, dat deze flesch bij  $25^{\circ}$  vult, zal er uitstroomen, als de temperatuur gebracht wordt op  $50^{\circ}$ ?

Lin. uitz.-coëff. van ijzer =  $\frac{1}{85200}$ .

Dichtheid (soort. gewicht) van kwik = 13,596.

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{5550}$ .

**276.** Een glazen ballon kan bij  $20^{\circ}$  12 KG kwik bevatten. Hoeveel zal het kwik wegen, dat men bij  $0^{\circ}$  nog bijvoegen moet, om den ballon te vullen?

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{5550}$ .

Kub. uitz.-coëff. van glas =  $\frac{1}{40000}$ .

Dichtheid van kwik = 13,596.

**277.** 32,0664 G kwik vullen bij  $0^{\circ}$  het reservoir en 246,6 afdeelingen der buis van eenen dilatometer. Nadat men een weinig kwik verwijderd heeft, vullen de overige 31,3953 G bij  $0^{\circ}$  het reservoir en 34 afdeelingen der buis, bij  $100^{\circ}$  het reservoir en 190 afdeelingen der buis. Gevraagd de kubieke uitzettings-coëfficient van glas.

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{5550}$ .

Dichtheid van kwik = 13,596.

OPLOSSING. Het verwijderde kwik heeft bij  $0^{\circ}$  een volume van

$$\frac{32,0664 - 31,3953}{13,596} \text{ cM}^3.$$

Inhoud eener afdeeling der buis  $v_0 = \frac{32,0664 - 31,3953}{13,596 \times (246,4 - 34)} \text{ cM}^3$ .

Den inhoud  $V_0$  van het reservoir bij  $0^{\circ}$  vindt men uit de vergelijking

$$V_0 + 34v_0 = \frac{31,3953}{13,596} \text{ cM}^3.$$

De schijnbare uitzetting tusschen  $0^{\circ}$  en  $100^{\circ}$  is  $(190 - 34) \times v_0 \text{ cM}^3$ .

Schijnbare uitz.-coëff.  $\delta = \frac{(190 - 34) \times v_0}{V_0 \times 100}$ .

Kub. uitz.-coëff. van glas  $\gamma = \frac{1}{5550} - \delta$ .



Of: men stelt het volume van het kwik bij  $t^0$  gelijk aan den inhoud van het daardoor gevulde deel van den dilatometer bij  $t^0$ ; dus:

$(V_0 + 34v_0)(1 + \frac{1}{5550} \times 100) = (V_0 + 190v_0)(1 + \gamma \times 100)$   
 en berekent daaruit  $\gamma$ .

**278.** Bij het vervaardigen van een dilatometer heeft men een stukje ijzer van 9 G in het reservoir gebracht. Na bijvoeging van 27,192 G kwik vult dit bij  $0^0$  het overige deel van het reservoir en 20 afdeelingen der buis. Na verwarming tot  $100^0$  worden het reservoir en 181,43 afdeelingen der buis gevuld. Door eene voorloopige proef had men gevonden, dat 0,6798 G kwik bij  $0^0$  250 afdeelingen der buis vullen. Gevraagd de kubieke uitz.-coëff. van ijzer.

Dichtheid van ijzer = 7,5.

Dichtheid van kwik = 13,596.

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{5550}$ .

Kub. uitz.-coëff. van glas = 0,000025.

**279.** 40,936 G kwik vullen bij  $0^0$  het reservoir van een dilatometer, alsmede 10 afdeelingen der buis; door bijvoeging van 2,04 G worden het reservoir en 160 afdeelingen der buis gevuld. Als men bij  $4^0$  het reservoir van den dilatometer en 100 afdeelingen der buis met water vult, en bij  $50^0$  door dit water 34 afdeelingen der buis meer gevuld worden, hoe groot is dan de dichtheid van water bij  $50^0$ ?

Dichtheid van kwik = 13,596.

Kub. uitz.-coëff. van glas =  $\frac{1}{40000}$ .

**280.** De bol en 200 afdeelingen der buis van een dilatometer worden bij  $0^0$  gevuld door 70,72 G kwik. Verwijdert men 2,04 G kwik, dan blijven bij  $0^0$  de bol en 50 afdeelingen der buis gevuld. Als nu de toestel de temperatuur  $100^0$  aanneemt, vult het overgebleven kwik den bol en  $128\frac{1}{4}$  afdeelingen der buis. — Men wil van dezen toestel een thermometer maken en vult daarvoor bij eene temperatuur van  $25^0$  den bol en 100 afdeelingen der buis met eene vloeistof, waarvan de gemiddelde uitzettings-coëfficient = 0,0005 is. Waar zal deze vloeistof staan bij  $0^0$ , waar bij  $100^0$ ?

Dichtheid van kwik = 13,6.

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{5550}$ .



OPLOSSING. De inhoud eener afdeeling der buis bij  $0^{\circ}$  zij  $v_0$ , die van den bol  $V_0$ , dan is

$$(200 - 50) v_0 = \frac{2,04}{13,6}; \quad v_0 = 0,001 \text{ cM}^3.$$

$$V_0 + 200 v_0 = \frac{70,72}{13,6}; \quad V_0 = 5 \text{ cM}^3.$$

Volume van het overgebleven kwik bij  $100^{\circ} =$

$$(V_0 + 50v_0) (1 + \Delta t) = (5 + 50 \times 0,001) (1 + \frac{100}{5550}) \text{ cM}^3.$$

Inhoud van het daardoor gevulde deel van den dilatometer =

$$(I_0 + 128\frac{1}{4} i_0) (1 + \gamma t) = (5 + 0,12825) (1 + \gamma \times 100) \text{ cM}^3.$$

Door gelijkstelling dezer waarden vindt men  $\gamma = 0,000025$ .

Als de vloeistof bij  $0^{\circ}$  den bol en  $n$  afdeelingen der buis vult, dan vindt men  $n$  uit de vergelijking

$$(V_0 + n v_0) (1 + 0,0005 \times 25) = (V_0 + 100 v_0) (1 + 0,000025 \times 25);$$

en als bij  $100^{\circ}$  de bol en  $n_1$  afdeelingen der buis gevuld zijn, dan vindt men  $n_1$  uit de vergelijking

$$(V_0 + n v_0) (1 + 0,0005 \times 100) = (V_0 + n_1 v_0) (1 + 0,000025 \times 100).$$

**281.** Brengt men in eene thermometerbuis, waarvan de steel in mM verdeeld is, 15 G kwik, zoo worden daardoor bij  $0^{\circ}$  de bol en 25 van de afdeelingen der buis gevuld. Door bijvoeging van 0,1 G kwik worden — eveneens bij  $0^{\circ}$  — nog 15 afdeelingen gevuld. Men verwarmt tot  $20^{\circ}$ . Hoe hoog staat nu het kwik in de buis?

Schijnb. uitz.-coëff. van kwik in glas =  $\frac{1}{6400}$ .

**282.** Een thermometer van Celsius met een cilindrisch reservoir, lang 2 cM, heeft het smeltpunt (nulpunt) 3 cM boven het reservoir en het kookpunt 20 cM boven het smeltpunt. De middellijn der buis is 0,5 mM. Welke is de middellijn van het reservoir? (Eindex. H. B. S.)

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{5537}$ .

Kub. uitz.-coëff. van glas = 0,000024.

**283.** Een areometer, die 50 G weegt, drijft eerst in eene vloeistof, waarvan het soortelijk gewicht bij  $0^{\circ}$  1,69 en de uitzettings-coëfficiënt 0,001 bedraagt, en die eene temperatuur van  $14^{\circ}$  heeft. Daarna laat men hem in eene andere vloeistof drijven, waarvan de uitzettings-coëfficiënt 0,002 is, en die eene temperatuur van  $40^{\circ}$  heeft. In dit tweede geval verplaatst de areometer 1,2 maal het volume, dat van de eerste vloeistof werd verplaatst. Wat is het soortelijk gewicht der tweede

vloeistof bij  $0^\circ$ , in de onderstelling, dat de uitzettings-coëfficiënt der vloeistoffen bij alle temperaturen dezelfde is? (Eindex. H.B.S.)

Behoeft men het gewicht van den areometer te kennen?

**284.** Hoeveel zal een stuk platina, dat bij  $20^\circ$  een volume van  $2 \text{ cM}^3$  heeft, in kwik van  $50^\circ$  wegen? — Men verwaarlooze den opwaartschen druk der lucht \*).

Soort. gewicht van platina = 21,4; van kwik = 13,6.

Kub. uitz.-coëff. van platina =  $\frac{1}{37040}$ .

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{5550}$ .

**285.** Een stuk platina van 48,800 G weegt in kwik van  $0^\circ$  21,608 G. Hoeveel zal het wegen in kwik van  $25^\circ$ ?

Kub. uitz.-coëff. van platina = 0,000027.

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{5550}$ .

OPLOSSING. Opwaartsche druk in kwik van  $0^\circ$  = 48,800 — 21,608 = 27,192 G.

Zij het soortelijk gewicht van kwik =  $S$ , dan is het volume van het bij  $0^\circ$  verplaatste kwik =  $v_0 = \frac{27,192}{S} \text{ cM}^3$  = volume van het platina bij  $0^\circ$ .

Volume van het platina bij  $25^\circ$  =  $V_{25} = \frac{27,192}{S} (1 + 0,000027 \times 25)$   
 $\text{cM}^3$  = volume van het bij  $25^\circ$  verplaatste kwik.

Gewicht van het bij  $25^\circ$  verplaatste kwik  $P_{25} = V_{25} \times S_{25} =$

$$\frac{27,192}{S} (1 + 0,000027 \times 25) \times \frac{S}{1 + \frac{25}{5550}} \text{ G.}$$

Gewicht van het platina in kwik van  $25^\circ$  = (48,800 —  $P_{25}$ ) G.

**286.** Het gewichtsverlies van een vast lichaam in eene vloeistof bedraagt bij  $0^\circ$  50,00 G, bij  $20^\circ$  49,26 G. De kubieke uitzettings-coëfficiënt van het vaste lichaam is 0,00008; hoe groot is de gemiddelde uitzettings-coëfficiënt der vloeistof?

OPLOSSING. Zij  $V_0$  het volume van het vaste lichaam en van de vloeistof bij  $0^\circ$  en  $V_{20}$  dat bij  $20^\circ$ ; zij  $S_0$  het soortelijk gewicht der vloeistof bij  $0^\circ$  en  $S_{20}$  dat bij  $20^\circ$ ; dan geldt voor de gewichten der verplaatste vloeistof

$$P_0 = 50,00 = V_0 \times S_0.$$

$$P_{20} = 49,26 = V_{20} \times S_{20} = V_0 (1 + 0,00008 \times 20) \times \frac{S_0}{1 + \alpha \times 20}$$

\*) Dit geldt ook voor de volgende vraagstukken onder XVI, waarin de door eene vloeistof uitgeoefende opwaartsche druk voorkomt.

Men vindt  $\alpha$  dus uit de evenredigheid

$$50,00 : 49,26 = 1 : \frac{1 + 0,00008 \times 20}{1 + \alpha \times 20}$$

**27.** Een glazen bol kan bij 20° 500 G water bevatten. Hoeveel gram water kan de bol bij 50° bevatten?

Kub. uitz.-coëff. van glas =  $\frac{1}{40000}$ .

Dichtheid van water bij 20° = 0,998; bij 50° = 0,988.

**288.** Een stuk koper van 85 G weegt in water van 10° 74,9969 G en in water van 30° 75,0251 G. Hoe groot is de dichtheid van water bij 30°, als die bij 10° 0,99975 is?

Kub. uitz.-coëff. van koper = 0,0000555.

**289.** Een vast lichaam verliest in water van 10° 10,700 G aan gewicht, in water van 25° 10,688 G. Hoe groot is de kubieke uitz.-coëff. van het lichaam?

Soort. gewicht van water bij 10° = 0,99975; bij 25° = 0,99714.

**290.** Een holle glazen bol ondervindt in water van 20° een opwaartschen druk van 250 G. Hoeveel gram kwik moet men in den bol doen, om hem in water van 50° juist te doen zweven?

Gewicht van den bol = 30 G.

Kub. uitz.-coëff. van glas =  $\frac{1}{40000}$ .

Soort. gewicht van water bij 20° = 0,998; bij 50° = 0,988.

**291.** Het gewicht van een hollen glazen bol is 30 G; zijn uitwendig volume is bij 0° 50 cM<sup>3</sup>. Men wil den bol met kwik bezwaren, zóo dat hij in een vat, waarin zich water en olie van 20° bevinden, voor de helft in het water en voor de helft in de olie zweeft. Hoeveel kwik is hiervoor noodig?

Kub. uitz.-coëff. van glas = 0,000025.

Soort. gewicht van water bij 20° = 0,99826.

Soort. gewicht van olie = 0,92.

Gemiddelde uitz.-coëff. van olie = 0,0008.

**292.** Twee communiceerende cilindrische vaten zijn vervaardigd uit eene stof, waarvan de lineaire uitzettings-coëfficiënt  $\frac{1}{30600}$  is. In beide vaten bevindt zich bij eene temperatuur van 4° kwik; in het ééne vat bovendien nog eene waterkolom van 30 cM hoogte. Als men de temperatuur op 55° brengt, hoe hoog is dan de waterkolom en hoe groot het hoogteverschil der kwikspiegels?

Dichtheid van kwik = 13,596.

Dichtheid van water bij 55° = 0,98584.

Uitz.-coëfficiënt van kwik =  $\frac{1}{5555}$ .

OPLOSSING. a) Zij de doorsnede van het vat, waarin zich het water bevindt, bij 4°  $O_4$  cM<sup>2</sup>, dan is het volume van het water bij 4° =  $V_4 = O_4 \times 30$  cM<sup>3</sup>.

Bij 55° is dit volume geworden  $V_{55} = \frac{V_4}{0,98584}$  cM<sup>3</sup>.

Doorsnede van het vat bij 55° =  $O_{55} = O_4 \times (1 + \frac{2}{30600} \times 51)$  cM<sup>2</sup>.

Dus is de hoogte der waterkolom bij 55° =  $h_{55} = \frac{V_{55}}{O_{55}} = \frac{O_4 \times 30}{0,98584} : O_4 (1 + \frac{2}{30600} \times 51) = \frac{30}{0,98584 \times (1 + \frac{2}{30600} \times 51)}$  cM.

b) Noemt men de hoogte der kwikkolom van 55°, die met de hoogte der waterkolom ( $h_{55}$ ) evenwicht maakt,  $H_{55}$ , dan is (form. 82)

$H_{55} : h_{55} = 0,98584 : \frac{13,596}{1 + \frac{55}{5555}}$ , waaruit men  $H_{55}$  kan vinden.

Of: de druk der waterkolom per cM<sup>2</sup> neemt in dezelfde reden af, waarin de doorsnede van het vat grooter wordt; bij 55° is hij dus

$\frac{30}{1 + \frac{2}{30600} \times 51}$  G. Even groot moet de druk der kwikkolom zijn, die den druk der waterkolom in evenwicht houdt; deze kan ook uitgedrukt

worden door  $H_{55} \times \frac{13,596}{1 + \frac{55}{5555}}$ . Door gelijkstelling van beide waarden vindt men  $H_{55}$ .

**293** Als men aan een hollen glazen bol van 25 G een stuk metaal van 10,56 G hangt, zweeft het geheel in water van 35°. Hoeveel weegt een stuk van hetzelfde metaal, dat men aan den bol moet hangen, om het geheel in water van 4° te doen zweven?

Dichtheid (soort. gewicht) van het metaal = 8,8.

Kub. uitz.-coëff. van het metaal =  $\frac{1}{20000}$ ; van glas =  $\frac{1}{40000}$ .

Dichtheid van water bij 35° = 0,994.

**294.** Om een koperen areometer, die 100 G weegt, tot het merk (op den steel) te doen zinken in water van 16°, zou men 19,88 G op het schaalte moeten plaatsen. Hoeveel weegt een stuk koper, dat men in het bakje van den areometer (onder water) moet plaatsen, om den toestel in water van 66° tot het merk te doen zinken?



Dichtheid (soort. gewicht) van koper = 8,4.

Kub. uitz.-coëff. van koper = 0,00006.

Dichtheid van water bij  $16^{\circ}$  = 0,9990; bij  $66^{\circ}$  = 0,9802.

**295.** Een koperen vat heeft den vorm en, bij  $0^{\circ}$ , den inhoud van  $1 \text{ dM}^3$ . Door den bovenwand gaat eene lange koperen buis, waarvan de doorsnede bij  $0^{\circ}$   $1 \text{ cM}^2$  is. Het vat is bij  $0^{\circ}$  geheel (tot aan de buis) gevuld met water. Als alles de temperatuur  $100^{\circ}$  aanneemt, hoe groot is dan de druk van het water op den bodem van het vat?

Kub. uitz.-coëff. van koper =  $\frac{1}{20000}$ .

Dichtheid van water bij  $0^{\circ}$  = 0,99980; bij  $100^{\circ}$  = 0,95866.

**296.** Bij  $20^{\circ}$  kan het reservoir van een dilatometer (tot aan het nulpunt der verdeeling) 27,2 G kwik bevatten, terwijl er nog 1,36 G kwik moet bijgevoegd worden, om, eveneens bij  $20^{\circ}$ , 100 afdeelingen der buis te vullen. Tot welke deelstreep op de buis zouden 2 G water bij  $50^{\circ}$  den toestel vullen?

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{5550}$ .

Kub. uitz.-coëff. van glas =  $\frac{1}{40000}$ .

Dichtheid van kwik = 13,6.

Dichtheid van water bij  $50^{\circ}$  = 0,988.

**297.** Een gewone kwikthermometer met eene schaalverdeling op den buitenkant van den steel kan als hoogste temperatuur  $50^{\circ}$  aanwijzen. Zijn gewicht is 22,573 G. In water van  $14^{\circ}$  ondervindt hij een opwaartschen druk van 6,5672 G. Gevraagd de massa van het kwik in den thermometer.

Dichtheid (soort. gewicht) van glas = 2,5; van kwik = 13,6.

Dichtheid van water bij  $14^{\circ}$  = 0,9993.

Kub. uitz.-coëff. van glas =  $\frac{1}{40000}$ .

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{5550}$ .

**298.** Een kathetometer heeft eene schaalverdeling op zilver, die juist is bij  $20^{\circ}$ . Bij  $12^{\circ}$  bepaalt men door middel van dezen toestel den barometerstand en leest af 755,25 mM. Hoe groot is de gecorrigeerde barometerstand?

Lin. uitz.-coëff. van zilver = 0,00002.

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{5550}$ .

**299.** Welke kwikhoogte zal men aan den evenaar bij eene temperatuur van  $30^{\circ}$  aflezen, als de luchtdruk (dynes per  $\text{cM}^2$ ) volkomen dezelfde is als in Nederland, waar men bij eene



temperatuur van  $12^{\circ}$  eene kwikhoogte van 751 mM afgelezen heeft? De kathetometer, dien men bij beide aflezingen gebruikt, is bij  $0^{\circ}$  juist verdeeld.

Lin. uitz.-coëff. van de schaal van den kathetometer =  $\frac{1}{52000}$ .

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{5550}$ .

Versnelling der zwaartekracht in Nederland = 981,2 kines p. sec.

Versnelling der zwaartekracht aan den evenaar = 978,1 kines p. sec.

**300.** De inwendige middellijn van een koperen ring is bij  $18^{\circ}$  25 cM. Men verwarmt den ring tot  $50^{\circ}$  en meet nu zijne middellijn door middel van een kathetometer, waarvan de schaalverdeeling bij  $20^{\circ}$  juist is. Welke waarde zal men aflezen, als de temperatuur der schaal hierbij  $5^{\circ}$  is?

Lin. uitz.-coëff. der schaal van den kathetometer = 0,000019.

Lin. uitz.-coëff. van koper = 0,0000175.

**301.** De schaal van een thermometer heeft onder aan den steel het cijfer —  $29^{\circ},5$ . Dompelt men den bol in water van  $100^{\circ}$ , terwijl men de temperatuur van den steel op  $25^{\circ}$  houdt, dan stijgt het kwik tot  $98^{\circ},5$ . Gevraagd de schijnbare uitz.-coëff. van kwik in glas.

**302.** De schaal van een thermometer heeft onder aan den steel het cijfer —  $5^{\circ}$ . Om het kookpunt eener zoutoplossing te bepalen, dompelt men alleen het reservoir in de kokende vloeistof, terwijl de temperatuur van den steel op  $25^{\circ}$  gehouden wordt. Welk is het ware kookpunt, als de thermometer  $123^{\circ}$  aanwijst?

Schijnbare uitz.-coëff. van kwik in glas =  $\frac{1}{6400}$ .

## XVII. Uitzetting van gassen.

**303.** Een ijzeren ballon wordt bij  $0^{\circ}$  en normalen barometerstand met lucht gevuld en gesloten. Hoeveel atmosferen zal de inwendige drukking worden, als de ballon op  $300^{\circ}$  verwarmd wordt. (Eindex. H. B. S.)

Lin. uitz.-coëff. van ijzer =  $\frac{1}{61000}$ .

Uitz.-coëff. van lucht =  $\frac{1}{273}$ .

OPLOSSING. Volgens de wet van Boyle-Gay Lussac is

$$\frac{P_0 V_0}{1} = \frac{P_1 V_1}{1 + \alpha t}$$

$$\frac{1 \times V_0}{1} = \frac{P_1 \times V_0 (1 + \frac{3}{81000} \times 300)}{1 + \frac{300}{273}}$$

waaruit men  $P_1$  kan oplossen.

**304.** Een ijzeren vat wordt bij  $20^\circ$  en  $75$  cM barometerstand \*) met lucht gevuld en gesloten. Hoe hoog moet de temperatuur worden, opdat de lucht tegen den binnenwand van het vat eene drukking van  $1,25$  KG per  $\text{cM}^2$  uitoefent?

Dichtheid van kwik =  $13,596$ .

Lin. uitz.-coëff. van ijzer =  $0,000012$ .

Uitz.-coëff. van lucht =  $0,003665$ .

**305.** Een glazen vat is bij  $15^\circ$  en  $75$  cM barometerstand met zuurstof gevuld en gesloten. Met hoeveel dynes zal het gas tegen  $1$   $\text{cM}^2$  van den binnenwand van het vat drukken, als de temperatuur van het vat  $100^\circ$  wordt?

Dichtheid van kwik =  $13,596$ .

Kub. uitz.-coëff. van glas =  $\frac{1}{10000}$ .

Uitz.-coëff. van zuurstof =  $\frac{1}{273}$ .

Versnelling der zwaartekracht =  $980$  kines p. sec.

**306.** Eene barometerbuis van  $2$   $\text{cM}^2$  doorsnede eindigt boven in een bol van  $100$   $\text{cM}^3$  inhoud. De buis steekt, den bol niet medegerekend,  $80$  cM boven het kwik in een wijden bak uit. Het kwik staat in de buis  $40$  cM hoog; daarboven bevindt zich lucht. De temperatuur is  $0^\circ$ ; de barometerstand  $75$  cM. Welke hoogte zal het kwik in de buis aanwijzen, als men den toestel tot  $25^\circ$  verwarmt, terwijl de barometerstand  $76$  cM is? Men verwaarlooze de uitzetting van het glas.

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{5550}$ ; van lucht =  $\frac{1}{273}$ .

OPLOSSING. In het eerste geval is het product van spanning en volume, gedeeld door het dilatatie-binomium, =

$$\frac{P_0 V_0}{1} = \frac{(75 - 40)(100 + 40 \times 2)}{1}$$

In het tweede geval, in de spanning  $P_1 = \left( 76 - \frac{x}{1 + \frac{25}{5550}} \right)$  cM, en

\*) Door „barometerstand” wordt steeds bedoeld de tot  $0^\circ$  herleide hoogte der kwikkolom in de barometerbuis.

het volume  $V_1 = \{100 + (80 - x) \times 2\}$  cM. Men vindt  $x$  uit de vergelijking

$$\frac{(75 - 40) (100 + 40 \times 2)}{1} = \frac{\left(76 - \frac{x}{1 + \frac{26}{5550}}\right) \{100 + (80 - x) \times 2\}}{1 + \frac{26}{273}}$$

**307.** In een vat van  $1,5 \text{ cM}^2$  doorsnede zijn  $35 \text{ cM}^3$  lucht door een zuiger afgesloten bij eene spanning van  $77,5 \text{ cM}$  kwikdruk en  $12^\circ$ . De lucht wordt samengeperst tot  $1\frac{3}{4} \text{ cM}^3$ , terwijl de temperatuur gebracht wordt op  $200^\circ$ . Met hoeveel kilogrammen drukt de afgesloten lucht nu op den zuiger? — Men verwaarlooze de uitzetting van het vat.

Soort. gewicht van kwik =  $13,596$ .

Uitz.-coëff. van lucht =  $\frac{1}{273}$ .

**308.** Twee even wijde communiceerende vaten, hoog  $40$  en  $80 \text{ cM}$ , zijn tot eene hoogte van  $20 \text{ cM}$  met kwik gevuld. Daarboven bevindt zich lucht van  $15^\circ$  en  $75 \text{ cM}$  spanning. Men sluit beide vaten boven luchtdicht. Hoeveel moet men het kleinere vat verwarmen, om het kwik daarin  $5 \text{ cM}$  te doen dalen? — Men verwaarlooze de uitzetting van het kwik en van de vaten.

Uitz.-coëff. van lucht =  $\frac{1}{273}$ .

**309.** Een gesloten hevel-manometer bevat eene luchtkolom van  $50 \text{ cM}$  hoogte. Het kwik staat in beide beenen even hoog; de temperatuur is  $20^\circ$ , de barometerstand  $75 \text{ cM}$ . Men verbindt het opene been met eene luchtpomp en verdunt de lucht daarin, totdat de verklikker nog eene spanning van  $2 \text{ cM}$  aanwijst. Welke temperatuur heeft de lucht in het geslotene been aangenomen, als men bij de aflezing vindt, dat het hoogteverschil der beide kwikkolommen  $45,9 \text{ cM}$  bedraagt? — Men verwaarlooze de verandering der temperatuur van het glas.

Uitz.-coëff. van lucht =  $\frac{1}{273}$ .

**310.** Een glazen vat met nauwe opening kan bij  $20^\circ$   $25,48 \text{ G}$  water bevatten. Men verwarmt het met lucht gevulde vat tot  $100^\circ$ , dompelt de opening onder kwik en drukt, terwijl het vat, het kwik en de lucht de temperatuur van  $0^\circ$  aannemen, het vat zoo diep in het kwik, dat dit binnen en buiten het vat even hoog staat. Hoeveel bedraagt de massa van het ingedrongen kwik?

Dichtheid van water bij  $20^\circ = 0,998$ .

Dichtheid van kwik = 13,596.

Uitz.-coëff. van lucht =  $\frac{1}{273}$ .

Kub. uitz.-coëff. van glas =  $\frac{1}{40000}$ .

**311.** Een glazen ballon met nauw uitgetrokken buis kan bij 15° 12015 G kwik bevatten. De ballon wordt met lucht gevuld, aan eene temperatuur van 100° blootgesteld en de spits der buis dicht gesmolten. Hierbij is de barometerstand 75,06 cM. Nu brengt men het uiteinde der buis onder kwik, breekt de spits af en laat den ballon, de lucht en het indringende kwik de temperatuur van 0° aannemen. Bij dit gedeelte der proef is de barometerstand 76,02 cM. Het ingedrongen kwik staat 5,12 cM hooger dan het kwik in den bak. Men sluit de opening der buis met was en vindt door weging de massa van het ingedrongen kwik = 2688,75 G. Gevraagd de uitz.-coëff. van lucht. (Methode van Rudberg).

Dichtheid van kwik = 13,596.

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{3550}$ .

Kub. uitz.-coëff. van glas = 0,0000258.

**312.** In een barometer van Fortin (met beweeglijken bodem) is eene luchtbel opgestegen. Bij 10° is de hoogte der kwikkolom 756,37 mM. Nadat men bij onveranderden luchtdruk den barometer de temperatuur 25° heeft laten aannemen, verandert men den stand van den bodem, zóó dat de Torricelli'sche ruimte weer even groot is als bij de eerste aflezing. De hoogte der kwikkolom is nu 758,20 mM. Gevraagd de gecorrigeerde barometerstand (bij 0°). — De uitzetting van het glas wordt verwaarloosd.

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{3550}$ .

Uitz.-coëff. van lucht =  $\frac{1}{273}$ .

**313.** Een geelkoperen cilindrisch vat kan door eene plaat luchtdicht gesloten worden. De doorsnede van het vat is bij 0° 100 cM<sup>2</sup>. Men pompt bij 0° lucht uit het vat, totdat de spanning der overgebleven lucht 50,15 cM is geworden. Als men het vat tot 54°,6 verwarmt, welke kracht wordt dan vereischt, om de plaat van het vat af te trekken?

Lin. uitz.-coëff. van geelkoper =  $\frac{1}{54000}$ .

Uitz.-coëff. van lucht =  $\frac{1}{273}$ .



Barometerstand = 75 cM.

Soort. gewicht van kwik = 13,6.

**314.** Een holle zinken bol is door een buisje, waarvan men den inhoud kan verwaarloozen, verbonden met een hollen caoutchouc-bol. Bij  $0^{\circ}$  is de inhoud van den eersten bol  $800 \text{ cM}^3$ , die van den tweeden  $200 \text{ cM}^3$ . De bollen zijn bij  $0^{\circ}$  met normale lucht gevuld. Men dompelt den caoutchouc-bol in smeltend ijs en verwarmt den zinken bol, totdat de inhoud van den caoutchouc-bol  $28 \text{ cM}^3$  grooter is geworden. Welke temperatuur moet men daartoe aan den zinken bol geven? Men heeft door eene proef gevonden, dat men den inhoud van den caoutchouc-bol eveneens  $28 \text{ cM}^3$  grooter kan maken, door bij de  $200 \text{ cM}^3$  normale lucht in den bol nog  $50 \text{ cM}^3$  normale lucht te persen.

Lin. uitz.-coëff. van zink =  $\frac{3}{100000}$ .

Uitz.-coëff. van lucht =  $\frac{1}{273}$ .

**315.** Eene barometerbuis, waarvan de doorsnede  $1 \text{ cM}^2$  is, eindigt boven in een bol van  $720 \text{ cM}^3$  inhoud. De lengte der buis (behalve den bol) boven het kwikniveau in een wijden bak is  $102,3 \text{ cM}$ . Het kwik staat  $22,3 \text{ cM}$  hoog in de buis; daarboven bevindt zich lucht. De temperatuur is  $25^{\circ}$ . Tot welke temperatuur moet men *den bol alleen* verwarmen, om het kwik binnen en buiten de buis even hoog te doen staan? De uitzetting van het glas wordt verwaarloosd.

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{5550}$ .

Uitz.-coëff. van lucht =  $\frac{1}{273}$ .

Barometerstand =  $77,2 \text{ cM}$ .

OPLOSSING. Aanvankelijke spanning der lucht  $P = \left( 77,2 - \frac{22,3}{1 + \frac{26}{5550}} \right)$   
 =  $55 \text{ cM}$ . Aanvankelijk volume der lucht  $V = 720 + (102,3 - 22,3) = 800 \text{ cM}^3$ . Na de verwarming van den bol tot  $t^{\circ}_1$  is:

Spanning der lucht in bol en buis  $P_1 = P_2 = 77,2 \text{ cM}$ .

Volume der lucht in den bol  $V_1 = 720 \text{ cM}^3$ .

Volume der lucht in de buis  $V_2 = 102,3 \text{ cM}^3$ .

Door toepassing der formule

$$\frac{P V}{1 + \alpha t} = \frac{P_1 V_1}{1 + \alpha t_1} + \frac{P_2 V_2}{1 + \alpha t_2}$$

(verg. § 360, 3) vindt men  $t_1$  uit de vergelijking



$$\frac{55 \times 800}{1 + \frac{26}{273}} = \frac{77,2 \times 720}{1 + \frac{1}{273} \times t_1} + \frac{77,2 \times 102,3}{1 + \frac{26}{273}}$$

**316.** Bij welke temperatuur weegt 1 L koolzuur 1,529 G als de drukking 75 cM is?

Gewicht van 1 cM<sup>3</sup> normale lucht = 0,001293 G.

Uitz.-coëff. van gassen =  $\frac{1}{273}$ .

Dichtheid van koolzuur met betrekking tot lucht = 1,529.

**317.** Een glazen ballon, die bij 20° een inhoud van 2001 cM<sup>3</sup> heeft, kan bij 0° en 76 cM barometerstand 1,0931 G van zeker gas meer bevatten dan bij 100° en 75 cM barometerstand. Hoe groot is de dichtheid van het gas met betrekking tot lucht?

Kub. uitz.-coëff. van glas =  $\frac{1}{40000}$ .

Uitz.-coëff. van gassen =  $\frac{1}{273}$ .

Dichtheid (soort. gewicht) van normale lucht = 0,001293.

**318.** Een glazen ballon kan bij 50° 17408 G kwik bevatten. Hoeveel gram koolzuur is bij 100° en 75 cM barometerstand uit dezen ballon ontsnapt, nadat hij bij 0° en 76 cM barometerstand met dit gas gevuld was?

Schijnbare uitz.-coëff. van kwik in glas =  $\frac{1}{1400}$ .

Uitz.-coëff. van koolzuur = 0,00367.

Dichtheid van norm. lucht = 0,001293; van kwik = 13,6.

Dichtheid van koolzuur met betrekking tot lucht = 1,529.

**319.** Een glazen ballon, die bij 20° 250 G water kan bevatten, wordt bij 0° en 76 cM barometerstand met lucht gevuld. Een andere glazen ballon kan bij 15° 800 G. kwik bevatten. Hoe groot moet de spanning van koolzuur zijn, dat bij 100° den tweeden ballon vullende, dezelfde massa bezit als de lucht in den eersten ballon?

Kub. uitz.-coëff. van glas =  $\frac{1}{40000}$ .

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{5550}$ .

Uitz.-coëff. van gassen =  $\frac{1}{273}$ .

Dichtheid van water bij 20° = 0,998.

Dichtheid van koolzuur met betrekking tot lucht = 1,529.

**320.** Een ballon, die bij 0° een inhoud van 5 L heeft, is bij 20° met lucht van 75 cM spanning gevuld. Nadat men den ballon gewogen heeft, schroeft men hem op eene luchtpomp en pompt de lucht uit, totdat de verklikker eene spanning van 2 cM aanwijst. Op dit oogenblik sluit men den ballon af en

vindt door weging, dat hij 5,7749 G aan gewicht verloren heeft. Hoe hoog was de temperatuur der lucht, toen men den ballon afsloot? — Men verwaarlooze de temperatuursverandering van het glas.

Kub. uitz.-coëff. van glas =  $\frac{1}{40000}$ .

Dichtheid (soort. gewicht) van normale lucht = 0,001293.

Uitz.-coëff. van lucht =  $\frac{1}{273}$ .

**321.** Een glazen ballon, die bij 0° 27,192 KG kwik kan bevatten, wordt bij 20° met een gas van 77 cM spanning gevuld. Zijn gewicht is dan 1215,036 G. Nadat men het gas bij onveranderde temperatuur tot op 20 mM spanning uitgepompt heeft, weegt de ballon 1214,300 G. Gevraagd de dichtheid van het gas met betrekking tot lucht.

Kub. uitz.-coëff. van glas =  $\frac{1}{40000}$ .

Dichtheid van kwik = 13,596; van norm. lucht = 0,001293.

Uitz.-coëff. van gassen =  $\frac{1}{273}$ .

**322.** Een glazen ballon kan bij 21° 2994,000 G water bevatten. Men vult den ballon bij 75 cM barometerstand en 21° met een gas, pompt dan uit, totdat bij eene temperatuur van 11° de spanning 3 cM geworden is, en vindt nu, dat de ballon 4,0888 G lichter is geworden. Gevraagd a) de dichtheid van het gas met betrekking tot lucht; b) zijn soortelijk gewicht bij 21° en 75 cM spanning.

Dichtheid van water bij 21° = 0,998.

Gewicht van 1 L normale lucht = 1,293 G.

Kub. uitz.-coëff. van glas =  $\frac{1}{40000}$ .

Uitz.-coëff. van gassen =  $\frac{1}{273}$ .

**323.** Hoe groot is het schijnbare gewicht van 1 L water van 16°, gewogen in lucht van 16° en 75 cM barometerstand met koperen gewichtstukken?

Dichtheid van water bij 16° = 0,99900.

Dichtheid van koper bij 16° = 8,4.

Gewicht van 1 L normale lucht = 1,293 G.

Uitz.-coëff. van lucht =  $\frac{1}{273}$ .

**324.** Het schijnbare gewicht van het water, dat bij eene temperatuur van 8° een glazen ballon vult, bedraagt 1520,250 G. De temperatuur der lucht is eveneens 8°, de barometerstand 76,25 cM. Gevraagd de inhoud van den ballon bij 0°.

Dichtheid van water bij  $8^{\circ} = 0,99988$ .

Gewicht van  $1 \text{ cM}^3$  normale lucht  $= 0,001293 \text{ G}$ .

Uitz.-coëff. van lucht  $= \frac{1}{273}$ .

Dichtheid der gewichtstukken bij  $8^{\circ} = 8,4$ .

Kub. uitz.-coëff. van glas  $= \frac{1}{40000}$ .

OPLOSSING. Soortelijk gewicht van lucht bij  $8^{\circ}$  en  $76,25 \text{ cM}$  spanning

$$l = 0,001223 \times \frac{76,25}{76} \times \frac{1}{1 + \frac{8}{273}} = 0,00126.$$

Waar gewicht in de lucht van  $1520,250 \text{ G}$  gewichtstukken

$$P = 1520,250 \left( 1 - \frac{0,00126}{8,4} \right) \text{ G}.$$

Waar gewicht in de lucht van  $1 \text{ cM}^3$  water van  $8^{\circ}$

$$d = 0,99988 - 0,00126 = 0,99862 \text{ G}.$$

Het volume van het water en den ballon (bij  $8^{\circ}$ ) vindt men dus uit de vergelijking

$$V_8 \times 0,99862 = 1520,250 \left( 1 - \frac{0,00126}{8,4} \right)$$

$$\text{Verder is } V_0 = \frac{V_8}{1 + \frac{8}{40000}} \text{ cM}^3.$$

**325.** Bij een barometerstand van  $74 \text{ cM}$  en eene temperatuur van  $13^{\circ},4$  bedraagt het schijnbare gewicht van een fleschje  $12,630 \text{ G}$ , en het schijnbaar gewicht van het fleschje, gevuld met water (van  $13^{\circ},4$ )  $42,100 \text{ G}$ . Hoeveel  $\text{G}$  bedraagt de kwik-massa, die het fleschje bij  $20^{\circ}$  kan bevatten?

Soort. gewicht van normale lucht  $= 0,001293$ .

Uitz.-coëff. van lucht  $= \frac{1}{273}$ .

Kub. uitz.-coëff. van glas  $= \frac{1}{40000}$ .

Dichtheid van water bij  $13^{\circ},4 = 0,99938$ .

Dichtheid der gewichtstukken bij  $13,4^{\circ} = 8,4$ .

Dichtheid van kwik  $= 13,596$ .

Uitz.-coëff. van kwik  $= \frac{1}{5550}$ .

**326.** Met de hydrostatische balans heeft men het gewicht van een lichaam in de lucht (temperatuur  $16^{\circ}$ , barometerstand  $75 \text{ cM}$ ) gevonden  $= 12,650 \text{ G}$ , het gewichtsverlies in water (temperatuur  $16^{\circ}$ )  $= 4,255 \text{ G}$ . Hoe groot is zijn waar soortelijk gewicht bij  $0^{\circ}$ ? — Verg. vr. 232.

Soort. gewicht van normale lucht  $= 0,001293$ .

Uitz.-coëff. van lucht  $= \frac{1}{273}$ .

Soort. gewicht van water bij  $16^{\circ} = 0,9990$ .

Kub. uitz.-coëff. van het lichaam  $= \frac{1}{20000}$ .

Soort. gewicht der gewichtstukken bij  $16^{\circ} = 8,00$ .

Oplossing. Dichtheid der lucht bij  $16^{\circ}$  en 74 cM barometerstand =

$$0,001293 \times \frac{74}{76} \times \frac{1}{1 + \frac{16}{273}} = 0,001189.$$

Het ware gewicht  $P_1$  (in het luchtledige) van het verplaatste water vindt men (in grammen) uit de vergelijking:

$$P_1 - \frac{P_1}{0,999} \times 0,001189 = 4,255 - \frac{4,255}{8,00} \times 0,001189.$$

$$P_1 = \frac{4,255 \left( 1 - \frac{0,001189}{8,00} \right)}{1 - \frac{0,001189}{0,999}}$$

Het volume van het verplaatste water is dus

$$v_{16} = \frac{P_1}{0,999} = \frac{4,255 \left( 1 - \frac{0,001189}{8,00} \right)}{\left( 1 - \frac{0,001189}{0,999} \right) \times 0,999} \text{ cM}^3.$$

Dit is ook het volume van het lichaam bij  $16^{\circ}$ .

Het ware gewicht  $P$  (in het luchtledige) van het lichaam vindt men uit de vergelijking:

$$P - v_{16} \times 0,001189 = 12,650 - \frac{12,650}{8,00} \times 0,001189.$$

Het ware soortelijk gewicht van het lichaam bij  $16^{\circ}$  is nu

$$S_{16} = \frac{P}{v_{16}}$$

Na substitutie der voor  $P$  en  $v_{16}$  gevonden waarden en na reductie vindt men

$$S_{16} = \frac{12,650}{4,255} (0,999 - 0,001189) - 0,001189$$

en het soortelijk gewicht bij  $0^{\circ}$  (form. 179)

$$S_0 = S_{16} (1 + \alpha t) = S_{16} \times (1 + \frac{16}{26000}).$$

Verg. § 656.

**327.** Bij de bepaling van het soortelijk gewicht eener legering door middel van fleschjesweging (pyknometer) heeft men de volgende schijnbare gewichten gevonden:

van het lichaam 40,2180 G;

van het fleschje, gevuld met water 152,4356 G;

van het fleschje met water en het lichaam in het fleschje 187,6536 G.



De temperatuur van het lichaam, het water en de lucht is  $20^{\circ}$ , de barometerstand 757,1 mM. Gevraagd het soortelijk gewicht der legering bij  $0^{\circ}$  (met betrekking tot water van  $4^{\circ}$  en tot het luchtledige).

Soort. gewicht van normale lucht = 0,001293.

Uitz.-coëff. van lucht =  $\frac{1}{273}$ .

Soort. gewicht van water bij  $20^{\circ}$  = 0,9983.

Kub. uitz.-coëff. van het lichaam = 0,00008.

**328.** Bij  $13^{\circ}$  is het schijnbare gewicht van het kwik, dat een fleschje vult, 272,439 G; terwijl het schijnbare gewicht van het water, dat het fleschje vult, 20,000 G bedraagt. Gevraagd het soortelijk gewicht van kwik bij  $0^{\circ}$  met betrekking tot water van  $4^{\circ}$  en tot het luchtledige.

Soort. gewicht van water bij  $13^{\circ}$  = 0,99943.

Soort. gewicht van normale lucht = 0,001293.

Barometerstand = 77 cM.

Uitz.-coëff. van lucht =  $\frac{1}{273}$ ; van kwik =  $\frac{1}{5550}$ .

**329.** Bij eene temperatuur van  $21^{\circ}$  bedraagt de lengte van den dunnen steel van een gasareometer (§ 402) 100 mM, zijne doorsnede 3 mM<sup>2</sup> en de inhoud van den cilinder (boven den steel) 343,25 cM<sup>3</sup>. De toestel is bezwaard, zóo dat hij bij een barometerstand van 76 cM en eene temperatuur van  $21^{\circ}$  in water van dezelfde temperatuur tot onder aan den steel inzinkt. Men vervangt de lucht boven het water door lichtgas van dezelfde temperatuur en spanning en neemt waar, dat nu de areometer 82,75 mM dieper inzinkt. Gevraagd de dichtheid van lichtgas met betrekking tot lucht.

Soort. gewicht van water bij  $21^{\circ}$  = 0,99806.

Soort. gewicht van normale lucht = 0,001293.

Uitz.-coëff. van lucht =  $\frac{1}{273}$ .

### XVIII. Dampen. \*)

**330.** Bij eene temperatuur van  $25^{\circ}$  heeft men de hoogte der kwikkolom in een barometer afgelezen = 758,2 mM. Als men bij onveranderden barometerstand de Torricelli'sche ruimte

\*) Bij de volgende vraagstukken neme men aan, dat de wet van Boyle-Gay Lussac ook voor verzadigde dampen geldt.

met waterdamp verzadigt, bedraagt bij  $21^{\circ},8$  de hoogte der kwikkolom 738,6 mM. Gevraagd de maximum-spanning van waterdamp bij  $21^{\circ},8$ .

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{5550}$ .

**331.** De Torricelli'sche ruimte van een barometer bevat genoeg water, om bij alle temperaturen verzadigt te blijven. Bij  $10^{\circ}$  heeft men de hoogte der kwikkolom afgelezen = 752,40 mM. Hoeveel moet de barometerstand veranderd zijn, als men bij  $20^{\circ}$  eene kwikhoogte van 748,24 mM afleest?

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{5550}$ .

Spanning van verzadigden waterdamp bij  $10^{\circ}$  = 9,14 mM, bij  $20^{\circ}$  = 17,36 mM.

**332.** Eene glazen buis met vlakken bodem (lengte = 100 cM) bevat bij eene temperatuur van  $30^{\circ}$  eene kwikkolom van 90 cM en eene waterkolom van 10 cM hoogte. Men sluit de opening der buis met den vinger en dompelt haar omgekeerd in kwik. Als men den vinger wegneemt, dalen de vloeistoffen in de buis en vormt zich waterdamp boven het water. Men drukt nu de buis dieper in het kwik, totdat de waterdamp weer geheel tot water verdicht is. Hoe hoog zal op dit oogenblik de buis nog uitsteken? Men verwaarlooze het volume van het verdampte water.

Soort. gewicht van kwik = 13,596.

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{5550}$ .

Soort. gewicht van water bij  $30^{\circ}$  = 0,9958.

Spanning van verzadigden waterdamp bij  $30^{\circ}$  = 3,16 cM.

Barometerstand = 75,0 cM.

OPLOSSING. Op het oogenblik, dat de waterdamp geheel verdicht wordt, is de spanning van den damp + de druk der waterkolom + de druk der kwikkolom gelijk aan den barometerstand.

De druk der kwikkolom is dan =  $\left(75,0 - 3,16 - \frac{10 \times 0,9958}{13,596}\right)$  cM.

De hoogte dezer kwikkolom is echter

$H_{30} = \left(75,0 - 3,16 - \frac{10 \times 0,9958}{13,596}\right) (1 + \frac{30}{5550})$  cM.

De buis steekt dus uit  $(H_{30} + 10)$  cM.

**333.** In de Torricelli'sche ruimte van een barometer bevindt zich niet-verzadigde aetherdamp. De buis steekt 85 cM boven

het kwik in een wijden bak uit. De temperatuur is  $15^{\circ}$ , de barometerstand 74 cM. De hoogte van het kwik in de buis boven die in den bak bedraagt 60 cM. Welke hoogte zal het kwik in de buis hebben, als de temperatuur  $25^{\circ}$  en de barometerstand 76 cM wordt? — Men verwaarlooze de uitzetting van het glas.

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{5550}$ .

Uitz.-coëff. van aetherdamp =  $\frac{1}{273}$ .

**334.** Hoe groot wordt de spanning, als men in 1 M<sup>3</sup> normale lucht 15 G water brengt en dan verwarmt tot  $20^{\circ}$ , zonder dat er uitzetting kan plaats hebben?

Uitz.-coëff. van lucht en damp =  $\frac{1}{273}$ .

Gewicht van 1 L normale lucht = 1,293 G.

Dichtheid van waterdamp met betrekking tot lucht =  $\frac{5}{8}$ .

**335.** In de Torricelli'sche ruimte van een barometer bevindt zich niet-verzadigde waterdamp. De buis steekt 80 cM boven het kwik in een wijden bak uit. De temperatuur is  $20^{\circ}$ , de barometerstand 755 mM. De hoogte van het kwik in de buis boven het kwikniveau van den bak bedraagt  $742\frac{2}{3}$  mM. Als de temperatuur  $30^{\circ}$  en de barometerstand 750 mM geworden is, hoe ver moet men dan de buis uittrekken, om het kwik in de buis eene hoogte van 744 mM te doen aannemen? — Men verwaarlooze de uitzetting van het glas.

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{5550}$ .

Uitz.-coëff. van waterdamp =  $\frac{1}{273}$ .

**336.** Eene barometerbuis met vlakken bovenwand steekt (inwendig gemeten) 842,44 mM boven het kwik in een wijden bak uit. Hare doorsnede is 2 cM<sup>2</sup>. Bij  $0^{\circ}$  staat het kwik in de buis 757,27 mM hoog. Nadat de temperatuur tot  $20^{\circ}$  gestegen is, laat men water in de luchtledige ruimte opstijgen, totdat deze verzadigd is. Hoeveel weegt de gevormde damp?

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{5550}$ .

Spanning van verzadigden waterdamp bij  $20^{\circ}$  = 17,5 mM.

Soort. gewicht van normale lucht = 0,001293.

Uitz.-coëff. van gassen en dampen =  $\frac{1}{273}$ .

Dichtheid van waterdamp met betrekking tot lucht =  $\frac{5}{8}$ .

**337.** Een vat van 1 L inhoud wordt op de temperatuur van  $15^{\circ}$  gehouden. Het is met verzadigden waterdamp gevuld

en wordt in gemeenschap gesteld met een tweede even groot luchtledig vat, dat in smeltend ijs gedompeld is. Bereken het gewicht van den waterdamp, in de beide vaten voorhanden, en van het water. (Eindex. H. B. S.)

Maximum van spanning van waterdamp bij  $15^{\circ} = 12,7$  mM.

" " " " " " "  $0^{\circ} = 4,5$  mM.

Dichtheid van waterdamp met betrekking tot lucht = 0,6.

Gewicht van 1 L normale lucht = 1,3 G.

Uitz.-coëff. van waterdamp = 0,00366.

**338.** Op de buis van een bakbarometer bevinden zich twee schaalverdeelingen, die bij  $0^{\circ}$  juist zijn; de eene in  $\text{cM}^3$ , de andere in mM. Men brengt 2 mG water in de Torricelli'sche ruimte en dompelt dan den barometer zoo diep in water van  $100^{\circ}$ , dat de kwikspiegel in den (wijden) bak 100 cM onder den waterspiegel ligt. De afgelezen hoogte van het kwik in de buis is nu 801,9 mM, het afgelegene volume van den damp 79,8  $\text{cM}^3$ . Bereken de dichtheid van waterdamp met betrekking tot lucht.

Soort. gewicht van water bij  $100^{\circ} = 0,9588$ .

Soort. gewicht van kwik = 13,6.

Lineaire uitz.-coëff. van glas = 0,0000085.

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{5530}$ .

Barometerstand = 751,7 mM.

Soort. gewicht van normale lucht = 0,001293.

Uitz.-coëff. van gassen en dampen =  $\frac{1}{273}$ .

OPLOSSING. Drukking der waterkolom =  $\frac{100 \times 0,9588}{13,6} = 7,05$  cM kwik-

druk.

Drukking der kwikkolom =  $80,19 \times \frac{1 + 0,0000085 \times 100}{1 + \frac{100}{5530}} = 78,84$  cM.

Noemt men de spanning van den waterdamp  $x$ , dan is

$$75,17 + 7,05 = 78,84 + x$$

$$x = 3,38 \text{ cM kwikdruk.}$$

Volume van den damp =  $79,8 \times (1 + 3 \times 0,0000085 \times 100) = 80$   $\text{cM}^3$ .

Men vindt nu de dichtheid van waterdamp uit de vergelijking

$$0,002 = 80 \times 0,001293 \times \frac{3,38}{76} \times \frac{1}{1 + \frac{100}{273}} \times D.$$

**339.** Eene U-vormige, overal even wijde buis is aan een



uiteinde gesloten. Bij eene temperatuur van  $0^\circ$  bevindt zich in het gesloten been eene luchtkolom, hoog 50 cM, boven kwik, dat in beide buizen even hoog staat. De temperatuur wordt nu op  $30^\circ$  gebracht en de afgesloten lucht met waterdamp verzadigd. Hoe groot wordt daardoor het hoogte-verschil der kwikspiegels? — Men verwaarlooze de uitzetting van de buis en van het kwik.

Barometerstand = 76 cM.

Maximum-spanning van waterdamp bij  $30^\circ$  = 3,16 cM.

Uitz.-coëff. van lucht =  $\frac{1}{273}$ .

**340.** 1 M<sup>3</sup> met waterdamp verzadigde lucht van  $26^\circ$  en eene spanning gelijk aan den luchtdruk, 75 cM, wordt bij onveranderde spanning afgekoeld tot  $6^\circ$ . Hoe groot is nu a) het volume der lucht en b) het gewicht van het neergeslagen water?

Maximum-spanning van waterdamp bij  $26^\circ$  = 25 mM.

" " " " "  $6^\circ$  = 7 mM.

Uitz.-coëff. van gassen en dampen =  $\frac{1}{273}$ .

Dichtheid van normale lucht = 0,001293.

Dichtheid van waterdamp met betrekking tot lucht =  $\frac{5}{8}$ .

OPLOSSING. Het volume  $V$  cM<sup>3</sup> der droge lucht vindt men volgens de wet van Boyle-Gay Lussac;

$$\frac{1000000 \times (75 - 2.5)}{1 + \frac{26}{273}} = \frac{V(75 - 0.7)}{1 + \frac{6}{273}}$$

Dit is ook het volume van den damp.

Vóór de afkoeling was het gewicht van den damp

$$P = 1000000 \times 0,001293 \times \frac{2.5}{76} \times \frac{\frac{5}{8}}{1 + \frac{26}{273}} \text{ G.}$$

Na de afkoeling was het gewicht van den damp

$$P_1 = V \times 0,001293 \times \frac{0.7}{76} \times \frac{\frac{5}{8}}{1 + \frac{6}{273}} \text{ G.}$$

Gewicht neergeslagen water =  $(P - P_1)$  G.

**341.** Het eene uiteinde van eene U-vormige, overal even wijde buis, is gesloten. Bij eene temperatuur van  $25^\circ$  bevindt zich in het geslotene been een mengsel van lucht en niet-verzadigden waterdamp, hoog 55,5 cM boven kwik, dat in het geslotene been 22,3 cM hooger staat dan in het andere. De spanning van den waterdamp bedraagt 1,5 cM. Hoeveel moet men de spanning der lucht in het opene been verminderen, om

de kwikspiegels bij onveranderde temperatuur in beide beenen even hoog te doen staan?

Barometerstand = 75 cM.

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{5550}$ .

**342.** 1 M<sup>3</sup> met waterdamp verzadigde lucht heeft eene temperatuur van 26° en eene spanning gelijk aan den luchtdruk, 75 cM. Als de barometerstand 25 mM toeneemt, hoe groot wordt dan bij onveranderde temperatuur a) het volume der lucht en b) het gewicht van het neergeslagen water?

Gegevens als in Vr. 340.

**343.** 1 M<sup>3</sup> met waterdamp verzadigde lucht heeft eene temperatuur van 6° en eene spanning van 75 cM. Als nu bij onveranderd volume de temperatuur op 26° gebracht wordt, terwijl er zooveel water aanwezig is, dat de lucht verzadigd blijft, hoe groot wordt dan a) de spanning en b) het gewicht van het mengsel?

Gegevens als in Vr. 340.

**344.** In een gesloten flesch bevindt zich aether en daarboven droge lucht en aetherdamp, welke beide laatste te zamen eene ruimte van 1,5 L beslaan. Bereken het gewicht van dit mengsel in de onderstelling, dat daarop de wetten van Boyle en Gay Lussac kunnen worden toegepast. (Eindex. H. B. S.)

Temperatuur = 20°.

Dichtheid van aetherdamp met betrekking tot lucht = 2,6.

Maximum-spanning van aetherdamp bij 20° = 432 mM.

Spanning in de flesch = 876 mM.

Gewicht van 1 L lucht bij 0° en 760 mM = 1,3 G.

Uitz.-coëff. van aetherdamp en lucht =  $\frac{1}{273}$ .

**345.** Een ijzeren ballon, die bij 30° 27,084 KG kwik kan bevatten, wordt bij 0° gevuld met droge lucht van 76 cM spanning. Nadat men, zonder dat er lucht kan ontsnappen, nog water bijgevoegd heeft, sluit men den ballon en verwarmt tot 100°. Hoeveel water heeft men bijgevoegd, als nu de spanning in den ballon  $2 \times 76$  cM wordt?

Dichtheid van kwik = 13,6.

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{5550}$ .

Kub. uitz.-coëff. van ijzer =  $\frac{1}{27000}$ .

Gewicht van 1 L normale lucht = 1,293 G.

Dichtheid van waterdamp met betrekking tot lucht = 0,623.  
 Uitz.-coëff. van lucht en damp =  $\frac{1}{273}$ .

**346.** In eene barometerbuis staat bij eene temperatuur van  $20^{\circ}$  het kwik 278,5 mM hoog; daarboven bevinden zich  $150 \text{ cM}^3$  met waterdamp verzadigde lucht. Hoe groot is het gewicht van dit mengsel?

Barometerstand = 75 cM.

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{5550}$ .

Maximum-spanning van waterdamp bij  $20^{\circ}$  = 17,4 mM.

Dichtheid van normale lucht = 0,001293.

Uitz.-coëff. van lucht en damp =  $\frac{1}{273}$ .

Dichtheid van waterdamp met betrekking tot lucht =  $\frac{5}{8}$ .

**347.** Twee vertikale glazen buizen, waarvan de eene boven gesloten, de andere open is, staan van onderen door eene lange caoutchouc-buis met elkaar in verbinding. De verbindingsbuis is geheel, de glazen buizen zijn gedeeltelijk met kwik gevuld, zóo dat het kwik in beide buizen even hoog staat, terwijl zich op het kwik in de gesloten buis nog eene waterkolom, hoog 27,2 mM, bevindt. De afgesloten lucht is met waterdamp verzadigd; de barometerstand is 760 mM, de temperatuur  $20^{\circ}$ . Men verwarmt de gesloten buis tot  $100^{\circ}$  en heft te gelijker tijd de andere buis zoo hoog op, dat het volume der afgesloten lucht niet verandert. Hoe groot is nu het hoogteverschil der kwikspiegels? — Men verwaarlooze de uitzetting van het glas en de vermindering van het volume van het water door verdamping.

Maximum-spanning van waterdamp bij  $20^{\circ}$  = 1,74 cM.

” ” ” ” ”  $100^{\circ}$  = 76 cM.

Soort. gewicht van water bij alle temperaturen = 1.

” ” ” kwik ” ” ” = 13,6.

Uitz.-coëff. van gassen en dampen =  $\frac{1}{273}$ .

**348.**  $1000 \text{ cM}^3$  met waterdamp verzadigde lucht van  $13^{\circ}$  en 75 cM spanning worden verwarmd tot  $24^{\circ}$ , terwijl men te gelijker tijd het volume van het mengsel zooveel kleiner maakt, dat de lucht door den waterdamp verzadigd blijft. Hoeveel bedraagt de vermindering van het volume, en hoe groot wordt de spanning van het mengsel?

Maximum-spanning van waterdamp bij  $13^{\circ} = 1,11$  cM.

" " " " "  $24^{\circ} = 2,22$  cM.

Uitz.-coëff. van lucht en waterdamp  $= \frac{1}{273}$ .

**349.** Hoe groot is het volume en hoe groot het gewicht van eene hoeveelheid met waterdamp verzadigde lucht van de spanning 75 cM en de temperatuur  $25^{\circ}$ , als het gewicht der lucht daarin 10 G is?

Dichtheid van normale lucht  $= 0,001293$ .

Maximum-spanning van waterdamp bij  $25^{\circ} = 2,36$  cM.

Dichtheid van waterdamp met betrekking tot lucht  $= 0,623$ .

Uitz.-coëff. van lucht en damp  $= \frac{1}{273}$ .

**350.** Een glazen ballon weegt luchtledig 1020,0 G, met vochtige lucht van  $20^{\circ}$  en 75 cM spanning gevuld, 1025,0 G. Hoe groot is het gewicht der droge lucht, die dezen ballon bij  $0^{\circ}$  en 76 cM drukking vult?

Dichtheid van normale lucht  $= 0,001293$ .

Spanning van den waterdamp  $= 1,74$  cM.

Dichtheid van waterdamp met betrekking tot lucht  $= \frac{5}{8}$ .

Uitz.-coëff. van lucht en damp  $= \frac{1}{273}$ .

Kub. uitz.-coëff. van glas  $= \frac{1}{40000}$ .

**351.** Bij eene temperatuur van  $0^{\circ}$  en een barometerstand van 75 cM kan een glazen ballon 6,0 G met waterdamp verzadigde lucht bevatten. Hoe groot is het gewicht van droog koolzuurgas, dat dezen ballon bij  $30^{\circ}$  en eene drukking van 74 cM zou vullen?

Dichtheid van normale lucht  $= 0,001293$ .

Maximum-spanning van waterdamp bij  $0^{\circ} = 4,6$  mM.

Dichtheid van waterdamp met betrekking tot lucht  $= \frac{5}{8}$ .

Kub. uitz.-coëff. van glas  $= \frac{1}{40000}$ ; uitz.-coëff. van gassen  $= \frac{1}{273}$ .

Dichtheid van koolzuur met betrekking tot lucht  $= 1,53$ .

**352.** Bij eene temperatuur van  $10^{\circ}$  bevindt zich in eene barometerbuis, die 80 cM boven het kwik in een (wijden) bak uitsteekt, droge lucht boven eene kwikkolom van 556 mM hoogte. Als men bij  $30^{\circ}$  de lucht met waterdamp verzadigt, hoe hoog zal dan het kwik nog in de buis staan? — Men verwaarlooze de uitzetting van het glas.

Barometerstand  $= 755$  mM.

Uitz.-coëff. van kwik  $= \frac{1}{5550}$ .



Maximum-spanning van waterdamp bij  $30^\circ = 31,6$  mM.

Uitz.-coëff. van lucht =  $\frac{1}{273}$ .

OPLOSSING. Vóór de verwarming en verdamping is:

Hoogte der luchtkolom =  $800 - 556 = 244$  cM.

Is de doorsnede der buis  $d$  cM<sup>2</sup>, dan is het volume der lucht  $V_1 = 24,4 \times d$  cM<sup>3</sup>.

Spanning der lucht  $P_1 = 755 - \frac{556}{1 + \frac{10}{5550}} = 200$  mM.

Als na de verwarming en verdamping het kwik  $x$  mM hoog in de buis staat, dan is

Spanning der vochtige lucht =  $\left(755 - \frac{x}{1 + \frac{30}{5550}}\right)$  mM.

Spanning der lucht alleen  $P_2 = \left(755 - \frac{x}{1 + \frac{30}{5550}} - 31,6\right)$  mM.

Volume der lucht  $V_2 = \frac{800 - x}{10} \times d$  cM<sup>3</sup>.

Men vindt nu  $x$  uit de vergelijking  $\frac{P_1 V_1}{1 + \alpha t_1} = \frac{P_2 V_2}{1 + \alpha t_2}$ .

**353.** In eene cilindrische buis van  $5$  cM<sup>2</sup> doorsnede is bij eene temperatuur van  $20^\circ$  en bij een barometerstand van  $75$  cM droge lucht boven kwik afgesloten. De hoogte der luchtkolom is  $40$  cM, terwijl het kwik in de buis  $20$  cM hooger staat dan daarbuiten in den (wijden) bak. Men verzadigt de lucht met waterdamp en drukt de buis omlaag, totdat het kwik binnen en buiten de buis even hoog staat. Welk is nu het volume der lucht en de massa van den damp?

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{5550}$ .

Maximum-spanning van waterdamp bij  $20^\circ = 1,74$  cM.

Dichtheid van normale lucht =  $0,001293$ .

Dichtheid van waterdamp met betrekking tot lucht =  $\frac{5}{8}$ .

Uitz.-coëff. van waterdamp =  $\frac{1}{273}$ .

**354.** In een cilindrisch met water gevuld vat, dat omgekeerd met zijn open einde onder water gedompeld is, heeft men bij  $20^\circ$   $0,1$  G droog waterstofgas opgevangen. a) Hoe groot is het volume van het met waterdamp verzadigde gas? b) Hoeveel weegt de gevormde waterdamp?

Dichtheid van waterstof met betrekking tot lucht =  $0,069$ .

Barometerstand =  $75$  cM.

Hoogte van het vat boven den waterspiegel =  $30$  cM.

Doorsnede van het vat = 100 cM<sup>2</sup>.

Soort. gewicht van kwik = 13,6.

Soort. gewicht van water bij 20° = 0,9983.

Uitz.-coëff. van gas en waterdamp =  $\frac{1}{273}$ .

Maximum-spanning van waterdamp bij 20° = 1,74 cM.

Soort. gewicht van normale lucht = 0,001293.

Dichtheid van waterdamp met betrekking tot lucht = 0,623.

**355.** In een vat van 1 dM<sup>2</sup> doorsnede bevinden zich 5 L met waterdamp verzadigde lucht bij eene temperatuur van 17°,6 afgesloten door een luchtdicht sluitenden, maar zonder wrijving beweeglijken zuiger van 2,04 KG gewicht. Men laat op den zuiger eene vertikaal naar boven gerichte kracht van 51 KG werken en verhoogt te gelijker tijd de temperatuur der lucht tot 26°. Als er genoeg water (waarvan het volume verwaarloosd kan worden) in het vat is, om ook nu de ruimte onder den zuiger te verzadigen, welken stand zal dan de zuiger boven den bodem van het vat innemen?

Barometerstand = 735 mM.

Soort. gewicht van kwik = 13,6.

Maximum-spanning van waterdamp bij 17°,6 = 15 mM.

" " " " " 26° = 25 "

Uitz.-coëff. van gassen en dampen =  $\frac{1}{273}$ .

**356.** In eene barometerbuis, waarvan de inwendige doorsnede 2 cM<sup>2</sup> is, heeft men een waterdruppel laten opstijgen, die geheel verdampt is. De buis steekt 90 cM boven het kwik in den wijden en diepen bak uit. De barometerstand is 750 mM, de temperatuur 20°. Na het opstijgen van het water is de afgelezen kwikhoogte 738 mM. a) Hoeveel bedraagt het gewicht van den druppel? b) Hoe diep moet men de buis in den bak laten zakken, om de Torricelli'sche ruimte te verzadigen? c) Hoe diep moet men de buis laten zakken, om den damp geheel tot water te verdichten? — Men verwaarlooze het volume van den druppel.

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{5530}$ .

Soort. gewicht van normale lucht = 0,001293.

Dichtheid van waterdamp met betrekking tot lucht =  $\frac{5}{8}$ .

Uitz.-coëff. van gassen en dampen =  $\frac{1}{273}$ .

Maximum-spanning van waterdamp bij 20° = 17,4 mM.

Oplossing. *a*) Druk der kwikkolom  $H = \frac{73,8}{1 + \frac{20}{6650}}$  cM.

Spanning van den waterdamp  $h = (75 - H)$  cM.

Gewicht van den waterdamp (of van den druppel)

$$\rho = (90 - 73,8) \times 2 \times 0,001293 \times \frac{h}{76} \times \frac{5/8}{1 + \frac{20}{273}} \text{ G.}$$

*b*) Is de hoogte der dampkolom op het oogenblik van verzadiging  $h_1$  cM, dan is volgens de wet van Boyle  $h \times (90 - 73,8) \times 2 = 1,74 \times h_1 \times 2$ .

Is de hoogte der kwikkolom dan  $H_1$ , dan maakt de luchtdruk evenwicht met den druk dezer kwikkolom en de spanning van den verzadigden damp. Men vindt dus  $H_1$  uit de vergelijking

$$75 = \frac{H_1}{1 + \frac{20}{6650}} + 1,74$$

zoodat de buis ingedompeld is  $(90 - H_1 - h_1)$  cM.

*c*) Op het oogenblik, waarop het laatste dampdeeltje gecondenseerd wordt, is in de bovenstaande vergelijking  $h_1 = 0$ ; zoodat de indompeling der buis bedraagt  $(90 - H_1)$  cM.

**357.** Een barometerbuis (inwendige doorsnede = 2 cM<sup>2</sup>) is met de opening naar beneden in een diepen kwikbak geplaatst. Zij bevat slechts kwik en een weinig water (geen lucht en waterdamp), dat dus tegen den bovenwand der buis staat. Bij de (standvastig gehouden) temperatuur van 22<sup>o</sup>,5 trekt men de buis omhoog. De verdamping van het water begint, als de buis 743 mM boven het kwik in den bak uitsteekt. Bij verder omhoogtrekken blijft de hoogte der kwikkolom in de buis aanvankelijk standvastig; zij begint echter weer toe te nemen, als de bovenwand der buis zich 90 cM boven het kwik in den bak bevindt. Gevraagd de barometerstand en het gewicht van den damp. — Men verwaarlooze het volume van het water.

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{2560}$ .

Maximum-spanning van waterdamp bij 22<sup>o</sup>,5 = 20,3 mM.

Soort. gewicht van normale lucht = 0,001293.

Dichtheid van waterdamp =  $\frac{5}{8}$ .

Uitz.-coëff. van waterdamp =  $\frac{1}{273}$ .

**358.** Men onttrekt door sterk zwavelzuur aan 5 L vochtige lucht, waarvan de temperatuur 23<sup>o</sup>,5 en het dauwpunt 17<sup>o</sup> is, den waterdamp. Gevraagd *a*) de vochtigheidstoestand der lucht, *b*) de gewichtsvermeerdering van het zwavelzuur, *c*) het normale volume der droge lucht.

Maximum-spanning van waterdamp bij  $23^{\circ},5 = 21,6$  mM.

Maximum-spanning van waterdamp bij  $17^{\circ} = 14,4$  mM.

Gewicht van 1 L normale lucht = 1,293 G.

Dichtheid van waterdamp met betrekking tot lucht =  $\frac{5}{8}$ .

Barometerstand = 748,8 mM.

Uitz.-coëff. van gassen en dampen =  $\frac{1}{273}$ .

**359.** Door middel van een aspirator laat men dampkringslucht door eene buis stroomen, waarin zich phosphorzuuranhydride bevindt. De lucht, die dientengevolge volkomen droog geworden is, wordt in den aspirator wederom met waterdamp verzadigd. Men eindigt de proef als de (verzadigde) lucht in den aspirator een volume van 10 L verkregen heeft, en vindt dan eene gewichtsvermeerdering der buis = 0,1193 G. Gevraagd de vochtigheidstoestand der dampkringslucht.

Barometerstand = 75 cM.

Soort. gewicht van normale lucht = 0,001293.

Temperatuur =  $26^{\circ}$ .

Dichtheid van waterdamp =  $\frac{5}{8}$ .

Maximum-spanning van waterdamp bij  $26^{\circ} = 2,5$  cM.

OPLOSSING. Spanning der (droge) lucht in den aspirator =  $75 - 2,5 = 72,5$  cM.

Had deze hoeveelheid lucht in den dampkring een volume  $V$  cM<sup>3</sup>, en is de spanning van den waterdamp in den dampkring  $h$  cM, dan is

$$10000 \times 72,5 = V \times (75 - h).$$

Het gewicht van den waterdamp, dien deze hoeveelheid lucht in den dampkring bevatte, is

$$0,1193 = V \times 0,001293 \times \frac{h}{76} \times \frac{\frac{5}{8}}{1 + \frac{5}{26/273}} \text{ G.}$$

Uit deze vergelijkingen vindt men

$$V = 9830,5 \text{ cM}^3 \text{ en } h = 1,25 \text{ cM.}$$

De vochtigheidstoestand der dampkringslucht is dus  $\frac{1,25}{2,5} = 0,5$ .

**360.** Men vult het vat  $V$  (fig. 192) op de in § 737 beschreven wijze bij  $20^{\circ}$  met dampkringslucht en verzadigt dan de afgesloten lucht bij onveranderden barometerstand en onveranderde temperatuur met waterdamp. Als daardoor het water in de manometerbuis  $M$  118,5 mM stijgt, hoeveel bedraagt dan de vochtigheidstoestand der dampkringslucht?



Soort. gewicht van water bij  $20^{\circ} = 0,9983$ .

Soort. gewicht van kwik = 13,596.

Maximum-spanning van waterdamp bij  $20^{\circ} = 17,4$  mM.

OPLOSSING. Vermeerdering van spanning door de verzadiging =

$$\frac{11,85 \times 0,9983}{13,596} = 0,87 \text{ cM.}$$

Aanvankelijke spanning van den waterdamp in de lucht =  $1,74 - 0,87 = 0,87$  cM.

$$\text{Vochtigheidstoestand} = \frac{0,87}{1,74} = 50\%.$$

**361.** Als bij de in vraag 360 bedoelde proef op het oogenblik, waarop men de lucht in  $V$  afsluit, de barometerstand 758,7 mM en de temperatuur  $20^{\circ}$ , terwijl op het oogenblik, waarop men afleest, de barometerstand 760 mM en de temperatuur  $22^{\circ},5$  is, hoe hoog is dan het water in  $M$  boven den aanvankelijken stand gestegen?

Uitz.-coëff. van lucht =  $\frac{1}{273}$ .

Maximum-spanning van waterdamp bij  $22^{\circ},5 = 20,3$  mM.

Soort. gewicht van kwik = 13,596.

Soort. gewicht van water bij  $22^{\circ},5 = 0,9977$ .

OPLOSSING. Spanning der *droge* lucht bij het afsluiten =  $75,87 - 0,87 = 75$  cM.

$$\text{Spanning der droge lucht bij het aflezen} = 75 \times \frac{1 + \frac{22,5}{273}}{1 + \frac{20}{273}} = 75,64 \text{ cM.}$$

Spanning der vochtige lucht bij het aflezen  $75,64 + 2,03 = 77,57$  cM.

Overdruk der verzadigde lucht bij het einde der proef =  $77,67 - 76,0 = 1,67$  cM.

Hoogte der waterkolom, die eene gelijke drukking uitoefent,

$$h = \frac{1,67 \times 13,596}{0,9977} \text{ cM.}$$

**362.** Bij een barometerstand van 750,80 mM en eene temperatuur van  $17^{\circ}$  heeft men het vat  $V$  van fig. 192 met dampkringslucht gevuld en gesloten. Bij de aflezing heeft men gevonden, dat het water in de manometerbuis  $M$  15,1 mM gestegen was, terwijl de barometerstand 749,84 mM en de temperatuur  $16^{\circ}$  was geworden. Hoe groot was op het oogenblik van afsluiten de vochtigheidstoestand der lucht?

Soort. gewicht van kwik = 13,59.

Soort. gewicht van water bij  $16^{\circ}$  = 0,999.

Maximum-spanning van waterdamp bij  $16^{\circ}$  = 13,50 mM.

Uitz.-coëff. van lucht =  $\frac{1}{273}$ .

Maximum-spanning van waterdamp bij  $17^{\circ}$  = 14,40 mM.

**363.** Men wil den vochtigheidstoestand der dampkringslucht bepalen op de in § 736 beschreven wijze met behulp van den toestel van fig. 185. Bij een barometerstand van 761,6 mM en eene temperatuur van  $20^{\circ}$  brengt men dampkringslucht in het vat *A*, zóó dat het kwik in beide beenen even hoog staat. Daarna droogt men de afgesloten lucht, door eenige druppels sterk zwavelzuur in *A* te laten treden. Om bij de veranderde temperatuur van  $17^{\circ},5$  het volume der droge lucht even groot te doen zijn als dat der vochtige lucht bij  $20^{\circ}$  was, moet men de buis *B* zóó verplaatsen, dat de kwikspiegel in *B* 18,0 mM lager staat dan die in *A*. Hoe groot was de vochtigheidstoestand?

Uitz.-coëff. van lucht =  $\frac{1}{273}$ .

Maximum-spanning van waterdamp bij  $20^{\circ}$  = 17,4 mM.

**364.** In een vat, dat een inhoud van 2 dM<sup>3</sup> heeft en gevuld is met droge lucht van  $30^{\circ}$  onder eene drukking van 0,76 M, brengt men 20 mG water van dezelfde temperatuur, waarna het vat gesloten wordt. Men vraagt, nadat de verdamping zoo volkomen, als mogelijk is, heeft plaats gehad, *a)* den vochtigheidstoestand, *b)* de spanning en *c)* het gewicht van het mengsel lucht en waterdamp. (Eindex. H. B. S.)

Maximum-spanning van waterdamp bij  $30^{\circ}$  = 31,5 mM.

Dichtheid van waterdamp = 0,622.

Soort. gewicht van lucht bij  $0^{\circ}$  en eene drukking van 0,76 M = 0,001293.

OPLOSSING. *a)* Of het water geheel verdampen kan, blijkt, als men, veronderstellende dat dit het geval is, de spanning *h* van den damp berekent:

$$0,020 = 2000 \times 0,001293 \times \frac{h}{760} \times \frac{0,622}{1 + \frac{30}{273}}$$

$$h = 10,49 \text{ (ongeveer } 10,5) \text{ mM.}$$

Daar 10,5 kleiner is dan 31,5, is al het water verdampt. De vochtigheidstoestand is  $e = \frac{10,5}{31,5} = \frac{1}{3}$ .

b) De spanning van het mengsel is  $= 760 + 10,5 = 771,5$  mM.

c) Het gewicht van het mengsel is

$$p = p_1 + p_2 = \left( 2000 \times 0,001293 \times \frac{1}{1 + \frac{20}{273}} + 0,02 \right) \text{G.}$$

**365.** Het gewicht van droge lucht bij eene temperatuur  $20^{\circ},2$  en de spanning  $750$  mM is gelijk aan dat van een even groot volume vochtige lucht, waarvan de vochtigheidstoestand bij dezelfde temperatuur  $0,6$  is. Hoe groot is de spanning der vochtige lucht?

Maximum-spanning van waterdamp bij  $20^{\circ},2 = 17,6$  mM.

Dichtheid van waterdamp met betrekking tot lucht  $= \frac{5}{8}$ .

**366.** Hoe groot is de dichtheid van vochtige lucht onder de volgende omstandigheden: spanning  $= 766,6$  mM; temperatuur  $= 50^{\circ}$ ; vochtigheidstoestand  $= \frac{2}{3}$ ?

Dichtheid van normale lucht  $= 0,001293$ .

Maximum-spanning van waterdamp bij  $50^{\circ} = 88,8$  mM.

Dichtheid van waterdamp  $= \frac{5}{8}$ .

Uitz.-coëff. van gassen en dampen  $= \frac{1}{273}$ .

**367.** Men heeft twee geheel gelijke opene orgelpijpen, lang  $50$  cM. De eene wordt angeblazen met volkomen droge lucht, de andere met dampkringslucht, waarvan de vochtigheidstoestand  $\frac{32}{35}$  is. Hoeveel zwevingen per seconde maken de grondtonen der beide pijpen?

Barometerstand  $= 750$  mM.

Temperatuur  $= 20^{\circ}$ .

Maximum-spanning van waterdamp bij  $20^{\circ} = 17,5$  mM.

Dichtheid van waterdamp met betrekking tot lucht  $= \frac{5}{8}$ .

Voortplantingssnelheid van het geluid in (droge) lucht van  $0^{\circ} = 33277$  kines.

Uitz.-coëff. van lucht  $= \frac{1}{273}$ .

OPLOSSING. Voortplantingssnelheid in droge lucht van  $20^{\circ} =$

$$33277 \times \sqrt{1 + \frac{20}{273}} = 34474 \text{ kines.}$$

Spanning van den waterdamp in de lucht  $= \frac{32}{35} \times 17,5 = 16$  mM.

De dichtheden van droge en van vochtige lucht verhouden zich bij gelijke temperatuur als de gewichten (verg. § 710); dus

$$D_d : D_v = 750 : (750 - 16 + \frac{5}{8} \times 16) = 750 : 744.$$

Voor de voortplantingssnelheden vindt men dus

$$c_d : c_c = \sqrt{D_c} : \sqrt{D_d} \text{ of } c_c = c_d \times \sqrt{\frac{D_d}{D_c}}$$

$$c_c = 34474 \times \sqrt{\frac{750}{744}} = 34613 \text{ kines.}$$

Golfteugte der beide tonen  $l = 2 \times 50 = 100$  cM.

Aantal trillingen der beide tonen per seconde

$$n_1 = \frac{c_d}{l} = 344,74 \text{ en } n_2 = \frac{c_c}{l} = 346,13.$$

Aantal zwevingen per seconde = 1,39.

**368.** Door eene trillingsbuis van Kundt, die per seconde 3482,5 trillingen maakt, worden in de golfbuis 40 halve staande golven gevormd, als deze gevuld is met dampkringslucht, waarvan de vochtigheidstoestand  $\frac{1}{3}$  is. Hoeveel had men de lengte der golfbuis moeten veranderen, om evenveel halve golven te verkrijgen, als de lucht bij dezelfde temperatuur en denzelfden barometerstand volkomen droog was geweest?

Barometerstand = 750 mM.

Temperatuur = 26°.

Maximum-spanning van waterdamp bij 26° = 25 mM.

Dichtheid van waterdamp met betrekking tot lucht =  $\frac{5}{8}$ .

Voortplantingssnelheid van het geluid in (droge) lucht van 0° = 33277 kines.

Uitz.-coëff. van lucht =  $\frac{1}{273}$ .

**369.** Van twee geheel gelijke geslotene orgelpijpen, lang 37,5 cM, wordt de eene aangeblazen met dampkringslucht, de andere met volkomen gedroogde lucht, zóó dat beide den eersten boventoon geven; men hoort dientengevolge 2 zwevingen per seconde. Bereken den vochtigheidstoestand der dampkringslucht.

Barometerstand = 750 mM.

Temperatuur = 21°.

Maximum-spanning van waterdamp bij 21° = 18,5 mM.

Dichtheid van waterdamp met betrekking tot lucht =  $\frac{3}{8}$ .

Voortplantingssnelheid van het geluid in droge lucht van 20° = 34500 kines.

**370.** Een glazen buis, van boven gesloten, staat vertikaal in kwik. In de buis staat het kwik 244,73 mM hoog; daarboven bevindt zich 462 cM<sup>3</sup> droge lucht. De temperatuur van



kwik en lucht is  $10^{\circ}$ . — Men laat 7,2 mG water in de buis opstijgen. Als dit verdampt is, en alles de temperatuur  $25^{\circ}$  heeft aangenomen, staat het kwik in de buis 223 mM. hoog, terwijl de vochtige lucht een volume van 479,95 cM<sup>3</sup> inneemt. Gevraagd de dichtheid van waterdamp en de hygrometrische toestand der lucht.

Uitz.-coëff. van kwik =  $\frac{1}{10550}$ .

Barometerstand = 752 mM.

Uitz.-coëff. van gassen en dampen =  $\frac{1}{273}$ .

Soort. gewicht van normale lucht = 0,001293.

Maximum-spanning van waterdamp bij  $25^{\circ}$  = 23,5 mM.

**371.** De wijzer van een gevoeligen baroscoop, waarvan de groote bol een volume van 1 dM<sup>3</sup>, de kleine bol van 20 cM<sup>3</sup> heeft, staat op nul, als de toestel in lucht geplaatst is, waarvan de spanning 740 mM, de temperatuur  $20^{\circ}$ , en de vochtigheidstoestand  $\frac{3}{4}$  is. Hoeveel gewichtstukken moet men bij een der bollen voegen, om het evenwicht weer te herstellen, nadat men den toestel in droog lichtgas (dichtheid = 0,4) van gelijke temperatuur en spanning gebracht heeft?

Gewicht van 1 L. normale lucht = 1,293 G.

Maximum-spanning van waterdamp bij  $20^{\circ}$  = 17,4 mM.

Uitz.-coëff. van gassen en dampen =  $\frac{1}{273}$ .

Dichtheid van waterdamp met betrekking tot lucht =  $\frac{5}{8}$ .

**372.** De wijzer van een gevoeligen baroscoop staat op nul, als de toestel in lucht geplaatst wordt, waarvan de spanning 750 mM, de temperatuur  $20^{\circ}$  en de vochtigheidstoestand  $\frac{4}{5}$  is. Men brengt den toestel onder de klok eener luchtpomp, en vult deze met droog koolzuur. Hoe ver moet men nu uitpompen, om den wijzer weer op nul te brengen, als de temperatuur van het gas op  $12^{\circ}$  gehouden wordt?

Soort. gewicht van normale lucht = 0,001293.

Maximum-spanning van waterdamp bij  $20^{\circ}$  = 17,4 mM.

Dichtheid van waterdamp met betrekking tot lucht =  $\frac{5}{8}$ .

Uitz.-coëff. van gassen en dampen =  $\frac{1}{273}$ .

Dichtheid van koolzuur met betrekking tot lucht = 1,53.

**373.** In een vat, waarvan de doorsnede 1 dM<sup>2</sup> is, zijn onder een luchtdicht sluitenden, maar zonder wrijving beweeglijken zuiger 5 L met waterdamp verzadigde lucht afgesloten, bij

eene temperatuur van  $21^{\circ}$  en een barometerstand van 747,5 mM. Het gewicht van den zuiger is 3,06 KG. Als de barometerstand verandert tot 750 mM, en men de temperatuur der afgesloten lucht op  $16^{\circ}$  houdt, a) hoe groot wordt dan de vochtigheidstoestand der lucht, nadat men den zuiger door eene kracht van 68 KG omhoog heeft getrokken? b) hoeveel waterdamp zal gecondenseerd worden, als men den zuiger met eene even groote kracht naar binnen drukt? — Men verwaarlooze de verandering van het volume van het vat.

Soort. gewicht van kwik (bij alle temperaturen) = 13,6.

Uitz.-coëff. van gassen en dampen =  $\frac{1}{273}$ .

Maximum-spanning van waterdamp bij  $21^{\circ}$  = 18,5 mM.

Maximum-spanning van waterdamp bij  $16^{\circ}$  = 13,6 mM.

Soort. gewicht van normale lucht = 0,001293.

Dichtheid van waterdamp met betrekking tot lucht =  $\frac{5}{8}$ .

### XIX. Soortelijke en latente warmte.

**374.** In een geelkoperen calorimeter, die met den geelkoperen roertoestel 120,0 G weegt, brengt men 200,0 G water. De temperatuur, die  $15^{\circ}$  is, wordt  $20^{\circ}$  na indompeling in den calorimeter van een stuk geelkoper, waarvan de massa (het gewicht) 151,06 G en de temperatuur  $100^{\circ}$  is. Gevraagd de soortelijke warmte van geelkoper. Het warmteverlies gedurende de proef en de warmte, afgestaan aan den thermometer, kunnen verwaarloosd worden.

**375.** Men verwarmt een thermometer tot  $48^{\circ}$  en dompelt hem met het reservoir in een geelkoperen calorimeter, waarvan de massa 20,0 G bedraagt, en die 14,812 G water van  $18^{\circ}$  bevat. De temperatuur van den calorimeter stijgt daardoor  $1^{\circ},2$ . Gevraagd de waterwaarde van den thermometer.

Soort. warmte van geelkoper = 0,094.

**376.** Een tinnen cilinder, dik 2 cM, hoog 3 cM, wordt tot  $100^{\circ}$  verwarmd en gedompeld in een geelkoperen calorimeter van 50,0 G massa, die 136,64 G water bevat, en waarin zich een tinnen roertoestel van 12,0 G en een thermometer met de waterwaarde 0,8 G bevindt. De begintemperatuur van den calorimeter is  $22^{\circ},5$ , de eindtemperatuur  $25^{\circ}$ . Gevraagd de soortelijke warmte van tin.

Soort. gewicht van tin = 7,3.

Soort. warmte van geelkoper = 0,094.

**377.** Een gesloten glazen fleschje van 20 G massa bevat 16 G water. Het wordt verwarmd tot  $30^{\circ}$  en gedompeld in een bekersglas van 50 G massa, waarin zich  $100 \text{ cm}^3$  alcohol bevinden. De waterwaarde van den thermometer bedraagt 2 G. De begintemperatuur is  $16\frac{2}{3}^{\circ}$ , de eindtemperatuur  $20^{\circ}$ . Gevraagd de soort. warmte van alcohol.

Soort. gewicht van alcohol = 0,8.

Soort. warmte van glas = 0,2.

**378.** De waterwaarde van een thermometer kan met voldoende nauwkeurigheid bepaald worden uit de omstandigheid, dat  $1 \text{ cm}^3$  glas en  $1 \text{ cm}^3$  kwik ongeveer evenveel calorieën eischen, om  $1^{\circ}$  verwarmd te worden, namelijk glas  $2,5 \times 0,19 = 0,475$  cal. en kwik  $13,6 \times 0,033 = 0,449$  cal. Men kan dus de warmte, noodig om  $1 \text{ cm}^3$  van den thermometer  $1^{\circ}$  te verwarmen, 0,46 cal. stellen. Hoe groot is dus de waterwaarde van een thermometer, die een gewichtsverlies van 2,04 G ondervindt, terwijl hij even diep als bij de calorimetrische proeven onder kwik gedompeld wordt?

**379.** Hoeveel kwik moet men in een hollen glazen bol van 12 G massa brengen, zóó dat het geheel voor elken graad temperatuursverhooving juist 10 cal. vereischt?

Soort. warmte van glas = 0,2.

Soort. warmte van kwik =  $\frac{1}{30}$ .

**380.** Men wil een calorifer \*) vervaardigen uit eene glas-massa van  $7\frac{2}{3}$  G, zóó dat de toestel juist 500 calorieën afstaat, als het kwik van het bovenste streepje ( $85^{\circ}$ ) tot het onderste streepje ( $25^{\circ}$ ) daalt. Hoe groot moet de inhoud van het reservoir tot aan het onderste streepje bij  $0^{\circ}$  gemaakt worden?

Soort. warmte van glas = 0,2.

\*) Een calorifer heeft den vorm van een thermometer zonder volledige schaal, met vrij groot reservoir; de capillaire buis bestaat uit twee kortestukjes, waartusschen zich eene wijdere ruimte bevindt, zóó dat twee streepjes, die op het onderste, resp. op het bovenste capillaire buisje aangebracht zijn, den stand van het kwik bij twee temperaturen, b.v.  $25^{\circ}$  en  $85^{\circ}$ , aanwijzen. De inhoud van het verwijde gedeelte is zoo groot, dat de onderlinge afstand der beide streepjes klein en de lengte van den geheelen toestel gering is.

Soort. gewicht van kwik = 13,6.

Soort. warmte van kwik =  $\frac{1}{30}$ .

**381.** De in het vorige vraagstuk bedoelde calorifer wordt tot  $100^{\circ}$  verwarmd en op het oogenblik, waarop het kwik tot het bovenste streepje gedaald is, geheel in een bekeerglas (massa = 107,0 G) gedompeld, dat 420,0 G terpentijn bevat, en waarin zich een thermometer met de waterwaarde  $0,5^{\circ}$  bevindt. De temperatuur der terpentijn was bij het indompelen  $15^{\circ}$  en is  $17^{\circ},5$  geworden, als men den calorifer weer uit de vloeistof verwijderd heeft op het oogenblik, waarop het kwik tot het onderste streepje gedaald is. Gevraagd de soortelijke warmte van terpentijn.

Soort. warmte van glas = 0,2.

**382.** Een stuk brons (koper en tin) weegt 293 G en verliest in water aan gewicht 35 G. Men verwarmt het tot  $100^{\circ}$ , werpt het in een koperen calorimeter van 60 G massa, die 250 G water bevat, waarvan de temperatuur  $15^{\circ}$  bedraagt. Hoe hoog zal de eindtemperatuur worden?

Soort. gewicht van koper = 8,8.

Soort. gewicht van tin = 7,3.

Soort. warmte van koper = 0,095.

Soort. warmte van tin = 0,056.

**383.** Een stuk brons bevat 200 G koper en 100 G tin. Het wordt tot  $100^{\circ}$  verwarmd en in een calorimeter gedompeld, waarvan de totale waterwaarde 369 G en de temperatuur  $20^{\circ}$  is. De eindtemperatuur is  $25^{\circ}$ . Hoe groot is de soortelijke warmte van tin, als die van koper 0,095 is?

**384.** Door eene calorimetriscche proef heeft men voor de soortelijke warmte van Britannia-metaal (82% zink, 18% antimonium) gevonden 0,0855. Bereken hieruit de soortelijke warmte van zink en van antimonium in de onderstelling dat de atoomwarmten van beide metalen gelijk zijn.

Atoomgewicht van zink = 65.

Atoomgewicht van antimonium = 120.

**385.** Dompelt men 50 G koper van  $100^{\circ}$  in  $76 \text{ cm}^3$  water van  $15^{\circ}$ , dan wordt de eindtemperatuur  $20^{\circ}$ . Hoe groot moet de massa van een stuk zilver van  $100^{\circ}$  zijn, dat in  $76 \text{ cm}^3$  alcohol van  $15^{\circ}$  gedompeld, eveneens de eindtemperatuur  $20^{\circ}$



voortbrengt? — Men stelle de atoomwarmte der beide metalen gelijk; men verwaarlooze de waterwaarde der vaten.

Dichtheid van water (bij alle temperaturen) = 1.

Dichtheid van alcohol (bij alle temperaturen) = 0,8.

Atoomgewicht van koper = 63,5.

Atoomgewicht van zilver = 108.

Soort. warmte van alcohol = 0,615.

**386.** Om de temperatuur van een oven te bepalen, brengt men er een platina kogel in van 100 G en laat dien de temperatuur van den oven aannemen. Daarna dompelt men den kogel in een calorimeter, waarvan de totale waterwaarde 980 G en de temperatuur 20° is. Hoe groot was de temperatuur van den oven, als de eindtemperatuur 24° wordt.

Soort. warmte van platina =  $\frac{1}{30}$ .

**387.** Om de soortelijke warmte van lucht te bepalen heeft men het vat *A* (fig. 197), dat in water van 18°,6 geplaatst is, tot de spanning 180 cM gevuld met droge lucht. De inhoud van het vat is 100 dM<sup>3</sup>. De uit *A* stroomende lucht wordt in *C* verwarnd tot 100° en door den calorimeter *E* geleid, waarvan de totale waterwaarde 1080,8 G en de temperatuur 18°,6 is. Men staakt de proef, als de spanning der lucht in *A* gedaald is tot 80 cM. De temperatuur van den calorimeter is dan 21°,4. Gevraagd de soortelijke warmte van lucht.

Gewicht van 1 L normale lucht = 1,293 G.

Uitz.-coëff. van lucht =  $\frac{1}{273}$ .

**388.** Door eene trillingsbuis, waarvan het aantal trillingen per seconde 2620,8 bedraagt, worden in de met waterstofgas van 20° gevulde golfbuis van Kundt ophooping van het poeder voortgebracht op onderlinge afstanden van 25 cM. Bereken daaruit de soortelijke warmte van waterstof bij constant volume, als die bij constante drukking 3,409 is.

Soort. gewicht van kwik = 13,596.

Versnelling der zwaartekracht = 981,2 kines per sec.

Dichtheid van normale lucht = 0,001293.

Dichtheid van waterstof met betrekking tot lucht = 0,0693.

Uitz.-coëff. van waterstof =  $\frac{1}{273}$ .

**389.** 1,36 G kwik vullen bij 0° 50 afdeelingen der horizontale buis van een ijscalorimeter van Bunsen. Men brengt 12 G

water van  $20^{\circ}$  in den calorimeter (A, fig. 196), waardoor zooveel ijs gesmolten wordt, dat het kwik in de horizontale buis 136 afdeelingen teruggaat. Hoe groot is de dichtheid van ijs bij  $0^{\circ}$ ?

Soort. gewicht van kwik = 13,6.

Smeltingswarmte van ijs = 80 cal.

Dichtheid van water bij  $0^{\circ}$  = 0,9999.

**390.** In een bekersglas (massa = 80 G; soort. warmte = 0,2) bevinden zich 50 G water en 25 G phosphorus van  $14^{\circ}$ . Hoeveel olie van  $100^{\circ}$  moet men er bijvoegen, om den phosphorus juist te doen smelten?

Soort. warmte van vasten phosphorus = 0,2.

Smeltingswarmte van phosphorus = 5,4 cal.

Smeltpunt van phosphorus =  $44^{\circ}$ .

Soort. warmte van olie = 0,3.

Soort. warmte van water bij alle temperaturen = 1.

**391.** In een bekersglas (massa 50 G, soort. warmte = 0,2) bevinden zich bij eene temperatuur van  $20^{\circ}$  50 G water en 50 G van de legering van Wood, bestaande uit 12,5% cadmium (soort. gewicht = 8,6, soort. warmte = 0,055, smeltingswarmte = 13,7 cal.), 12,5% tin (soort. gew. = 7,3, soort. w. = 0,056, smelt.-w. = 13,3 cal.), 25% lood (soort. gew. = 11,4, soort. w. = 0,032, smelt.-w. = 5,8 cal.) en 50% bismuth (soort. gew. = 9,8, soort. w. = 0,030, smelt.-w. = 12,6 cal.). Hoeveel stoom van  $100^{\circ}$  moet men in het bekersglas leiden, om het metaalmengsel juist te doen smelten? Men neme aan, dat elk metaal zijne soortelijke warmte en zijne smeltingswarmte in het mengsel behoudt.

Soort. warmte van water bij alle temperaturen = 1.

Totale warmte van stoom bij  $t^{\circ}$  =  $(606,5 + 0,305 t)$  cal.

Smeltpunt der legering =  $70^{\circ}$ .

**392.** Een koperen bak weegt 2,5 KG en bevat 200 KG water en 120 KG ijs. Hoeveel KG waterdamp van  $100^{\circ}$  C moet er ingevoerd worden, om alles tot  $104^{\circ}$  Fahrenheit te verhitten, als de bak geen warmte naar buiten afstaat? (Eindex. H. B. S.)

Soort. warmte van koper = 0,1.

Smeltingswarmte van ijs = 80 cal.

Verdampingswarmte van water = 540 cal.

**393.** Een volume van  $1 \text{ M}^3$  met-waterdamp verzadigde lucht, bij eene temperatuur van  $39^\circ$  en onder eene drukking van  $760 \text{ mM}$  wordt bij onveranderde drukking afgekoeld tot  $0^\circ$ . Men vraagt:

- naar het volume, dat de lucht dan inneemt;
- naar het gewicht van den gecondenseerden damp;
- naar het aantal caloricën, dat door den waterdamp is afgestaan. (Eindex. H. B. S.)

Gewicht van  $1 \text{ dM}^3$  droge lucht bij  $0^\circ$  en  $760 \text{ mM}$  drukking =  $1,3 \text{ G}$ .

Soort. gewicht van waterdamp met betrekking tot lucht =  $\frac{5}{8}$ .

Coëff. van uitzetting der lucht =  $\frac{1}{273}$ .

Maximum-spanning van waterdamp bij  $39^\circ$  =  $52 \text{ mM}$ .

" " " " "  $0^\circ$  =  $4,6 \text{ mM}$ .

(De beteekenis der formule  $L = 606,5 + 0,305 t$  wordt bekend ondersteld).

**394.** Hoeveel calorieën worden door condensatie van waterdamp vrij, als  $100 \text{ M}^3$  vochtige lucht (barometerstand  $750 \text{ mM}$ , temperatuur  $20^\circ$ , vochtigheidstoestand  $\frac{9}{10}$ ) afgekoeld worden tot  $0^\circ$ ?

Maximum-spanning van waterdamp bij  $20^\circ$  =  $17,5 \text{ mM}$ .

" " " " "  $0^\circ$  =  $4,6$  "

Uitz.-coëff. van gassen en dampen =  $\frac{1}{273}$ .

Dichtheid van waterdamp met betrekking tot lucht =  $\frac{5}{8}$ .

Totale warmte van waterdamp bij  $t^\circ$  =  $(606,5 + 0,305 t) \text{ cal}$ .

**395.** Het gewicht der lucht, die zich in zeker volume vochtige lucht (spanning  $750 \text{ mM}$ , temperatuur  $25^\circ$ , vochtigheidstoestand  $\frac{3}{4}$ ) bevindt, is  $2,5 \text{ KG}$ . Hoeveel calorieën zijn noodig geweest, om den waterdamp, dien deze lucht bevat, uit ijs van  $0^\circ$  te verkrijgen?

Soort. gewicht van normale lucht =  $0,001293$ .

Maximum-spanning van waterdamp bij  $25^\circ$  =  $23,6 \text{ mM}$ .

Uitz.-coëff. van gassen en dampen =  $\frac{1}{273}$ .

Dichtheid van waterdamp met betrekking tot lucht =  $\frac{5}{8}$ .

Smeltingswarmte van ijs =  $80 \text{ cal}$ .

Totale warmte van waterdamp bij  $t^\circ$  =  $(606,5 + 0,305 t) \text{ cal}$ .

**396.** In een cilindrisch vat van  $0,5 \text{ M}^2$  doorsnede bevindt zich  $0,75 \text{ KG}$  water van  $0^\circ$ . Op het water rust een zuiger

zonder gewicht. *a)* Hoeveel KG moet men op den zuiger plaatsen, om het water door warmte in verzadigden stoom van  $120^{\circ},6$  te kunnen overbrengen? *b)* Hoeveel calorieën zijn daarvoor noodig? *c)* Hoe hoog stijgt de zuiger daarbij?

Als men nu de gewichtstukken weer verwijderd, zet de stoom zich uit, de zuiger rijst en de temperatuur daalt iets. Door toevoer van warmte brengt men de temperatuur weer op  $120^{\circ},6$ . *d)* Hoeveel warmte heeft men moeten toevoeren? *e)* Welken stand heeft nu de zuiger?

Spanning van verzadigden waterdamp bij  $120^{\circ},6 = 2$  atmosferen.

Barometerstand = 733 mM.

Soort. gewicht van kwik = 13,6.

Totale warmte van verzadigden stoom bij  $t^{\circ} = (606,5 + 0,305t)$  cal.

Volume van 1 KG verzadigden stoom van  $120^{\circ},6 = 0,862 \text{ M}^3$ .

Kookpunt van water bij 733 mM drukking =  $99^{\circ}$ .

Soort. warmte van waterdamp = 0,48.

Dichtheid van normale lucht = 0,001293.

Dichtheid van waterdamp met betrekking tot lucht =  $\frac{1}{173}$ .

Uitz.-coëff. van waterdamp =  $\frac{1}{173}$ .

OPLOSSING. *a)* De gewichten + de luchtdrukking moeten evenwicht maken met den druk van den verzadigden damp tegen den zuiger: dus

$$P = (15,2 - 7,33) \times 13,6 \times 50 \text{ KG.}$$

*b)*  $W = 0,75 \times (606,5 + 0,305 \times 120,6) = 482,46225 \text{ KG-cal.}$

*c)* Volume van den stoom  $V = 0,75 \times 0,862 \text{ M}^3$ .

Hoogte van den zuiger boven den bodem

$$H = \frac{V}{O} = \frac{0,75 \times 0,862}{0,5} = 1,293 \text{ M.}$$

Aanvankelijke hoogte van het water  $h = \frac{0,75}{50} \text{ dm} = 0,0015 \text{ M.}$

De zuiger is dus gerezen  $H - h = 1,2915 \text{ M.}$

*d)* De damp is onverzadigd geworden; zijne spanning is 733 mM; zijne temperatuur wordt wederom gebracht op  $120^{\circ},6$ .

Om (van  $0^{\circ}$ ) tot dien toestand te geraken, zou het water hebben moeten opnemen:

totale warmte van den verzadigden stoom bij  $99^{\circ} = 0,75 (606,5 + 0,305 \times 99) = 477,52125 \text{ KG-cal.}$

+ warmte om den onverzadigden stoom van  $99^{\circ}$  tot  $120^{\circ},6$  te ver-



warmen =  $M c (t - t_1) = 0,75 \times 0,48 \times (120^{\circ},6 - 99) = 7,776 \text{ KG-cal.}$

Dus in 't geheel

$$W_1 = 477,52125 + 7,776 = 485,29725 \text{ KG-cal.}$$

Men heeft dus nog moeten toevoeren

$$W_1 - W = 2,835 \text{ KG-cal.}$$

e) Het volume  $V_1$  van den onverzadigten waterdamp vindt men in  $M^3$  uit de vergelijking

$$0,75 = V_1 \times 1,293 \times \frac{733}{760} \times \frac{6/8}{1 + \frac{120,6}{273}}$$

en den stand van den zuiger boven den bodem

$$H_1 = \frac{V_1}{O} M.$$

## XX. Warmte en arbeid. \*).

**397.** Een lichaam van 20 KG daalt van eene hoogte van 2,175 M en heeft op den grond aankomende nog eene snelheid van 100 kines. Het verloren arbeidsvermogen heeft gediend om een vleugelrad in een calorimeter te draaien. De temperatuur van den calorimeter is daardoor 1<sup>o</sup> gestegen. Gevraagd het mechanisch aequivalent der warmte.

Hoeveelheid water in den calorimeter = 0,08 KG.

Massa van den koperen calorimeter en het koperen vleugelrad = 0,19 KG.

Soort. warmte van koper = 0,1.

Waterwaarde van den thermometer = 0,001 KG.

Versnelling der zwaartekracht = 1000 kines per sec.

**398.** Men heeft de proef van Joule ter bepaling van het mechanisch aequivalent der warmte herhaald. Hierbij was:

Gewicht der dalende massa's samen = 29,4 KG.

Gewicht, noodig om de weerstanden te overwinnen = 2,5 KG.

Valhoogte = 4,2 M.

Snelheid der massa's bij het neerkomen op den grond = 4 stat. eenheden van snelheid.

Massa van het water in den calorimeter = 0,774 KG.

\*) Men gee van de volgende vraagstukken twee oplossingen, de eene door gebruik te maken van de eenheden van het statische stelsel, de andere met die van het dynamische (C.G.S.-)stelsel, tenzij door de gegevens een bepaald stelsel aangerezen wordt.

Massa van den geelkoperen calorimeter = 0,5 KG.

Soort. warmte van geelkoper = 0,094.

Massa van de ijzeren as en het ijzeren vleugelrad = 5 KG.

Soort. warmte van ijzer = 0,114.

Versnelling der zwaartekracht = 9,8 stat. eenheden van versnelling.

Voor de bepaling van de waterwaarde van den thermometer heeft men dezen tot 50° verwarmd en hem in een bakje met water gedompeld, waarvan de totale waterwaarde 80 G en de temperatuur 16° was, en eene eindtemperatuur van 18° waargenomen.

Nadat de proef 20 keer herhaald is, heeft de calorimeter eene temperatuursverhoging van 3° ondergaan. Gevraagd het mechanisch aequivalent der warmte.

**399.** De toestel van Puluj ter bepaling van het mechanisch aequivalent der warmte bestaat uit twee gelijkvormige ijzeren vaten, die de gedaante van afgeknotte kegels hebben, en waarvan het eene in het andere geplaatst is. Het binnenste vat bevat kwik, waarin het reservoir van een thermometer gedompeld is. Het buitenste vat is op eene centrifugaalmachine bevestigd, zóo dat het snel om zijne (vertikale) as kan gedraaid worden; het aantal omdraaiingen wordt door een telrad aangewezen. Aan den iets boven het buitenste vat uitstekenden rand van het binnenste vat is het eene uiteinde van een horizontaal houten staafje bevestigd, waarvan het andere uiteinde met een gevoeligen, aan een standaard bevestigden dynamometer verbonden is. Bij het begin der draaiing wordt aanvankelijk het binnenste vat (en het staafje) iets mede gedraaid; daardoor wordt echter de veer van den dynamometer gespannen, en de verdere draaiing van het binnenste vat belet. De wanden der vaten schuren dus over elkaar, en de temperatuur van de vaten en van het kwik stijgt.

Men draait nu de machine gelijkmatig gedurende 1 minuut zoo snel, dat de dynamometer steeds de spanning van 50 G aanwijst, terwijl de standaard zóo geplaatst is, dat de kracht, waarmede hij op het uiteinde van het staafje werkt, horizontaal en loodrecht op de lengte van het staafje gericht is. Het aantal omdraaiingen gedurende dien tijd is 433.

Bij het begin der draaiing wees de thermometer  $21^{\circ},06$ , bij het einde  $24^{\circ},00$ . De warmte, die de toestel gedurende de proef (1 minuut) verloren heeft, stelt men gelijk aan het gemiddelde van het warmteverlies gedurende 1 minuut vóór het begin der draaiing \*) en van dat gedurende 1 minuut na afloop der draaiing. De thermometer wees 1 minuut voor het begin der proef  $21^{\circ},16$  en 1 minuut na het einde der proef  $22^{\circ},90$ .

Bereken uit deze proef met behulp der volgende gegevens het mechanisch aequivalent der warmte.

Massa van het buitenste vat = 43,12 G.

Massa van het binnenste vat = 42,85 G.

Soort. warmte van ijzer = 0,114.

Massa van het kwik = 186,40 G.

Soort. warmte van kwik = 0,033.

Waterwaarde van den thermometer = 0,12 G (verg. vr. 378).

Lengte van het houten staafje (afstand van het aangrijpingspunt der veerkracht tot de draaiingsas der vaten) = 18,1 cM.

Versnelling der zwaartekracht = 981,2 kines per sec.

OPLOSSING. Waterwaarde der vaten =  $(43,12 + 42,85) \times 0,114 = 9,8005$  G.

Waterwaarde van het kwik =  $186,40 \times 0,033 = 6,1511$  G.

Waterwaarde van den thermometer = 0,12 G.

Totale waterwaarde = 16,0716 G.

Temperatuursverhoging =

$$\left\{ 24,00 - 21,06 + \frac{(21,16 - 21,06) + (24,00 - 22,90)}{2} \right\} = 3,54^{\circ}.$$

Ontwikkelde warmte  $W = 16,0716 \times 3,54 = 56,893$  G-cal. = 0,056893 KG-cal.

Kracht, die de wrijving overwonnen heeft,  $K = 0,05$  KG.

Denkt men zich het buitenste vat vastgehouden en het binnenste door dezelfde kracht, aan hetzelfde punt aangrijpende, even dikwijls in tegenovergestelde richting gedraaid, dan is de weg, dien het aangrijpingspunt der kracht afgelegd heeft,  $s = n \times 2 \pi r = 433 \times 2 \times 3,14 \times 0,181 = 492,19$  M.

De arbeid der kracht zou dus zijn  $A = 0,05 \times 492,19 = 24,61$  KGM.

Het mechanisch aequivalent van 1 KG-cal. is dus  $= \frac{A}{W} = \frac{24,61}{0,056893} = 432,55$  KGM.

\*) Warmteverlies vóór de proef heeft plaats, als de toestel iets warmer is dan de omgeving.

Of: 56,893 G-cal. zijn aequivalent met  $24,61 \times 98\,120\,000$  ergs; het mechanisch aequivalent van 1 G-cal. is dus

$$\frac{24,61 \times 98\,120\,000}{56,893} = 42\,442\,000 \text{ ergs.}$$

**400.** Een stuk ijzer van 5 KG valt van eene hoogte van 5 M op een stuk lood van 0,2 KG. Als de warmte, die hierdoor ontstaat, evenredig met de massa's van het ijzer en het lood over deze beide lichamen verdeeld wordt, hoeveel stijgen dan hunne temperaturen?

Soort. warmte van ijzer = 0,114.

Soort. warmte van lood = 0,0314.

1 KG-calorie is aequivalent met 427 KGM.

1 KGM = 98 120 000 ergs.

**401.** Welke aanvankelijke snelheid moet een meteorsteen bezitten, om door de warmte, die bij het ophouden zijner beweging ontstaat, witgloeïend (bij  $1200^{\circ}$ ) te worden, als de helft der ontwikkelde warmte in den steen blijft?

Men stelle de aanvankelijke temperatuur van den meteorsteen =  $-100^{\circ}$ , en zijne soortelijke warmte = 0,1.

Versnelling der zwaartekracht = 9,8 stat. eenh. van versnelling.

1 KG-cal. is aequivalent met 427 KGM.

**402.** Een hamer van  $P$  KG bevindt zich op eene hoogte van  $HM$  boven een stuk ijzer van  $p$  KG, dat op een aanbeeld ligt. Op het oogenblik, waarop men den hamer laat vallen, deelt men hem eene vertikaal naar beneden gerichte snelheid van  $c$  statische eenheden mede. Hoe dikwijls moet dit herhaald worden, om het ijzer eene temperatuursverhooving van  $t^{\circ}$  te doen ondergaan, als men aanneemt, dat het  $n$ -de gedeelte der ontwikkelde warmte in het ijzer blijft?

Versnelling der zwaartekracht =  $g$  stat. eenh. van versnelling.

Soort. warmte van ijzer =  $y$ .

1 KG-cal. is aequivalent met  $A$  KGM.

**403.** Van welke hoogte zou, als de lucht geen weerstand bood, een hagelkorrel van  $0^{\circ}$  moeten vallen, om door de warmte, die bij het neerkomen op den grond ontstaat, te smelten?

Versnelling der zwaartekracht = 980 kines per sec.



Smeltingswarmte van ijs = 80 cal.

1 G-cal. is aequivalent met 42 000 000 ergs.

**404.** Op de oppervlakte van 1 hectare bedraagt de hoogte van den regen, die gedurende 10 minuten gevallen is, 1 mM. Men onderstelle, dat die regen (temperatuur =  $10^{\circ}$ ) gevormd is uit waterdamp van  $20^{\circ}$  en berekene, met hoeveel paardekrachten de warmte (gemiddeld) aequivalent is, die daardoor vrij is geworden. Men late buiten beschouwing de temperatuursverlaging, die de overige, nog in de lucht aanwezige waterdamp ondergaan heeft.

Totale warmte van waterdamp bij  $t^{\circ} = (606,5 + 0,305 t)$  cal.

1 KG-cal. is aequivalent met 427 KGM.

**405.** Hoe groot is de uitwendige arbeid, die verricht wordt, als op een vijver van  $500 \text{ M}^2$  oppervlakte eene laag ijs van 2 cM dikte gevormd wordt? \*)

Dichtheid van ijs bij  $0^{\circ} = 0,9167$ .

Dichtheid van water bij  $0^{\circ} = 0,9999$ .

Luchtdruk per  $\text{cM}^2 = 1,0333 \text{ KG}$ .

**406.** Hoeveel bedraagt de inwendige arbeid, die verricht wordt bij het smelten van  $1 \text{ dM}^3$  ijs?

Dichtheid van ijs bij  $0^{\circ} = 0,9167$ .

Dichtheid van water bij  $0^{\circ} = 0,9999$ .

Smeltingswarmte van ijs = 80 cal.

Luchtdruk per  $\text{cM}^2 = 1,0333 \text{ KG}$ .

1 KG-cal. is aequivalent met 427 KGM.

**407.** In een cilindervormig vat, waarvan de bodem  $0,5 \text{ M}^2$  oppervlakte heeft, bevindt zich  $800 \text{ dM}^3$  lucht bij eene temperatuur van  $10^{\circ}$ . Het vat is gesloten door een beweeglijken zuiger, die 34 KG weegt. Wanneer deze lucht tot  $100^{\circ}$  wordt verwarmd, vraagt men:

1) tot welke hoogte de zuiger, bij onveranderden barometerstand, boven den bodem zal stijgen?

---

\*) Bij de berekening van den uitwendigen arbeid stelle men zich voor, dat de uitzetting of inkrimping van het lichaam, waarvan het volume verandert, slechts in eene richting plaats heeft. Dit zou b.v. het geval zijn, als eene vloeistof of een gas door een beweeglijken zuiger afgesloten is in een vat, waarvan de wanden zich niet kunnen uitzetten.

2) hoeveel calorieën voor deze verwarming nodig zijn?

3) hoeveel calorieën hiervoor nodig zouden zijn, indien de zuiger zoodanig was bevestigd, dat de lucht zich niet kon uitzetten? (Eindex. H. B. S.)

Barometerstand = 755 mM.

Uitz.-coëff. van lucht =  $\frac{1}{273}$ .

Gewicht van 1 dM<sup>3</sup> lucht bij 0° en 760 mM drukking = 1,3 G.

Soort. gewicht van kwikzilver = 13,6.

Soort. warmte van lucht (bij constante drukking) = 0,2375.

Mechanisch aequivalent der warmte-eenheid = 424.

OPLOSSING. 1) Het volume  $V_1$  (in M<sup>3</sup>) volgt uit de vergelijking

$$\frac{0,800}{1 + \frac{10}{273}} = \frac{V_1}{1 + \frac{100}{273}}$$

Stand van den zuiger na de uitzetting  $H = \frac{V_1}{0,5}$  M.

2) Druk door den zuiger uitgeoefend (in kwikhoogte)

$$h_1 = \frac{P}{O \times S} = \frac{34}{50 \times 13,6} = 0,05 \text{ dM} = 5 \text{ mM.}$$

Spanning der afgesloten lucht = 755 + 5 = 760 mM.

Massa der lucht  $M = 800 \times 1,3 \times \frac{1}{1 + \frac{10}{273}}$  G =  $0,8 \times 1,3 \times \frac{1}{1 + \frac{10}{273}}$  KG.

Benoodigde warmte  $W = Mc(t - t_1) =$

$$0,8 \times 1,3 \times \frac{1}{1 + \frac{10}{273}} \times 0,2375 \times (100 - 10) \text{ KG-cal.}$$

3) De zuiger is opgelicht  $s = \left( \frac{V_1}{0,5} - \frac{0,8}{0,5} \right)$  M.

Druk der buitenlucht op den zuiger  $k = O \times h \times S = 50 \times 7,6 \times 13,6$  KG.

Uitwendige arbeid  $A = k \times s = 50 \times 7,6 \times 13,6 \times \left( \frac{V_1}{0,5} - \frac{0,8}{0,5} \right)$  KGM.

Deze is aequivalent met  $W_1 = \frac{A}{424}$  KG-cal.

Warmte, vereischt bij constant volume  $W_2 = (W - W_1)$  KG-cal.

**408.** Men verwarmt onder de constante drukking van één atmosfeer 0,02 KG waterstofgas van 0° tot 100°. Bereken:

a) de vermeerdering in volume van het gas;

b) den daarbij verrichten arbeid;

c) de verhouding (der soortelijke warmten bij constante

drukking en bij constant volume)  $\frac{c_p}{c_v}$ . (Eindex. H. B. S.).

Soort. gewicht van kwik = 13,6.

Soort. gewicht van normale lucht = 0,00129.

Dichtheid van waterstof (met betrekking tot lucht) = 0,07.

Soort. warmte van waterstof (bij constante drukking) = 3,409.

Uitz.-coëff. van waterstof =  $\frac{1}{273}$ .

Mechanisch aequivalent der warmte-eenheid = 425 KGM.

**409.** Als 1 M<sup>3</sup> zuurstof van 0° tot 100° verwarmd wordt, hoeveel is dan:

a) het aantal calorieën, vereischt bij constante drukking;

b) de daarbij verrichte uitwendige arbeid;

c) het aantal calorieën, vereischt bij constant volume;

d) het mechanisch aequivalent der warmte?

Barometerstand = 750 mM.

Dichtheid van normale lucht = 0,001293. Uitz.-coëff. =  $\frac{1}{273}$ .

Dichtheid van zuurstof met betrekking tot lucht = 1,1056.

Soort. warmte van zuurstof bij constante drukking = 0,2175.

Soort. gewicht van kwik = 13,596.

Verhouding der soortelijke warmten voor zuurstof  $\frac{c_p}{c_v} = 1,402$ .

**410.** Men verwarmt 100 L lucht van — 3° totdat haar volume 150 L geworden is, terwijl hare spanning gelijk blijft aan den luchtdruk. Men vraagt te berekenen:

a) tot welke temperatuur men de lucht moet verwarmen;

b) hoeveel calorieën daarvoor noodig zijn;

c) hoe groot de uitwendige arbeid is;

d) hoeveel calorieën voor dezelfde temperatuursverhoging noodig zouden zijn, als het volume der lucht constant blijft;

e) hoe groot het mechanisch aequivalent der warmte is.

Barometerstand = 75 cM.

Massa van 1 L normale lucht = 1,293 G.

Uitz.-coëff. van lucht =  $\frac{1}{273}$ .

Soort. warmte van lucht bij constante drukking = 0,2375.

Soort. gewicht van kwik = 13,596.

Verhouding der soortelijke warmten  $\frac{c_p}{c_v} = 1,405$ .

**411.** In een cilinder is lucht, waarvan de spanning gelijk aan die der buitenlucht, 75 cM, en de temperatuur 27° is, afgesloten door een zuiger zonder gewicht. Men zet den zuiger

vast, verwarmt, totdat de spanning der lucht 100 cM geworden is, en laat dan den zuiger vrij. Als de lucht zich nu adiabatisch uitzet, totdat hare spanning wederom 75 cM is, hoe hoog wordt dan hare temperatuur?

Uitz.-coëff. van lucht =  $\frac{1}{273}$ .

Verhouding der soortelijke warmten  $\frac{c_p}{c_v} = 1,405$ .

OPLOSSING. De temperatuur  $t^{\circ}$ , die de lucht bij de spanning 100 cM heeft, volgt uit de vergelijking

$$\frac{75}{1 + 27 \frac{1}{273}} = \frac{100}{1 + t \frac{1}{273}}; t = 127^{\circ}.$$

Dus is de temperatuursverhooging  $127 - 27 = 100^{\circ}$ .

De hiervoor vereischte warmte is, als de massa der lucht  $M$  G is, =  $W = M c_v t = M c_v \times 100$  G-cal.

Zet de lucht zich adiabatisch uit, totdat hare spanning wederom de aanvankelijke is, dan wordt hare temperatuur even veel hoger dan  $27^{\circ}$  alsof zij door dezelfde hoeveelheid warmte ( $W$ ) bij constante drukking (75 cM) verwarmd was geworden. Hare temperatuursverhooging  $t_1^{\circ}$  volgt dan uit de vergelijking

$$M c_v \times 100 = M c_p \times t_1$$

$$t_1 = \frac{c_v \times 100}{c_p} = \frac{100}{1,405} = 71^{\circ},173.$$

Hare temperatuur wordt dus  $27 + 71,173 = 98^{\circ},173$ .

412. Normale lucht wordt bij constante drukking (76 cM) verwarmd tot  $100^{\circ}$  en daarna adiabatisch samengeperst tot het aanvankelijke volume. Hoe groot wordt daardoor hare spanning?

Dichtheid van normale lucht = 0,001293.

Uitz.-coëff. van lucht =  $\frac{1}{273}$ .

Luchtdruk per  $\text{cM}^2 = 1,0333$  KG.

1 KG-cal. is aequivalent met 425 KGM.

Soort. warmte van lucht bij constante drukking = 0,2375.

Aanwijzing. Men drukke door eene formule den uitwendigen arbeid uit, die bij de verwarming eener willekeurige massa lucht ( $M$  KG) tot  $100^{\circ}$  verricht wordt (vergelijk de aanmerking bij vr. 405), berekene de soortelijke warmte bij constant volume en met behulp daarvan de temperatuur, die de lucht zou aangenomen hebben, als zij bij constant volume evenveel warmte opgenomen had als eerst bij constante drukking. Uit de verkregen temperatuur volgt dan de gevraagde spanning.



**413.** 1 KG ijs wordt verwarmd van  $-20^{\circ}$  tot  $0^{\circ}$ ; dan smelt het, en het water wordt verwarmd tot  $20^{\circ}$ . Bereken:

- den uitwendigen arbeid bij het verwarmen van het ijs;
- den uitwendigen arbeid bij het smelten;
- den inwendigen arbeid bij het smelten;
- den uitwendigen arbeid bij het verwarmen van het water.

Kub. uitz.-coëff. van ijs = 0,00012.

Dichtheid van ijs bij  $0^{\circ}$  = 0,9167.

Volume van 1 G water bij  $0^{\circ}$  = 1,00013  $\text{cm}^3$ .

Dichtheid van water bij  $20^{\circ}$  = 0,99826.

Lucht-druk per  $\text{cm}^2$  = 1 013 900 dynes.

Smeltingswarmte van ijs = 80 cal.

1 G-cal. equivalent met 42 000 000 ergs.

**414.** In een cilindrisch vat, waarvan de bodem eene oppervlakte van 5  $\text{dm}^2$  heeft, bevindt zich 50 G water van  $0^{\circ}$  (dichtheid = 1). Op het water rust een zuiger. De barometerstand is 72  $\text{cm}$ . a) Hoe zwaar moet de zuiger zijn, als het water bij  $100^{\circ}$  in verzadigden stoom zal veranderen? b) Hoeveel bedraagt de uitwendige arbeid bij de dampvorming? c) Hoeveel kilogram-calorieën worden voor dezen arbeid verbruikt? d) Hoeveel bedraagt de warmte, die bij de dampvorming inwendigen arbeid verricht?

Soort. gewicht van kwik = 13,6.

Volume van 1 KG verzadigden stoom bij  $100^{\circ}$  = 1650 L.

1 G-calorie is equivalent met 42 000 000 ergs.

1 KGM = 98 100 000 ergs.

Totale warmte van stoom =  $(606,5 + 0,305 t)$  cal.

Soort. warmte van water bij alle temperaturen = 1.

**415.** De middellijn van den cilinder eener stoommachine zonder condensatie en zonder expansie is 3  $\text{dm}$ , de zuigerslaglengte 7,5  $\text{dm}$ . De temperatuur van den stoom is  $144^{\circ}$ , die van het voedingswater  $20^{\circ}$ . Elke heen- of weergaande beweging van den zuiger duurt 1 seconde.

a) Hoeveel KG stoom eischt de machine per minuut?

b) Hoeveel paardekrachten heeft de machine?

c) Hoe groot is het theoretisch effect der machine?

d) Hoe groot is het verbruik van steenkolen per paardekracht, als de verbrandingswarmte van 1 KG kolen 7500

KG calorieën bedraagt, waarvan de helft verloren gaat?

Volume van 1 KG stoom van  $144^{\circ} = 448,5 \text{ dM}^3$ .

Barometerstand = 76 cM.

Soort. gewicht van kwik = 13,6.

Spanning van verzadigden stoom bij  $144^{\circ} = 4$  atmosferen.

1 KG-cal. is equivalent met 425 KGM.

Totale warmte van verzadigden stoom van  $t^{\circ} = (606,5 + 0,305 t) \text{ cal}$ .

**416.** Beantwoord dezelfde vragen, als de machine met condensatie werkt en de temperatuur van den condensator en het voedingswater  $40^{\circ}$  is.

Maximum-spanning van waterdamp bij  $40^{\circ} = 5,49 \text{ cM}$ .