

Anomalie des Wassers

BESTIMMUNG DER TEMPERATUR DES DICHEMAXIMUMS VON WASSER.

- Messung der thermischen Ausdehnung von Wasser im Temperaturbereich zwischen 0°C und 15°C.
- Nachweis der thermischen Anomalie.
- Bestimmung der Temperatur des Dichtemaximums.

UE2010301

04/16 ALF

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

Wasser weist gegenüber den meisten anderen Stoffen eine Besonderheit auf. Bis zu einer Temperatur von ca. 4°C zieht es sich bei Erwärmung zusammen und dehnt sich erst bei höheren Temperaturen aus. Da die Dichte dem Kehrwert des Volumens einer Stoffmenge entspricht, hat Wasser also bei ca. 4°C ein Dichtemaximum.

Im Experiment wird die Ausdehnung des Wassers in einem Gefäß mit Steigrohr gemessen. Man misst dazu die Steighöhe h in Abhängigkeit von der Wassertemperatur ϑ . Wenn man vernachlässigt, dass sich das Glasgefäß bei Erwärmung ebenfalls ausdehnt, ist das Gesamtvolumen des Wassers in Gefäß und Steigrohr gegeben durch:

$$V(\vartheta) = V_0 + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(\vartheta) \quad (1)$$

d : Innendurchmesser des Steigrohres,
 V_0 : Volumen des Gefäßes

Wird die Ausdehnung des Gefäßes berücksichtigt, ändert sich (1) zu

$$V(\vartheta) = V_0 (1 + 3 \cdot \alpha \cdot \vartheta) + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(\vartheta) \quad (2)$$

$\alpha = 3,3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$: linearer Ausdehnungskoeffizient von Glas

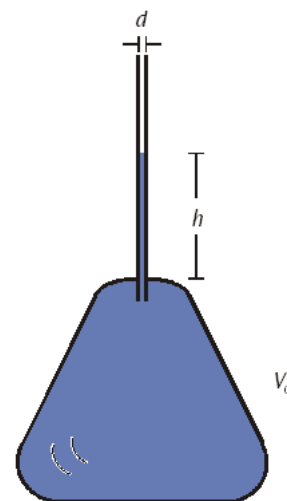


Fig. 1: Gefäß mit Steigrohr zur Messung der thermischen Ausdehnung von Wasser



Fig. 2: Experimenteller Aufbau zur Bestimmung der Temperatur des Dichtemaximums von Wasser

GERÄTELISTE

1 Gerät zur Anomalie des Wassers	1002889 (U14318)
1 Magnetrührer	1002808 (U11876)
1 Digital-Thermometer, 1-Kanal	1002793 (U11817)
1 Tauchfühler NiCr-Ni, Typ K	1002804 (U11854)
oder	
1 Stabthermometer	1003013 (U16115)
1 Trichter, d= 50 mm, Kunststoff	1003568 (U8634700)
1 Silikonschlauch, 1 m, 6 mm	1002622 (U10146)
1 Stativstange, 470 mm	1002934 (U15002)
1 Stativklemme mit Muffe	1002829 (U13253)
1 Stativfuß 150 mm	1002835 (U13270)
1 Kunststoffwanne	4000036 (T52006)

Destilliertes Wasser, zerstoßenes Eis, Kochsalz

AUFBAU

- Zuerst die Rührstäbchen in das Gerät zur Anomalie des Wassers geben.
- Steigrohr auf das Glasgefäß aufsetzen und festschrauben.
- Tauchfühler an das Digital-Thermometer anschließen, GL-Schraubverschluss mit kleiner Bohrung auf den seitlichen Gewindetubus schrauben und Tauchfühler einführen.
- Alternativ kann der Versuch mit einem Stabthermometer durchgeführt werden. Dazu den GL-Schraubverschluss mit großer Bohrung über das Thermometer schieben und im seitlichen Gewindetubus befestigen.
- Silikonschlauch an der Schlaucholive anschließen und mit dem Trichter verbinden.
- Stativstange im Stativfuß aufbauen, Stativklemme an der Stativstange befestigen.
- Trichter an der Klemme aufhängen.
- Zum Befüllen des Glasgefäßes Hahn öffnen und destilliertes Wasser in den Trichter füllen bis der Wasserstand ca. in der Mitte des Steigrohrs steht.
- Luftblasen durch leichtes Schütteln des Glasgefäßes entfernen.
- Hahn schließen, Schlauch entfernen und überschüssiges Wasser aus dem Trichter zurück in die Vorratsflasche füllen.

DURCHFÜHRUNG

- Aufbau gemäß Fig. 2 herstellen.
- Eine Mischung aus zerstoßenem Eis und Kochsalz herstellen und damit die Kunststoffwanne befüllen.
- Wanne auf den Magnetrührer stellen.
- Versuchsapparatur in die Wanne platzieren.
- Steighöhe des Wassers im Steigrohr mit einem Markierstift markieren. Steighöhe und Temperatur notieren.
- Magnetrührer anschalten und auf eine mittlere Geschwindigkeit einstellen.
- Wasserstand im Steigrohr h ablesen und in Abhängigkeit der Temperatur ϑ in einem Koordinatensystem auftragen.
- Sobald die Temperatur unter $0,5^\circ\text{C}$ fällt, die Versuchsapparatur aus der Wanne nehmen, um zu verhindern, dass das Wasser gefriert.

MESSBEISPIEL

Tabelle 1: Steighöhe h in Abhängigkeit der Temperatur ϑ

ϑ ($^\circ\text{C}$)	h (mm)	ϑ ($^\circ\text{C}$)	h (mm)
0,5	32,5	8,0	22,0
1,0	23,0	8,5	27,3
1,5	16,5	9,0	32,5
2,0	10,3	9,5	36,0
2,5	7,3	10,0	42,2
3,0	5,3	10,5	47,3
3,5	3,7	11,0	54,0
4,0	3,3	11,5	62,0
4,5	4,3	12,0	67,2
5,0	6,0	12,5	76,5
5,5	7,5	13,0	86,5
6,0	10,0	13,5	94,0
6,5	12,6	14,0	104,5
7,0	14,8	14,5	116,5
7,5	19,3	15,0	125,3

AUSWERTUNG

Fig. 3 zeigt die grafische Darstellung der Werte aus Tabelle 1. Durch Extrapolation wird die Steighöhe h des Wassers im Steigrohr für 0°C ermittelt. Man erhält für die vorliegenden Daten $h(0^\circ\text{C}) = 44,7 \text{ mm}$. Die relative Dichte des Wassers lässt sich nun mittels (3) berechnen.

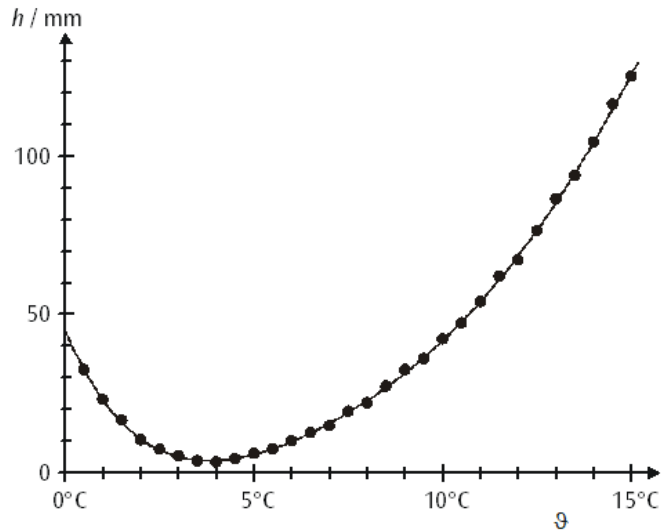


Fig. 3: Steighöhe h in Abhängigkeit der Temperatur ϑ

Für die Dichte ρ von Wasser gilt daher folgt aus (1) und (2)

$$\frac{\rho(\vartheta)}{\rho(0^\circ\text{C})} = \frac{V_0 + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(0^\circ\text{C})}{V_0 (1 + 3 \cdot \alpha \cdot \vartheta) + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(\vartheta)} \quad (3)$$

Das Maximum dieses Verhältnisses liegt bei $\vartheta = 4^\circ\text{C}$ (vgl. Fig. 4).

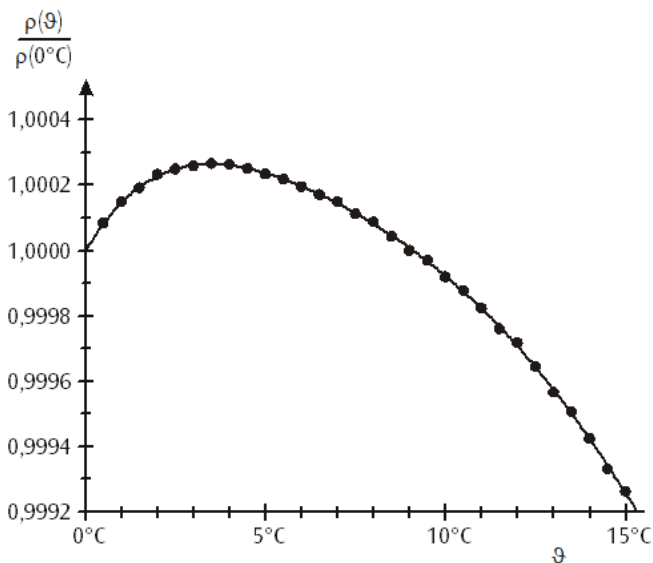


Fig. 4: Relative Dichte von Wasser in Abhängigkeit der Temperatur ϑ

ERGEBNIS

Das Volumen von Wasser nimmt ab, wenn die Temperatur von 0°C auf 4°C steigt. Es nimmt nur bei höheren Temperaturen zu.

Die Dichte von Wasser erreicht bei ca. 4°C ihr Maximum.

The water anomaly

DETERMINE THE TEMPERATURE WHERE WATER REACHES ITS MAXIMUM DENSITY

- Measure the thermal expansion of water over a temperature range between 0°C and 15°C.
- Demonstrate the thermal anomaly.
- Determine the temperature when the density is at a maximum.

UE2010301

04/16 ALF

BASIC PRINCIPLES

Water is unlike most other materials in that up to a temperature of about 4°C it initially contracts and only starts expanding at higher temperatures. Since the density is inversely related to the volume of a mass, water thus reaches its maximum density at about 4°C.

The experiment involves measuring the expansion of water in a vessel with a riser tube. The height h to which water rises up the tube is measured as a function of the water temperature ϑ . Neglecting the fact that the glass vessel also expands at higher temperatures, the total volume of the water in the vessel and in the tube is given by:

$$V(\vartheta) = V_0 + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(\vartheta) \quad (1)$$

d : Internal diameter of tube,
 V_0 : Volume of vessel

If the expansion of the vessel is taken into account, equation (1) becomes

$$V(\vartheta) = V_0 (1 + 3 \cdot \alpha \cdot \vartheta) + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(\vartheta) \quad (2)$$

$\alpha = 3.3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$: linear expansion coefficient of glass

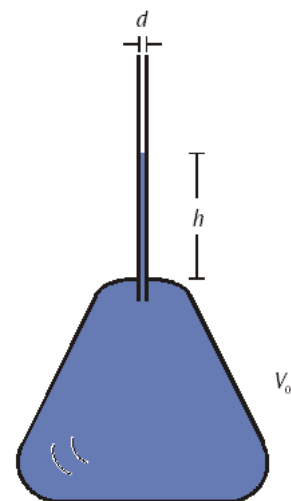


Fig. 1: Vessel with riser tube for measuring the thermal expansion of water



Fig. 2: Experiment set-up for determining the temperature of the maximum density of water

LIST OF APPARATUS

1 Apparatus for demonstrating the anomaly of water	1002889 (U14318)
1 Magnetic stirrer	1002808 (U11876)
1 Digital thermometer, single channel (U11817)	1002793
1 K-type immersion sensor or	1002804 (U11854)
1 Thermometer	1003013 (U16115)
1 Plastic funnel, d= 50 mm	1003568 (U8634700)
1 Silicon tubing, 1 m, 6 mm	1002622 (U10146)
1 Stand rod, 470 mm	1002934 (U15002)
1 Clamp with jaw	1002829 (U13253)
1 Stand base 150 mm	1002835 (U13270)
1 Plastic trough	4000036 (T52006)

Distilled water, crushed ice, table salt

SET-UP

- First place the stirrers into the apparatus for demonstrating the water anomaly.
- Mount the riser tube onto the glass vessel and screw it on tight.
- Connect the immersion sensor to the digital thermometer, screw the GL screw cap with the small bore onto the threaded tube at the side and insert the immersion sensor.
- As an alternative, the experiment can be conducted by using a standard thermometer. To use such an instrument, slide the GL screw cap with the large bore over the thermometer and attach it to the threaded tube at the side.
- Connect the silicon tube to the hose clip and then to the funnel.
- Set up the stand rod in the stand base. Attach the jaw clamp to the stand rod.
- Suspend the funnel from the clamp.
- In order to fill the glass vessel, open the tap and let distilled water into the funnel till the water level has reached approximately the middle of the riser tube.
- Remove any air bubbles by gently shaking the glass vessel.
- Close the tap, remove the tubing and pour the excess water back into its bottle.

EXPERIMENT PROCEDURE

- Set up the experiment as in Fig. 2.
- Prepare a mixture of crushed ice and table salt, and fill the plastic tub with this mixture.
- Place the tub on the magnetic stirrer.
- Place the apparatus in the trough as illustrated in Fig. 2.
- Use a marker pen to mark the water level in the riser pipe. Note the water level and the temperature.
- Switch on the magnetic stirrer and set it to medium speed.
- Read off the water level h in the riser tube and plot it as a function of temperature ϑ on a graph.
- As soon as the temperature falls below 0.5°C, remove the experiment apparatus from the trough in order to prevent the water from freezing.

SAMPLE MEASUREMENTS

Table 1: Level of water h in riser tube measured as a function of temperature ϑ

ϑ (°C)	h (mm)	ϑ (°C)	h (mm)
0.5	32.5	8.0	22.0
1.0	23.0	8.5	27.3
1.5	16.5	9.0	32.5
2.0	10.3	9.5	36.0
2.5	7.3	10.0	42.2
3.0	5.3	10.5	47.3
3.5	3.7	11.0	54.0
4.0	3.3	11.5	62.0
4.5	4.3	12.0	67.2
5.0	6.0	12.5	76.5
5.5	7.5	13.0	86.5
6.0	10.0	13.5	94.0
6.5	12.6	14.0	104.5
7.0	14.8	14.5	116.5
7.5	19.3	15.0	125.3

EVALUATION

Fig. 3 shows the curve resulting from the values in Table 1. The water level h in the riser pipe at 0°C is established by extrapolation. With this data, we get $h(0^\circ\text{C}) = 44.7\text{mm}$. Using Equation (3), we can now calculate the relative density of water.

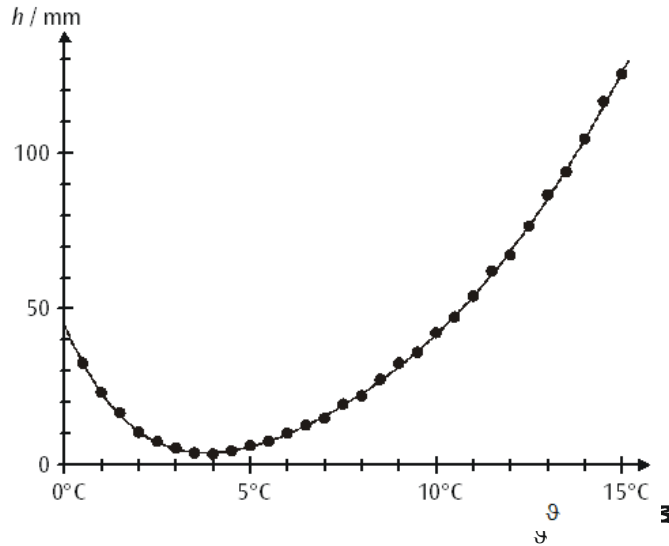


Fig. 3: Water level h as a function of temperature θ

Water density ρ is derived from equation (1) and (2) as follows:

$$\frac{\rho(\theta)}{\rho(0^\circ\text{C})} = \frac{V_0 + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(0^\circ\text{C})}{V_0 (1 + 3 \cdot \alpha \cdot \theta) + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(\theta)} \quad (3)$$

The maximum value of this expression occurs when $\theta = 4^\circ\text{C}$ (see Fig. 4).

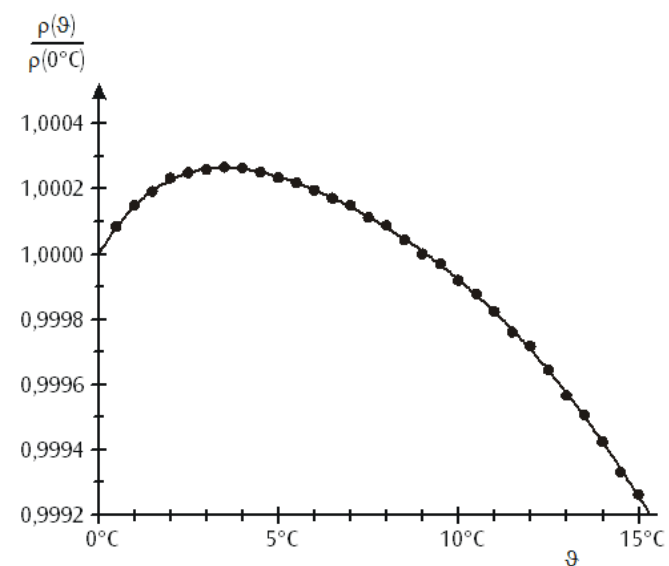


Fig. 4: Relative density of water as a function of temperature θ

RESULTS

The volume of water decreases as the temperature rises from 0°C to 4°C . The volume of water only increases at temperatures above 4°C .

Water attains its maximum density at approx. 4°C ,

Anomalía del agua

DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE LA DENSIDAD MÁXIMA DEL AGUA.

- Medición de la dilatación térmica del agua en un rango de temperatura de 0°C a 15°C.
- Comprobación de la anomalía térmica.
- Determinación de la temperatura de la densidad máxima.

UE2010301

04/16 ALF

FUNDAMENTOS GENERALES

El agua muestra una particularidad en comparación con otros elementos. Hasta una temperatura de aprox. 4°C se contrae por calentamiento y se dilata sólo en temperaturas superiores. Dado que la densidad corresponde al valor inverso del volumen de una cantidad de materia, el agua llega así a su densidad máxima aproximadamente a los 4°C.

En el experimento, se mide la dilatación del agua en un recipiente con tubo de ascenso. Se mide, además, la altura h de ascenso en función de la temperatura ϑ del agua. Si no se tiene en cuenta que el recipiente de vidrio también se dilata con el calentamiento, el volumen total del agua en el recipiente y en el tubo de ascenso está dado por:

$$V(\vartheta) = V_0 + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(\vartheta) \quad (1)$$

d : diámetro interior del tubo ascendente,
 V_0 : volumen del recipiente

Si se tiene en cuenta la dilatación del recipiente, la ecuación (1) se modifica de la siguiente manera:

$$V(\vartheta) = V_0 (1 + 3 \cdot \alpha \cdot \vartheta) + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(\vartheta) \quad (2)$$

$\alpha = 3,3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$: coeficiente de dilatación lineal del vidrio

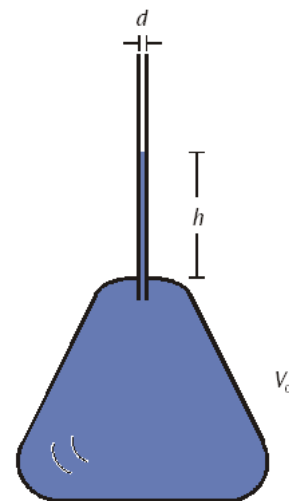


Fig. 1: Recipiente con tubo de ascenso para la medición de la dilatación térmica del agua



Fig. 2: Montaje experimental para la determinación de la densidad máxima del agua

LISTA DE EQUIPOS

1 aparato para demostración de la anomalía del agua	1002889 (U14318)
1 agitador magnético	1002808 (U11876)
1 termómetro digital de 1 canal	1002793 (U11817)
1 sensor sumergible, tipo K	1002804 (U11854)
ó	
1 termómetro	1003013 (U16115)
1 embudo, d= 50 mm, plástico	1003568 (U8634700)
1 manguera de silicona, 6 mm	1002622 (U10146)
1 soporte, 470 mm	1002934 (U15002)
1 nuez con pinza	1002829 (U13253)
1 trípode de 150 mm	1002835 (U13270)
1 cubeta de plástico	4000036 (T52006)

Agua destilada, hielo triturado, sal de cocina

MONTAJE

- En primer lugar, colocar las varitas de agitación en el aparato para demostración de la anomalía del agua.
- Colocar el tubo de ascenso en el recipiente de vidrio y atornillarlo bien.
- Conectar el sensor sumergible al termómetro digital, atornillar el cierre roscado GL, que tiene la perforación pequeña, en el tubo roscado lateral e introducir el sensor sumergible.
- El experimento se lo puede realizar, alternativamente, con un termómetro estándar. Para eso, se debe deslizar el cierre roscado GL, que tiene la perforación grande, sobre el termómetro y ajustarlo en el tubo roscado lateral.
- Conectar la manguera de silicona a la boquilla de conexión y acoplarla al embudo.
- Acoplar la varilla soporte sobre el trípode, ajustar al soporte la nuez con pinza.
- Colgar el embudo de la pinza.
- Para el llenado del recipiente de vidrio abrir el grifo y verter agua destilada por el embudo hasta que el nivel del agua cubra aproximadamente la mitad del tubo de ascenso.
- Eliminar las burbujas de aire agitando levemente el recipiente de vidrio.
- Cerrar el grifo, retirar la manguera y vaciar el agua sobrante del embudo en la botella de reserva.

EJECUCIÓN

- Realizar el montaje según la Fig. 2.
- Hacer una mezcla de hielo triturado con sal de cocina y llenar con ella la cubeta de plástico.
- Colocar la cubeta sobre el agitador magnético.
- Colocar el equipo experimental en la cubeta, como se observa en la Fig. 2.
- Señalar la altura de subida del agua en el tubo de ascenso con un marcador. Anotar la altura de ascenso y la temperatura.
- Conectar el agitador magnético y hacerlo funcionar a una velocidad intermedia.
- Leer el nivel h del agua en el tubo de ascenso y transportarlo a un sistema de coordenadas en función de la temperatura ϑ del agua.
- Tan pronto baje la temperatura a menos de 5°C, retirar el equipo experimental para evitar que el agua se congele.

EJEMPLO DE MEDICIÓN

Tabla 1: Altura h de ascenso en función de la temperatura ϑ

ϑ (°C)	h (mm)	ϑ (°C)	h (mm)
0,5	32,5	8,0	22,0
1,0	23,0	8,5	27,3
1,5	16,5	9,0	32,5
2,0	10,3	9,5	36,0
2,5	7,3	10,0	42,2
3,0	5,3	10,5	47,3
3,5	3,7	11,0	54,0
4,0	3,3	11,5	62,0
4,5	4,3	12,0	67,2
5,0	6,0	12,5	76,5
5,5	7,5	13,0	86,5
6,0	10,0	13,5	94,0
6,5	12,6	14,0	104,5
7,0	14,8	14,5	116,5
7,5	19,3	15,0	125,3

EVALUACIÓN

La Fig. 3 muestra la representación gráfica de los valores de la tabla 1. Por extrapolación se determina la altura h de ascenso del agua en el tubo para 0°C . Se obtiene, para los datos presentes, un valor de $h(0^\circ\text{C}) = 44,7 \text{ mm}$. La densidad relativa del agua se la puede calcular por medio de la ecuación (3).

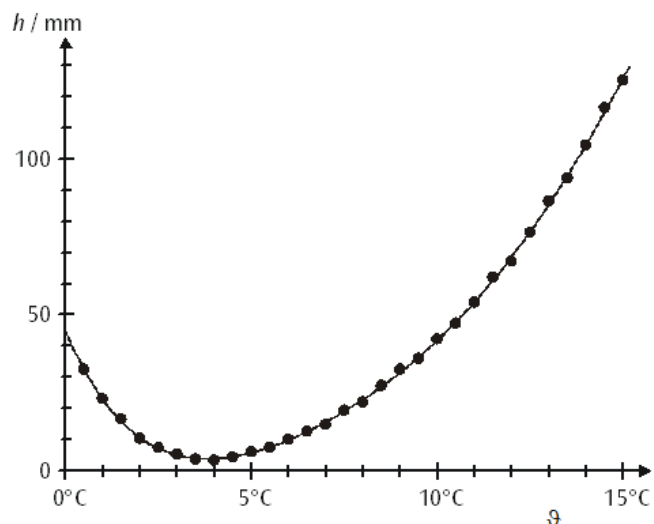


Fig. 3: Altura h de ascenso en función de la temperatura ϑ

Para la densidad ρ del agua, por lo tanto, a partir de (1) y (2), se obtiene:

$$\frac{\rho(\vartheta)}{\rho(0^\circ\text{C})} = \frac{V_0 + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(0^\circ\text{C})}{V_0 (1 + 3 \cdot \alpha \cdot \vartheta) + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(\vartheta)} \quad (3)$$

El máximo valor de esta relación se obtiene cuando $\vartheta = 4^\circ\text{C}$ (compárese Fig. 4).

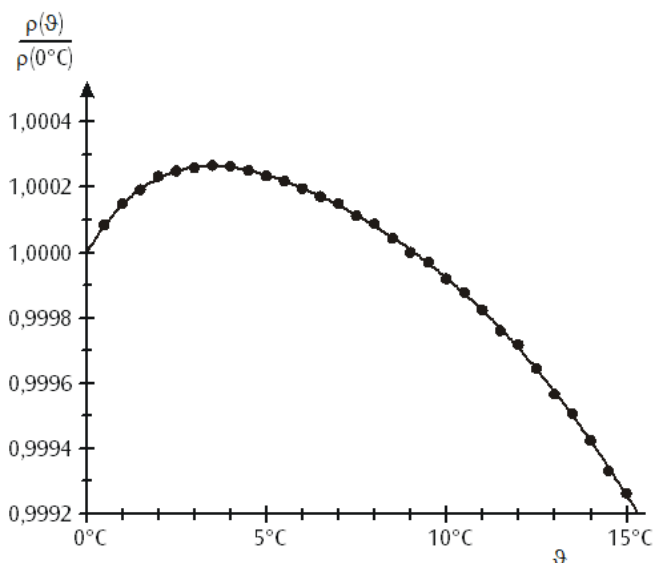


Fig. 4: Densidad relativa del agua en función de la temperatura ϑ

RESULTADO

El volumen del agua se reduce si la temperatura aumenta de 0°C a 4°C . Sólo para temperaturas mayores el volumen del agua aumenta.

La densidad del agua alcanza su valor máximo aproximadamente a los 4°C .

Anomalies de l'eau

DETERMINATION DE LA TEMPERATURE POUR LE MAXIMUM DE LA DENSITE DE L'EAU.

- Mesure de la dilatation thermique de l'eau dans une plage de la température entre 0 °C et 15 °C.
- Preuve de l'anomalie thermique.
- Détermination de la température pour le maximum de la densité.

UE2010301

04/16 ALF

NOTIONS DE BASE GENERALES

En comparaison à la plupart des autres corps, l'eau possède des caractéristiques anormales. Jusqu'à une température d'environ 4 °C, l'eau se contracte sous l'effet de l'échauffement et elle ne se dilate qu'à des températures plus élevées. Étant donné que la densité correspond à l'inverse du volume d'une quantité de matière, l'eau atteint donc un maximum de densité à environ 4 °C.

Dans cette expérience physique, la dilatation de l'eau sera mesurée dans une fiole présentant une colonne montante. Ce qui se fera en mesurant la hauteur de montée h en fonction de la température de l'eau ϑ . S'il n'est pas tenu compte du fait que la fiole en verre se dilate également sous l'effet de l'échauffement, la formule suivante permettra de calculer le volume total de l'eau dans la fiole et dans la colonne montante :

$$V(\vartheta) = V_0 + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(\vartheta) \quad (1)$$

d : Diamètre interne de la colonne montante,

V_0 : Volume de la fiole

S'il est tenu compte de la dilatation de la fiole, la formule (1) se transforme en :

$$V(\vartheta) = V_0 (1 + 3 \cdot \alpha \cdot \vartheta) + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(\vartheta) \quad (2)$$

$\alpha = 3,3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$: coefficient de dilatation linéaire du verre

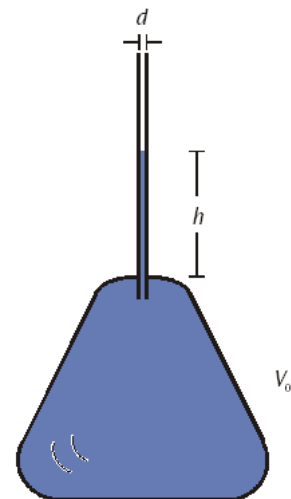


Fig. 1 : Fiole présentant une colonne montante et servant à mesurer la dilatation thermique de l'eau



Fig. 2 : Appareillage expérimental permettant de déterminer la température pour le maximum de la densité de l'eau

LISTE DES APPAREILS

1 Appareil permettant de démontrer les anomalies de l'eau	1002889 (U14318)
1 Agitateur magnétique	1002808 (U11876)
1 Thermomètre numérique, 1 voie	1002793 (U11817)
1 Sonde d'immersion, Typ K	1002804 (U11854)
ou	
1 Thermomètre	1003013 (U16115)
1 Entonnoir, d= 50 mm, plastique	1003568 (U8634700)
1 Tuyau en silicone, 1 m, 6 mm	1002622 (U10146)
1 Tige de pied, 470 mm	1002934 (U15002)
1 Manchon universel	1002829 (U13253)
1 Pied support 150 mm	1002835 (U13270)
1 Cuvette en plastique	4000036 (T52006)

Eau distillée, glace concassée, sel de cuisine

MONTAGE

- Mettez d'abord les agitateurs dans l'appareil permettant de démontrer les anomalies de l'eau.
- Placez la colonne montante sur la fiole en verre et vissez-la à fond.
- Raccordez au thermomètre numérique la sonde d'immersion à capteur, vissez le bouchon fileté GL (du côté du petit alésage) sur le tube fileté latéral, puis introduisez la sonde d'immersion à capteur.
- Il sera également possible de réaliser cet essai expérimental en utilisant un thermomètre à tige. Il suffira de faire glisser le bouchon fileté GL (du côté du grand alésage) sur le thermomètre et de le fixer au tube fileté latéral.
- Raccordez le tuyau en silicone à la connexion de type olive, puis connectez le tuyau à l'entonnoir.
- Montez la tige de pied sur le pied support, fixez la pince pour pied à la tige au moyen du manchon universel.
- Accrochez l'entonnoir à la pince.
- Le remplissage de la fiole en verre se fera en ouvrant d'abord le robinet, puis en remplissant d'eau distillée l'entonnoir jusqu'à ce que le niveau d'eau soit environ au milieu de la colonne montante.
- Éliminez les bulles d'air en agitant légèrement la fiole en verre.
- Fermez le robinet, retirez le tuyau, puis reversez dans le flacon de réserve l'excédent d'eau se trouvant encore présente dans l'entonnoir.

REALISATION

- Assemblez l'appareillage expérimental conformément à l'illustration 2.
- Préparez un mélange de glace concassée et de sel de cuisine et mettez-le tout dans la cuvette en plastique.
- Placez la cuvette sur l'agitateur magnétique.
- Placez l'appareillage expérimental dans la cuvette.
- Marquez la hauteur de montée de l'eau sur la colonne montante en utilisant un marqueur. Notez la hauteur de montée ainsi que la température.
- Mettez l'agitateur magnétique en marche et réglez-le à une vitesse moyenne.
- Relevez le niveau d'eau dans la colonne montante h , puis portez le résultat dans un système de coordonnées, en fonction de la température ϑ .
- Dès que la température tombe en dessous de $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, retirez l'appareillage expérimental de la cuvette afin d'éviter que l'eau ne gèle.

EXEMPLE DE MESURE

Tableau 1 : Hauteur de montée h en fonction de la température ϑ

ϑ ($^{\circ}\text{C}$)	h (mm)	ϑ ($^{\circ}\text{C}$)	h (mm)
0,5	32,5	8,0	22,0
1,0	23,0	8,5	27,3
1,5	16,5	9,0	32,5
2,0	10,3	9,5	36,0
2,5	7,3	10,0	42,2
3,0	5,3	10,5	47,3
3,5	3,7	11,0	54,0
4,0	3,3	11,5	62,0
4,5	4,3	12,0	67,2
5,0	6,0	12,5	76,5
5,5	7,5	13,0	86,5
6,0	10,0	13,5	94,0
6,5	12,6	14,0	104,5
7,0	14,8	14,5	116,5
7,5	19,3	15,0	125,3

EVALUATION

Le diagramme 3 est une représentation graphique des valeurs du tableau 1. La hauteur de montée h qu'atteint l'eau dans la colonne montante à $0\text{ }^\circ\text{C}$, sera donc calculée par extrapolation. Pour les données présentes, le résultat sera $h(0\text{ }^\circ\text{C}) = 44,7\text{ mm}$. Il sera alors possible de calculer la densité relative de l'eau au moyen de la formule (3).

RESULTAT

Le volume de l'eau diminue si la température monte de $0\text{ }^\circ\text{C}$ à $4\text{ }^\circ\text{C}$. Ce volume n'augmentant qu'à des températures plus élevées.

La densité maximale de l'eau sera atteinte à environ $4\text{ }^\circ\text{C}$.

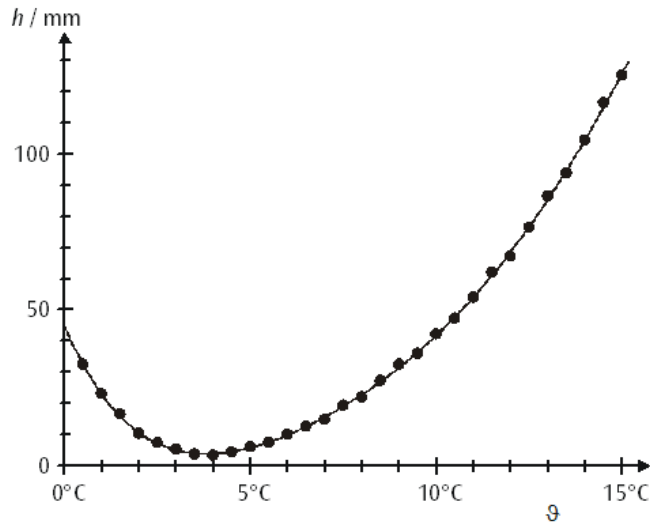


Fig. 3 : Hauteur de montée h en fonction de la température θ

Suivant (1) et (2), la formule suivante s'applique donc à la densité ρ de l'eau :

$$\frac{\rho(\theta)}{\rho(0^\circ\text{C})} = \frac{V_0 + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(0^\circ\text{C})}{V_0 (1 + 3 \cdot \alpha \cdot \theta) + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(\theta)} \quad (3)$$

Le maximum de ce rapport est de $\theta = 4\text{ }^\circ\text{C}$ (comparer au diagramme 4).

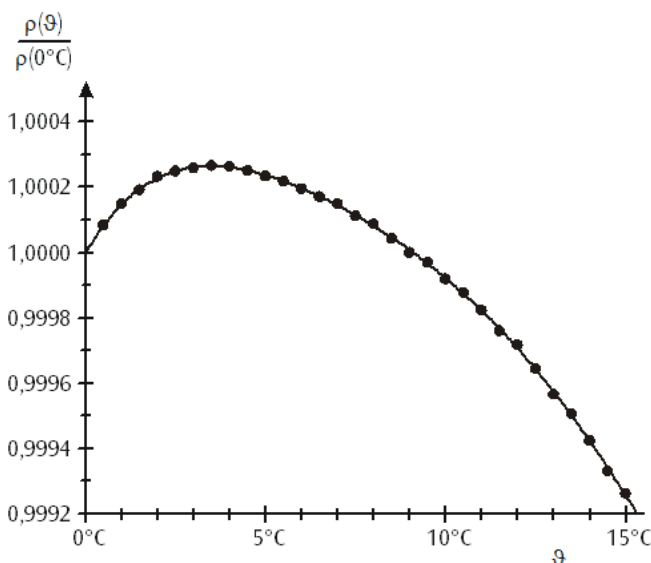


Fig. 4 : Densité relative de l'eau en fonction de la température θ



Anomalia dell'acqua

DETERMINAZIONE DELLA TEMPERATURA DEL MASSIMO DI DENSITÀ DELL'ACQUA.

- Misurazione della dilatazione termica dell'acqua nell'intervallo di temperature compreso tra 0°C e 15°C.
- Dimostrazione dell'anomalia termica.
- Determinazione della temperatura del massimo di densità.

UE2010301

04/16 ALF

BASI GENERALI

L'acqua presenta una particolarità rispetto alla gran parte degli altri materiali. Fino ad una temperatura di ca. 4°C si ritira se viene riscaldata e aumenta di volume solo a temperature superiori. Poiché la densità corrisponde al reciproco del volume di una quantità di materiale, l'acqua ha quindi un massimo di densità a ca. 4°C.

Nell'esperimento, la dilatazione dell'acqua viene misurata in un recipiente con tubo montante. A questo scopo, si misura l'altezza di salita h in funzione della temperatura dell'acqua ϑ . Se si trascura il fatto che anche il recipiente di vetro si dilata con il riscaldamento, il volume totale dell'acqua nel recipiente e nel tubo montante è dato da:

$$V(\vartheta) = V_0 + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(\vartheta) \quad (1)$$

d : diametro interno del tubo montante,
 V_0 : volume del recipiente

Prendendo in considerazione la dilatazione del recipiente, (1) diventa

$$V(\vartheta) = V_0 (1 + 3 \cdot \alpha \cdot \vartheta) + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(\vartheta) \quad (2)$$

$\alpha = 3,3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$: coefficiente di dilatazione lineare del vetro

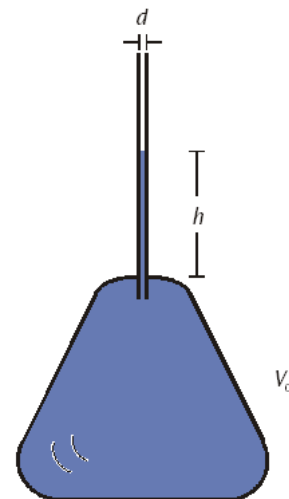


Fig. 1: Recipiente con tubo montante per la misurazione della dilatazione termica dell'acqua



Fig. 2: Struttura sperimentale per la determinazione della temperatura del massimo di densità dell'acqua.

ELENCO DEGLI STRUMENTI

1 Apparecchio per l'anomalia dell'acqua	1002889 (U14318)
1 Agitatore magnetico	1002808 (U11876)
1 Termometro digitale, 1 canale	1002793 (U11817)
1 Sensore a immersione, tipo K	1002804 (U11854)
0	
1 Termometro	1003013 (U16115)
1 Imbuto, d= 50 mm, plastica	1003568 (U8634700)
1 Tubo di silicone, 1 m, 6 mm	1002622 (U10146)
1 Asta di supporto, 470 mm	1002934 (U15002)
1 Morsetto di supp. c. manicotto	1002829 (U13253)
1 Base di supporto 150 mm	1002835 (U13270)
1 Vasca di plastica	4000036 (T52006)

Acqua distillata, ghiaccio pestato, sale da cucina

MONTAGGIO

- Inserire prima le asticelle nell'apparecchio per l'anomalia dell'acqua.
- Porre il tubo montante sul recipiente di vetro e avvitare saldamente.
- Collegare il sensore a immersione al termometro digitale, avvitare il tappo a vite GL con foro piccolo sul tubo filettato laterale e introdurre il sensore a immersione.
- In alternativa l'esperimento può essere condotto con un termometro ad asta. In questo caso spingere il tappo a vite GL con foro grande sul termometro e fissarlo nel tubo filettato laterale.
- Collegare il tubo di silicone al nipplo per tubo, quindi all'imbuto.
- Montare l'asta di supporto sulla base di supporto, fissare il morsetto di supporto all'asta di supporto.
- Fissare l'imbuto al morsetto.
- Per riempire il recipiente di vetro, aprire il rubinetto e versare acqua distillata nell'imbuto finché il livello dell'acqua raggiunge circa la metà del tubo montante.
- Rimuovere le bolle d'aria scuotendo delicatamente il recipiente di vetro.
- Chiudere il rubinetto, rimuovere il tubo e versare nuovamente l'acqua in eccesso dell'imbuto nella bottiglia.

ESECUZIONE

- Realizzare una struttura come da fig. 2.
- Produrre una miscela di ghiaccio pestato e sale da cucina e riempire con questa la vasca di plastica.
- Porre la vasca sull'agitatore magnetico.
- Collocare l'apparecchiatura dell'esperimento nella vasca.
- Contrassegnare con un pennarello sul tubo montante l'altezza di salita dell'acqua. Annotare l'altezza di salita e la temperatura.
- Attivare l'agitatore magnetico e impostarlo su una velocità media.
- Leggere il livello dell'acqua nel tubo montante h e riportarlo in un sistema di coordinate in funzione della temperatura ϑ .
- Non appena la temperatura scende sotto $0,5^{\circ}\text{C}$, togliere l'apparecchiatura dell'esperimento dalla vasca per evitare il congelamento dell'acqua.

ESEMPIO DI MISURAZIONE

Tabella 1: Altezza di salita h in funzione della temperatura ϑ

ϑ ($^{\circ}\text{C}$)	h (mm)	ϑ ($^{\circ}\text{C}$)	h (mm)
0,5	32,5	8,0	22,0
1,0	23,0	8,5	27,3
1,5	16,5	9,0	32,5
2,0	10,3	9,5	36,0
2,5	7,3	10,0	42,2
3,0	5,3	10,5	47,3
3,5	3,7	11,0	54,0
4,0	3,3	11,5	62,0
4,5	4,3	12,0	67,2
5,0	6,0	12,5	76,5
5,5	7,5	13,0	86,5
6,0	10,0	13,5	94,0
6,5	12,6	14,0	104,5
7,0	14,8	14,5	116,5
7,5	19,3	15,0	125,3

ANALISI

La fig. 3 mostra la rappresentazione grafica dei valori della tabella 1. Con l'estrapolazione si calcola l'altezza di salita h dell'acqua nel tubo montante a 0°C . Sulla base dei dati presenti si ottiene $h(0^\circ\text{C}) = 44,7 \text{ mm}$. È ora possibile calcolare la densità relativa dell'acqua con la formula (3).

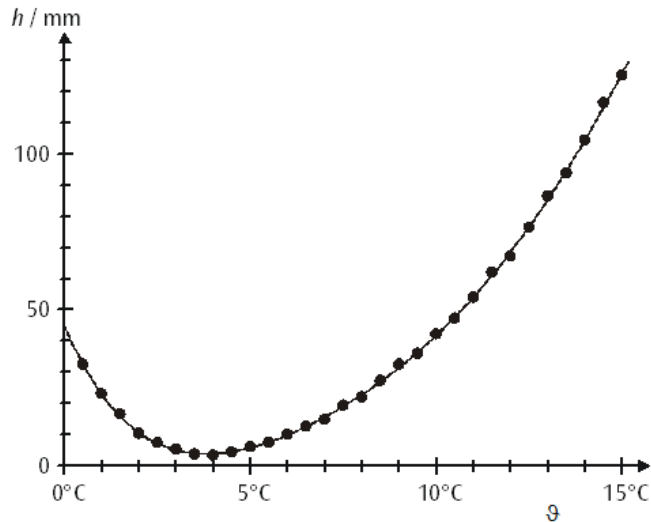


Fig. 3: Altezza di salita h in funzione della temperatura ϑ

Per la densità ρ dell'acqua vale pertanto sulla base di (1) e (2)

$$\frac{\rho(\vartheta)}{\rho(0^\circ\text{C})} = \frac{V_0 + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(0^\circ\text{C})}{V_0 (1 + 3 \cdot \alpha \cdot \vartheta) + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(\vartheta)} \quad (3)$$

Il massimo di questo rapporto è $\vartheta = 4^\circ\text{C}$ (cfr. fig. 4).

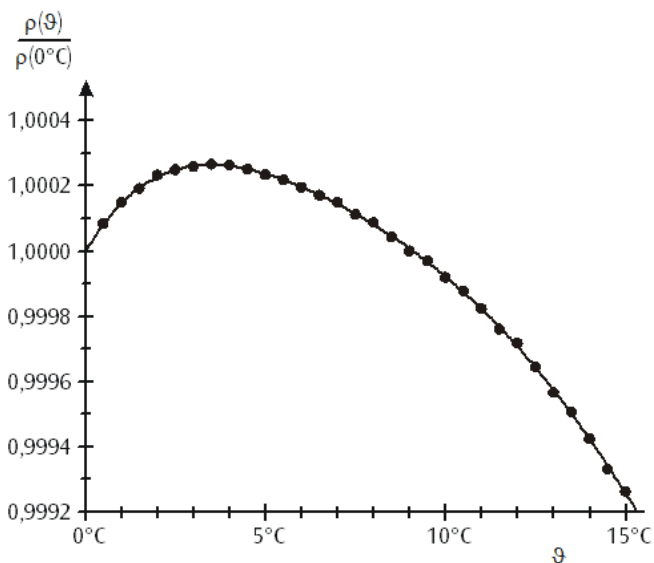


Fig. 4: Densità relativa dell'acqua in funzione alla temperatura ϑ

RISULTATO

Il volume dell'acqua diminuisce quando la temperatura aumenta da 0°C a 4°C e aumenta solo a temperature superiori.

La densità dell'acqua raggiunge il valore massimo a circa 4°C .

Anomalia da água

DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA DE DENSIDADE MÁXIMA DA ÁGUA.

- Medição da dilatação térmica da água numa faixa de temperatura entre 0°C e 15°C.
- Comprovação da anomalia da água.
- Determinação da temperatura de densidade máxima.

UE2010301

04/16 ALF

FUNDAMENTOS GERAIS

A água apresenta uma particularidade em relação aos outros materiais. Até uma temperatura de aproximadamente 4°C ela se contrai ao ser aquecida e se só dilata a partir de temperaturas mais altas. Sendo que a densidade corresponde ao recíproco do volume de uma quantidade de matéria, a água atinge portanto a sua densidade máxima em aproximadamente 4°C.

Na experiência, a dilatação da água é medida com um recipiente com um tubo de ascensão. Para tal mede-se a altura de ascensão h em função da temperatura da água ϑ . Se for desprezado o fato que o recipiente de vidro também se dilata com o aquecimento, o volume total da água no recipiente e no tubo de ascensão resultam de:

$$V(\vartheta) = V_0 + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(\vartheta) \quad (1)$$

d : diâmetro interno do tubo de ascensão,
 V_0 : volume do recipiente

Se for levada em conta a dilatação do recipiente, então altera-se (1) para

$$V(\vartheta) = V_0 (1 + 3 \cdot \alpha \cdot \vartheta) + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(\vartheta) \quad (2)$$

$\alpha = 3,3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$: coeficiente de dilatação linear do vidro

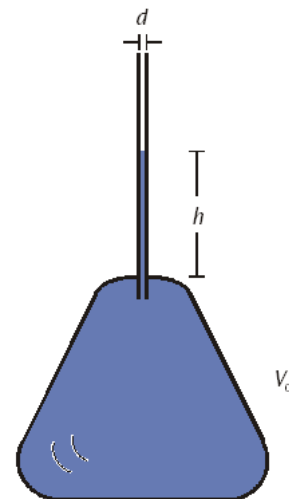


Fig. 1: Recipiente com tubo de ascensão para a medição da dilatação térmica da água



Fig. 2: Montagem experimental para a determinação da temperatura de densidade máxima da água

LISTA DE APARELHOS

1 aparelho para a anomalia da água	1002889 (U14318)
1 misturador magnético	1002808 (U11876)
1 termômetro digital, 1 canal	1002793 (U11817)
1 sensor de imersão, tipo K	1002804 (U11854)
ou	
1 termômetro	1003013 (U16115)
1 funil plástico, d= 50 mm	1003568 (U8634700)
1 mangueira de silicone, 6 mm	1002622 (U10146)
1 vara de apoio, 470 mm	1002934 (U15002)
1 suporte fixador com manga	1002829 (U13253)
1 tripé 150 mm	1002835 (U13270)
1 banheira de plástico	4000036 (T52006)

Água destilada, gelo pilado, sal de cozinha

MONTAGEM

- Primeiro, introduzir a varinha de misturar no aparelho para anomalia da água.
- Colocar tubo de ascensão no recipiente de vidro e aparafusar com firmeza.
- Conectar o sensor de imersão com o termômetro digital, aparafusar o fecho de parafusos GL com perfuração pequena no tubo de passo lateral e introduzir o sensor de imersão.
- De modo alternativo, a experiência pode ser executada com um termômetro de vara comum. Para tal, empurrar o fecho de parafusos GL com perfuração grande sobre o termômetro e fixar lateralmente no tubo de passo.
- Conectar a mangueira de silicone no conector de mangueira e ligar com o funil.
- Montar a vara de apoio no pé de apoio, fixar a pinça para apoio na vara de apoio.
- Pendurar o funil na pinça.
- Para preencher o recipiente de vidro, abrir a torneira e introduzir água destilada no funil até que o nível da água atinja aproximadamente a metade do tubo de ascensão.
- Eliminar as bolhas de ar sacudindo levemente o recipiente de vidro.
- Fechar a torneira, retirar a mangueira e retornar a água que sobre para a garrafa de armazenamento.

EXECUÇÃO

- Montar conforme fig. 2.
- Produzir uma mistura de gelo pilado e sal de cozinha e preencher a banheira de plástico com a mistura.
- Colocar a banheira sobre o misturador magnético.
- Colocar a aparelhagem de experimentação na banheira.
- Marcar a altura de ascensão da água no tubo de ascensão com uma caneta. Anotar a altura de ascensão e a temperatura.
- Ligar o misturador magnético e ajustá-lo numa velocidade média.
- Ler o nível da água no tubo de ascensão h e inserir num sistema de coordenadas em função da temperatura ϑ .
- Assim que temperatura cair abaixo $0,5^{\circ}\text{C}$, retirar a aparelhagem experimental da banheira para evitar que a água congele.

EXEMPLO DE MEDIÇÃO

Tabela 1: Altura de ascensão h em função da temperatura ϑ

ϑ ($^{\circ}\text{C}$)	h (mm)	ϑ ($^{\circ}\text{C}$)	h (mm)
0,5	32,5	8,0	22,0
1,0	23,0	8,5	27,3
1,5	16,5	9,0	32,5
2,0	10,3	9,5	36,0
2,5	7,3	10,0	42,2
3,0	5,3	10,5	47,3
3,5	3,7	11,0	54,0
4,0	3,3	11,5	62,0
4,5	4,3	12,0	67,2
5,0	6,0	12,5	76,5
5,5	7,5	13,0	86,5
6,0	10,0	13,5	94,0
6,5	12,6	14,0	104,5
7,0	14,8	14,5	116,5
7,5	19,3	15,0	125,3

ANÁLISE

A fig. 3 mostra a representação gráfica dos valores da tabela 1. Por meio de extrapolação é calculada a altura de ascensão h da água no tubo de ascensão para 0°C . Para os dados presentes obtém-se $h(0^\circ\text{C}) = 44,7$ mm. A densidade relativa da água pode agora ser calculada por meio de (3).

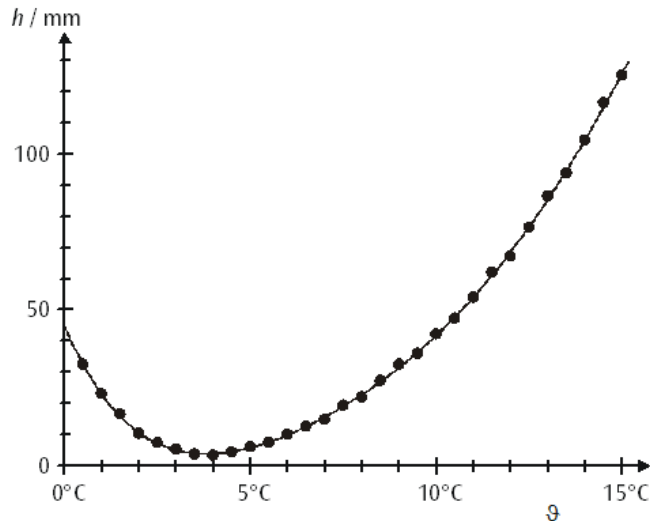


Fig. 3: Altura de ascensão h em função da temperatura θ

Para a densidade ρ da água vale portanto na seqüência de (1) e (2)

$$\frac{\rho(\theta)}{\rho(0^\circ\text{C})} = \frac{V_0 + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(0^\circ\text{C})}{V_0 (1 + 3 \cdot \alpha \cdot \theta) + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(\theta)} \quad (3)$$

O máximo desta relação encontra-se em $\theta = 4^\circ\text{C}$ (comparar fig. 4).

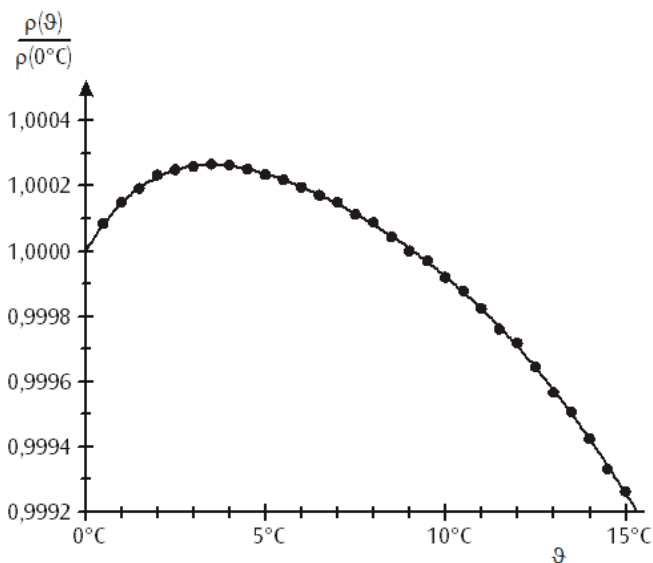


Fig. 4: Densidade relativa da água em função da temperatura θ

RESULTADO

O volume da água diminui quando a temperatura aumenta de 0°C a 4°C . Ele só aumenta com temperaturas maiores.

A água atinge a sua densidade máxima em aproximadamente 4°C .