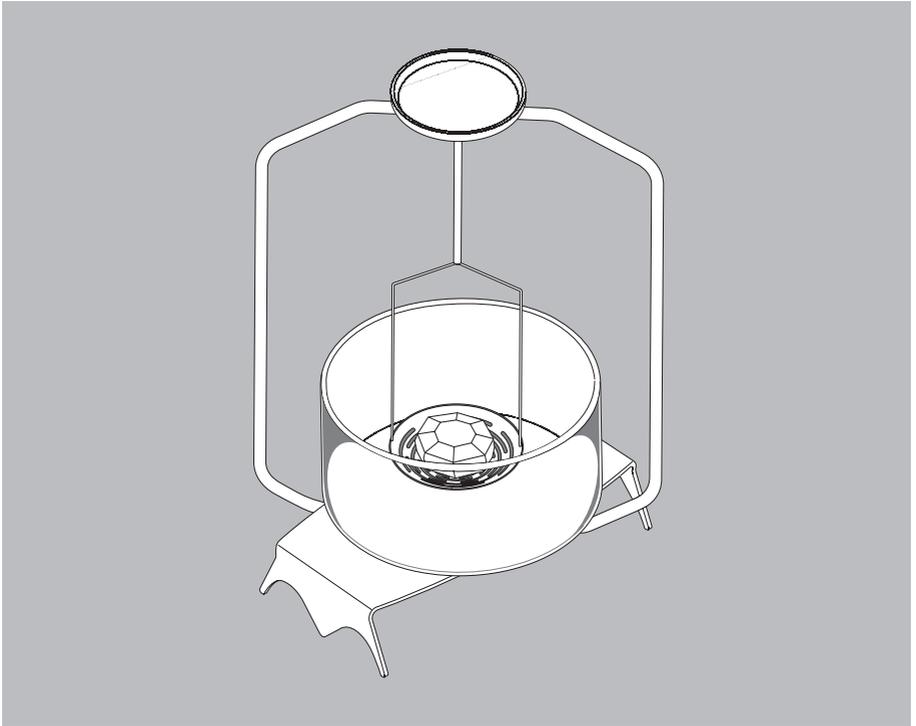


**Operating Instructions | Betriebsanleitung | Mode d'emploi | Manuale d'uso |
Manuale d'uso | Instrucciones de manejo | Инструкция по эксплуатации |
操作说明 | 取扱説明書 |**

YDK03MS | YDK04MS

**Density Determination Kit | Dichtebestimmungsset | Dispositif de détermination de la
masse volumique | Dispositivo per la determinazione della densità | Kit densitométrico |
Комплект для определения плотности | 密度測定工具 | 密度測定キット**



English – page 3

Deutsch – Seite 27

Français – page 51

Italiano – pagina 75

Español – página 99

Português – página 123

Русский – страница 147

中文 – 第 171 页

日本語 – 195 ページ

Contents

1 About this Document	4	5 Operation	13
1.1 Validity	4	5.1 Method used to Determine Density	13
1.2 Other Applicable Documents	4	5.2 Sources of Error and Options for Correction	14
1.3 Symbols Used	4	5.3 Density Determination	17
1.3.1 Warning Information in Operation Descriptions	4	5.3.1 Determining Density of Solid Objects	17
1.3.2 Other Symbols	4	5.3.2 Determining the Density of Solid Objects with a Density of Less Than 1 g/cm ³	18
2 Safety	5	5.3.3 Determining the Density of Liquids	21
2.1 Intended Use	5	5.4 Density Values	22
2.2 Glass Components	5		
3 Device Description	6	6 Formulas	23
3.1 YDK03MS	6		
3.2 YDK04MS	7		
4 Installation	8		
4.1 Scope of Delivery	8		
4.2 Unpacking the Device	8		
4.3 Installing the Product	8		
4.3.1 Attaching the YDK03MS to the Balance	8		
4.3.2 Attaching the YDK04MS to the Balance	10		
4.3.3 Selecting the Beaker and Immersion Device	11		
4.3.4 Installing the Glass Plummet	12		
4.3.5 Installing the Thermometer	12		

1 About this Document

1.1 Validity

These instructions are part of the product. These instructions apply to the product in the following versions:

Product	Type
Density determination kit for Cubis® laboratory balances with a readability of 0.1 mg and 0.01 mg	YDK03MS
Density determination kit for Cubis® laboratory balances with a readability of 1 mg	YDK04MS

1.2 Other Applicable Documents

- ▶ In addition to these instructions, please observe the following documents:
 - Instructions for the laboratory balance used

1.3 Symbols Used

1.3.1 Warning Information in Operation Descriptions

NOTICE

Denotes a danger with risk that property damage may result if the risk is **not** avoided.

1.3.2 Other Symbols

- ▶ Required action: Describes actions which must be carried out.
- ▷ Result: Describes the result of the actions carried out.

2 Safety

2.1 Intended Use

This product is used to determine the density of solid objects or liquids. For the determination of the density of solid objects, a test liquid must be used.

This product must be operated with Sartorius laboratory balances with a suitable readability.

If the laboratory balance has a density determination program: Density values can be calculated automatically using the density determination kit and density determination program.

If the density determination program is used to determine density: The density must be determined as described in the laboratory balance operating instructions.

The product is intended exclusively for use in accordance with these instructions. Any further use beyond this is considered **improper**.

2.2 Glass Components

The glass plummet, beakers, and thermometer are made of glass. Broken glass can cause injuries.

- ▶ If the glass plummet, beakers, or thermometer become damaged: Replace the glass plummet, beakers, or thermometer.

3 Device Description

3.1 YDK03MS

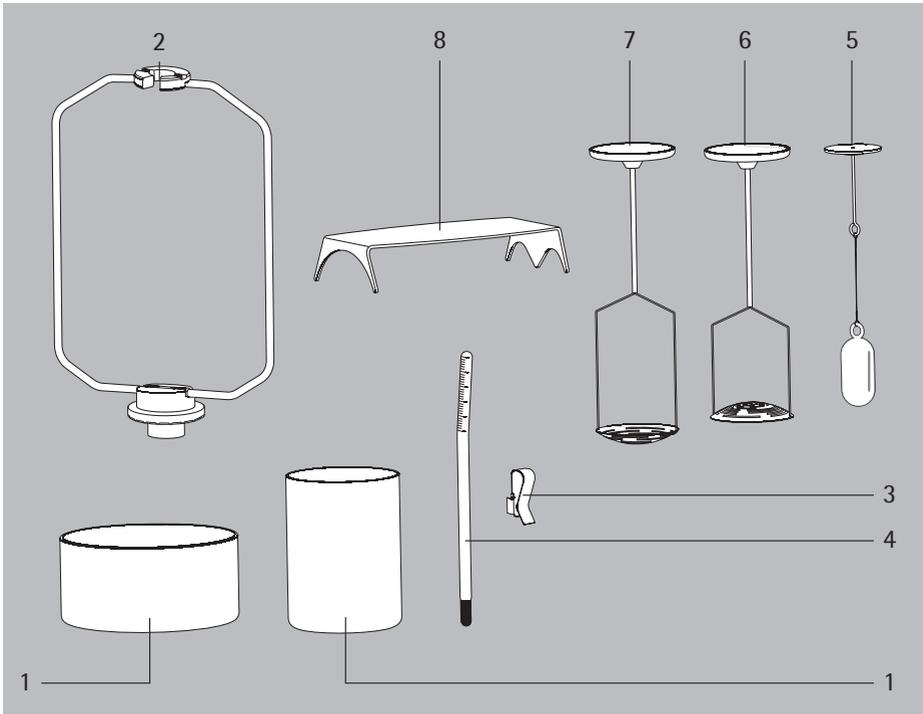


Fig. 1: YDK03MS components

No.	Name	No.	Name
1	Beakers (Ø 90 mm and Ø 55 mm)	5	Glass plummet
2	Frame	6	Sieve
3	Thermometer retainer clip, installed upon delivery	7	Sample holder
4	Thermometer	8	Bridge

3.2 YDK04MS

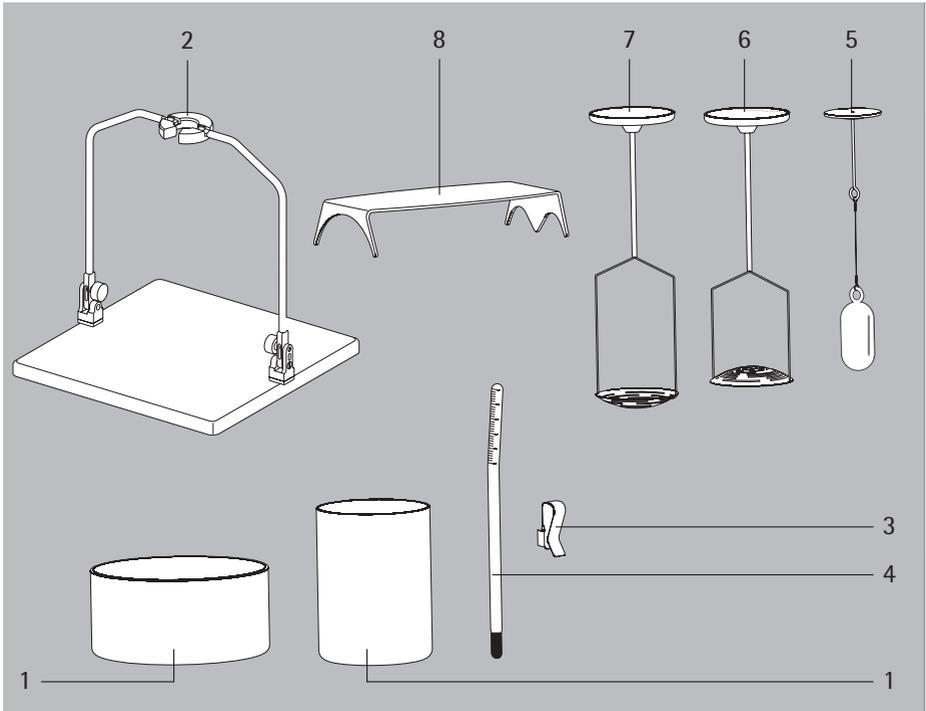


Fig. 2: YDK04MS components

No.	Name	No.	Name
1	Beakers (Ø 90 mm and Ø 55 mm)	5	Glass plummet
2	Frame	6	Sieve
3	Thermometer retainer clip, installed upon delivery	7	Sample holder
4	Thermometer	8	Bridge

4 Installation

4.1 Scope of Delivery

Item	Quantity
Beaker (Ø 90 mm and Ø 55 mm)	2
Frame	1
Thermometer retainer clip	1
Thermometer	1
Glass plummet	1
Sieve	1
Sample holder	1
Bridge	1

4.2 Unpacking the Device

Procedure

NOTICE

Unpacking can damage components!

► This product consists of delicate components. Take care when unpacking all parts.

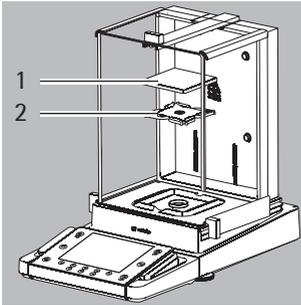
4.3 Installing the Product

4.3.1 Attaching the YDK03MS to the Balance

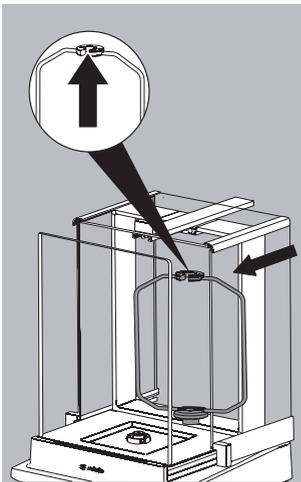
Prerequisites

A Cubis® laboratory balance with a readability of 0.1 mg or 0.01 mg.

Procedure



- ▶ Remove the following parts from the balance:
 - Weighing pan (1)
 - Pan support (2)



- ▶ Insert the frame into the weighing chamber. The wedge-shaped opening at the top of the frame must face in the direction from which the sample holder (sieve/glass plummet) will be placed into the frame.



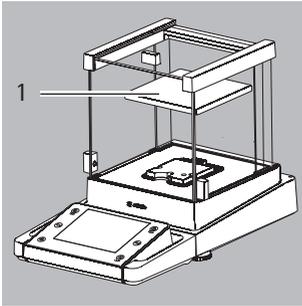
- ▶ Place the bridge which will hold the beaker through the frame on the balance.

4.3.2 Attaching the YDK04MS to the Balance

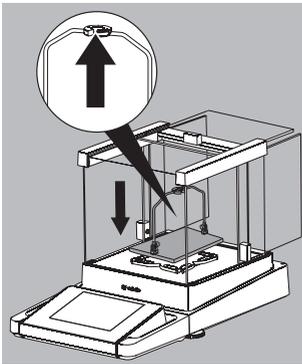
Prerequisites

A Cubis® laboratory balance with a readability of 1 mg.

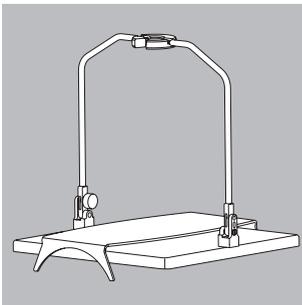
Procedure



- ▶ Remove the weighing pan (1) from the balance.



- ▶ Insert the frame into the weighing chamber. The wedge-shaped opening at the top of the frame must face in the direction from which the sample holder (sieve/glass plummet) will be placed into the frame.



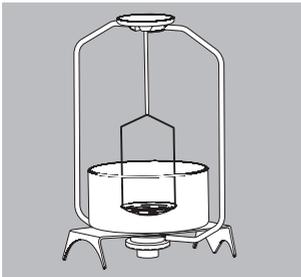
- ▶ Place the bridge which will hold the beaker through the frame on the balance.

4.3.3 Selecting the Beaker and Immersion Device

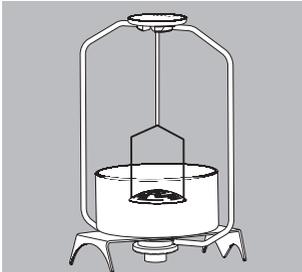
Procedure

- ▶ Select the beaker or immersion device.
The selection of the beaker or immersion device depends on the sample which is to be determined.

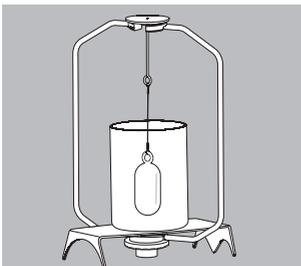
Overview of the beaker and immersion device:



- For determining the density of solid objects whose density is higher than the immersion liquid: A beaker with \varnothing 90 mm and a sample holder is required



- For determining the density of solid objects whose density is lower than the immersion liquid: A beaker with \varnothing 90 mm and a sample pan is required



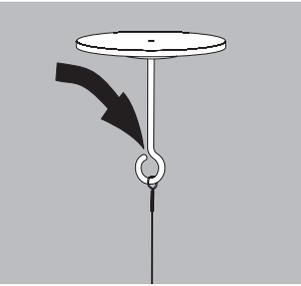
- For determining the density of liquids: A beaker with \varnothing 55 mm and a glass plummet is required

4.3.4 Installing the Glass Plummet

A wire is attached to the glass plummet by a wire eyelet. The wire eyelet must be suspended from the hook on the glass plummet.

Procedure

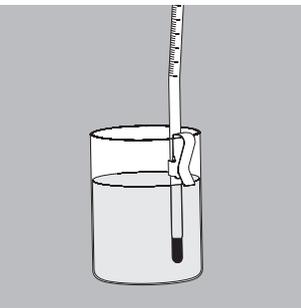
- ▶ **NOTICE** The wire can break if it is bent! Pull the glass plummet out of the packaging by the glass eyelet. Do **not** bend the wire on the glass plummet.
- ▶ Loop the wire eyelet of the glass plummet over the hook of the retainer.
- ▶ Attach the hook of the glass plummet to the frame.



4.3.5 Installing the Thermometer

Procedure

- ▶ Place the thermometer in the beaker.
- ▶ If the thermometer needs to be attached: Attach the thermometer to the rim of the beaker using the retainer clip.



5 Operation

5.1 Method used to Determine Density

"Archimedes' Principle" is used to determine the density of a solid object with this measuring device:

- An object immersed in liquid will be subject to an upward buoyant force. This force is equal to the weight of the liquid displaced by the object.
- Using a hydrostatic balance, which enables you to weigh the solid object in air and in water, it is possible to determine the density of a solid object if the density of the buoyancy medium is known:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot \rho(fl)}{W(a) - W(fl)}$$

or

Determine the density of a liquid if the volume of the immersed object is known.

$$\rho(fl) = \frac{G}{V}$$

Where:

ρ	density of the solid object
$\rho(fl)$	density of the liquid
$W(a)$	weight of the solid object in air
$W(fl)$	weight of the solid object in liquid
G	buoyancy of the immersed object
V	volume of the immersed object

5.2 Sources of Error and Options for Correction

NOTICE

Incorrect procedure when adjusting the balance!

- ▶ Remove the sample holder of the density determination kit prior to making adjustments.
-

The formula used to determine the density of solid objects is sufficient to obtain an accuracy of one to two decimal places. Depending on the accuracy required, the following error and correction factors will need to be considered:

- effect of temperature on the density of the buoyancy liquid
- air buoyancy when weighing in air
- changes in the immersion depth of the iron pan when immersing the sample
- adhesion of the liquid to the span wire of the iron pan
- air bubbles sticking to the sample

Some of the errors can be corrected mathematically. It is therefore necessary to measure the temperature of the liquid and correct the liquid density accordingly and to define the inner diameter of the vessel holding the liquid.

Effect of Temperature on Liquid Density

The density of the buoyancy liquid is temperature dependent. The change in density per °C temperature change is as follows:

- 0.02% for distilled water
- 0.1% for alcohols and hydrocarbons

The change can show up in the third decimal place during the density determination.

To correct the liquid density in terms of temperature, proceed as follows:

- measure the temperature of the liquid using the thermometer supplied.
- The density of water can be found in the table in Chapter "5.4 Density Values," page 22 and can be used for ρ (fl).

Air Buoyancy

Depending on the temperature, humidity and air pressure, a 1 cm³ volume of air will have a weight of around 1.2 mg. When weighing in air, the object experiences a corresponding buoyancy per cm³ of its volume. The error that results if the air buoyancy is not allowed for shows up in the third decimal place and should therefore be corrected.

The buoyancy force is taken into account in the following formula:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(fl) - \rho(a)]}{W(a) - W(fl)} + \rho(a)$$

Where $\rho(a) = 0.0012 \text{ g/cm}^3$ = density of air under normal conditions (temperature 20°C, pressure 101.325 kPa).

Immersion Depth

The pan for holding and/or immersing the sample during weighing in liquid is attached rigidly to two wires and is immersed approximately 30 mm below the surface of the liquid. Since the balance is tared prior to each measurement, the additional buoyancy from the submerged part of the measurement setup is not factored into the determination of the density.

When weighing in liquid, a volume of liquid corresponding to the volume of the sample body gets displaced. This causes the fastening wires on the pan to be immersed deeper and to generate additional buoyancy, creating an error in the density determination.

The following formula will correct the error:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(fl) - \rho(a)]}{0.99983 [W(a) - W(fl)]} + \rho(a)$$

As the correction factor is determined exclusively by the geometry of the device, it must be ensured that only the supplied vessel with the larger diameter (90 mm) is used to determine the density of a solid object. Chapter "6 Formulas," page 23 shows how this correction factor is derived.

Adhesion of the Liquid to the Wire

When immersing the sample holder (or sieve) in the buoyancy liquid, liquid travels up the wire because of adhesion forces and generates a few additional milligrams of weight.

Since the sample holder (or sieve) is in the buoyancy medium both when weighing in air and when weighing in liquid, and the balance is tared at the beginning of each measurement, the influence of the liquid meniscus can be ignored.

To reduce the surface tension and friction of the liquid on the wire, add three drops of a surfactant (Mirasol Antistatic or a conventional detergent) to the distilled water in the vessel.

Because of the buoyancy liquid travelling up the wire, the weight value may continue to slowly change after the "g" has appeared. For this reason, the weight value should be read as soon as the "g" appears.

Air Bubbles

The measurement errors which occur as a result of air bubbles sticking to the sample can be evaluated as follows. If the air bubble has a diameter of 0.5 mm, this will produce an additional buoyancy of less than 0.1 mg when weighing in water. If the air bubble has a diameter of 1 mm, the additional buoyancy will be around 0.5 mg, and if the diameter is around 2 mm, roughly 4.2 mg. It is therefore imperative that larger air bubbles are taken off with a fine brush or similar.

Moisture can also be added in advance in a separate container.

5.3 Density Determination

5.3.1 Determining Density of Solid Objects

Preparation

In the following description, distilled water is used.

Procedure

- ▶ Place the beaker with the larger diameter (\varnothing 90 mm) on the center of the bridge
- ▶ Fill the beaker until the distilled water is approximately 5 mm below the rim.
- ▶ Add three drops of surfactant to the distilled water.
- ▶ Attach the thermometer to the rim of the beaker using the retainer clip.
- ▶ Clean the sample holder with a solvent (paying particular attention to the immersed wires) and hook on to the frame.

Measurement Procedure

The sample weight must be determined in the air.

Procedure

- ▶ Tare the balance.
- ▶ Place the sample on the frame weighing pan and weigh it.
- ▶ Make a note of the weight value $W(a)$.

Determining the Buoyancy

$$G = W(a) - W(fl)$$

Procedure

- ▶ Tare the balance with the sample on the frame weighing pan.
- ▶ Place the sample in the sample holder. Remove the iron pan from the measuring device and ensure that **no** additional air bubbles become attached upon re-immersion in the liquid; If possible, add the sample directly using tweezers or similar.
- ▶ Make a note of the absolute value of buoyancy G , with a minus sign in front.

Calculating the Density

Procedure

- ▶ Read off the temperature.
- ▶ Locate the density value ρ (fl) in the table using the temperature you have read off.
- ▶ Calculate the density using the following formula:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(\text{fl}) - 0.0012 \text{ g/cm}^3]}{0.99983 G} + 0.0012 \text{ g/cm}^3$$

$W(a)$ and G in g; $\rho(\text{fl})$ in g/cm^3 $G = W(a) - W(\text{fl})$

5.3.2 Determining the Density of Solid Objects with a Density of Less Than 1 g/cm^3

There are two different methods for determining the density of solid objects with a density of less than 1 g/cm^3 .

Method 1

Distilled water is still used as the buoyancy liquid. However, the iron pan is replaced by the inverted sieve pan (sieve).

To determine the buoyancy of the sample, first place it on the surface of the water and then immerse it using the sieve which was previously removed.

It is also possible to use tweezers or similar to place the sample directly under the sieve pan (without removing the sieve from the frame).

If the buoyancy of the substance to be measured is greater than the weight of the sieve, the weight of the sieve must be increased by adding additional weight to the frame weighing pan.

Method 2

A liquid with a density which is lower than that of the solid object which is to be measured must be used as a buoyancy medium. Good results have been achieved with ethanol (up to a density of approx. 0.8 g/cm³).

The negative effect of the liquid's surface tension on the results is less noticeable when using ethanol than when using distilled water. It is therefore not necessary to add surfactants.

Valid safety precautions must be taken when working with ethanol.

The second method should be used if the density of the solid object only differs slightly from that of distilled water. As the sample is suspended in water, measuring errors may occur if the first method is used. It also makes sense to use the second method to determine the density of a granulated substance. In this case, it would be difficult to place the entire sample under the sieve when using the first method.

Do not use ethanol if the sample could be attacked or dissolved by it.

Preparation

In the following description, distilled water is used.

Procedure

- ▶ Place the beaker with the larger diameter (\varnothing 90 mm) on the center of the bridge
- ▶ Fill the beaker until the distilled water is approximately 5 mm below the rim.
- ▶ Add three drops of surfactant to the distilled water.
- ▶ Attach the thermometer to the rim of the beaker using the retainer clip.
- ▶ Clean the sieve with a solvent (paying particular attention to the immersed wires) and hook on to the frame.

Measurement Procedure

The sample weight must be determined in the air.

Procedure

- ▶ Tare the balance.
- ▶ Place the sample on the frame weighing pan and weigh it.
- ▶ Make a note of the weight value $W(a)$.

Determining the Buoyancy

$$G = W(a) - W(fl)$$

Procedure

- ▶ Tare the balance with the sample on the frame weighing pan.
- ▶ Place the sample in the sample holder. Remove the iron pan from the measuring device and ensure that **no** additional air bubbles become attached upon re-immersion in the liquid; If possible, add the sample directly using tweezers or similar.
- ▶ Make a note of the absolute value of buoyancy G , with a minus sign in front.

Calculating the Density

Procedure

- ▶ Read off the temperature.
- ▶ Locate the density value $\rho(fl)$ in the table in Chapter "5.4 Density Values," page 22 using the temperature you have read off.
- ▶ Calculate the density using the following formula:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot \rho(fl)}{0.99983 G} + 0.0012 \text{ g/cm}^3$$

$W(a)$ and G in g; $\rho(fl)$ in g/cm^3 $G = W(a) - W(fl)$

5.3.3 Determining the Density of Liquids

Preparation

Procedure

- ▶ Place the beaker with the smaller diameter (\varnothing 55 mm) on the center of the bridge.
- ▶ Attach the thermometer to the rim of the beaker using the retainer clip.

Measurement Procedure

Procedure

- ▶ Suspend the disk with the glass plummet (hanging on one wire) from the frame.
- ▶ Tare the balance.
- ▶ Fill the beaker with the liquid to be tested until it is 10 mm above the glass plummet.

Determining the Buoyancy $G = W (a) - W (fl)$

The negative weight displayed by the balance corresponds to the buoyancy acting on the glass plummet in the liquid.

Procedure

- ▶ Make a note of the buoyancy G , with a minus sign in front.
- ▶ Read off and make a note of the temperature.

Calculating the Density

Procedure

► Calculate the density using the following formula:

$$\rho \text{ (fl)} = \frac{G}{V}$$

G in g; V in cm³

The glass plummet included in the density determination kit has a volume of 10 cm³.

It is easy to obtain the actual density of the liquid (in g/cm³); Shift the decimal point in the balance display one place the left.

5.4 Density Values

Density of H₂O (Gas-Free Water) at Temperature T (in °C) in g/cm³

T/°C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
10	0.99970	0.99969	0.99968	0.99967	0.99966	0.99965	0.99964	0.99963	0.99962	0.99961
11	0.99960	0.99959	0.99958	0.99957	0.99956	0.99955	0.99954	0.99953	0.99952	0.99951
12	0.99950	0.99949	0.99947	0.99946	0.99945	0.99944	0.99943	0.99941	0.99940	0.99939
13	0.99938	0.99936	0.99935	0.99934	0.99933	0.99931	0.99930	0.99929	0.99927	0.99926
14	0.99924	0.99923	0.99922	0.99920	0.99919	0.99917	0.99916	0.99914	0.99913	0.99911
15	0.99910	0.99908	0.99907	0.99905	0.99904	0.99902	0.99901	0.99899	0.99897	0.99896
16	0.99894	0.99893	0.99891	0.99889	0.99888	0.99886	0.99884	0.99883	0.99881	0.99879
17	0.99877	0.99876	0.99874	0.99872	0.99870	0.99869	0.99867	0.99865	0.99863	0.99861
18	0.99860	0.99858	0.99856	0.99854	0.99852	0.99850	0.99848	0.99846	0.99844	0.99842
19	0.99840	0.99838	0.99837	0.99835	0.99833	0.99831	0.99829	0.99826	0.99824	0.99822
20	0.99820	0.99818	0.99816	0.99814	0.99812	0.99810	0.99808	0.99806	0.99803	0.99801
21	0.99799	0.99797	0.99795	0.99793	0.99790	0.99788	0.99786	0.99784	0.99781	0.99779
22	0.99777	0.99775	0.99772	0.99770	0.99768	0.99765	0.99763	0.99761	0.99758	0.99756
23	0.99754	0.99751	0.99749	0.99747	0.99744	0.99742	0.99739	0.99737	0.99734	0.99732
24	0.99729	0.99727	0.99725	0.99722	0.99720	0.99717	0.99714	0.99712	0.99709	0.99707
25	0.99704	0.99702	0.99699	0.99697	0.99694	0.99691	0.99689	0.99686	0.99683	0.99681
26	0.99678	0.99676	0.99673	0.99670	0.99667	0.99665	0.99662	0.99659	0.99657	0.99654
27	0.99651	0.99648	0.99646	0.99643	0.99640	0.99637	0.99634	0.99632	0.99629	0.99626
28	0.99623	0.99620	0.99617	0.99615	0.99612	0.99609	0.99606	0.99603	0.99600	0.99597
29	0.99594	0.99591	0.99588	0.99585	0.99582	0.99579	0.99576	0.99574	0.99571	0.99568
30	0.99564	0.99561	0.99558	0.99555	0.99552	0.99549	0.99546	0.99543	0.99540	0.99537

References:

- NIST ITS-90 Density of Water Formulation for Volumetric Standards Calibration, Volume 97, Number 3, Chapter 3.3
Density of Air-Free Water ρ (kg m⁻³) = 999.85308 + 6.32693 x 10⁻² t - 8.523829 x 10⁻³ t² + 6.943248 x 10⁻⁵ t³ - 3.821216 x 10⁻⁷ t⁴
- DAKS-DKD-LF-8-2 calibration liquid water – DaksS, annex 1, table A

6 Formulas

To gain a better understanding of the process, the theory behind the formulas and the correction factor is explained here.

Basic Principles

$$\text{Density} = \frac{\text{Mass (g)}}{\text{Volume (cm}^3\text{)}}$$

Archimedes' principle states:

An object immersed in liquid will be subject to a buoyant force (G). This force is equal to the weight of the liquid displaced by the object. The volume of the immersed object V (s) is equal to the volume of the displaced liquid V (fl).

The following are determined:

1. Weight in air W (a)
2. Buoyancy of the object in the liquid (G)

The density of an object is:

$$\rho = \frac{\text{mass of object}}{\text{volume of object}} = \frac{W (a)}{V (s)} = \frac{W (a)}{V (fl)}$$

If the density ρ (fl) of the displaced liquid is known:

$$V (fl) = \frac{\text{Mass (fl)}}{\rho} = \frac{G}{\rho (fl)}$$

Thus:

$$\rho = \frac{W (a) \cdot \rho (fl)}{G}$$

Calculation

The density of a solid object is calculated based on the ratio:

$$\rho : W (a) = \rho (fl) : [W (a) - W (fl)]$$

Thus:

$$\rho = \frac{W (a) \cdot \rho (fl)}{W (a) - W (fl)}$$

$$W (a) - W (fl) = G = \text{buoyancy of the sample}$$

The density of a liquid is determined from the buoyancy of the immersed object which has a defined volume.

$$\rho (fl) = \frac{G}{V}$$

Where:

ρ	density of the solid object
$\rho (fl)$	density of the liquid
$W (a)$	weight of the solid object in air
$W (fl)$	weight of the solid object in liquid
G	buoyancy of the immersed object
V	volume of the immersed object

Corrections

The following must be allowed for when correcting the density determination:

- The air buoyancy experienced by the sample when weighed in air.
Where $\rho (a) = 0.0012 \text{ g/cm}^3$ = density of air under normal conditions (temperature 20°C, pressure 101.325 kPa); which results in:

$$\rho = \frac{W (a) \cdot [\rho (fl) - \rho (a)]}{W (a) - W (fl)} + \rho (a)$$

- The immersion of the wires of the sample holder or sieve

When using this specific density determination kit, the buoyancy $G = [W(a) - W(fl)]$ must be multiplied by the factor 0.99983 (corr). Expanded formula:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(fl) - \rho(a)]}{[W(a) - W(fl)] \cdot \text{corr}} + \rho(a)$$

This factor allows for the buoyancy of the wires which are submerged deeper when the sample is introduced.

How this Correction Factor Is Derived:

The buoyancy caused by the submerged wires depends on the height "h" by which the liquid rises when the sample is immersed.

Here, the sample volume $V(pr)$ corresponds to the liquid volume $V(fl)$.

The sample volume is determined by measuring the buoyancy. Hence:

$$V(pr) = V(fl)$$

or

$$\frac{W(a) - W(fl)}{\rho(fl)} = \frac{\pi \cdot h \cdot D^2}{4}$$

$$\text{Then } h = \frac{4 \cdot [W(a) - W(fl)]}{\rho(fl) \cdot \pi \cdot D^2}$$

The buoyancy "A" caused by the immersed wires is:

$$A = 2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h \cdot \rho(fl)$$

When "h" is used:

$$\rho = \frac{2 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot 4 \cdot [W(a) - W(fl)] \cdot \rho(fl)}{4 \cdot \rho(fl) \cdot \pi \cdot D^2}$$

$$A = 2 \cdot \frac{d^2}{D^2} \cdot [W(a) - W(fl)]$$

To allow for the buoyancy of the wires, subtract the buoyancy "A" caused by the immersed wires from the buoyancy determined for the sample:

$G = W(a) - W(fl)$. The buoyancy value "A (corr)" which is to be used in the calculation is then: $G - "A"$.

$$A(\text{corr}) = [W(a) - W(fl)] - 2 \cdot \frac{d^2}{D^2} \cdot [W(a) - W(fl)]$$

$$A(\text{corr}) = \left[1 - 2 \cdot \frac{d^2}{D^2} \right] \cdot [W(a) - W(fl)]$$

In this density determination kit, the beaker with the larger diameter (\varnothing 90 mm) and an immersion device with two wires with a diameter of 0.7 mm are used to determine the density of solid objects.

When the values $d = 0.7$ mm and $D = 90$ mm are used, the correction factor is:

$$1 - 2 \cdot \frac{0.7^2}{90^2} = \mathbf{0.99983}$$

When using devices with other dimensions, the correction factor must be recalculated accordingly.

Inhalt

1 Über diese Anleitung	28	5 Bedienung	37
1.1 Gültigkeit	28	5.1 Verfahren zur Dichtebestimmung	37
1.2 Mitgeltende Dokumente	28	5.2 Fehlerquellen und Korrektur- möglichkeiten	38
1.3 Darstellungsmittel	28	5.3 Dichtebestimmung	41
1.3.1 Warnhinweise in Handlungsbeschrei- bungen	28	5.3.1 Dichtebestimmung von Festkörpern	41
1.3.2 Weitere Darstellungs- mittel	28	5.3.2 Dichtebestimmung von Festkörpern mit einer Dichte kleiner als 1 g/cm^3	42
2 Sicherheit	29	5.3.3 Bestimmung der Dichte von Flüssigkeiten	45
2.1 Bestimmungsgemäße Verwendung	29	5.4 Dichtewerte	46
2.2 Komponenten aus Glas	29	6 Formeln	47
3 Gerätebeschreibung	30		
3.1 YDK03MS	30		
3.2 YDK04MS	31		
4 Installation	32		
4.1 Lieferumfang	32		
4.2 Auspacken	32		
4.3 Produkt montieren	32		
4.3.1 YDK03MS in Waage montieren	32		
4.3.2 YDK04MS in Waage montieren	34		
4.3.3 Becherglas und Tauchvorrichtung auswählen	35		
4.3.4 Glaskörper montieren	36		
4.3.5 Thermometer montieren	36		

1 Über diese Anleitung

1.1 Gültigkeit

Diese Anleitung ist Teil des Produkts. Die Anleitung gilt für das Produkt in den folgenden Ausführungen:

Produkt	Typ
Dichtebestimmungsset für Cubis®-Laborwaagen mit einer Ablesbarkeit 0,1 mg und 0,01 mg	YDK03MS
Dichtebestimmungsset für Cubis®-Laborwaagen mit einer Ablesbarkeit 1 mg	YDK04MS

1.2 Mitgeltende Dokumente

- ▶ Ergänzend zu dieser Anleitung folgende Dokumentationen beachten:
 - Anleitung der verwendeten Laborwaage

1.3 Darstellungsmittel

1.3.1 Warnhinweise in Handlungsbeschreibungen

ACHTUNG

Kennzeichnet eine Gefährdung, die Sachschäden zur Folge haben kann, wenn sie **nicht** vermieden wird.

1.3.2 Weitere Darstellungsmittel

- ▶ Handlungsanweisung: Beschreibt Tätigkeiten, die ausgeführt werden müssen.
- ▷ Ergebnis: Beschreibt das Ergebnis der ausgeführten Tätigkeiten.

2 Sicherheit

2.1 Bestimmungsgemäße Verwendung

Das Produkt dient zur Dichtebestimmung von Festkörpern oder Flüssigkeiten. Für die Dichtebestimmung von Festkörpern muss eine Testflüssigkeit verwendet werden.

Das Produkt muss mit Sartorius Laborwaagen mit geeigneter Ablesbarkeit betrieben werden.

Wenn die Laborwaage über ein Dichtebestimmungsprogramm verfügt: Durch das Dichtebestimmungsset und das Dichtebestimmungsprogramm können automatisch Dichte-Werte berechnet werden.

Wenn Dichtebestimmungsprogramme zur Dichtebestimmung verwendet werden: Die Dichtebestimmung muss so durchgeführt werden wie in der Betriebsanleitung der Laborwaage beschrieben.

Das Produkt ist ausschließlich für den Einsatz gemäß dieser Anleitung bestimmt. Jede weitere Verwendung gilt als **nicht** bestimmungsgemäß.

2.2 Komponenten aus Glas

Der Glassenkörper, die Bechergläser und das Thermometer sind aus Glas gefertigt. Bei Beschädigung des Glases sind Verletzungen möglich.

- ▶ Wenn der Glassenkörper, die Bechergläser oder das Thermometer beschädigt ist: Den Glassenkörper, die Bechergläser oder das Thermometer tauschen.

3 Gerätebeschreibung

3.1 YDK03MS

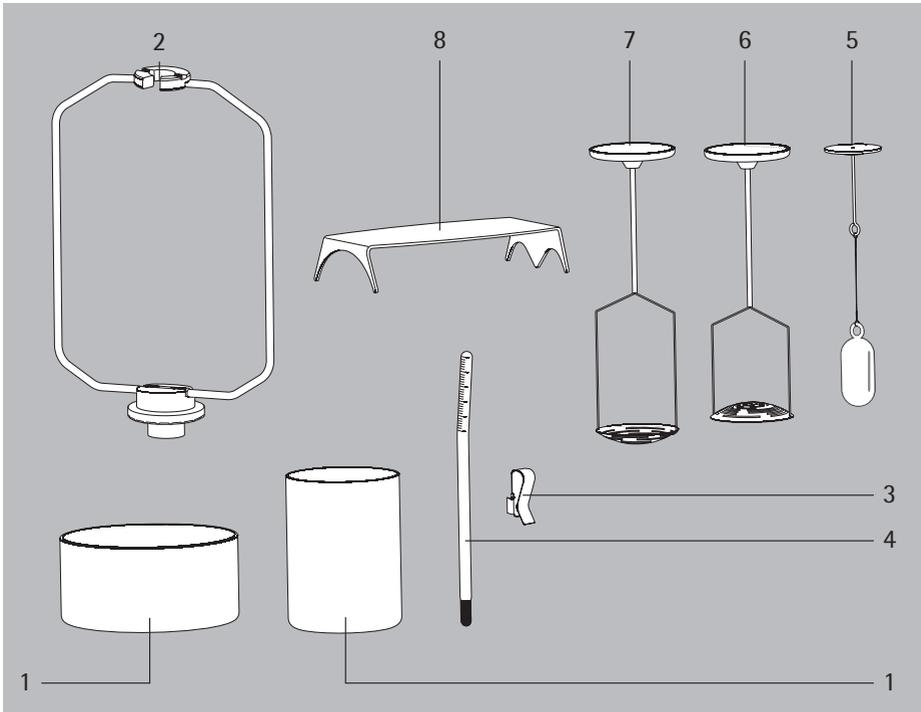


Abb. 1: Komponenten YDK03MS

Pos.	Bezeichnung	Pos.	Bezeichnung
1	Bechergläser (Ø 90 mm und Ø 55 mm)	5	Glassenkörper
2	Gestell	6	Tauchsieb
3	Befestigungsklemme für Thermometer, bei Lieferung am Thermometer montiert	7	Tauchkorb
4	Thermometer	8	Brücke

3.2 YDK04MS

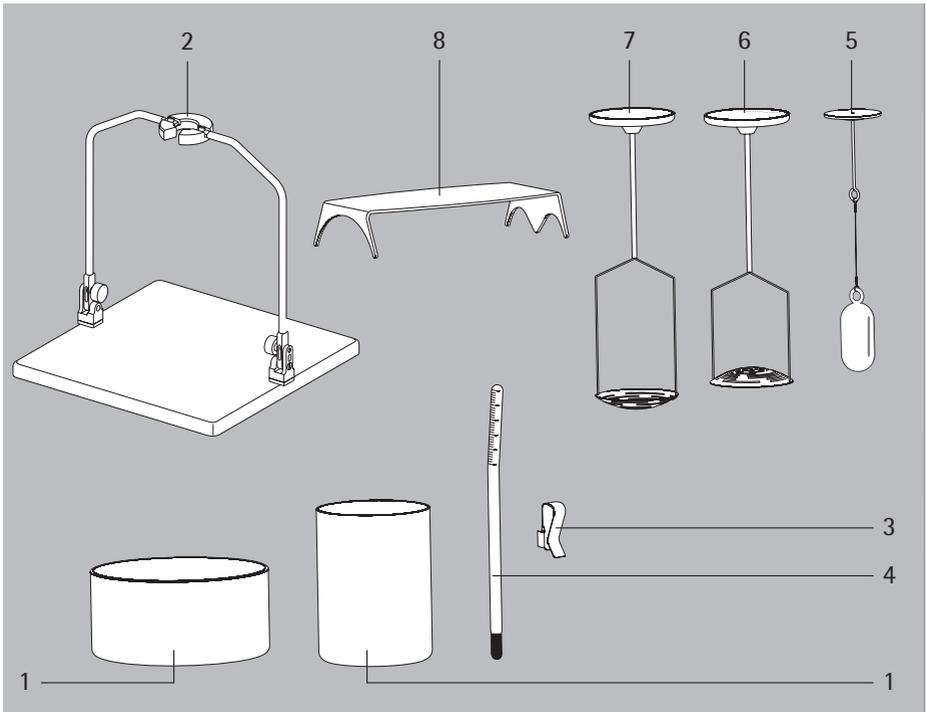


Abb.2: Komponenten YDK04MS

Pos.	Bezeichnung	Pos.	Bezeichnung
1	Bechergläser (\varnothing 90 mm und \varnothing 55 mm)	5	Glassenkörper
2	Gestell	6	Tauchsieb
3	Befestigungsklemme für Thermometer, bei Lieferung am Thermometer montiert	7	Tauchkorb
4	Thermometer	8	Brücke

4 Installation

4.1 Lieferumfang

Artikel	Menge
Becherglas (Ø 90 mm und Ø 55 mm)	2
Gestell	1
Befestigungsklemme für Thermometer	1
Thermometer	1
Glassenkörper	1
Tauchsieb	1
Tauchkorb	1
Brücke	1

4.2 Auspacken

Vorgehen

ACHTUNG

Beschädigung der Komponenten beim Auspacken!

► Das Produkt besteht aus filigranen Komponenten. Alle Teile vorsichtig entpacken.

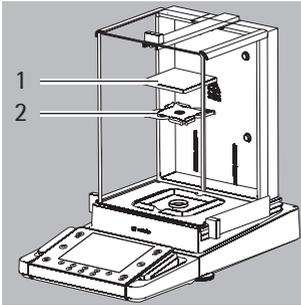
4.3 Produkt montieren

4.3.1 YDK03MS in Waage montieren

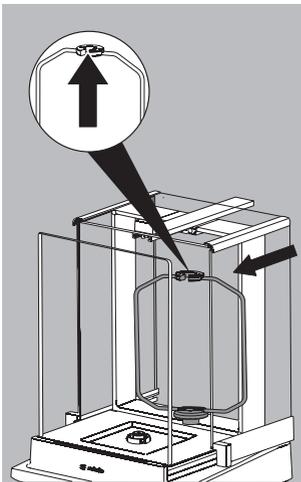
Voraussetzungen

Es liegt eine Laborwaage vom Typ Cubis® mit einer Ablesbarkeit 0,1 mg oder 0,01 mg vor.

Vorgehen



- ▶ Nehmen Sie folgende Teile von der Waage:
 - Waagschale (1)
 - Unterschale (2)



- ▶ Setzen Sie das Gestell in den Wägeraum ein. Die keilförmige Öffnung oben am Gestell muss in die Richtung weisen, aus der der Tauchkorb (Tauchsieb/ Glassenkörper) eingesetzt wird.



- ▶ Stellen Sie die Brücke zur Aufnahme des Becherglases durch das Gestell hindurch auf die Waage.

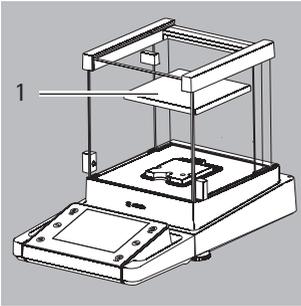
4.3.2 YDK04MS in Waage montieren

Voraussetzungen

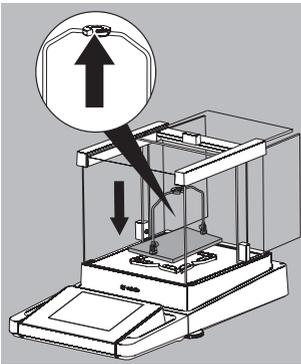
Es liegt eine Laborwaage vom Typ Cubis® mit einer Ablesbarkeit von 1 mg vor.

Vorgehen

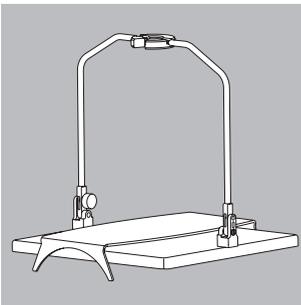
- ▶ Nehmen Sie die Waagschale (1) von der Waage.



- ▶ Setzen Sie das Gestell in den Wägeraum ein. Die keilförmige Öffnung oben am Gestell muss in die Richtung weisen, aus der der Tauchkorb (Tauchsieb/ Glassenkörper) eingesetzt wird.



- ▶ Stellen Sie die Brücke zur Aufnahme des Becherglases durch das Gestell hindurch auf die Waage.

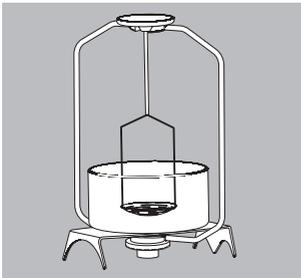


4.3.3 Becherglas und Tauchvorrichtung auswählen

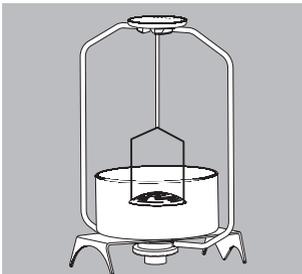
Vorgehen

- ▶ Wählen Sie das Becherglas oder die Tauchvorrichtung aus. Die Auswahl des Becherglases und der Tauchvorrichtung richtet sich nach der zu bestimmenden Probe.

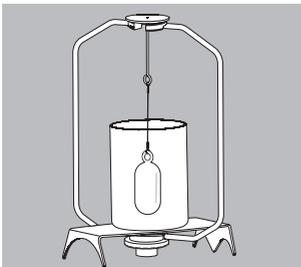
Übersicht Becherglas und Tauchvorrichtung:



- Bei Dichtebestimmung von Festkörpern, deren Dichte höher ist als die der Tauchflüssigkeit: Becherglas mit \varnothing 90 mm und Tauchkorb erforderlich



- Bei Dichtebestimmung von Festkörpern, deren Dichte geringer ist als die der Tauchflüssigkeit: Becherglas mit \varnothing 90 mm und Tauchsieb erforderlich



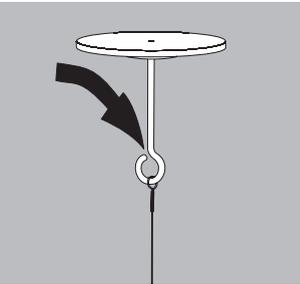
- Bei Dichtebestimmung von Flüssigkeiten: Becherglas mit \varnothing 55 mm und Glaskörper erforderlich

4.3.4 Glaskörper montieren

Am Glaskörper ist ein Draht mit Drahtöse befestigt. Die Drahtöse muss in der Halterung des Glaskörpers eingehängt werden.

Vorgehen

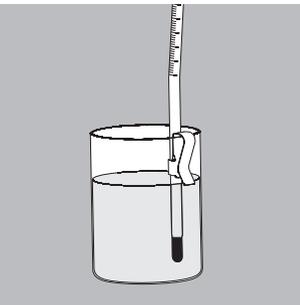
- ▶ **ACHTUNG** Gebrochener Draht durch Knicken! Den Glaskörper an der Glasöse aus der Verpackung ziehen. Den Draht des Glaskörpers dabei **nicht** knicken.
- ▶ Die Drahtöse des Glaskörpers in den Bügel der Halterung einhängen.
- ▶ Befestigen Sie die Halterung des Glaskörpers am Gestell.



4.3.5 Thermometer montieren

Vorgehen

- ▶ Das Thermometer im Glas positionieren.
- ▶ Wenn das Thermometer befestigt werden soll: Das Thermometer mit der Befestigungsklemme am Glasrand fixieren.



5 Bedienung

5.1 Verfahren zur Dichtebestimmung

Zur Bestimmung der Dichte eines Festkörpers wird bei der vorliegenden Messeinrichtung das „Archimedische Prinzip“ herangezogen:

- Ein in eine Flüssigkeit getauchter Körper erfährt eine nach oben gerichtete Auftriebskraft. Diese Kraft ist dem Betrag nach gleich der Gewichtskraft der durch das Volumen des Körpers verdrängten Flüssigkeit.
- Mit einer hydrostatischen Waage, die es gestattet den Festkörper sowohl in Luft als auch in Wasser zu wägen, ist es möglich die Dichte eines Festkörpers zu bestimmen, wenn die Dichte des Auftriebsmediums bekannt ist:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot \rho(fl)}{W(a) - W(fl)}$$

oder

die Dichte einer Flüssigkeit ist zu bestimmen, wenn das Volumen des Tauchkörpers bekannt ist.

$$\rho(fl) = \frac{G}{V}$$

Dabei ist:

ρ	Dichte des Festkörpers
$\rho(fl)$	Dichte der Flüssigkeit
$W(a)$	Gewicht des Festkörpers in Luft
$W(fl)$	Gewicht des Festkörpers in der Flüssigkeit
G	Auftrieb des Tauchkörpers
V	Volumen des Tauchkörpers

5.2 Fehlerquellen und Korrekturmöglichkeiten

ACHTUNG

Falsches Vorgehen beim Justieren der Waage!

- ▶ Den Probenhalter des Dichtebestimmungssets vor dem Justieren abnehmen.

Die Formel zur Dichtebestimmung von Festkörpern ist für eine Bestimmung mit einer Genauigkeit von ein bis zwei Nachkommastellen ausreichend. Abhängig von der geforderten Genauigkeit sind folgende Fehler- oder Korrekturfaktoren zu berücksichtigen:

- Temperaturabhängigkeit der Dichte der Auftriebsflüssigkeit
- Luftauftrieb bei der Wägung in Luft
- Änderung der Eintauchtiefe der Bügelschale beim Untertauchen der Probe
- Adhäsion der Flüssigkeit am Aufhängedraht der Bügelschale
- an der Probe anhaftende Luftbläschen

Die Fehler können teilweise rechnerisch korrigiert werden. Dazu ist es notwendig die Temperatur der Flüssigkeit zu messen und die Flüssigkeitsdichte entsprechend zu korrigieren und den Innendurchmesser des Gefäßes zur Aufnahme der Flüssigkeit fest vorzugeben.

Temperaturabhängigkeit der Flüssigkeitsdichte

Die Dichte der Auftriebsflüssigkeit ist temperaturabhängig. Die Dichteänderung pro °C Temperaturänderung liegt in folgender Größenordnung:

- 0,02 % für destilliertes Wasser
- 0,1 % für Alkohole und Kohlenwasserstoffe

Die Änderung kann in der 3. Nachkommastelle bei der Dichtebestimmung in Erscheinung treten.

Um die Flüssigkeitsdichte bezüglich der Temperatur zu korrigieren, wird folgendermaßen verfahren:

- Die Temperatur der Flüssigkeit wird mit dem mitgelieferten Thermometer gemessen.
- Die Dichte von Wasser kann der Tabelle des Kapitels „5.4 Dichtewerte“, Seite 46 entnommen und für ρ (fl) eingesetzt werden.

Luftauftrieb

Ein Volumen von 1 cm³ Luft hat in Abhängigkeit von der Temperatur, der Luftfeuchtigkeit und dem Luftdruck ein Gewicht um 1,2 mg. Bei der Wägung in Luft erfährt der Körper pro cm³ seines Volumens einen entsprechenden Auftrieb. Der resultierende Fehler bei Nichtberücksichtigung des Luftauftriebs macht sich also in der dritten Nachkommastelle bemerkbar und sollte somit korrigiert werden.

Der Luftauftrieb wird in folgender Formel berücksichtigt:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(fl) - \rho(a)]}{W(a) - W(fl)} + \rho(a)$$

Dabei ist $\rho(a) = 0,0012 \text{ g/cm}^3$ = Dichte der Luft unter Normalbedingungen (Temperatur 20°C, Druck 101,325 kPa).

Eintauchtiefe

Die Schale zur Aufnahme bzw. zum Untertauchen der Probe während der Wägung in Flüssigkeit ist an zwei Drähten starr befestigt und taucht etwa 30 mm tief in die Flüssigkeit ein. Da vor jeder Messung die Waage tariert wird, geht der zusätzliche Auftrieb durch den untergetauchten Teil der Messanordnung nicht in die Bestimmung der Dichte ein.

Bei der Wägung in Flüssigkeit wird ein dem Volumen des Probekörpers entsprechendes Volumen an Flüssigkeit verdrängt. Dies führt dazu, dass die Befestigungsdrähte der Schale tiefer eintauchen und einen zusätzlichen Auftrieb erzeugen, der als Fehler bei der Dichtebestimmung eingeht.

Dieser Fehler wird bei Anwendung der nachfolgenden Formel korrigiert:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(fl) - \rho(a)]}{0,99983 [W(a) - W(fl)]} + \rho(a)$$

Da der Korrekturfaktor ausschließlich durch die Geometrie der Anordnung bestimmt ist, muss unbedingt darauf geachtet werden, dass zur Dichtebestimmung eines Festkörpers nur das mitgelieferte Gefäß mit dem größeren Durchmesser (90 mm) benutzt wird. Eine Herleitung für diesen Korrekturfaktor erfolgt im Kapitel „6 Formeln“, Seite 47.

Adhäsion der Flüssigkeit am Draht

Beim Eintauchen des Tauchkorbes (des Tauchsiebes) in die Auftriebsflüssigkeit kriecht Flüssigkeit infolge von Adhäsionskräften am Draht hoch und erzeugt ein zusätzliches Gewicht in der Größenordnung von einigen Milligramm.

Da sich der Tauchkorb (das Tauchsieb) sowohl bei der Wägung in Luft als auch bei der Wägung in der Flüssigkeit im Auftriebsmedium befindet und zu Beginn jeder Messung die Waage tariert wird, kann der Einfluss des Flüssigkeitsmeniskus vernachlässigt werden.

Um die Oberflächenspannung und die Reibung der Flüssigkeit am Draht zu reduzieren, werden auf den Gefäßinhalt an dest. Wasser etwa drei Tropfen eines Tensids (Mirasol Antistatic oder herkömmliches Spülmittel) dazugegeben.

Durch das Hochkriechen der Auftriebsflüssigkeit am Draht kann es vorkommen, dass sich der Wägewert nach Erscheinen des »g« noch langsam verändert. Der Wägewert sollte deshalb direkt nach Auftreten des »g« abgelesen werden.

Luftblasen

Der Messfehler, der durch anhaftende Luftbläschen an der Probe entsteht, lässt sich folgendermaßen abschätzen. Bei einer Luftblase mit einem Durchmesser von 0,5 mm ergibt sich ein zusätzlicher Auftrieb bei der Wägung in Wasser kleiner als 0,1 mg. Bei einem Durchmesser von 1 mm beträgt der zusätzliche Auftrieb schon etwa 0,5 mg und bei einem Durchmesser von 2 mm etwa 4,2 mg. Größere Luftbläschen sollten also unbedingt mit einem feinen Pinsel o.ä. Hilfsmittel abgestreift werden.

Das Benetzen kann auch vorab in einem separaten Gefäß erfolgen.

5.3 Dichtebestimmung

5.3.1 Dichtebestimmung von Festkörpern

Vorbereitung

In der folgenden Beschreibung wird dest. Wasser verwendet.

Vorgehen

- ▶ Das Becherglas mit dem großen Durchmesser (\varnothing 90 mm) mittig auf der Brücke ausrichten
- ▶ Das Becherglas bis ca. 5 mm unter den Rand mit dest. Wasser füllen.
- ▶ 3 Tropfen Tensid in das dest. Wasser geben.
- ▶ Das Thermometer mit der Klemme am Rand des Becherglases befestigen.
- ▶ Das Tauchkorb mit Lösungsmittel reinigen (insbesondere die eintauchenden Drähte) und in das Gestell einhängen.

Messablauf

Das Probengewicht in der Luft muss bestimmt werden.

Vorgehen

- ▶ Die Waage tarieren.
- ▶ Die Probe auf die Gestellwaagschale auflegen und wägen.
- ▶ Den Gewichtswert $W(a)$ notieren.

Bestimmung des Auftriebs $G = W(a) - W(fl)$

Vorgehen

- ▶ Die Waage mit der Probe auf der Gestellwaagschale tarieren.
- ▶ Die Probe in den Tauchkorb legen. Dazu die Bügelschale aus der Messvorrichtung entfernen und darauf achten, dass beim Wiedereintauchen in die Flüssigkeit **keine** zusätzlichen Luftbläschen anhaften, dazu die Probe möglichst mit Pinzette o. a. direkt aufgeben.
- ▶ Den Absolutwert des mit negativem Vorzeichen angezeigten Auftriebs G notieren.

Berechnen der Dichte

Vorgehen

- ▶ Die Temperatur ablesen.
- ▶ Den Dichtewert ρ (fl) der Tabelle im Anhang unter Berücksichtigung der abgelesenen Temperatur entnehmen.
- ▶ Die Dichte nach folgender Formel berechnen:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(\text{fl}) - 0.0012 \text{ g/cm}^3]}{0.99983 G} + 0.0012 \text{ g/cm}^3$$

$W(a)$ und G in g; $\rho(\text{fl})$ in g/cm^3 $G = W(a) - W(\text{fl})$

5.3.2 Dichtebestimmung von Festkörpern mit einer Dichte kleiner als 1 g/cm^3

Bei Festkörpern mit einer Dichte kleiner als 1 g/cm^3 ist eine Dichtebestimmung mit zwei unterschiedlichen Methoden möglich.

Methode 1

Als Auftriebsflüssigkeit wird weiterhin dest. Wasser verwendet. Es wird die Bügelschale mit der umgedrehten Siebschale (Tauchsieb) verwendet.

Die Probe wird zur Bestimmung des Auftriebs zunächst auf die Wasseroberfläche gebracht und anschließend mit dem zuvor herausgenommenen Tauchsieb untergetaucht.

Mit einer Pinzette o.ä. ist es aber auch möglich, die Probe direkt unter die Siebschale zu geben (ohne das Tauchsieb aus dem Gestell herauszunehmen).

Ist der Auftrieb der zu messenden Substanz größer als das Gewicht des Tauchsiebes, muss das Tauchsieb durch ein zusätzliches Gewicht auf der Gestellwaagschale beschwert werden.

Methode 2

Als Auftriebsmedium wird eine Flüssigkeit mit geringerer Dichte als die des zu bestimmenden Festkörpers verwendet. Gute Erfahrungen wurden mit Ethanol (bis zu einer Dichte von ca. $0,8 \text{ g/cm}^3$) gemacht.

Bei Verwendung von Ethanol macht sich der negative Einfluss der Oberflächenspannung der Flüssigkeit auf die Messergebnisse weniger bemerkbar als bei dest. Wasser. Eine Zugabe von Tensiden ist daher nicht erforderlich.

Bei der Arbeit mit Ethanol müssen unbedingt die geltenden Sicherheitsbestimmungen beachtet werden.

Die zweite Methode sollte angewendet werden, wenn die Dichte des Festkörpers sich nur geringfügig von der des dest. Wassers unterscheidet. Da die Probe im Wasser schwebt, kann es bei Anwendung der ersten Methode zu Messfehlern kommen. Die Anwendung der zweiten Methode ist auch dann sinnvoll, wenn die Dichte eines Granulats bestimmt werden soll. Bei der ersten Methode ist es in diesem Fall schwierig das Granulat vollständig unter die Siebschale zu bringen.

Von der Verwendung von Ethanol sollte abgesehen werden, wenn die Probe angegriffen (gelöst) werden könnte.

Vorbereitung

In der folgenden Beschreibung wird dest. Wasser verwendet.

Vorgehen

- ▶ Das Becherglas mit dem großen Durchmesser ($\varnothing 90 \text{ mm}$) mittig auf der Brücke ausrichten
- ▶ Das Becherglas bis ca. 5 mm unter den Rand mit dest. Wasser füllen.
- ▶ 3 Tropfen Tensid in das dest. Wasser geben.
- ▶ Das Thermometer mit der Klemme am Rand des Becherglases befestigen.
- ▶ Das Tauchsieb mit Lösungsmittel reinigen (insbesondere die eintauchenden Drähte) und in das Gestell einhängen.

Messablauf

Das Probengewicht in der Luft muss bestimmt werden.

Vorgehen

- ▶ Die Waage tarieren.
- ▶ Die Probe auf die Gestellwaagschale auflegen und wägen.
- ▶ Den Gewichtswert $W(a)$ notieren.

Bestimmung des Auftriebs $G = W(a) - W(fl)$

Vorgehen

- ▶ Die Waage mit der Probe auf der Gestellwaagschale tarieren.
- ▶ Die Probe in den Tauchkorb legen. Dazu die Bügelschale aus der Messvorrichtung entfernen und darauf achten, dass beim Wiedereintauchen in die Flüssigkeit **keine** zusätzlichen Luftbläschen anhaften, dazu die Probe möglichst mit Pinzette o. a. direkt aufgeben.
- ▶ Den Absolutwert des mit negativem Vorzeichen angezeigten Auftriebs G notieren.

Berechnen der Dichte

Vorgehen

- ▶ Die Temperatur ablesen.
- ▶ Den Dichtewert $\rho(fl)$ der Tabelle im Kapitel „5.4 Dichtewerte“, Seite 46 unter Berücksichtigung der abgelesenen Temperatur entnehmen.
- ▶ Die Dichte nach folgender Formel berechnen:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot \rho(fl)}{0.99983 G} + 0.0012 \text{ g/cm}^3$$

$W(a)$ und G in g; $\rho(fl)$ in g/cm^3 $G = W(a) - W(fl)$

5.3.3 Bestimmung der Dichte von Flüssigkeiten

Vorbereitung

Vorgehen

- ▶ Das Becherglas mit dem kleinen Durchmesser (\varnothing 55 mm) mittig auf der Brücke ausrichten.
- ▶ Das Thermometer mit der Klemme am Rand des Becherglases befestigen.

Messablauf

Vorgehen

- ▶ Die Kegelscheibe mit dem an einem Draht hängenden Glassenkörper in das Gestell einhängen.
- ▶ Die Waage tarieren.
- ▶ Das Becherglas mit der zu bestimmenden Flüssigkeit bis 10 mm über den Glassenkörper füllen.

Bestimmung des Auftriebs $G = W(a) - W(fl)$

Der von der Waage angezeigte negative Gewichtswert entspricht dem Auftrieb, den der Senkkörper in der Flüssigkeit erfährt.

Vorgehen

- ▶ Den mit negativem Vorzeichen angezeigten Auftrieb G notieren.
- ▶ Die Temperatur ablesen und notieren.

Berechnen der Dichte

Vorgehen

► Die Dichte nach folgender Formel berechnen:

$$\rho \text{ (fl)} = \frac{G}{V}$$

G in g; V in cm³

Der Glastauchkörper des Dichtebestimmungssets hat ein Volumen von 10 cm³.

Die aktuelle Dichte der Flüssigkeit (in g/cm³) erhält man sehr einfach durch Versetzen des Kommas in der Waagenanzeige um eine Dezimalstelle nach links.

5.4 Dichtewerte

Dichtewerte von H₂O (gasfreies Wasser) bei Temperatur T (in °C) in g/cm³

T/°C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
10	0.99970	0.99969	0.99968	0.99967	0.99966	0.99965	0.99964	0.99963	0.99962	0.99961
11	0.99960	0.99959	0.99958	0.99957	0.99956	0.99955	0.99954	0.99953	0.99952	0.99951
12	0.99950	0.99949	0.99947	0.99946	0.99945	0.99944	0.99943	0.99941	0.99940	0.99939
13	0.99938	0.99936	0.99935	0.99934	0.99933	0.99931	0.99930	0.99929	0.99927	0.99926
14	0.99924	0.99923	0.99922	0.99920	0.99919	0.99917	0.99916	0.99914	0.99913	0.99911
15	0.99910	0.99908	0.99907	0.99905	0.99904	0.99902	0.99901	0.99899	0.99897	0.99896
16	0.99894	0.99893	0.99891	0.99889	0.99888	0.99886	0.99884	0.99883	0.99881	0.99879
17	0.99877	0.99876	0.99874	0.99872	0.99870	0.99869	0.99867	0.99865	0.99863	0.99861
18	0.99860	0.99858	0.99856	0.99854	0.99852	0.99850	0.99848	0.99846	0.99844	0.99842
19	0.99840	0.99838	0.99837	0.99835	0.99833	0.99831	0.99829	0.99826	0.99824	0.99822
20	0.99820	0.99818	0.99816	0.99814	0.99812	0.99810	0.99808	0.99806	0.99803	0.99801
21	0.99799	0.99797	0.99795	0.99793	0.99790	0.99788	0.99786	0.99784	0.99781	0.99779
22	0.99777	0.99775	0.99772	0.99770	0.99768	0.99765	0.99763	0.99761	0.99758	0.99756
23	0.99754	0.99751	0.99749	0.99747	0.99744	0.99742	0.99739	0.99737	0.99734	0.99732
24	0.99729	0.99727	0.99725	0.99722	0.99720	0.99717	0.99714	0.99712	0.99709	0.99707
25	0.99704	0.99702	0.99699	0.99697	0.99694	0.99691	0.99689	0.99686	0.99683	0.99681
26	0.99678	0.99676	0.99673	0.99670	0.99667	0.99665	0.99662	0.99659	0.99657	0.99654
27	0.99651	0.99648	0.99646	0.99643	0.99640	0.99637	0.99634	0.99632	0.99629	0.99626
28	0.99623	0.99620	0.99617	0.99615	0.99612	0.99609	0.99606	0.99603	0.99600	0.99597
29	0.99594	0.99591	0.99588	0.99585	0.99582	0.99579	0.99576	0.99574	0.99571	0.99568
30	0.99564	0.99561	0.99558	0.99555	0.99552	0.99549	0.99546	0.99543	0.99540	0.99537

Literaturhinweis (Referenz):

- NIST ITS-90 Density of Water Formulation for Volumetric Standards Calibration, Volume 97, Number 3, Chapter 3.3
Density of Air-Free Water ρ (kg m⁻³) = 999.85308 + 6.32693 × 10⁻² t - 8.523829 × 10⁻³ t² + 6.943248 × 10⁻⁵ t³ - 3.821216 × 10⁻⁷ t⁴
- DAKS-DKD-LF-8-2 Kalibrierflüssigkeit Wasser – DakS, Anlage 1, Tabelle A

6 Formeln

Zum besseren Verständnis soll hier die Herleitung der verwendeten Formeln und des Korrekturfaktors erfolgen.

Grundlagen

$$\text{Dichte} = \frac{\text{Masse (g)}}{\text{Volumen (cm}^3\text{)}}$$

Das Archimedische Gesetz:

Ein in eine Flüssigkeit getauchter Körper erfährt eine Auftriebskraft (G). Diese Kraft ist dem Betrag nach gleich der Gewichtskraft der durch das Volumen des Körpers verdrängten Flüssigkeit. Das Volumen eines getauchten Körpers V (s) ist gleich dem Volumen der verdrängten Flüssigkeit V (fl).

Es werden bestimmt:

1. Das Gewicht in der Luft W (a)
2. Auftrieb des Körpers in der Flüssigkeit (G)

Die Dichte eines Körpers ist:

$$\rho = \frac{\text{Masse Körper}}{\text{Volumen Körper}} = \frac{W (a)}{V (s)} = \frac{W (a)}{V (fl)}$$

Ist die Dichte ρ (fl) der verdrängten Flüssigkeit bekannt, so ergibt sich mit

$$V (fl) = \frac{\text{Masse (fl)}}{\rho} = \frac{G}{\rho (fl)}$$

Damit folgt:

$$\rho = \frac{W (a) \cdot \rho (fl)}{G}$$

Berechnung

Die Dichte eines Festkörpers errechnet sich aus dem Verhältnis von

$$\rho : W(a) = \rho(\text{fl}) : [W(a) - W(\text{fl})]$$

Daraus ergibt sich:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot \rho(\text{fl})}{W(a) - W(\text{fl})}$$

$W(a) - W(\text{fl}) = G =$ Auftrieb der Probe

Die Dichte einer Flüssigkeit wird ermittelt aus dem Auftrieb des Tauchkörpers mit definiertem Volumen.

$$\rho(\text{fl}) = \frac{G}{V}$$

Dabei ist:

ρ	Dichte des Festkörpers
$\rho(\text{fl})$	Dichte der Flüssigkeit
$W(a)$	Gewicht des Festkörpers in Luft
$W(\text{fl})$	Gewicht des Festkörpers in der Flüssigkeit
G	Auftrieb des Tauchkörpers
V	Volumen des Tauchkörpers

Korrekturen

Zur Korrektur der Dichtebestimmung bei Festkörpern werden berücksichtigt:

- Der Luftauftrieb, den die Probe bei der Wägung in Luft erfährt.
Dabei ist $\rho(a) = 0,0012 \text{ g/cm}^3 =$ Dichte der Luft unter Normalbedingungen (Temperatur 20°C, Druck 101,325 kPa); Daraus folgt:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(\text{fl}) - \rho(a)]}{W(a) - W(\text{fl})} + \rho(a)$$

- Das Eintauchen der Drähte von Tauchkorb bzw. Tauchsieb
Bei Verwendung des vorliegenden Dichtebestimmungssets muss der Auftrieb $G = [W(a) - W(fl)]$ mit dem Faktor 0,99983 (Korr) multipliziert werden. Erweiterte Formel:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(fl) - \rho(a)]}{[W(a) - W(fl)] \cdot \text{Korr}} + \rho(a)$$

Dieser Faktor ergibt sich durch Berücksichtigung des Auftriebs der tiefer eintauchenden Drähte beim Einbringen der Probe.

Herleitung des Korrekturfaktors:

Der Auftrieb durch die eintauchenden Drähte ist abhängig von der Höhe »h«, um die die Flüssigkeit beim Eintauchen der Probe steigt.

Dabei entspricht das Probenvolumen $V(pr)$ dem Flüssigkeitsvolumen $V(fl)$. Das Probenvolumen wird durch Messen des Auftriebs ermittelt. Es ist also:

$$V(pr) = V(fl)$$

oder

$$\frac{W(a) - W(fl)}{\rho(fl)} = \frac{\pi \cdot h \cdot D^2}{4}$$

$$\text{Dann ist } h = \frac{4 \cdot [W(a) - W(fl)]}{\rho(fl) \cdot \pi \cdot D^2}$$

Der durch die eintauchenden Drähte verursachte Auftrieb »A« ist:

$$A = 2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h \cdot \rho(fl)$$

Bei Einsetzen von »h« ergibt sich:

$$\rho = \frac{2 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot 4 \cdot [W(a) - W(fl)] \cdot \rho(fl)}{4 \cdot \rho(fl) \cdot \pi \cdot D^2}$$

$$A = 2 \cdot \frac{d^2}{D^2} \cdot [W(a) - W(fl)]$$

Zur Berücksichtigung des Drahtauftriebes ist der ermittelte Auftrieb der Probe:

$G = W(a) - W(fl)$ um den durch die Drähte verursachten Auftrieb »A« zu verringern. Der in die Berechnung zu übernehmende Auftriebswert „A (korr)“ ist dann: $G - „A“$.

$$A(\text{korr}) = [W(a) - W(fl)] - 2 \cdot \frac{d^2}{D^2} \cdot [W(a) - W(fl)]$$

$$A(\text{korr}) = \left[1 - 2 \cdot \frac{d^2}{D^2} \right] \cdot [W(a) - W(fl)]$$

Im Dichtebestimmungsset wird für die Dichtebestimmung von Festkörpern das Becherglas mit dem großen Durchmesser (\varnothing 90 mm) und eine Tauchvorrichtung mit 2 Drähten mit dem Durchmesser 0,7 mm benutzt.

Bei Einsetzen der Werte für $d = 0,7$ mm und $D = 90$ mm ergibt sich der Korrekturfaktor aus:

$$1 - 2 \cdot \frac{0,7^2}{90^2} = \mathbf{0.99983}$$

Bei Verwendung von Einrichtungen mit anderen Abmessungen ist der Korrekturfaktor entsprechend neu zu errechnen.

Table des matières

1 À propos de ce mode d'emploi...	52	5 Fonctionnement	61
1.1 Validité.....	52	5.1 Méthodes de détermination de la masse volumique.....	61
1.2 Autres documents associés ...	52	5.2 Sources d'erreur et possibilités de correction.....	62
1.3 Typographie.....	52	5.3 Détermination de la masse volumique.....	65
1.3.1 Avertissements dans la description des opérations.....	52	5.3.1 Détermination de la masse volumique de solides.....	65
1.3.2 Autres signes typographiques.....	52	5.3.2 Détermination de la masse volumique de solides ayant une masse volumique inférieure à 1 g/cm ³ ..	66
2 Sécurité.....	53	5.3.3 Détermination de la masse volumique de liquides.....	69
2.1 Utilisation conforme.....	53	5.4 Valeurs de la masse volumique.....	70
2.2 Composants en verre.....	53	6 Formules.....	71
3 Description de l'appareil.....	54		
3.1 YDK03MS.....	54		
3.2 YDK04MS.....	55		
4 Installation.....	56		
4.1 Contenu de la livraison.....	56		
4.2 Déballage.....	56		
4.3 Installer le produit.....	56		
4.3.1 Installer YDK03MS dans la balance.....	56		
4.3.2 Installer YDK04MS dans la balance.....	58		
4.3.3 Choisir le bécher et le dispositif d'immersion.....	59		
4.3.4 Installer le plongeur en verre.....	60		
4.3.5 Installer le thermomètre.....	60		

1 À propos de ce mode d'emploi

1.1 Validité

Ce manuel fait partie intégrante du produit fourni. Ce manuel est valable pour les versions suivantes du produit :

Produit	Type
Dispositif de détermination de la masse volumique pour les balances de laboratoire Cubis® avec une précision de lecture de 0,1 mg et 0,01 mg	YDK03MS
Dispositif de détermination de la masse volumique pour les balances de laboratoire Cubis® avec une précision de lecture de 1 mg	YDK04MS

1.2 Autres documents associés

- ▶ Veuillez consulter les documents suivants en plus de ce mode d'emploi :
 - Manuel de la balance de laboratoire utilisée

1.3 Typographie

1.3.1 Avertissements dans la description des opérations

AVIS

Signale un danger qui est susceptible de provoquer des dommages matériels s'il n'est **pas** évité.

1.3.2 Autres signes typographiques

- ▶ Instruction : décrit des actions qui doivent être effectuées.
- ▷ Résultat : décrit le résultat des actions qui viennent d'être effectuées.

2 Sécurité

2.1 Utilisation conforme

Le produit permet de déterminer la masse volumique de solides ou de liquides. Pour déterminer la masse volumique de solides, il est nécessaire d'utiliser un liquide de test.

Le produit doit être utilisé avec des balances de laboratoire Sartorius ayant une précision de lecture adaptée.

Si la balance de laboratoire est dotée d'un programme de détermination de la masse volumique : le dispositif et le programme de détermination de la masse volumique permettent de calculer automatiquement des valeurs de masse volumique.

Si des programmes de détermination de la masse volumique sont utilisés pour déterminer la masse volumique : la masse volumique doit être déterminée de la manière décrite dans le mode d'emploi de la balance de laboratoire.

Le produit est exclusivement destiné à être utilisé en conformité avec ce manuel. Toute autre utilisation est considérée comme **non** conforme.

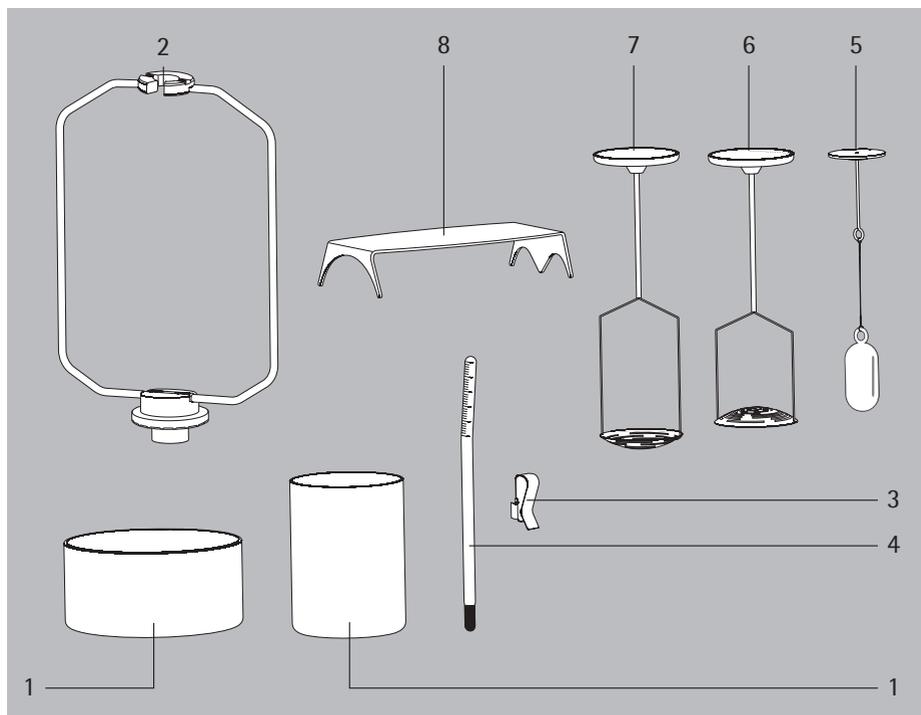
2.2 Composants en verre

Le plongeur en verre, les béchers et le thermomètre sont en verre. Le verre risque de provoquer des blessures s'il est endommagé.

- ▶ Si le plongeur en verre, les béchers ou le thermomètre sont endommagés : remplacez-les.

3 Description de l'appareil

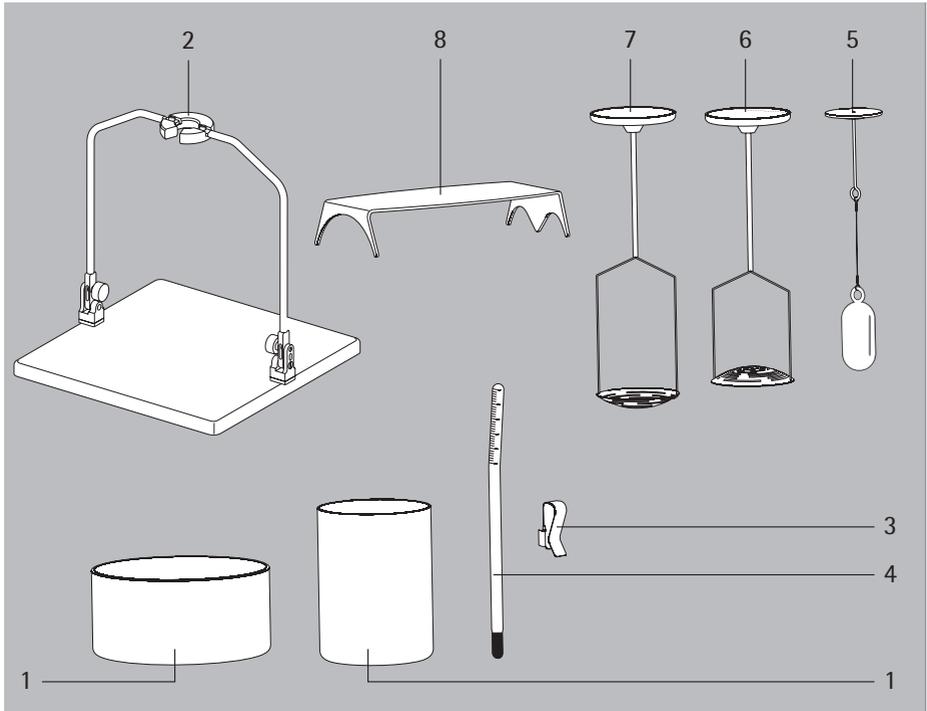
3.1 YDK03MS



III. 1 : Composants de YDK03MS

Pos.	Désignation	Pos.	Désignation
1	Bécher (Ø 90 mm et Ø 55 mm)	5	Plongeur en verre
2	Structure de suspension	6	Tamis d'immersion
3	Clip de fixation pour thermomètre, monté sur le thermomètre à la livraison	7	Corbeille d'immersion
4	Thermomètre	8	Pont

3.2 YDK04MS



III.2 : Composants de YDK04MS

Pos.	Désignation	Pos.	Désignation
1	Bécher (\varnothing 90 mm et \varnothing 55 mm)	5	Plongeur en verre
2	Structure de suspension	6	Tamis d'immersion
3	Clip de fixation pour thermomètre, monté sur le thermomètre à la livraison	7	Corbeille d'immersion
4	Thermomètre	8	Pont

4 Installation

4.1 Contenu de la livraison

Article	Quantité
Bécher (Ø 90 mm et Ø 55 mm)	2
Structure de suspension	1
Clip de fixation pour thermomètre	1
Thermomètre	1
Plongeur en verre	1
Tamis d'immersion	1
Corbeille d'immersion	1
Pont	1

4.2 Déballage

Procédure

AVIS

Les composants risquent d'être endommagés lors du déballage !

- Le produit comprend des composants très fins. Déballer tous les éléments avec précaution.

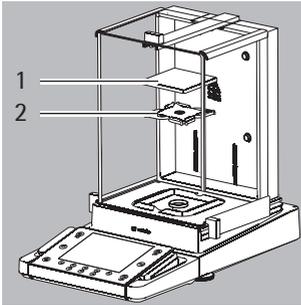
4.3 Installer le produit

4.3.1 Installer YDK03MS dans la balance

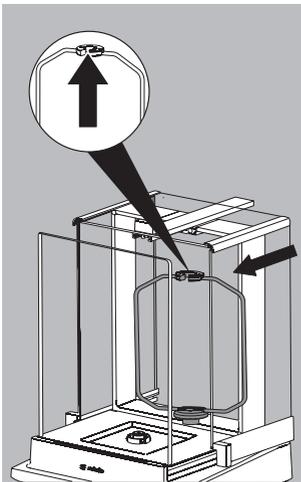
Conditions requises

Vous disposez d'une balance de laboratoire de type Cubis® avec une précision de lecture de 0,1 mg ou de 0,01 mg.

Procédure



- ▶ Retirez les éléments suivants de la balance :
 - Plateau de pesée (1)
 - Support de plateau (2)



- ▶ Introduisez la structure de suspension dans la chambre de pesée. L'ouverture cunéiforme qui se trouve dans le haut de la structure de suspension doit être tournée vers le côté par lequel la corbeille d'immersion (tamis d'immersion/plongeur en verre) sera introduit dans la structure.



- ▶ Passez le pont destiné à recevoir le bécquet dans la structure de suspension et posez-le de façon à ce qu'il repose sur la balance.

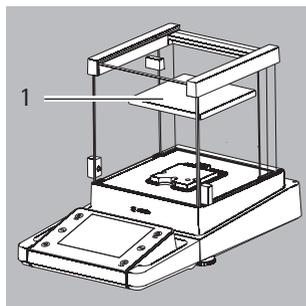
4.3.2 Installer YDK04MS dans la balance

Conditions requises

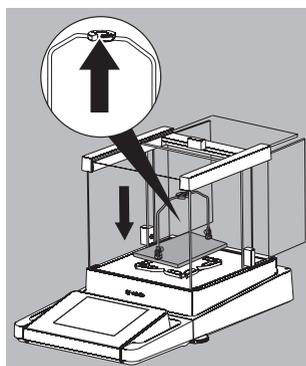
Vous disposez d'une balance de laboratoire de type Cubis® avec une précision de lecture de 1 mg.

Procédure

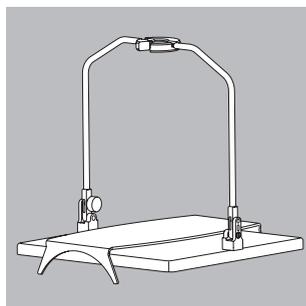
- Retirez le plateau de pesée (1) de la balance.



- Introduisez la structure de suspension dans la chambre de pesée. L'ouverture cunéiforme qui se trouve dans le haut de la structure de suspension doit être tournée vers le côté par lequel la corbeille d'immersion (tamis d'immersion/plongeur en verre) sera introduit dans la structure.



- Passez le pont destiné à recevoir le bécher dans la structure de suspension et posez-le de façon à ce qu'il repose sur la balance.

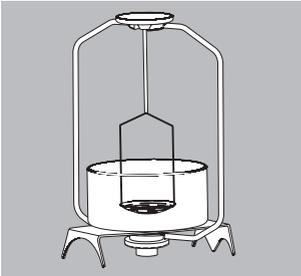


4.3.3 Choisir le bécher et le dispositif d'immersion

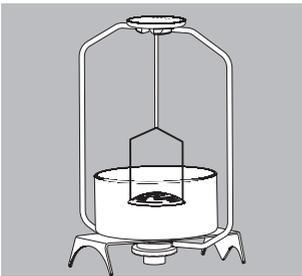
Procédure

- Choisissez le bécher ou le dispositif d'immersion. Le choix du bécher et du dispositif d'immersion d p nd de l'échantillon dont il faut déterminer la masse volumique.

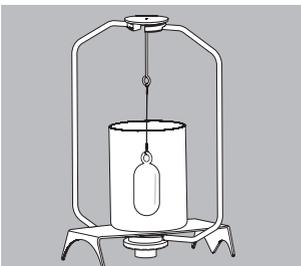
Vue d'ensemble du bécher et du dispositif d'immersion :



- Pour déterminer la masse volumique de solides quand elle est supérieure à celle du liquide d'immersion : il faut utiliser le bécher de \varnothing 90 mm et la corbeille d'immersion.



- Pour déterminer la masse volumique de solides quand elle est inférieure à celle du liquide d'immersion : il faut utiliser le bécher de \varnothing 90 mm et le tamis d'immersion.



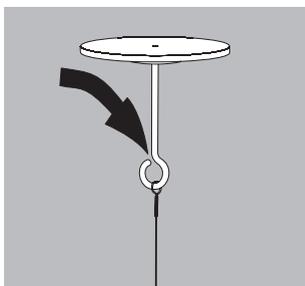
- Pour déterminer la masse volumique de liquides : il faut utiliser le bécher de \varnothing 55 mm et le plongeur en verre.

4.3.4 Installer le plongeur en verre

Un fil métallique doté d'un œillet est fixé au plongeur en verre. L'œillet doit être accroché au support du plongeur en verre.

Procédure

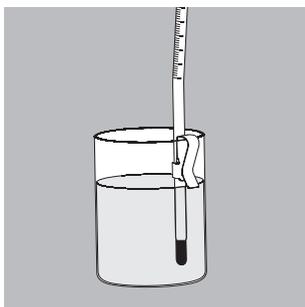
- ▶ **AVIS** Ne pas plier le fil métallique car il risquerait de se casser ! Retirez le plongeur de l'emballage en le tenant par l'œillet en verre. Ne pliez **pas** le fil métallique du plongeur en verre.
- ▶ Accrochez l'œillet en fil métallique du plongeur en verre au crochet du support.
- ▶ Fixez le support du plongeur en verre à la structure de suspension.



4.3.5 Installer le thermomètre

Procédure

- ▶ Mettez le thermomètre dans le bécher.
- ▶ S'il est nécessaire de fixer le thermomètre : accrochez le thermomètre au bord du bécher à l'aide du clip de fixation.



5 Fonctionnement

5.1 Méthodes de détermination de la masse volumique

Ce dispositif de mesure permet de déterminer la masse volumique d'un solide selon le principe d'Archimède :

- Tout corps plongé dans un fluide subit une force verticale dirigée de bas en haut. Cette force est égale au poids du volume de fluide déplacé par le corps immergé.
- Avec une balance hydrostatique qui permet de peser un corps solide aussi bien dans l'air que dans l'eau, il est possible de déterminer la masse volumique du solide si on connaît celle du liquide provoquant la poussée hydrostatique :

$$\rho = \frac{W(a) \cdot \rho(fl)}{W(a) - W(fl)}$$

ou

La masse volumique d'un liquide peut être déterminée si le volume du solide immergé est connu.

$$\rho(fl) = \frac{G}{V}$$

Avec :

ρ	masse volumique du solide
$\rho(fl)$	masse volumique du liquide
$W(a)$	poids du solide dans l'air
$W(fl)$	poids du solide dans le liquide
G	poussée hydrostatique du solide immergé
V	volume du solide immergé

5.2 Sources d'erreur et possibilités de correction

AVIS

Procédure incorrecte lors de l'ajustage de la balance !

- ▶ Enlevez le support à échantillon du dispositif de détermination de la masse volumique avant l'ajustage.
-

La formule utilisée pour déterminer la masse volumique de solides est suffisante pour obtenir une précision d'une à deux décimales. Selon la précision requise, il faut tenir compte des facteurs d'erreur ou de correction suivants :

- Influence de la température sur la masse volumique du liquide provoquant la poussée hydrostatique
- Poussée aérostatique lors de la pesée dans l'air
- Changement de la profondeur d'immersion de la coupelle à échantillon lors de l'immersion de l'échantillon
- Adhésion du liquide au fil de suspension métallique de la coupelle à échantillon
- Bulles d'air sur l'échantillon

Certaines de ces erreurs peuvent être corrigées par calcul. Pour cela, il est nécessaire de mesurer la température du liquide, de corriger la masse volumique du liquide en conséquence et de définir le diamètre intérieur du récipient contenant le liquide.

Influence de la température sur la masse volumique du liquide

La masse volumique du liquide provoquant la poussée hydrostatique dépend de la température. La variation de la masse volumique par °C de température est de l'ordre de :

- 0,02 % pour l'eau distillée
- 0,1 % pour les alcools et les hydrocarbures

Le changement peut donc se manifester au niveau de la 3^e décimale lors de la détermination de la masse volumique.

Pour corriger la masse volumique du liquide en fonction de la température, procédez comme suit :

- Mesurez la température du liquide avec le thermomètre livré.
- Consultez le tableau au chapitre « 5.4 Valeurs de la masse volumique », page 70 pour connaître la masse volumique de l'eau et utilisez cette masse volumique pour ρ (fl).

Poussée aérostatique

Selon la température, l'humidité de l'air et la pression atmosphérique, un cm³ d'air pèse environ 1,2 mg. Quand un échantillon solide est pesé dans l'air, il est soumis à une poussée aérostatique correspondante par cm³ de son volume. L'erreur qui se produit si on ne tient pas compte de la poussée aérostatique se manifeste donc au niveau de la 3^e décimale et doit être corrigée.

La formule suivante tient compte de la poussée aérostatique :

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(fl) - \rho(a)]}{W(a) - W(fl)} + \rho(a)$$

Avec $\rho(a) = 0,0012 \text{ g/cm}^3$ = masse volumique de l'air dans des conditions normales (température 20 °C, pression 101,325 kPa).

Profondeur d'immersion

La coupelle qui sert à supporter et à immerger l'échantillon pendant la pesée dans le liquide est maintenue par deux fils métalliques et elle est immergée à environ 30 mm sous la surface du liquide. Étant donné que la balance est tarée avant chaque mesure, la poussée hydrostatique provoquée par la partie immergée du dispositif n'influence pas la détermination de la masse volumique.

Lors de la pesée dans le liquide, l'échantillon solide déplace un volume de liquide correspondant à son propre volume. De ce fait, les fils de fixation de la coupelle sont immergés plus profondément, ce qui entraîne une poussée hydrostatique supplémentaire qui provoque une erreur lors de la détermination de la masse volumique.

La formule suivante permet de corriger cette erreur :

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(fl) - \rho(a)]}{0,99983 [W(a) - W(fl)]} + \rho(a)$$

Étant donné que le facteur de correction est exclusivement déterminé par la géométrie du dispositif, il faut obligatoirement utiliser le bécher ayant le plus grand diamètre (90 mm) pour déterminer la masse volumique d'un solide. Le chapitre « 1 À propos de ce mode d'emploi », page 52 explique comment ce facteur de correction a été obtenu.

Adhérence du liquide sur le fil métallique

Quand on immerge la corbeille (ou le tamis) dans le liquide provoquant la poussée hydrostatique, le liquide adhère au fil métallique du fait des forces de capillarité et génère ainsi un poids supplémentaire de l'ordre de quelques milligrammes.

Étant donné que pendant la pesée dans l'air et pendant celle dans le liquide, la corbeille d'immersion (ou le tamis d'immersion) se trouve dans le liquide provoquant la poussée et que la balance est tarée au début de chaque mesure, l'influence du ménisque du liquide est négligeable.

Pour réduire la tension superficielle et la friction du liquide sur le fil métallique, on ajoute trois gouttes de tensioactif (Mirasol Antistatic ou liquide vaisselle classique) dans l'eau distillée qui se trouve dans le bécher.

Comme le liquide provoquant la poussée monte le long du fil, il peut arriver que la valeur de poids évolue légèrement après l'apparition du symbole « g ». Il est donc conseillé de lire la valeur de poids juste après l'apparition du « g ».

Bulles d'air

L'erreur de mesure causée par des bulles d'air collées à l'échantillon peut être évaluée de la façon suivante. Lors de la pesée dans l'eau, une bulle d'air d'un diamètre de 0,5 mm provoque une poussée hydrostatique supplémentaire inférieure à 0,1 mg. Si la bulle d'air fait 1 mm de diamètre, la poussée hydrostatique supplémentaire sera d'environ 0,5 mg et si elle fait 2 mm de diamètre, la poussée sera d'environ 4,2 mg. Il est donc indispensable d'éliminer des bulles d'air de plus grande taille à l'aide d'un pinceau fin ou d'un outil similaire.

Il est aussi possible de mouiller l'échantillon dans un autre récipient avant la pesée dans le liquide.

5.3 Détermination de la masse volumique

5.3.1 Détermination de la masse volumique de solides

Opérations préliminaires

Le liquide utilisé dans la description ci-dessous est de l'eau distillée.

Procédure

- ▶ Posez le bécher de grand diamètre (\varnothing 90 mm) au centre du pont.
- ▶ Remplissez le bécher avec de l'eau distillée jusqu'à environ 5 mm du bord.
- ▶ Ajoutez 3 gouttes de tensioactif dans l'eau distillée.
- ▶ Fixez le thermomètre sur le bord du bécher avec le clip de fixation.
- ▶ Nettoyez la corbeille d'immersion avec un solvant (notamment les fils métalliques qui seront immergés) et suspendez-la à la structure de suspension.

Procédure de mesure

Il s'agit de déterminer le poids de l'échantillon dans l'air.

Procédure

- ▶ Tarez la balance.
- ▶ Placez l'échantillon sur le plateau de la structure de suspension et pesez-le.
- ▶ Notez la valeur de poids W (a).

Détermination de la poussée hydrostatique $G = W$ (a) – W (fl)

Procédure

- ▶ Tarez la balance avec l'échantillon posé sur le plateau de la structure de suspension.
- ▶ Mettez l'échantillon dans la corbeille d'immersion. À cet effet, enlevez la coupelle à échantillon du dispositif de mesure et veillez à ce qu'**aucune** nouvelle bulle d'air n'y adhère lorsque vous la replongez dans le liquide. Pour cela, posez l'échantillon directement en utilisant des pincettes ou un accessoire similaire.
- ▶ Notez la valeur absolue de la poussée hydrostatique G affichée avec un signe – (négatif).

Calcul de la masse volumique

Procédure

- ▶ Lisez la température.
- ▶ Utilisez le tableau qui se trouve en annexe pour déterminer la valeur de la masse volumique ρ (fl) en tenant compte de la température qui vient d'être mesurée.
- ▶ Calculez la masse volumique en appliquant la formule suivante :

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(\text{fl}) - 0,0012 \text{ g/cm}^3]}{0,99983 G} + 0,0012 \text{ g/cm}^3$$

$W(a)$ et G en g ; $\rho(\text{fl})$ en g/cm^3 $G = W(a) - W(\text{fl})$

5.3.2 Détermination de la masse volumique de solides ayant une masse volumique inférieure à 1 g/cm^3

Il existe deux méthodes différentes pour déterminer la masse volumique de solides ayant une masse volumique inférieure à 1 g/cm^3 .

Méthode 1

Dans cette méthode, le liquide utilisé pour créer la poussée hydrostatique est également de l'eau distillée, mais on utilise la coupelle à échantillon dotée d'un tamis retourné (tamis d'immersion).

Pour déterminer la poussée hydrostatique de l'échantillon, il faut le faire flotter à la surface de l'eau, puis l'immerger à l'aide du tamis qui a été enlevé au préalable.

Il est aussi possible d'utiliser des pincettes ou un outil similaire pour glisser directement l'échantillon sous le tamis (sans retirer le tamis de la structure de suspension).

Si la poussée hydrostatique de la substance à mesurer est supérieure au poids du tamis d'immersion, il suffit d'alourdir le tamis en ajoutant un poids supplémentaire sur le plateau de la structure de suspension.

Méthode 2

Dans cette méthode, le liquide utilisé pour créer la poussée hydrostatique a une masse volumique inférieure à celle du solide dont il faut déterminer la masse volumique. On obtient de bons résultats avec de l'éthanol (jusqu'à une masse volumique d'environ $0,8 \text{ g/cm}^3$).

Les effets négatifs de la tension superficielle du liquide sur les résultats de mesure sont moins significatifs lorsqu'on utilise de l'éthanol à la place d'eau distillée. Il n'est donc pas nécessaire d'ajouter de tensioactif.

Si vous utilisez de l'éthanol, vous devez suivre scrupuleusement les consignes de sécurité en vigueur.

Cette seconde méthode devrait être utilisée si la masse volumique du solide ne diffère que très légèrement de celle de l'eau distillée. En effet, comme l'échantillon est suspendu dans l'eau, des erreurs de mesure peuvent se produire si on utilise la première méthode. Il est également recommandé d'utiliser la deuxième méthode pour déterminer la masse volumique de substances granuleuses, car avec la première méthode, il est difficile de mettre tous les granulés sous le tamis.

Il ne faut pas utiliser d'éthanol si ce dernier risque d'attaquer (dissoudre) l'échantillon.

Opérations préliminaires

Le liquide utilisé dans la description ci-dessous est de l'eau distillée.

Procédure

- ▶ Posez le bécher de grand diamètre (\varnothing 90 mm) au centre du pont.
- ▶ Remplissez le bécher avec de l'eau distillée jusqu'à environ 5 mm du bord.
- ▶ Ajoutez 3 gouttes de tensioactif dans l'eau distillée.
- ▶ Fixez le thermomètre sur le bord du bécher avec le clip de fixation.
- ▶ Nettoyez le tamis d'immersion avec un solvant (notamment les fils métalliques qui seront immergés) et suspendez-le à la structure de suspension.

Procédure de mesure

Il s'agit de déterminer le poids de l'échantillon dans l'air.

Procédure

- ▶ Tarez la balance.
- ▶ Placez l'échantillon sur le plateau de la structure de suspension et pesez-le.
- ▶ Notez la valeur de poids $W(a)$.

Détermination de la poussée hydrostatique $G = W(a) - W(fl)$

Procédure

- ▶ Tarez la balance avec l'échantillon posé sur le plateau de la structure de suspension.
- ▶ Mettez l'échantillon dans la corbeille d'immersion. À cet effet, enlevez la coupelle à échantillon du dispositif de mesure et veillez à ce qu'**aucune** nouvelle bulle d'air n'y adhère lorsque vous la replongez dans le liquide. Si possible, posez l'échantillon directement en utilisant des pincettes ou un accessoire similaire.
- ▶ Notez la valeur absolue de la poussée hydrostatique G affichée avec un signe – (négatif).

Calcul de la masse volumique

Procédure

- ▶ Lisez la température.
- ▶ Utilisez le tableau qui se trouve dans le chapitre « 5.4 Valeurs de la masse volumique », page 70 pour déterminer la valeur de la masse volumique $\rho(fl)$ en tenant compte de la température qui vient d'être mesurée.
- ▶ Calculez la masse volumique en appliquant la formule suivante :

$$\rho = \frac{W(a) \cdot \rho(fl)}{0,99983 G} + 0,0012 \text{ g/cm}^3$$

$W(a)$ et G en g ; $\rho(fl)$ en g/cm^3 $G = W(a) - W(fl)$

5.3.3 Détermination de la masse volumique de liquides

Opérations préliminaires

Procédure

- ▶ Posez le bécher de petit diamètre (\varnothing 55 mm) au centre du pont.
- ▶ Fixez le thermomètre sur le bord du bécher avec le clip de fixation.

Procédure de mesure

Procédure

- ▶ Accrochez le disque conique avec le plongeur en verre accroché à un fil métallique à la structure de suspension.
- ▶ Tarez la balance.
- ▶ Remplissez le bécher avec le liquide dont il faut déterminer la masse volumique jusqu'à 10 mm au dessus du plongeur en verre.

Détermination de la poussée hydrostatique $G = W(a) - W(fl)$

La valeur de poids négative affichée par la balance correspond à la poussée hydrostatique à laquelle est soumis le plongeur en verre dans le liquide.

Procédure

- ▶ Notez la poussée hydrostatique G affichée avec un signe – (négatif).
- ▶ Lisez la température et notez-la.

Calcul de la masse volumique

Procédure

► Calculez la masse volumique en appliquant la formule suivante :

$$\rho \text{ (fl)} = \frac{G}{V}$$

G en g ; V en cm³

Le plongeur en verre du dispositif de détermination de la masse volumique a un volume de 10 cm³.

Il est très facile d'obtenir la masse volumique du liquide (en g/cm³) : il suffit de déplacer (mentalement) la virgule d'une décimale vers la gauche sur l'écran de la balance.

5.4 Valeurs de la masse volumique

Valeurs de la masse volumique d'H₂O (eau sans gaz) à une température T (en °C) en g/cm³

T/°C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
10	0,99970	0,99969	0,99968	0,99967	0,99966	0,99965	0,99964	0,99963	0,99962	0,99961
11	0,99960	0,99959	0,99958	0,99957	0,99956	0,99955	0,99954	0,99953	0,99952	0,99951
12	0,99950	0,99949	0,99947	0,99946	0,99945	0,99944	0,99943	0,99941	0,99940	0,99939
13	0,99938	0,99936	0,99935	0,99934	0,99933	0,99931	0,99930	0,99929	0,99927	0,99926
14	0,99924	0,99923	0,99922	0,99920	0,99919	0,99917	0,99916	0,99914	0,99913	0,99911
15	0,99910	0,99908	0,99907	0,99905	0,99904	0,99902	0,99901	0,99899	0,99897	0,99896
16	0,99894	0,99893	0,99891	0,99889	0,99888	0,99886	0,99884	0,99883	0,99881	0,99879
17	0,99877	0,99876	0,99874	0,99872	0,99870	0,99869	0,99867	0,99865	0,99863	0,99861
18	0,99860	0,99858	0,99856	0,99854	0,99852	0,99850	0,99848	0,99846	0,99844	0,99842
19	0,99840	0,99838	0,99837	0,99835	0,99833	0,99831	0,99829	0,99826	0,99824	0,99822
20	0,99820	0,99818	0,99816	0,99814	0,99812	0,99810	0,99808	0,99806	0,99803	0,99801
21	0,99799	0,99797	0,99795	0,99793	0,99790	0,99788	0,99786	0,99784	0,99781	0,99779
22	0,99777	0,99775	0,99772	0,99770	0,99768	0,99765	0,99763	0,99761	0,99758	0,99756
23	0,99754	0,99751	0,99749	0,99747	0,99744	0,99742	0,99739	0,99737	0,99734	0,99732
24	0,99729	0,99727	0,99725	0,99722	0,99720	0,99717	0,99714	0,99712	0,99709	0,99707
25	0,99704	0,99702	0,99699	0,99697	0,99694	0,99691	0,99689	0,99686	0,99683	0,99681
26	0,99678	0,99676	0,99673	0,99670	0,99667	0,99665	0,99662	0,99659	0,99657	0,99654
27	0,99651	0,99648	0,99646	0,99643	0,99640	0,99637	0,99634	0,99632	0,99629	0,99626
28	0,99623	0,99620	0,99617	0,99615	0,99612	0,99609	0,99606	0,99603	0,99600	0,99597
29	0,99594	0,99591	0,99588	0,99585	0,99582	0,99579	0,99576	0,99574	0,99571	0,99568
30	0,99564	0,99561	0,99558	0,99555	0,99552	0,99549	0,99546	0,99543	0,99540	0,99537

Références bibliographiques :

- NIST ITS-90 Density of Water Formulation for Volumetric Standards Calibration, Volume 97, Number 3, Chapter 3.3
Density of Air-Free Water $\rho \text{ (kg m}^{-3}\text{)} = 999.85308 + 6.32693 \times 10^{-2} t - 8.523829 \times 10^{-3} t^2 + 6.943248 \times 10^{-5} t^3 - 3.821216 \times 10^{-7} t^4$
- DAkkS-DKD-LF-8-2 Kalibrierflüssigkeit Wasser – DakKS, annexe 1, tableau A

6 Formules

Pour une meilleure compréhension, vous trouverez ci-après une explication de la manière dont on a obtenu les formules utilisées ainsi que le facteur de correction.

Principes de base

$$\text{Masse volumique} = \frac{\text{Masse (g)}}{\text{Volume (cm}^3\text{)}}$$

Principe d'Archimède :

Tout corps plongé dans un fluide subit une force verticale (G). Cette force est égale au poids du volume de fluide déplacé par le corps. Le volume d'un corps immergé V (s) est égal au volume du liquide déplacé V (fl).

On détermine :

1. Le poids dans l'air W (a)
2. La poussée hydrostatique du corps solide dans le liquide (G)

La masse volumique d'un corps est :

$$\rho = \frac{\text{Masse du corps}}{\text{Volume du corps}} = \frac{W (a)}{V (s)} = \frac{W (a)}{V (fl)}$$

Si la masse volumique ρ (fl) du liquide déplacé est connue, alors

$$V (fl) = \frac{\text{Masse (fl)}}{\rho} = \frac{G}{\rho (fl)}$$

Par conséquent :

$$\rho = \frac{W (a) \cdot \rho (fl)}{G}$$

Calcul

La masse volumique d'un corps solide est calculée à partir de l'équation :

$$\rho : W (a) = \rho (fl) : [W (a) - W (fl)]$$

Il en résulte :

$$\rho = \frac{W (a) \cdot \rho (fl)}{W (a) - W (fl)}$$

$W (a) - W (fl) = G =$ poussée hydrostatique de l'échantillon

La masse volumique d'un liquide est calculée à partir de la poussée hydrostatique du corps immergé, qui a un volume défini.

$$\rho (fl) = \frac{G}{V}$$

avec :

ρ	masse volumique du solide
$\rho (fl)$	masse volumique du liquide
$W (a)$	poids du solide dans l'air
$W (fl)$	poids du solide dans le liquide
G	poussée hydrostatique du solide immergé
V	volume du solide immergé

Corrections

Pour corriger la masse volumique de solides, il faut tenir compte des facteurs suivants :

- La poussée aérostatique à laquelle l'échantillon est soumis lors de la pesée dans l'air. Avec $\rho (a) = 0,0012 \text{ g/cm}^3 =$ masse volumique de l'air dans des conditions normales (température 20 °C, pression 101,325 kPa) ; il en résulte :

$$\rho = \frac{W (a) \cdot [\rho (fl) - \rho (a)]}{W (a) - W (fl)} + \rho (a)$$

- L'immersion des fils métalliques de la corbeille ou du tamis d'immersion
Quand on utilise ce dispositif de détermination de la masse volumique, il faut multiplier la poussée hydrostatique $G = [W(a) - W(fl)]$ par le facteur 0,99983 (Corr). Formule avancée :

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(fl) - \rho(a)]}{[W(a) - W(fl)] \cdot Corr} + \rho(a)$$

Ce facteur prend en compte la poussée hydrostatique des fils métalliques qui sont davantage immergés quand on pose l'échantillon.

Détermination du facteur de correction :

La poussée hydrostatique causée par les fils métalliques immergés dépend de la hauteur « h » d'élévation du niveau de liquide quand on immerge l'échantillon.

Le volume de l'échantillon V (pr) correspond au volume du liquide V (fl).

Le volume de l'échantillon est déterminé en mesurant la poussée hydrostatique.

Par conséquent, on a :

$$V(pr) = V(fl)$$

ou

$$\frac{W(a) - W(fl)}{\rho(fl)} = \frac{\pi \cdot h \cdot D^2}{4}$$

$$\text{Soit } h = \frac{4 \cdot [W(a) - W(fl)]}{\rho(fl) \cdot \pi \cdot D^2}$$

La poussée hydrostatique « A » causée par les fils métalliques immergés est :

$$A = 2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h \cdot \rho(fl)$$

En utilisant « h », on obtient :

$$\rho = \frac{2 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot 4 \cdot [W(a) - W(fl)] \cdot \rho(fl)}{4 \cdot \rho(fl) \cdot \pi \cdot D^2}$$

$$A = 2 \cdot \frac{d^2}{D^2} \cdot [W(a) - W(fl)]$$

Pour tenir compte de la poussée hydrostatique des fils métalliques, il faut soustraire la poussée hydrostatique « A » produite par les fils de la poussée hydrostatique déterminée pour l'échantillon : $G = W(a) - W(fl)$. La valeur de la poussée hydrostatique « A (corr) » à utiliser est donc : $G - « A »$.

$$A(\text{corr}) = [W(a) - W(fl)] - 2 \cdot \frac{d^2}{D^2} \cdot [W(a) - W(fl)]$$

$$A(\text{corr}) = \left[1 - 2 \cdot \frac{d^2}{D^2} \right] \cdot [W(a) - W(fl)]$$

Pour déterminer la masse volumique de solides, on utilise le bécber de grand diamètre (d 90 mm) et un dispositif d'immersion avec deux fils métalliques de 0,7 mm de diamètre.

Quand on utilise les valeurs $d = 0,7$ mm et $D = 90$ mm, le facteur de correction est :

$$1 - 2 \cdot \frac{0,7^2}{90^2} = \mathbf{0,99983}$$

Si on utilise des dispositifs de dimensions différentes, il faut recalculer le facteur de correction en conséquence.

Indice

- | | | | |
|--|----|--|----|
| 1 Riguardo questo manuale | 76 | 5 Uso | 85 |
| 1.1 Validità..... | 76 | 5.1 Metodi per la determinazione
della densità | 85 |
| 1.2 Documenti di riferimento | 76 | 5.2 Fonti di errore e possibilità
di correzione | 86 |
| 1.3 Spiegazione dei simboli | 76 | 5.3 Determinazione della
densità..... | 89 |
| 1.3.1 Avvertenze nelle
descrizioni delle
azioni..... | 76 | 5.3.1 Determinazione
della densità di corpi
solidi..... | 89 |
| 1.3.2 Ulteriori simboli
utilizzati..... | 76 | 5.3.2 Determinazione
della densità di corpi
solidi con una densità
inferiore a 1 g/cm ³ .. | 90 |
| 2 Sicurezza | 77 | 5.3.3 Determinazione della
densità di liquidi..... | 93 |
| 2.1 Uso previsto..... | 77 | 5.4 Valori della densità | 94 |
| 2.2 Componenti in vetro | 77 | | |
| 3 Descrizione del dispositivo | 78 | | |
| 3.1 YDK03MS..... | 78 | 6 Formule | 95 |
| 3.2 YDK04MS..... | 79 | | |
| 4 Installazione | 80 | | |
| 4.1 Equipaggiamento fornito..... | 80 | | |
| 4.2 Disimballare..... | 80 | | |
| 4.3 Montare il prodotto | 80 | | |
| 4.3.1 Montare YDK03MS
nella bilancia..... | 80 | | |
| 4.3.2 Montare YDK04MS
nella bilancia..... | 82 | | |
| 4.3.3 Scegliere il becher
e il dispositivo di
immersione | 83 | | |
| 4.3.4 Montare il piombo
in vetro | 84 | | |
| 4.3.5 Montare il
termometro..... | 84 | | |

1 Riguardo questo manuale

1.1 Validità

Il presente manuale fa parte del prodotto. Il manuale vale per il prodotto nelle seguenti versioni:

Prodotto	Tipo
Dispositivo per la determinazione della densità per bilance da laboratorio Cubis® con una precisione di lettura di 0,1 mg e 0,01 mg	YDK03MS
Dispositivo per la determinazione della densità per bilance da laboratorio Cubis® con una precisione di lettura di 1 mg	YDK04MS

1.2 Documenti di riferimento

- ▶ Oltre al presente manuale tenere in considerazione anche i seguenti documenti:
 - Manuale della bilancia da laboratorio utilizzata

1.3 Spiegazione dei simboli

1.3.1 Avvertenze nelle descrizioni delle azioni

AVVISO

L'avviso segnala un pericolo che potrebbe causare danni materiali se **non** fosse evitato.

1.3.2 Ulteriori simboli utilizzati

- ▶ Istruzione operativa: descrive delle attività che devono essere eseguite.
- ▷ Risultato: descrive il risultato delle attività eseguite.

2 Sicurezza

2.1 Uso previsto

Il prodotto serve a determinare la densità di corpi solidi o di liquidi. Per la determinazione della densità di corpi solidi si deve usare un liquido di prova.

Il prodotto deve essere fatto funzionare con bilance da laboratorio Sartorius aventi una precisione di lettura idonea.

Se la bilancia da laboratorio è dotata di un programma per la determinazione della densità: i valori della densità possono essere calcolati automaticamente mediante il dispositivo e il programma per la determinazione della densità.

Se per la determinazione della densità si utilizzano dei programmi appositi: la densità deve essere determinata secondo la procedura descritta nel manuale d'uso della bilancia da laboratorio.

Il prodotto è destinato ad essere usato solo in conformità a quanto descritto nel presente manuale. Qualsiasi altro uso è da considerarsi **non** conforme alla destinazione.

2.2 Componenti in vetro

Il piombo, i becher e il termometro sono in vetro. Se il vetro è danneggiato, esso può essere causa di lesioni.

- ▶ Se il piombo in vetro, i becher o il termometro sono danneggiati: questi devono essere sostituiti.

3 Descrizione del dispositivo

3.1 YDK03MS

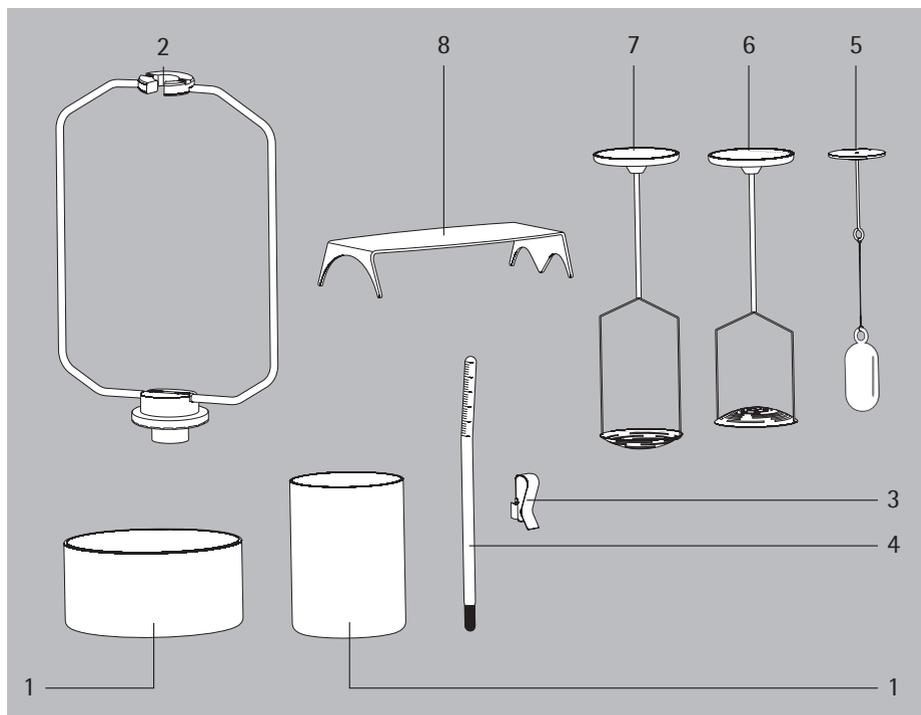


Fig. 1: Componenti di YDK03MS

Pos.	Denominazione	Pos.	Denominazione
1	Becher (Ø 90 mm e Ø 55 mm)	5	Piombo in vetro
2	Struttura di sospensione	6	Setaccio di immersione
3	Clip di fissaggio per termometro, alla consegna è montata sul termometro	7	Cestino di immersione
4	Termometro	8	Ponte

3.2 YDK04MS

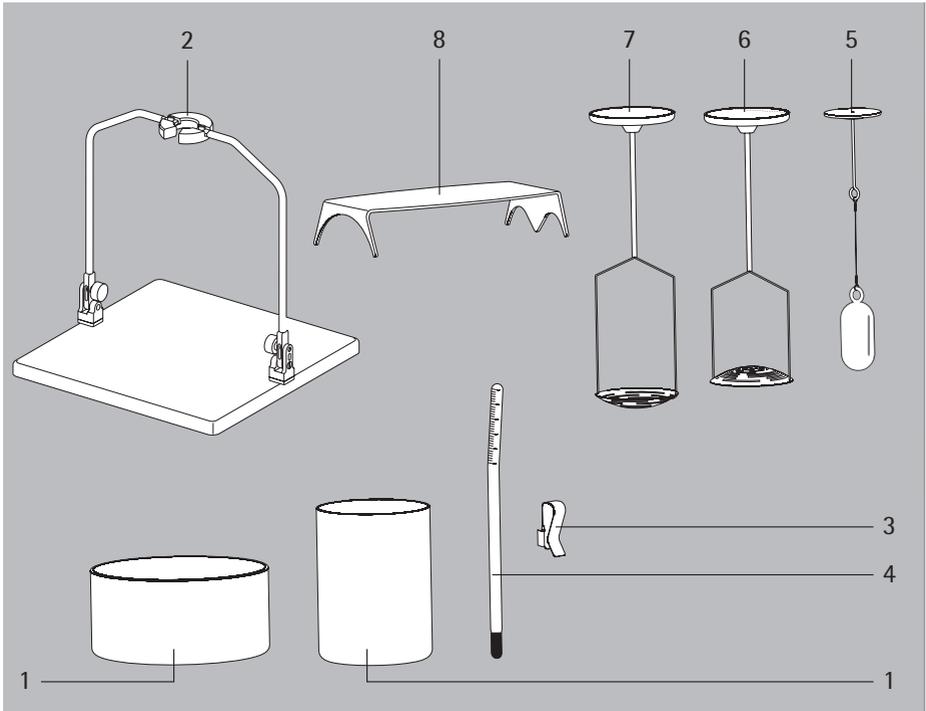


Fig. 2: Componenti di YDK04MS

Pos.	Denominazione	Pos.	Denominazione
1	Becher (\varnothing 90 mm e \varnothing 55 mm)	5	Piombo in vetro
2	Struttura di sospensione	6	Setaccio di immersione
3	Clip di fissaggio per termometro, alla consegna è montata sul termometro	7	Cestino di immersione
4	Termometro	8	Ponte

4 Installazione

4.1 Equipaggiamento fornito

Articolo	Quantità
Becher (Ø 90 mm e Ø 55 mm)	2
Struttura di sospensione	1
Clip di fissaggio per termometro	1
Termometro	1
Piombo in vetro	1
Setaccio di immersione	1
Cestino di immersione	1
Ponte	1

4.2 Disimballare

Procedura

AVVISO

Rischio di danneggiamento dei componenti durante il disimballaggio!

- Il prodotto è costituito da componenti delicati. Disimballare con cura tutti i componenti.

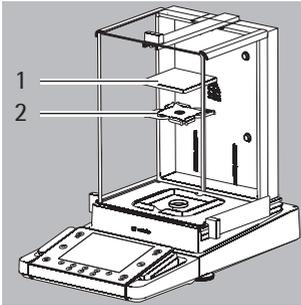
4.3 Montare il prodotto

4.3.1 Montare YDK03MS nella bilancia

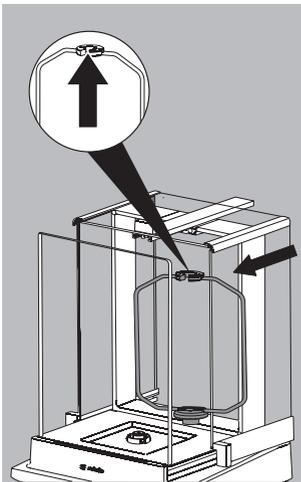
Presupposti

Viene usata una bilancia da laboratorio del tipo Cubis® con una precisione di lettura di 0,1 mg o 0,01 mg.

Procedura



- ▶ Togliere le seguenti parti dalla bilancia:
 - Piatto di pesata (1)
 - Supporto del piatto (2)



- ▶ Inserire la struttura di sospensione nella camera di pesata. L'apertura cuneiforme nella parte superiore della struttura di sospensione deve essere rivolta nel verso da cui verrà posizionato il cestino di immersione (setaccio di immersione/piombo in vetro).



- ▶ Posizionare il ponte, che serve come sede per il becher, attraverso la struttura di sospensione in modo che poggi sulla bilancia.

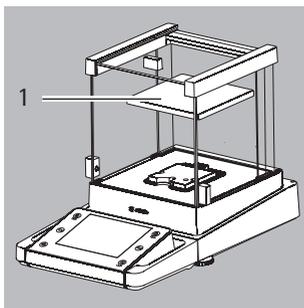
4.3.2 Montare YDK04MS nella bilancia

Presupposti

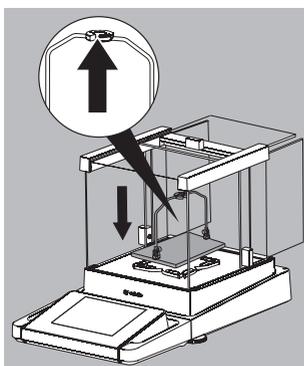
Viene usata una bilancia da laboratorio del tipo Cubis® con una precisione di lettura di 1 mg.

Procedura

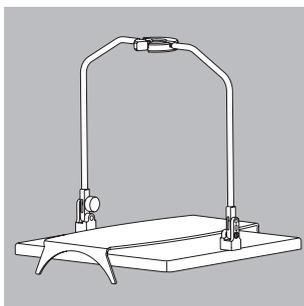
- ▶ Togliere il piatto di pesata (1) dalla bilancia.



- ▶ Inserire la struttura di sospensione nella camera di pesata. L'apertura cuneiforme nella parte superiore della struttura di sospensione deve essere rivolta nel verso da cui verrà posizionato il cestino di immersione (setaccio di immersione/piombo in vetro).



- ▶ Posizionare il ponte, che serve come sede per il becher, attraverso la struttura di sospensione in modo che poggi sulla bilancia.

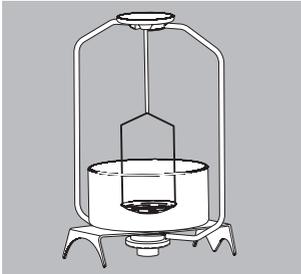


4.3.3 Scegliere il becher e il dispositivo di immersione

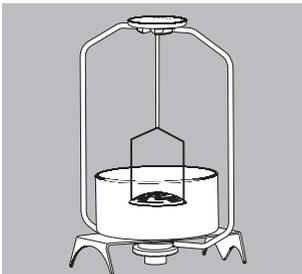
Procedura

- Scegliere il becher o il dispositivo di immersione. La scelta del becher e del dispositivo di immersione dipende dal tipo di campione da determinare.

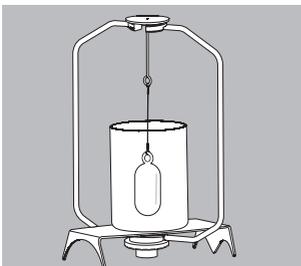
Visione d'insieme del becher e del dispositivo di immersione:



- Per determinare la densità di corpi solidi aventi una densità superiore a quella del liquido di immersione: è necessario usare un becher con \varnothing di 90 mm e un cestino di immersione.



- Per determinare la densità di corpi solidi aventi una densità inferiore a quella del liquido di immersione: è necessario usare un becher con \varnothing di 90 mm e un setaccio di immersione.



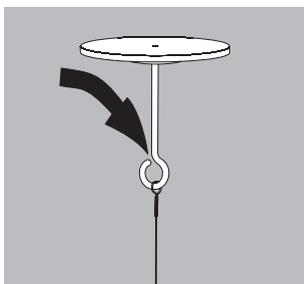
- Per determinare la densità di liquidi: è necessario usare un becher con \varnothing di 55 mm e un piombo in vetro.

4.3.4 Montare il piombo in vetro

Sul piombo in vetro è fissato un filo metallico provvisto di occhiello. L'occhiello deve essere appeso al supporto del piombo in vetro.

Procedura

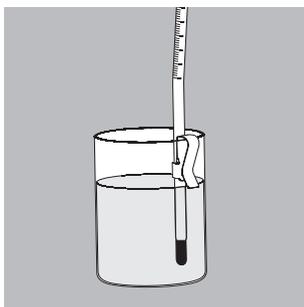
- ▶ **AVVISO** Non piegare il filo metallico perché potrebbe rompersi! Estrarre il piombo dall'imballaggio dalla parte dell'occhiello in vetro. **Non** piegare il filo metallico durante questa operazione.
- ▶ Appendere l'occhiello del filo del piombo in vetro nel gancio del supporto.
- ▶ Fissare il supporto del piombo in vetro alla struttura di sospensione.



4.3.5 Montare il termometro

Procedura

- ▶ Mettere il termometro nel becher.
- ▶ Se il termometro deve essere fissato: fissare il termometro al bordo di vetro con la clip di fissaggio.



5 Uso

5.1 Metodi per la determinazione della densità

Con questo dispositivo di misurazione si applica il principio di Archimede per determinare la densità di un corpo solido:

- Un corpo immerso in un liquido riceve una spinta verticale dal basso verso l'alto. Questa forza è uguale per intensità al peso del volume di liquido spostato dal corpo immerso.
- Con una bilancia idrostatica che permette di pesare il corpo solido sia in aria che in acqua, è possibile determinare la densità di un corpo solido se la densità del fluido che causa la spinta idrostatica è nota:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot \rho(fl)}{W(a) - W(fl)}$$

oppure

determinare la densità di un liquido se è conosciuto il volume del solido immerso.

$$\rho(fl) = \frac{G}{V}$$

Dove:

ρ	densità del corpo solido
$\rho(fl)$	densità del liquido
$W(a)$	peso del corpo solido in aria
$W(fl)$	peso del corpo solido nel liquido
G	spinta idrostatica del corpo solido immerso
V	volume del corpo solido immerso

5.2 Fonti di errore e possibilità di correzione

AWISO

Procedura errata durante la regolazione della bilancia!

- ▶ Togliere il supporto per campioni del dispositivo per la determinazione della densità prima di eseguire la regolazione.
-

La formula per la determinazione della densità di corpi solidi è sufficiente per ottenere una precisione di uno fino a due decimali. In base alla precisione richiesta, si devono tenere in considerazione i seguenti fattori di errore e di correzione:

- Influenza della temperatura sulla densità del liquido che causa la spinta idrostatica
- Spinta aerostatica durante la pesata in aria
- Cambiamento della profondità di immersione della coppella per campioni quando si immerge il campione
- Adesione del liquido sul filo di sospensione della coppella per campioni
- Bolle d'aria sul campione

Alcuni di questi errori possono essere corretti matematicamente. A questo scopo è necessario misurare la temperatura del liquido e correggere la sua densità in modo corrispondente e definire il diametro interno del recipiente contenente il liquido.

Influenza della temperatura sulla densità del liquido

La densità del liquido che causa la spinta idrostatica dipende dalla temperatura. La variazione della densità dipendente da una modifica della temperatura in °C è dell'ordine di:

- 0,02% per acqua distillata
- 0,1% per gli alcoli e idrocarburi

Tale variazione può manifestarsi a livello del 3° decimale durante la determinazione della densità.

Per correggere la densità del liquido in funzione della temperatura, procedere come segue:

- Misurare la temperatura del liquido con il termometro fornito.
- Consultare la tabella al capitolo "5.4 Valori della densità", pagina 94, per conoscere la densità dell'acqua e usare questa densità per ρ (fl).

Spinta aerostatica

Un volume di 1 cm³ d'aria ha un peso di circa 1,2 mg a seconda della temperatura, dell'umidità dell'aria e della pressione atmosferica. Quando un corpo viene pesato in aria, è sottoposto ad una spinta aerostatica corrispondente per ogni cm³ del suo volume. L'errore che ne risulta qualora non venisse considerata la spinta aerostatica si manifesta a livello del terzo decimale e quindi dovrebbe essere corretto.

La seguente formula tiene conto della spinta aerostatica:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(fl) - \rho(a)]}{W(a) - W(fl)} + \rho(a)$$

Dove $\rho(a) = 0,0012 \text{ g/cm}^3$ = densità dell'aria in condizioni normali (temperatura 20°C, pressione 101,325 kPa).

Profondità di immersione

La coppella per portare o immergere il campione durante la pesata nel liquido è tenuta fissa da due fili metallici ed è immersa nel liquido ad una profondità di ca. 30 mm. Dato che la bilancia viene tarata prima di ogni misurazione, la spinta idrostatica aggiuntiva causata dalla parte immersa del dispositivo di misurazione non influenza la determinazione della densità.

Quando un campione solido viene pesato nel liquido, sposta un volume di liquido uguale al volume del campione stesso. Ciò comporta un aumento della profondità di immersione dei fili di fissaggio della coppella e la generazione di una spinta idrostatica aggiuntiva che provoca un errore nella determinazione della densità.

Per correggere questo errore viene applicata la seguente formula:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(fl) - \rho(a)]}{0,99983 [W(a) - W(fl)]} + \rho(a)$$

Dato che il fattore di correzione è stato determinato esclusivamente per la geometria del dispositivo in questione, è essenziale che per la determinazione della densità di un corpo solido venga usato solo ed esclusivamente il becher con il diametro più grande (90 mm) fornito con la dotazione. Per il calcolo di questo fattore di correzione si rimanda al capitolo "6 Formule", pagina 95.

Adesione del liquido sul filo metallico

Quando il cestino (o il setaccio) viene immerso nel liquido che produce la spinta idrostatica, il liquido sale lungo il filo metallico a causa delle forze di adesione e genera un peso supplementare dell'ordine di qualche milligrammo.

Dato che il cestino di immersione (o il setaccio) si trova nel liquido sia durante la pesata in aria sia durante la pesata nel liquido e dato che la bilancia viene tarata all'inizio di ogni misurazione, l'effetto di menisco del liquido può essere trascurato.

Per ridurre la tensione superficiale e la frizione del liquido sul filo metallico, aggiungere tre gocce di un tensioattivo (un antistatico oppure un comune detersivo per stoviglie) all'acqua distillata contenuta nel becher.

Siccome il liquido sale lungo tutto il filo, il peso può variare leggermente anche dopo che è apparso il simbolo "g". Si consiglia quindi di leggere il valore del peso non appena appare il simbolo "g".

Bolle d'aria

L'errore di misurazione causato da bolle d'aria che aderiscono al campione può essere calcolato nel modo seguente. Durante la pesata in acqua una bolla d'aria con un diametro di 0,5 mm causa una spinta idrostatica aggiuntiva leggermente inferiore a 0,1 mg. Se il suo diametro è di 1 mm, la spinta idrostatica aggiuntiva sarà di 0,5 mg e se il diametro è di 2 mm sarà di 4,2 mg. Bolle d'aria di diametro maggiore devono quindi essere assolutamente eliminate con l'aiuto di un pennellino o altri utensili.

Si può anche bagnare il campione in un recipiente a parte prima di pesarlo nel liquido.

5.3 Determinazione della densità

5.3.1 Determinazione della densità di corpi solidi

Preparazione

Nella seguente descrizione il liquido impiegato è acqua distillata.

Procedura

- ▶ Posizionare il becher di grande diametro (\varnothing 90 mm) al centro del ponte.
- ▶ Riempire il becher con l'acqua distillata fino a 5 mm dal bordo.
- ▶ Aggiungere le tre gocce di tensioattivo nell'acqua distillata.
- ▶ Applicare il termometro al bordo del becher usando la clip di fissaggio.
- ▶ Pulire il cestino di immersione con del solvente (in particolare i fili metallici che saranno immersi) e appenderlo alla struttura di sospensione.

Procedimento di misurazione

Si deve determinare il peso del campione in aria.

Procedura

- ▶ Tarare la bilancia.
- ▶ Mettere il campione sul piatto della struttura di sospensione e pesare.
- ▶ Annotare il peso $W(a)$.

Determinazione della spinta idrostatica $G = W(a) - W(f)$

Procedura

- ▶ Tarare la bilancia con il campione posto sul piatto della struttura di sospensione.
- ▶ Collocare il campione nel cestino di immersione. A tale scopo staccare la coppella dal dispositivo di misurazione e fare attenzione che **non** aderiscano delle bolle d'aria nuove quando viene reimmessa nel liquido; per questo è preferibile mettere il campione direttamente usando una pinzetta o utensili simili.
- ▶ Annotare il valore assoluto della spinta idrostatica "G" visualizzata con un segno negativo.

Calcolo della densità

Procedura

- ▶ Leggere la temperatura.
- ▶ Usare la tabella in appendice per determinare il valore della densità ρ (fl) tenendo in considerazione la temperatura appena misurata.
- ▶ Calcolare la densità applicando la formula seguente:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(\text{fl}) - 0.0012 \text{ g/cm}^3]}{0.99983 G} + 0.0012 \text{ g/cm}^3$$

$W(a)$ e G in g; $\rho(\text{fl})$ in g/cm^3 $G = W(a) - W(\text{fl})$

5.3.2 Determinazione della densità di corpi solidi con una densità inferiore a 1 g/cm^3

Esistono due metodi per determinare la densità di corpi solidi con una densità inferiore a 1 g/cm^3 .

Metodo 1

Il liquido usato per creare la spinta idrostatica è acqua distillata. La coppella per campioni viene usata con il setaccio capovolto (setaccio di immersione).

Per determinare la spinta idrostatica del campione, esso viene fatto galleggiare sulla superficie dell'acqua e poi viene immerso utilizzando il setaccio tolto in precedenza.

Si può anche utilizzare una pinzetta o utensili simili per collocare direttamente il campione sotto il setaccio (senza togliere il setaccio dalla struttura di sospensione).

Se la spinta idrostatica della sostanza da misurare è maggiore del peso del setaccio, aumentare il peso del setaccio aggiungendo un peso supplementare al piatto della struttura di sospensione.

Metodo 2

Per creare la spinta idrostatica viene utilizzato un liquido la cui densità è inferiore a quella del corpo solido di cui si deve determinare la densità. Sono stati ottenuti buoni risultati usando l'etanolo (fino ad una densità di ca. 0,8 g/cm³).

Gli effetti negativi della tensione superficiale del liquido sui risultati di misurazione sono meno evidenti se si usa l'etanolo al posto dell'acqua distillata. Non è quindi necessario aggiungere il tensioattivo.

Se si usa l'etanolo si devono osservare scrupolosamente le norme di sicurezza vigenti.

Questo secondo metodo dovrebbe essere usato se la densità del corpo solido varia solo leggermente da quella dell'acqua distillata. Dato che il campione è sospeso dentro l'acqua, potrebbero verificarsi degli errori di misurazione se si utilizza il primo metodo. Allo stesso modo si consiglia di utilizzare il secondo metodo per la determinazione della densità di sostanze granulari, in quanto con il primo metodo sarebbe difficile mettere completamente il campione granulare sotto il setaccio.

Si dovrebbe evitare l'uso di etanolo se questo può attaccare o dissolvere il campione.

Preparazione

Nella seguente descrizione il liquido impiegato è acqua distillata.

Procedura

- ▶ Posizionare il becher di grande diametro (Ø 90 mm) al centro del ponte.
- ▶ Riempire il becher con l'acqua distillata fino a 5 mm dal bordo.
- ▶ Aggiungere tre gocce di tensioattivo nell'acqua distillata.
- ▶ Applicare il termometro al bordo del becher usando la clip di fissaggio.
- ▶ Pulire il setaccio di immersione con del solvente (in particolare i fili metallici che saranno immersi) e appenderlo nella struttura di sospensione.

Procedimento di misurazione

Si deve determinare il peso del campione in aria.

Procedura

- ▶ Tarare la bilancia.
- ▶ Mettere il campione sul piatto della struttura di sospensione e pesare.
- ▶ Annotare il peso $W(a)$.

Determinazione della spinta idrostatica $G = W(a) - W(fl)$

Procedura

- ▶ Tarare la bilancia con il campione posto sul piatto della struttura di sospensione.
- ▶ Collocare il campione nel cestino di immersione. A tale scopo staccare la coppella dal dispositivo di misurazione e fare attenzione che **non** aderiscano delle bolle d'aria nuove quando viene reimmessa nel liquido; per questo è preferibile mettere il campione direttamente usando una pinzetta o utensili simili.
- ▶ Annotare il valore assoluto della spinta idrostatica "G" visualizzata con un segno negativo.

Calcolo della densità

Procedura

- ▶ Leggere la temperatura.
- ▶ Usare la tabella nel capitolo "5.4 Valori della densità", pagina 94, per determinare il valore della densità $\rho(fl)$ tenendo in considerazione la temperatura appena misurata.
- ▶ Calcolare la densità applicando la formula seguente:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot \rho(fl)}{0.99983 G} + 0.0012 \text{ g/cm}^3$$

$W(a)$ e G in g; $\rho(fl)$ in g/cm^3 $G = W(a) - W(fl)$

5.3.3 Determinazione della densità di liquidi

Preparazione

Procedura

- ▶ Posizionare il becher di piccolo diametro (\varnothing 55 mm) al centro del ponte.
- ▶ Applicare il termometro al bordo del becher usando la clip di fissaggio.

Procedimento di misurazione

Procedura

- ▶ Appendere il disco conico con il piombo in vetro appeso ad un filo nella struttura di sospensione.
- ▶ Tarare la bilancia.
- ▶ Riempire il becher con il liquido di cui deve essere determinata la densità fino a 10 mm sopra il piombo in vetro.

Determinazione della spinta idrostatica $G = W(a) - W(fl)$

Il valore di peso negativo visualizzato dalla bilancia corrisponde alla spinta idrostatica che agisce sul piombo in vetro nel liquido.

Procedura

- ▶ Annotare la spinta idrostatica "G" visualizzata con un segno negativo.
- ▶ Leggere la temperatura e annotarla.

Calcolo della densità

Procedura

- Calcolare la densità applicando la formula seguente:

$$\rho \text{ (f)} = \frac{G}{V}$$

G è espresso in g; V in cm³

Il piombo in vetro incluso nel dispositivo per la determinazione della densità ha un volume di 10 cm³.

È facile ottenere la densità del liquido (in g/cm³): basta spostare la virgola del valore che appare sul display di un decimale verso sinistra.

5.4 Valori della densità

Valori della densità di H₂O (acqua priva di gas) alla temperatura T (in °C) in g/cm³

T/°C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
10	0,99970	0,99969	0,99968	0,99967	0,99966	0,99965	0,99964	0,99963	0,99962	0,99961
11	0,99960	0,99959	0,99958	0,99957	0,99956	0,99955	0,99954	0,99953	0,99952	0,99951
12	0,99950	0,99949	0,99947	0,99946	0,99945	0,99944	0,99943	0,99941	0,99940	0,99939
13	0,99938	0,99936	0,99935	0,99934	0,99933	0,99931	0,99930	0,99929	0,99927	0,99926
14	0,99924	0,99923	0,99922	0,99920	0,99919	0,99917	0,99916	0,99914	0,99913	0,99911
15	0,99910	0,99908	0,99907	0,99905	0,99904	0,99902	0,99901	0,99899	0,99897	0,99896
16	0,99894	0,99893	0,99891	0,99889	0,99888	0,99886	0,99884	0,99883	0,99881	0,99879
17	0,99877	0,99876	0,99874	0,99872	0,99870	0,99869	0,99867	0,99865	0,99863	0,99861
18	0,99860	0,99858	0,99856	0,99854	0,99852	0,99850	0,99848	0,99846	0,99844	0,99842
19	0,99840	0,99838	0,99837	0,99835	0,99833	0,99831	0,99829	0,99826	0,99824	0,99822
20	0,99820	0,99818	0,99816	0,99814	0,99812	0,99810	0,99808	0,99806	0,99803	0,99801
21	0,99799	0,99797	0,99795	0,99793	0,99790	0,99788	0,99786	0,99784	0,99781	0,99779
22	0,99777	0,99775	0,99772	0,99770	0,99768	0,99765	0,99763	0,99761	0,99758	0,99756
23	0,99754	0,99751	0,99749	0,99747	0,99744	0,99742	0,99739	0,99737	0,99734	0,99732
24	0,99729	0,99727	0,99725	0,99722	0,99720	0,99717	0,99714	0,99712	0,99709	0,99707
25	0,99704	0,99702	0,99699	0,99697	0,99694	0,99691	0,99689	0,99686	0,99683	0,99681
26	0,99678	0,99676	0,99673	0,99670	0,99667	0,99665	0,99662	0,99659	0,99657	0,99654
27	0,99651	0,99648	0,99646	0,99643	0,99640	0,99637	0,99634	0,99632	0,99629	0,99626
28	0,99623	0,99620	0,99617	0,99615	0,99612	0,99609	0,99606	0,99603	0,99600	0,99597
29	0,99594	0,99591	0,99588	0,99585	0,99582	0,99579	0,99576	0,99574	0,99571	0,99568
30	0,99564	0,99561	0,99558	0,99555	0,99552	0,99549	0,99546	0,99543	0,99540	0,99537

Riferimenti bibliografici

- NIST ITS-90 Density of Water Formulation for Volumetric Standards Calibration, Volume 97, Number 3, Chapter 3.3
Density of Air-Free Water ρ (kg m⁻³) = 999.85308 + 6.32693 x 10⁻² t - 8.523829 x 10⁻³ t² + 6.943248 x 10⁻⁵ t³ - 3.821216 x 10⁻⁷ t⁴
- DAKKS-DKD-LF-8-2 Kalibrierflüssigkeit Wasser – DakKS, Anlage 1, Tabelle A

6 Formule

Ai fini di una migliore comprensione, segue una spiegazione su come sono stati derivati le formule usate e il fattore di correzione.

Principi fondamentali

$$\text{Densità} = \frac{\text{Massa (g)}}{\text{Volume (cm}^3\text{)}}$$

Il principio di Archimede:

Un corpo immerso in un liquido riceve una spinta verticale dal basso verso l'alto (G). Questa forza è uguale per intensità al peso del volume di liquido spostato dal corpo immerso. Il volume di un corpo immerso V (s) è uguale al volume del liquido spostato V (fl).

Si determinano:

1. Il peso in aria W (a)
2. Spinta idrostatica del corpo nel liquido (G)

La densità di un corpo è:

$$\rho = \frac{\text{Massa del corpo}}{\text{Volume del corpo}} = \frac{W (a)}{V (s)} = \frac{W (a)}{V (fl)}$$

Se la densità ρ (fl) del liquido spostato è conosciuta, si ha

$$V (fl) = \frac{\text{Massa (fl)}}{\rho} = \frac{G}{\rho (fl)}$$

perciò:

$$\rho = \frac{W (a) \cdot \rho (fl)}{G}$$

Calcolo

La densità di un corpo solido è calcolata con l'equazione

$$\rho : W (a) = \rho (fl) : [W (a) - W (fl)]$$

Risulta:

$$\rho = \frac{W (a) \cdot \rho (fl)}{W (a) - W (fl)}$$

$W (a) - W (fl) = G =$ spinta idrostatica del campione

La densità di un liquido viene determinata in base alla spinta idrostatica del corpo immerso che ha un volume definito.

$$\rho (fl) = \frac{G}{V}$$

Dove:

ρ densità del corpo solido

$\rho (fl)$ densità del liquido

$W (a)$ peso del corpo solido in aria

$W (fl)$ peso del corpo solido nel liquido

G spinta idrostatica del corpo solido immerso

V volume del corpo solido immerso

Correzioni

Per la correzione della determinazione della densità di corpi solidi si tengono in considerazione i seguenti fattori:

- La spinta aerostatica applicata al campione durante la pesata in aria.
Dove $\rho (a) = 0,0012 \text{ g/cm}^3 =$ densità dell'aria in condizioni normali (temperatura 20°C, pressione 101,325 kPa); ne consegue che:

$$\rho = \frac{W (a) \cdot [\rho (fl) - \rho (a)]}{W (a) - W (fl)} + \rho (a)$$

- L'immersione dei fili metallici del cestino di immersione o del setaccio. Usando il dispositivo per la determinazione della densità, si deve moltiplicare la spinta idrostatica $G = [W(a) - W(fl)]$ per il fattore 0,99983 (corr). Formula avanzata:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(fl) - \rho(a)]}{[W(a) - W(fl)] \cdot \text{Corr}} + \rho(a)$$

Questo fattore prende in considerazione la spinta idrostatica dei fili metallici che s'immergono ulteriormente quando viene collocato il campione.

Derivazione del fattore di correzione:

La spinta idrostatica causata dall'immersione dei fili metallici dipende dall'altezza "h" dell'aumento del livello del liquido quando il campione viene immerso.

Il volume del campione $V(pr)$ corrisponde al volume del liquido $V(fl)$.

Il volume del campione è determinato misurando la spinta idrostatica. Quindi si ha:

$$V(pr) = V(fl)$$

oppure

$$\frac{W(a) - W(fl)}{\rho(fl)} = \frac{\pi \cdot h \cdot D^2}{4}$$

$$\text{quindi } h = \frac{4 \cdot [W(a) - W(fl)]}{\rho(fl) \cdot \pi \cdot D^2}$$

La spinta idrostatica "A" causata dai fili metallici immersi è:

$$A = 2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h \cdot \rho(fl)$$

Usando "h" risulta:

$$\rho = \frac{2 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot 4 \cdot [W(a) - W(fl)] \cdot \rho(fl)}{4 \cdot \rho(fl) \cdot \pi \cdot D^2}$$

$$A = 2 \cdot \frac{d^2}{D^2} \cdot [W(a) - W(fl)]$$

Per tenere in considerazione la spinta idrostatica dei fili metallici, si deve sottrarre la spinta idrostatica "A" prodotta dai fili dalla spinta idrostatica determinata per il campione: $G = W(a) - W(fl)$. Il valore della spinta idrostatica "A (corr)" da usare nel calcolo è quindi: $G - "A"$.

$$A(\text{corr}) = [W(a) - W(fl)] - 2 \cdot \frac{d^2}{D^2} \cdot [W(a) - W(fl)]$$

$$A(\text{corr}) = \left[1 - 2 \cdot \frac{d^2}{D^2} \right] \cdot [W(a) - W(fl)]$$

Nel dispositivo per la determinazione della densità di corpi solidi viene usato un becher con il diametro grande ($\varnothing 90$ mm) e una struttura di immersione con due fili metallici aventi un diametro di 0,7 mm.

Usando i valori per $d = 0,7$ mm e $D = 90$ mm il fattore di correzione risulta da:

$$1 - 2 \cdot \frac{0,7^2}{90^2} = \mathbf{0.99983}$$

Se si usano dispositivi di altre dimensioni, il fattore di correzione deve essere ricalcolato in modo corrispondente.

Índice

1	Acerca de estas instrucciones ..	100	5	Manejo	109
1.1	Validez	100	5.1	Procedimiento para determinar densidades.....	109
1.2	Documentos pertinentes	100	5.2	Fuentes de error y posibilidades de corrección ..	110
1.3	Medios de representación ...	100	5.3	Determinación de la densidad.....	113
1.3.1	Señales de advertencia en descripciones de acciones	100	5.3.1	Determinación de la densidad de sólidos.....	113
1.3.2	Otros medios de representación	100	5.3.2	Determinación de la densidad de cuerpos sólidos con una densidad menor de 1 g/cm ³	114
2	Seguridad	101	5.3.3	Determinación de la densidad de líquidos.....	117
2.1	Uso conforme a las instrucciones.....	101	5.4	Valores de densidad	118
2.2	Componentes de vidrio	101	6	Fórmulas	119
3	Descripción del aparato	102			
3.1	YDK03MS.....	102			
3.2	YDK04MS.....	103			
4	Instalación	104			
4.1	Volumen de suministro	104			
4.2	Desembalar	104			
4.3	Montar el producto	104			
4.3.1	Montar YDK03MS en la balanza.....	104			
4.3.2	Montar YDK04MS en la balanza.....	106			
4.3.3	Seleccionar el vaso analítico y el dispositivo de inmersión.....	107			
4.3.4	Montar el dispositivo de vidrio.....	108			
4.3.5	Montar el termómetro.....	108			

1 Acerca de estas instrucciones

1.1 Validez

Estas instrucciones forman parte del producto. Estas instrucciones son válidas para este producto en las siguientes versiones:

Producto	Tipo
Kit para la determinación de la densidad para balanzas de laboratorio Cubis® con legibilidad de 0,1 mg y 0,01 mg	YDK03MS
Kit para la determinación de la densidad para balanzas de laboratorio Cubis® con legibilidad de 1 mg	YDK04MS

1.2 Documentos pertinentes

- ▶ Además de las presentes instrucciones, es necesario consultar la siguiente documentación:
 - Instrucciones de la balanza de laboratorio utilizada

1.3 Medios de representación

1.3.1 Señales de advertencia en descripciones de acciones

AVISO

Identifica un posible riesgo que podría tener como consecuencia daños materiales si **no** se evita.

1.3.2 Otros medios de representación

- ▶ Instrucción de actuación: describe tareas que deben realizarse.
- ▷ Resultado: describe el resultado de las tareas realizadas.

2 Seguridad

2.1 Uso conforme a las instrucciones

El producto sirve para determinar la densidad de cuerpos sólidos o líquidos. Para la determinación de la densidad de cuerpos sólidos se debe usar un líquido de ensayo.

El producto se debe utilizar con balanzas de laboratorio Sartorius con una legibilidad adecuada.

Si la balanza de laboratorio cuenta con un programa de determinación de densidad, con el kit para la determinación de la densidad y el programa de determinación de densidad se pueden calcular valores de densidad automáticamente.

Si se utilizan programas de determinación de densidad para determinar la densidad, la determinación de densidad solo debe llevarse a cabo de la forma descrita en las instrucciones de manejo de la balanza de laboratorio.

El producto es adecuado únicamente para el uso conforme a este manual. Cualquier uso distinto se considera **inadecuado**.

2.2 Componentes de vidrio

El dispositivo de vidrio, los vasos analíticos y el termómetro están hechos de cristal. Si se daña el vidrio, se pueden producir heridas.

- ▶ Si se dañan el dispositivo de vidrio, los vasos analíticos o el termómetro, cambie el dispositivo de vidrio, los vasos analíticos o el termómetro.

3 Descripción del aparato

3.1 YDK03MS

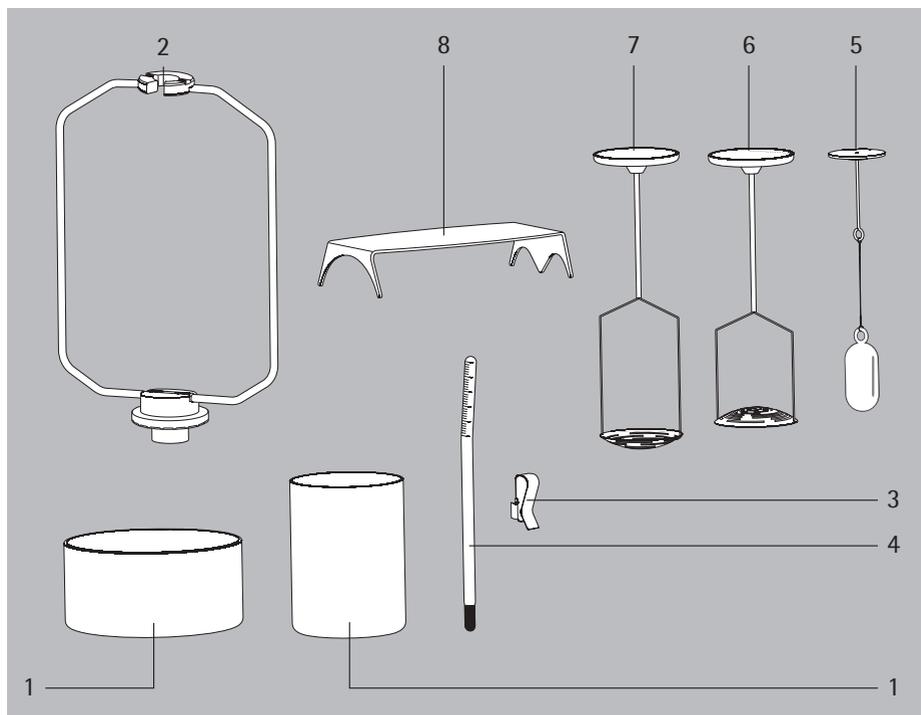


Fig. 1: Componentes YDK03MS

Pos.	Denominación	Pos.	Denominación
1	Vasos analíticos (Ø 90 mm y Ø 55 mm)	5	Dispositivo de vidrio
2	Bastidor	6	Criba de inmersión
3	Brida de sujeción para el termómetro, montada en el momento de la entrega	7	Platillo de inmersión
4	Termómetro	8	Puente

3.2 YDK04MS

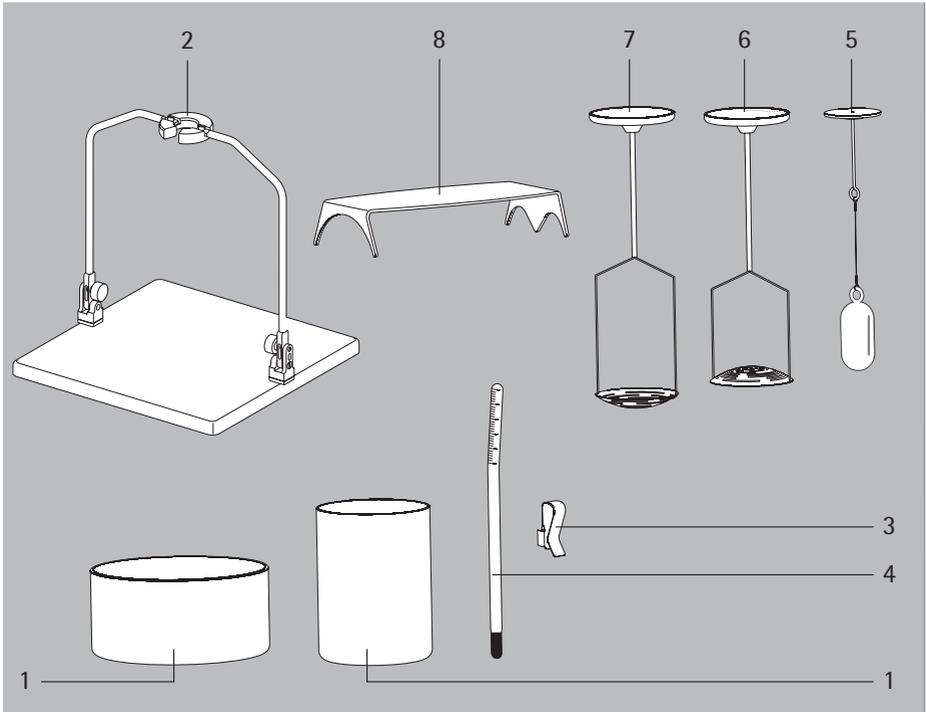


Fig. 2: Componentes YDK04MS

Pos.	Denominación	Pos.	Denominación
1	Vasos analíticos (Ø 90 mm y Ø 55 mm)	5	Dispositivo de vidrio
2	Bastidor	6	Criba de inmersión
3	Brida de sujeción para el termómetro, montada en el momento de la entrega	7	Platillo de inmersión
4	Termómetro	8	Puente

4 Instalación

4.1 Volumen de suministro

Artículo	Cantidad
Vaso analítico (Ø 90 mm y Ø 55 mm)	2
Bastidor	1
Brida de sujeción para el termómetro	1
Termómetro	1
Dispositivo de vidrio	1
Criba de inmersión	1
Platillo de inmersión	1
Puente	1

4.2 Desembalar

Procedimiento

AVISO

Pueden producirse daños en los componentes al desembalar.

- ▶ El producto consta de componentes delicados. Desembale cuidadosamente todas las piezas.

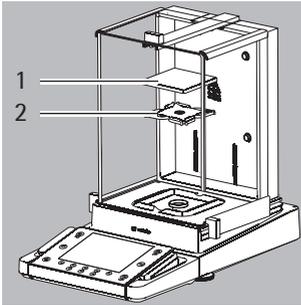
4.3 Montar el producto

4.3.1 Montar YDK03MS en la balanza

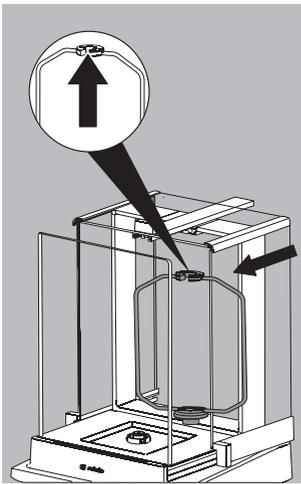
Requisitos

Es necesaria una balanza de laboratorio tipo Cubis® con legibilidad de 0,1 mg o 0,01 mg.

Procedimiento



- ▶ Retire las siguientes piezas de la balanza:
 - Platillo de pesaje (1)
 - Platillo inferior (2)



- ▶ Coloque el bastidor en la cámara de pesaje. La abertura cuneiforme del bastidor debe mirar en la dirección en la que se va a utilizar el platillo de inmersión (criba de inmersión/dispositivo de vidrio).



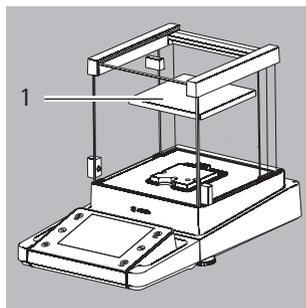
- ▶ Coloque el puente para sostener los vasos analíticos a través del bastidor, pasando por encima de la balanza.

4.3.2 Montar YDK04MS en la balanza

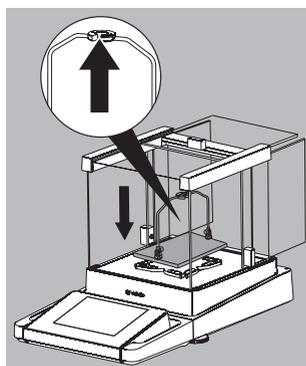
Requisitos

Es necesaria una balanza de laboratorio tipo Cubis® con legibilidad de 1 mg.

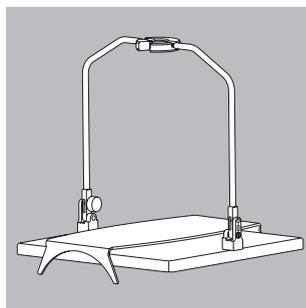
Procedimiento



- ▶ Retire el platillo de pesaje (1) de la balanza.



- ▶ Coloque el bastidor en la cámara de pesaje. La abertura cuneiforme del bastidor debe mirar en la dirección en la que se va a utilizar el platillo de inmersión (criba de inmersión/dispositivo de vidrio).



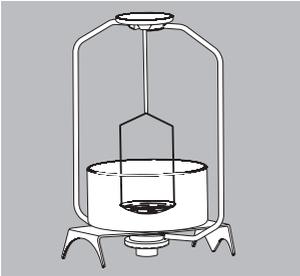
- ▶ Coloque el puente para sostener los vasos analíticos a través del bastidor, pasando por encima de la balanza.

4.3.3 Seleccionar el vaso analítico y el dispositivo de inmersión

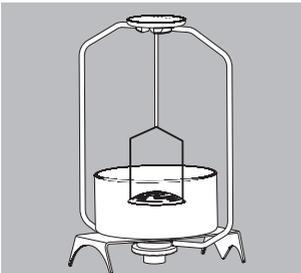
Procedimiento

- ▶ Seleccione el vaso analítico o el dispositivo de inmersión. La elección del vaso analítico y el dispositivo de inmersión depende de las pruebas a realizar.

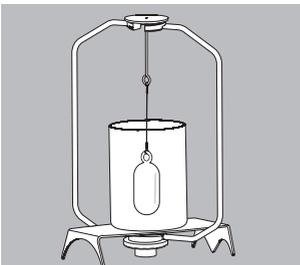
Vista general del vaso analítico y el dispositivo de inmersión:



- Para la determinación de la densidad de cuerpos sólidos cuya densidad es mayor que la del líquido de inmersión: es necesario un vaso analítico con \varnothing 90 mm y un platillo de inmersión



- Para la determinación de la densidad de cuerpos sólidos cuya densidad es menor que la del líquido de inmersión: es necesario un vaso analítico con \varnothing 90 mm y una criba de inmersión



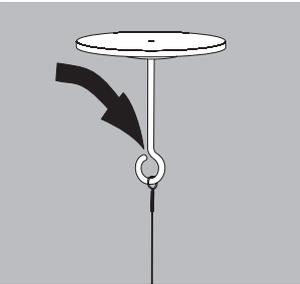
- Para la determinación de la densidad de líquidos: es necesario un vaso analítico con \varnothing 55 mm y un dispositivo de vidrio

4.3.4 Montar el dispositivo de vidrio

El dispositivo de vidrio está fijado con un alambre con asa. El asa de alambre debe engancharse en el estribo del dispositivo de vidrio.

Procedimiento

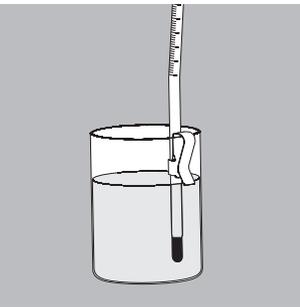
- ▶ **AVISO** El alambre puede romperse si se dobla. Saque el dispositivo de vidrio del embalaje por el asa de vidrio. **No** doble el alambre del dispositivo de vidrio.
- ▶ Cuelgue el asa de alambre del dispositivo de vidrio en el estribo de soporte.
- ▶ Fije la sujeción del dispositivo de vidrio en el bastidor.



4.3.5 Montar el termómetro

Procedimiento

- ▶ Coloque el termómetro en el vaso.
- ▶ En caso necesario, fije el termómetro al vaso con la brida de sujeción.



5 Manejo

5.1 Procedimiento para determinar densidades

La determinación de la densidad de un cuerpo sólido con el equipo de medición presente se realiza mediante el "principio de Arquímedes":

- Un cuerpo inmerso en un líquido experimenta una fuerza de empuje hacia arriba. Esta fuerza es igual a la fuerza que ejerce el peso del líquido desplazado por el volumen del cuerpo.
- Con una balanza hidrostática, que permite la medición del cuerpo sólido en el aire y en el agua, es posible determinar la densidad de un cuerpo sólido, si se conoce la densidad del medio de empuje:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot \rho(fl)}{W(a) - W(fl)}$$

o bien,

determinar la densidad de un líquido, si se conoce el volumen del cuerpo de inmersión.

$$\rho(fl) = \frac{G}{V}$$

en donde:

ρ	densidad del cuerpo sólido
$\rho(fl)$	densidad del líquido
$W(a)$	peso del cuerpo sólido en el aire
$W(fl)$	peso del cuerpo sólido en el líquido
G	empuje del cuerpo de inmersión
V	volumen del cuerpo de inmersión

5.2 Fuentes de error y posibilidades de corrección

AVISO

Procedimiento erróneo al calibrar la balanza.

- ▶ Retire el soporte de muestras del kit para la determinación de la densidad antes del ajuste.
-

La fórmula para determinar la densidad de cuerpos sólidos es suficiente para una determinación con una exactitud de una y hasta dos posiciones decimales. Dependiendo de la exactitud requerida, han de considerarse los siguientes errores y factores de corrección:

- Dependencia de la temperatura de la densidad del líquido de sustentación
- Empuje del aire al realizar la medición en el aire
- Modificación de la profundidad de inmersión del platillo de estribo al sumergir la muestra
- Adhesión del líquido en el alambre del que cuelga el platillo
- Burbujas de aire adheridas a la muestra

Los errores pueden corregirse parcialmente mediante cálculo. Para ello es necesario medir la temperatura del líquido y corregir la densidad del líquido correspondiente y definir el diámetro interno del envase receptor del líquido.

Dependencia de la temperatura de la densidad del líquido

La densidad del líquido de empuje depende de la temperatura. La modificación de la densidad por modificación de temperatura en °C es la siguiente:

- 0,02 % para agua destilada
- 0,1 % para alcoholes e hidrocarburos

Las modificaciones pueden aparecer en la tercera posición decimal durante la determinación de la densidad.

Para corregir la densidad del líquido respecto a la temperatura, se procede de la siguiente manera:

- La temperatura del líquido se mide con el termómetro suministrado.
- La densidad del agua se indica en la tabla del capítulo "5.4 Valores de densidad", página 118 y se utiliza para ρ (fl).

Empuje del aire

Un volumen de 1 cm³ de aire tiene, dependiendo de la temperatura, la humedad del aire y la presión del aire, un peso aprox. de 1,2 mg. En la medición en el aire, el cuerpo experimenta por cm³ de su volumen un empuje correspondiente. El error que resulta al no considerar el empuje del aire se registra en la tercera posición decimal y ha de corregirse.

El empuje del aire se calcula con la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(fl) - \rho(a)]}{W(a) - W(fl)} + \rho(a)$$

en donde $\rho(a) = 0,0012 \text{ g/cm}^3 =$ densidad del aire bajo condiciones normales (temperatura 20 °C, presión 101,325 kPa).

Profundidad de inmersión

El platillo para la recepción o la inmersión de la muestra durante la medición en líquido está fijado por dos alambres y se sumerge aprox. 30 mm en el líquido. Puesto que la balanza se tara antes de cada medición, el empuje adicional de la pieza sumergida de la configuración de medida no se considera en la determinación de la densidad.

En la medición en líquido, el volumen de líquido desplazado corresponde al volumen de la muestra. Esto hace que los alambres que fijan el platillo se sumerjan a más profundidad y originen un empuje adicional, que se considera como error en la determinación de la densidad.

Este error se corrige mediante la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(fl) - \rho(a)]}{0,99983 [W(a) - W(fl)]} + \rho(a)$$

Dado que el factor de corrección está determinado exclusivamente por la geometría de la disposición del sistema de medida, es indispensable utilizar solo el recipiente suministrado con el mayor diámetro (90 mm) en la determinación de la densidad de un cuerpo sólido. En el capítulo "6 Fórmulas", página 119 se indica cómo se obtiene este factor de corrección.

Adhesión del líquido en el alambre

Al sumergir el platillo (criba de inmersión) en el líquido de empuje, sube líquido por el alambre debido a las fuerzas de adhesión, resultando en un peso adicional de algunos miligramos.

Puesto que el platillo de inmersión (criba de inmersión), tanto en la medición en aire como en la medición en líquido, se encuentra en el medio de empuje y la balanza se tara al comienzo de cada medición, puede ignorarse la influencia del menisco del líquido.

Para reducir la tensión superficial y la fricción del líquido en el alambre, se agregan en el agua destilada contenida en el recipiente unas tres gotas de un detergente (Mirasol antiestático o lavavajillas común).

A causa de que el líquido de empuje suba por el alambre, puede que el valor del peso cambie lentamente después de aparecer "g". Por ello, el valor del peso debe leerse directamente después de que aparezca "g".

Burbujas de aire

El error de medición producto de burbujas de aire adheridas a la muestra puede estimarse de la siguiente manera. Al realizar la medición en agua, una burbuja de aire con un diámetro de 0,5 mm resulta en un empuje adicional menor de 0,1 mg. Con un diámetro de 1 mm, el empuje adicional resultante es de aprox. 0,5 mg, y con un diámetro de 2 mm, aprox. 4,2 mg. Por eso, las burbujas de aire más grandes deben eliminarse con un pincel fino o un instrumento similar.

La humectación también puede realizarse de antemano en un recipiente separado.

5.3 Determinación de la densidad

5.3.1 Determinación de la densidad de sólidos

Preparación

En la siguiente descripción se utiliza agua destilada.

Procedimiento

- ▶ Alinee el vaso analítico de mayor diámetro (\varnothing 90 mm) en el centro del puente.
- ▶ Llénelo de agua destilada hasta aprox. 5 mm por debajo del borde.
- ▶ Eche 3 gotas de detergente en el agua destilada.
- ▶ Fije el termómetro al borde del vaso con la brida de sujeción.
- ▶ Limpie el platillo de inmersión con disolvente (especialmente los alambres sumergidos) y cuélguelo en el bastidor.

Proceso de medición

Se debe determinar el peso de la muestra en el aire.

Procedimiento

- ▶ Tare la báscula.
- ▶ Coloque la muestra en el platillo de pesaje del bastidor y pésela.
- ▶ Anote el valor de peso W (a).

Determinación del empuje $G = W$ (a) – W (fl)

Procedimiento

- ▶ Tare la báscula con la muestra en el platillo de pesaje del bastidor.
- ▶ Coloque la muestra en el platillo de inmersión. Para ello, retire el platillo de estribo del dispositivo de medición y compruebe que, al volver a sumergir en el líquido, **no** se adhiera ninguna burbuja de aire adicional; es mejor, en este caso, poner la muestra directamente con pinzas o similar.
- ▶ Anote el valor absoluto del empuje G indicado con signo negativo.

Cálculo de la densidad

Procedimiento

- ▶ Lea la temperatura.
- ▶ Utilice el valor de la densidad ρ (fl) indicado en la tabla del apéndice, teniendo en cuenta la temperatura ya leída.
- ▶ La densidad se calcula con la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(\text{fl}) - 0,0012 \text{ g/cm}^3]}{0,99983 G} + 0,0012 \text{ g/cm}^3$$

$W(a)$ y G en g; $\rho(\text{fl})$ en g/cm^3 $G = W(a) - W(\text{fl})$

5.3.2 Determinación de la densidad de cuerpos sólidos con una densidad menor de 1 g/cm^3

Es posible determinar la densidad de los cuerpos sólidos con una densidad menor de 1 g/cm^3 con dos métodos diferentes.

Método 1

Se utiliza agua destilada como líquido de empuje. Se utiliza el platillo de estribo con el platillo de criba invertido (criba de inmersión).

Después, se pone la muestra sobre la superficie del agua para determinar el empuje y, finalmente, se sumerge con la criba de inmersión previamente retirada.

Pero también es posible colocar la muestra directamente bajo el platillo de criba con una pinza o similar (sin retirar la criba de inmersión del bastidor).

Si el empuje de la sustancia a medir es mayor que el peso de la criba de inmersión, entonces tiene que aumentarse el peso de la criba de inmersión colocando peso adicional en el platillo superior del bastidor.

Método 2

Como medio de empuje se utiliza un líquido de densidad más baja que el del cuerpo sólido a medir. Se han obtenido buenos resultados con etanol (hasta una densidad de aprox. 0,8 g/cm³).

Al utilizar etanol, se nota menos (respecto al agua destilada) la influencia negativa de la tensión de superficie del líquido en los resultados de medición. Por tanto, no es necesario agregar detergente.

Al trabajar con etanol es indispensable considerar las prescripciones de seguridad vigentes.

El segundo método debe aplicarse si la densidad del cuerpo sólido se diferencia solo mínimamente de la del agua destilada. Dado que la muestra flota en el agua, pueden producirse errores de medición al aplicarse el primer método. El uso del segundo método es adecuado cuando ha de determinarse la densidad de un granulado. Al usar el primer método en esos casos, es difícil poner el granulado completamente bajo el platillo de criba.

Debe evitarse la utilización de etanol si la muestra puede resultar atacada (disuelta).

Preparación

En la siguiente descripción se utiliza agua destilada.

Procedimiento

- ▶ Alinee el vaso analítico de mayor diámetro (Ø 90 mm) en el centro del puente.
- ▶ Llénelo de agua destilada hasta aprox. 5 mm por debajo del borde.
- ▶ Eche 3 gotas de detergente en el agua destilada.
- ▶ Fije el termómetro al borde del vaso con la brida de sujeción.
- ▶ Limpie la criba de inmersión con disolvente (especialmente los alambres sumergidos) y cuélguela en el bastidor.

Proceso de medición

Se debe determinar el peso de la muestra en el aire.

Procedimiento

- ▶ Tare la báscula.
- ▶ Coloque la muestra en el platillo de pesaje del bastidor y pésela.
- ▶ Anote el valor de peso $W(a)$.

Determinación del empuje $G = W(a) - W(fl)$

Procedimiento

- ▶ Tare la báscula con la muestra en el platillo de pesaje del bastidor.
- ▶ Coloque la muestra en el platillo de inmersión. Para ello, retire el platillo de estribo del dispositivo de medición y compruebe que, al volver a sumergir en el líquido, **no** se adhiera ninguna burbuja de aire adicional; es mejor, en este caso, poner la muestra directamente con pinzas o similar.
- ▶ Anote el valor absoluto del empuje G indicado con signo negativo.

Cálculo de la densidad

Procedimiento

- ▶ Lea la temperatura.
- ▶ Utilice el valor de la densidad $\rho(fl)$ indicado en la tabla del capítulo "5.4 Valores de densidad", página 118, teniendo en cuenta la temperatura ya leída.
- ▶ La densidad se calcula con la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot \rho(fl)}{0,99983 G} + 0,0012 \text{ g/cm}^3$$

$W(a)$ y G en g; $\rho(fl)$ en g/cm^3 $G = W(a) - W(fl)$

5.3.3 Determinación de la densidad de líquidos

Preparación

Procedimiento

- ▶ Alinee el vaso analítico de menor diámetro (\varnothing 55 mm) en el centro del puente.
- ▶ Fije el termómetro al borde del vaso con la brida de sujeción.

Proceso de medición

Procedimiento

- ▶ Cuelgue el disco con el dispositivo de vidrio suspendido con el alambre en el bastidor.
- ▶ Tare la báscula.
- ▶ Llene el vaso analítico con el líquido a determinar hasta 10 mm por encima del dispositivo de vidrio.

Determinación del empuje $G = W (a) - W (fl)$

El valor de peso negativo indicado por la balanza corresponde al empuje que experimenta el dispositivo en el líquido.

Procedimiento

- ▶ Anote el valor del empuje G indicado con signo negativo.
- ▶ Lea y anote la temperatura.

Cálculo de la densidad

Procedimiento

► La densidad se calcula con la siguiente fórmula:

$$\rho \text{ (f)} = \frac{G}{V}$$

G en g; V en cm³

El dispositivo de vidrio del kit para la determinación de la densidad tiene un volumen de 10 cm³.

La densidad actual del líquido (en g/cm³) se obtiene muy fácilmente, desplazando la coma en la lectura de la balanza en una posición decimal hacia la izquierda.

5.4 Valores de densidad

Valores de densidad de H₂O (agua sin gas) a una temperatura T (en °C) en g/cm³

T/°C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
10	0,99970	0,99969	0,99968	0,99967	0,99966	0,99965	0,99964	0,99963	0,99962	0,99961
11	0,99960	0,99959	0,99958	0,99957	0,99956	0,99955	0,99954	0,99953	0,99952	0,99951
12	0,99950	0,99949	0,99947	0,99946	0,99945	0,99944	0,99943	0,99941	0,99940	0,99939
13	0,99938	0,99936	0,99935	0,99934	0,99933	0,99931	0,99930	0,99929	0,99927	0,99926
14	0,99924	0,99923	0,99922	0,99920	0,99919	0,99917	0,99916	0,99914	0,99913	0,99911
15	0,99910	0,99908	0,99907	0,99905	0,99904	0,99902	0,99901	0,99899	0,99897	0,99896
16	0,99894	0,99893	0,99891	0,99889	0,99888	0,99886	0,99884	0,99883	0,99881	0,99879
17	0,99877	0,99876	0,99874	0,99872	0,99870	0,99869	0,99867	0,99865	0,99863	0,99861
18	0,99860	0,99858	0,99856	0,99854	0,99852	0,99850	0,99848	0,99846	0,99844	0,99842
19	0,99840	0,99838	0,99837	0,99835	0,99833	0,99831	0,99829	0,99826	0,99824	0,99822
20	0,99820	0,99818	0,99816	0,99814	0,99812	0,99810	0,99808	0,99806	0,99803	0,99801
21	0,99799	0,99797	0,99795	0,99793	0,99790	0,99788	0,99786	0,99784	0,99781	0,99779
22	0,99777	0,99775	0,99772	0,99770	0,99768	0,99765	0,99763	0,99761	0,99758	0,99756
23	0,99754	0,99751	0,99749	0,99747	0,99744	0,99742	0,99739	0,99737	0,99734	0,99732
24	0,99729	0,99727	0,99725	0,99722	0,99720	0,99717	0,99714	0,99712	0,99709	0,99707
25	0,99704	0,99702	0,99699	0,99697	0,99694	0,99691	0,99689	0,99686	0,99683	0,99681
26	0,99678	0,99676	0,99673	0,99670	0,99667	0,99665	0,99662	0,99659	0,99657	0,99654
27	0,99651	0,99648	0,99646	0,99643	0,99640	0,99637	0,99634	0,99632	0,99629	0,99626
28	0,99623	0,99620	0,99617	0,99615	0,99612	0,99609	0,99606	0,99603	0,99600	0,99597
29	0,99594	0,99591	0,99588	0,99585	0,99582	0,99579	0,99576	0,99574	0,99571	0,99568
30	0,99564	0,99561	0,99558	0,99555	0,99552	0,99549	0,99546	0,99543	0,99540	0,99537

Bibliografía (referencia):

- NIST ITS-90 Density of Water Formulation for Volumetric Standards Calibration, Volume 97, Number 3, Chapter 3.3
Density of Air-Free Water $\rho \text{ (kg m}^{-3}\text{)} = 999.85308 + 6.32693 \times 10^{-2} t - 8.523829 \times 10^{-3} t^2 + 6.943248 \times 10^{-5} t^3 - 3.821216 \times 10^{-7} t^4$
- DAKKS-DKD-LF-8-2 Kalibrierflüssigkeit Wasser – DakKS, Anlage 1, Tabelle A

6 Fórmulas

Para facilitar su comprensión, aquí se explica la obtención de las fórmulas y los factores de corrección utilizados.

Fundamentos

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Masa (g)}}{\text{Volumen (cm}^3\text{)}}$$

El principio de Arquímedes:

Un cuerpo inmerso en un líquido experimenta una fuerza de empuje (G). Esta fuerza es igual a la fuerza que ejerce el peso del líquido desplazado por el volumen del cuerpo.

El volumen de un cuerpo sumergido V (s) es igual al volumen del líquido desplazado V (fl).

Se determinan:

1. El peso en el aire W (a)
2. El empuje del cuerpo en el líquido (G)

La densidad de un cuerpo es:

$$\rho = \frac{\text{Masa del cuerpo}}{\text{Volumen del cuerpo}} = \frac{W (a)}{V (s)} = \frac{W (a)}{V (fl)}$$

Si se conoce la densidad ρ (fl) del líquido desplazado, entonces

$$V (fl) = \frac{\text{Masa (fl)}}{\rho} = \frac{G}{\rho (fl)}$$

De lo cual resulta:

$$\rho = \frac{W (a) \cdot \rho (fl)}{G}$$

Cálculo

La densidad de un cuerpo sólido se calcula según la relación

$$\rho : W (a) = \rho (fl) : [W (a) - W (fl)]$$

De aquí resulta:

$$\rho = \frac{W (a) \cdot \rho (fl)}{W (a) - W (fl)}$$

$$W (a) - W (fl) = G = \text{empuje de la muestra}$$

La densidad de un líquido se determina del empuje del cuerpo de inmersión con volumen definido.

$$\rho (fl) = \frac{G}{V}$$

En donde:

ρ	densidad del cuerpo sólido
$\rho (fl)$	densidad del líquido
$W (a)$	peso del cuerpo sólido en el aire
$W (fl)$	peso del cuerpo sólido en el líquido
G	empuje del cuerpo de inmersión
V	volumen del cuerpo de inmersión

Correcciones

Para la corrección de la determinación de la densidad de cuerpos sólidos se consideran:

- El empuje del aire que experimenta la muestra al realizarse la medición en el aire. En donde $\rho (a) = 0,0012 \text{ g/cm}^3$ = densidad del aire bajo condiciones normales (temperatura 20 °C, presión 101,325 kPa); de lo que resulta:

$$\rho = \frac{W (a) \cdot [\rho (fl) - \rho (a)]}{W (a) - W (fl)} + \rho (a)$$

- La inmersión de los alambres del platillo o de la criba de inmersión
Al emplear este kit para la determinación de la densidad tiene que multiplicarse el empuje $G = [W(a) - W(fl)]$ por el factor 0,99983 (corr.). Fórmula ampliada:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(fl) - \rho(a)]}{[W(a) - W(fl)] \cdot corr} + \rho(a)$$

Este factor resulta al considerar el empuje de los alambres inmersos a más profundidad al colocar la muestra.

Obtención del factor de corrección:

El empuje de los alambres inmersos depende de la altura "h" que alcanza el líquido al sumergir la muestra.

Aquí el volumen de la muestra V (pr) corresponde al volumen del líquido V (fl).
El volumen de la muestra se determina midiendo el empuje. Luego:

$$V(pr) = V(fl)$$

o bien

$$\frac{W(a) - W(fl)}{\rho(fl)} = \frac{\pi \cdot h \cdot D^2}{4}$$

$$\text{Luego } h = \frac{4 \cdot [W(a) - W(fl)]}{\rho(fl) \cdot \pi \cdot D^2}$$

El empuje producido por los alambres inmersos "A" es:

$$A = 2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h \cdot \rho(fl)$$

Al utilizar "h" resulta:

$$\rho = \frac{2 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot 4 \cdot [W(a) - W(fl)] \cdot \rho(fl)}{4 \cdot \rho(fl) \cdot \pi \cdot D^2}$$

$$A = 2 \cdot \frac{d^2}{D^2} \cdot [W(a) - W(fl)]$$

Al considerar el empuje de alambre el empuje determinado de la muestra es:

$G = W(a) - W(fl)$ para restar el empuje originado por los alambres "A". El valor de empuje a considerar en el cálculo "A (corr)" es entonces: $G - "A"$.

$$A(\text{corr}) = [W(a) - W(fl)] - 2 \cdot \frac{d^2}{D^2} \cdot [W(a) - W(fl)]$$

$$A(\text{corr}) = \left[1 - 2 \cdot \frac{d^2}{D^2} \right] \cdot [W(a) - W(fl)]$$

En el kit para la determinación de la densidad, para la determinación de la densidad de cuerpos sólidos se emplea el vaso analítico con el mayor diámetro ($\varnothing 90$ mm) y un dispositivo de inmersión con 2 alambres de 0,7 mm de diámetro.

Al utilizar los valores para $d = 0,7$ mm y $D = 90$ mm, el factor de corrección resulta de:

$$1 - 2 \cdot \frac{0,7^2}{90^2} = \mathbf{0,99983}$$

Al utilizar equipos con otras dimensiones, ha de calcularse de nuevo el factor de corrección.

Conteúdo

1 Sobre este Documento.	124	5 Operação	133
1.1 Validade	124	5.1 Método usado para Determinar a Densidade.	133
1.2 Outros Documentos Aplicáveis.	124	5.2 Causas dos Erros e Opções para Correção	134
1.3 Símbolos Usados.	124	5.3 Determinação de Densidade	137
1.3.1 Informações de Atenção nas Descrições de Operação	124	5.3.1 Determinando a Densidade de Objetos Sólidos.	137
1.3.2 Outros Símbolos.	124	5.3.2 Determinado a Densidade de Objetos Sólidos com uma Densidade Menor que 1 g/cm^3	138
2 Segurança.	125	5.3.3 Determinado a Densidade dos Líquidos	141
2.1 Uso pretendido	125	5.4 Valores de Densidade	142
2.2 Componentes de Vidro.	125	6 Fórmulas.	143
3 Descrição do Dispositivo	126		
3.1 YDK03MS.	126		
3.2 YDK04MS.	127		
4 Instalação.	128		
4.1 Escopo de Entrega	128		
4.2 Desembalando o Dispositivo	128		
4.3 Instalando o Produto	128		
4.3.1 Anexando o YDK03MS na Balança.	128		
4.3.2 Anexando o YDK04MS na Balança.	130		
4.3.3 Selecionando o Béquer e o Dispositivo de Imersão	131		
4.3.4 Instalando o Imersor de Vidro.	132		
4.3.5 Instalando o Termômetro	132		

1 Sobre este Documento

1.1 Validade

Estas instruções são uma parte do produto. Estas instruções se aplicam aos produtos nas seguintes versões:

Produto	Tipo
Kit de determinação de densidade para as balanças laboratoriais Cubis® com uma legibilidade de 0,1 mg e 0,01 mg	YDK03MS
Kit de determinação de densidade para as balanças laboratoriais Cubis® com uma legibilidade de 1 mg	YDK04MS

1.2 Outros Documentos Aplicáveis

- ▶ Além destas instruções, por favor, observe os seguintes documentos:
 - Instruções para a balança laboratorial usada

1.3 Símbolos Usados

1.3.1 Informações de Atenção nas Descrições de Operação

AVISO

Indica um perigo com risco de que danos materiais possam resultar se o risco **não** for evitado.

1.3.2 Outros Símbolos

- ▶ Ação requerida: Descreve as ações que devem ser realizadas.
- ▷ Resultado: Descreve o resultado das ações realizadas.

2 Segurança

2.1 Uso pretendido

Este produto é usado para determinar a densidade de objetos sólidos ou líquidos. Para a determinação da densidade de objetos sólidos, um teste líquido deve ser usado.

Este produto deve ser operado com balanças laboratoriais Sartorius com uma legibilidade adequada.

Se a balança laboratorial possuir um programa de determinação de densidade: Os valores de densidade podem ser calculados automaticamente usando o kit de determinação de densidade e o programa de determinação de densidade.

Se o programa de determinação de densidade é usado para determinar a densidade: A densidade deve ser determinada como descrito nas instruções de operação da balança laboratorial.

O produto destina-se exclusivamente para uso em conformidade com estas instruções. Qualquer uso além deste é considerado **impróprio**.

2.2 Componentes de Vidro

O imersor de vidro, béqueres e termômetro são feitos de vidros. Vidro quebrado pode causar lesões.

- ▶ Se o imersor de vidro, béqueres ou termômetro ficarem danificados: Substitua o imersor de vidro, béqueres ou termômetro.

3 Descrição do Dispositivo

3.1 YDK03MS

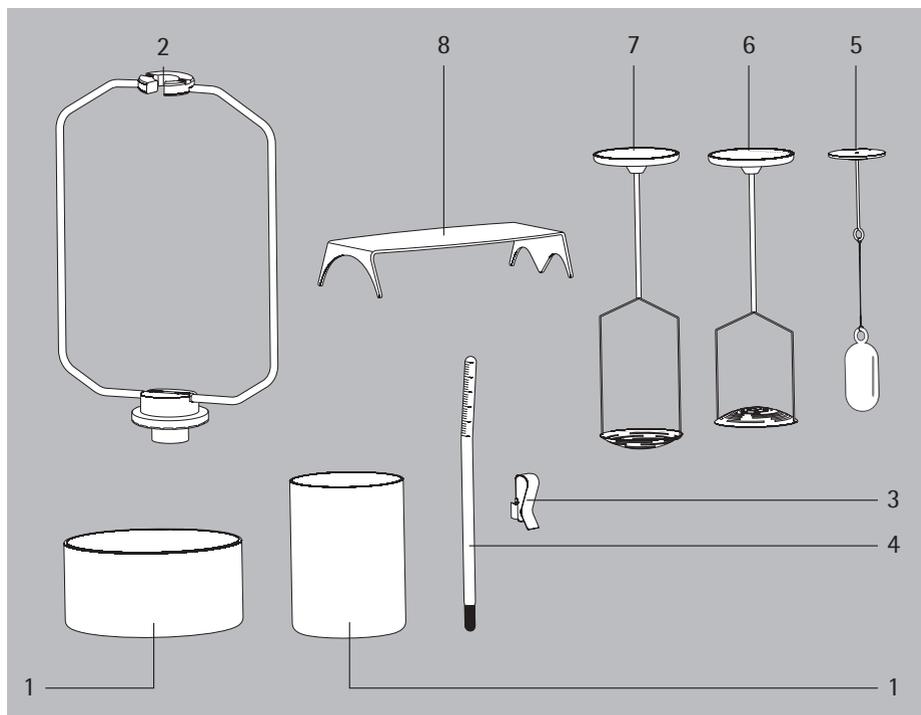


Fig. -1: Componentes YDK03MS

No.	Nome	No.	Nome
1	Béquer (Ø 90 mm e Ø 55 mm)	5	Imersor de vidro
2	Moldura	6	Peneira
3	Presilha de fixação do termômetro, instalada na entrega	7	Suporte de amostras
4	Termômetro	8	Ponte

3.2 YDK04MS

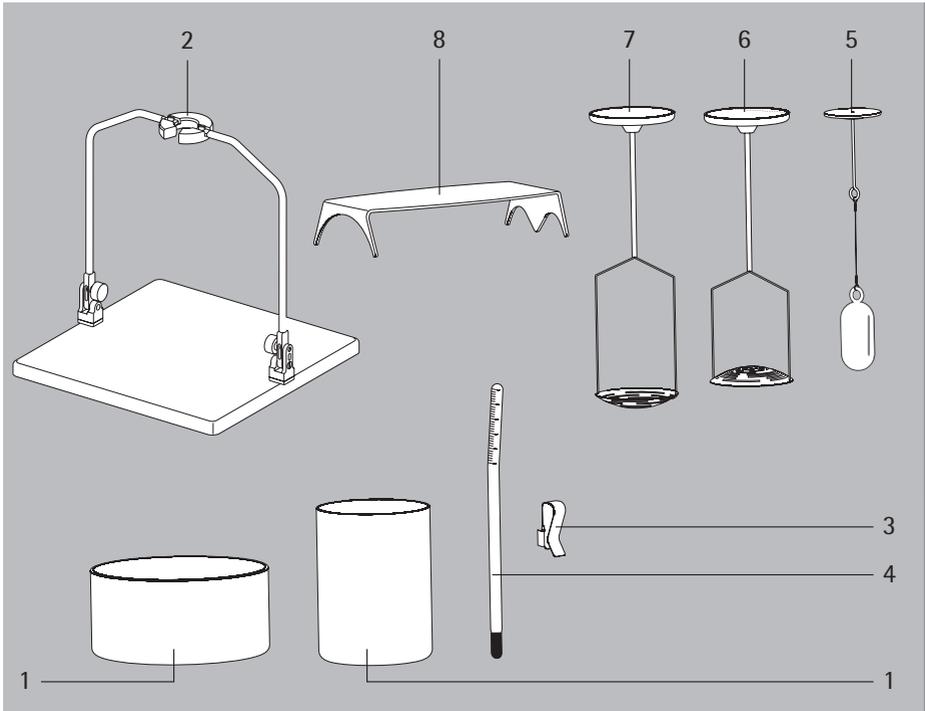


Fig. -2: Componentes YDK04MS

No.	Nome	No.	Nome
1	Béquer (Ø 90 mm e Ø 55 mm)	5	Imersor de vidro
2	Moldura	6	Peneira
3	Presilha de fixação do termômetro, instalada na entrega	7	Suporte de amostras
4	Termômetro	8	Ponte

4 Instalação

4.1 Escopo de Entrega

Item	Quantidade
Béquer (Ø 90 mm e Ø 55 mm)	2
Moldura	1
Presilha de fixação do termômetro	1
Termômetro	1
Imersor de vidro	1
Peneira	1
Suporte de amostras	1
Ponte	1

4.2 Desembalando o Dispositivo

Procedimento

AVISO

Desembalar pode danificar os componentes!

- ▶ Este produto consiste em componentes delicados. Cuidado ao desembalar todas as peças.

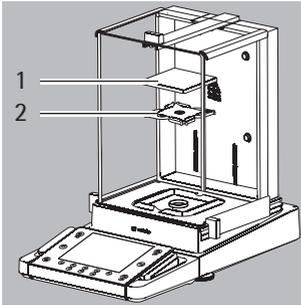
4.3 Instalando o Produto

4.3.1 Anexando o YDK03MS na Balança

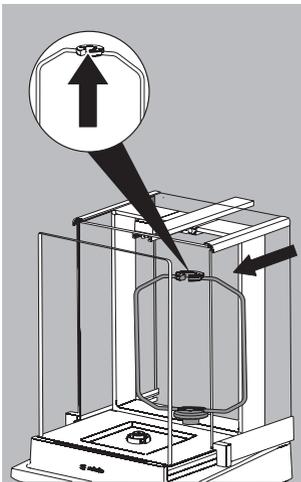
Pré-requisitos

Uma balança laboratorial Cubis® com legibilidade de 0,1 mg ou 0,01 mg.

Procedimento



- ▶ Remova as seguintes peças da balança:
 - Prato de pesagem (1)
 - Suporte do prato (2)



- ▶ Insira a armação na câmara de pesagem. A abertura em forma de cunha na parte superior da armação deve ficar voltada na direção na qual o suporte de amostra (peneira/imersor de vidro) será colocado na armação.



- ▶ Coloque a ponte que segurará o béquer através da armação na balança.

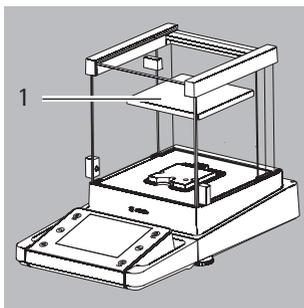
4.3.2 Anexando o YDK04MS na Balança

Pré-requisitos

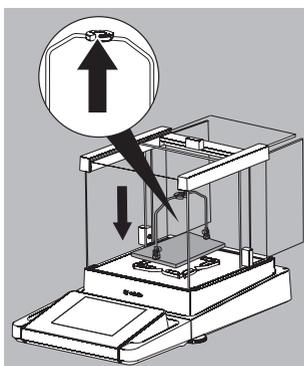
Uma balança laboratorial Cubis® com legibilidade de 1 mg.

Procedimento

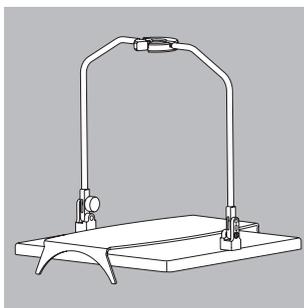
- ▶ Remova o prato de pesagem (1) da balança.



- ▶ Insira a armação na câmara de pesagem. A abertura em forma de cunha na parte superior da armação deve ficar voltada na direção na qual o suporte de amostra (peneira/imersor de vidro) será colocado na armação.



- ▶ Coloque a ponte que segurará o béquero através da armação na balança.

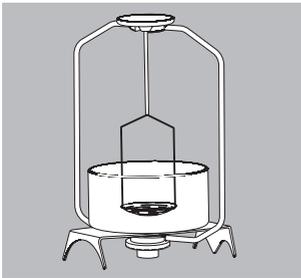


4.3.3 Seleccionando o Béquer e o Dispositivo de Imersão

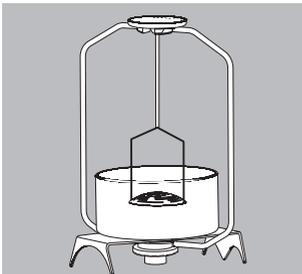
Procedimento

- ▶ Selecione o béquer ou dispositivo de imersão. A seleção do béquer ou dispositivo de imersão depende da amostra a ser determinada.

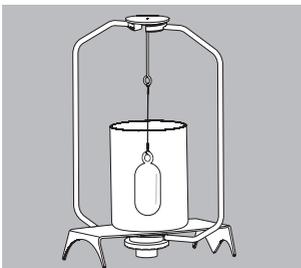
Visão Geral do béquer e dispositivo de imersão:



- Para determinar a densidade de um objeto sólido cuja densidade é maior que o líquido de imersão: Um béquer com \varnothing 90 mm e um suporte de amostra são necessários



- Para determinar a densidade de um objeto sólido cuja densidade é menor que o líquido de imersão: Um béquer com \varnothing 90 mm e um prato de amostra são necessários



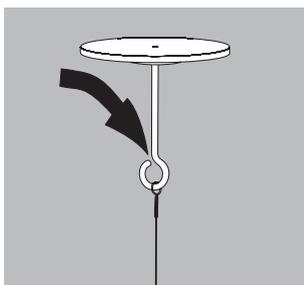
- Para determinar a densidade de líquidos: Um béquer com \varnothing 55 mm e um imersor de vidro são necessários

4.3.4 Instalando o Imersor de Vidro

Um cabo é anexado ao imersor de vidro por um aro. O aro deve ser suspenso do gancho no imersor de vidro.

Procedimento

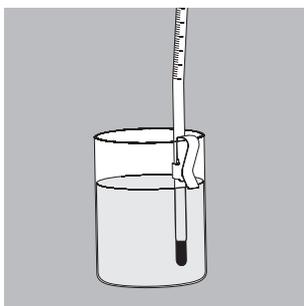
- ▶ **AVISO** O cabo pode arrebentar se estiver dobrado! Puxe o imersor de vidro pelo aro para fora da embalagem. **Não** dobre o cabo no imersor de vidro.
- ▶ Passe o aro do imersor de vidro sobre o gancho de fixação.
- ▶ Anexe o gancho do imersor de vidro na armação.



4.3.5 Instalando o Termômetro

Procedimento

- ▶ Coloque o termômetro no béquer.
- ▶ Se o termômetro precisar ser anexado: Anexe o termômetro na borda do béquer usando a presilha de fixação.



5 Operação

5.1 Método usado para Determinar a Densidade

“Princípio de Arquimedes” é usado para determinar a densidade de um objeto sólido com este dispositivo de medição:

- Um objeto imerso em líquido estará sujeito a uma força de empuxo ascendente. Esta força é igual ao peso do líquido deslocado pelo objeto.
- Usando uma balança hidrostática, que lhe permite pesar um objeto sólido no ar e na água, é possível determinar a densidade de um objeto sólido se a densidade do meio de empuxo é conhecida:

$$\rho = \frac{P(a) \cdot \rho(fl)}{P(a) - P(fl)}$$

ou

Determine a densidade de um líquido se o volume do objeto imerso é conhecido.

$$\rho(fl) = \frac{E}{V}$$

Onde:

ρ	densidade do objeto sólido
$\rho(fl)$	densidade do líquido
$P(a)$	peso do objeto sólido no ar
$P(fl)$	peso do objeto sólido no líquido
E	empuxo do objeto imerso
V	volume do objeto imerso

5.2 Causas dos Erros e Opções para Correção

AVISO

Procedimento incorreto ao ajustar a balança!

- ▶ Remova o suporte de amostra do kit de determinação de densidade antes de fazer os ajustes.
-

A fórmula usada para determinar a densidade de objetos sólidos é suficiente para obter uma precisão de uma a duas casas decimais. Dependendo da precisão necessária o seguinte erro e fator de correção precisarão ser considerados:

- efeito da temperatura na densidade do líquido de empuxo
- empuxo do ar quando pesado no ar
- alterações na profundidade de imersão do prato de ferro ao mergulhar a amostra
- adesão do líquido na extensão do cabo do prato de ferro
- bolhas de ar aderidas à amostra

Alguns dos erros podem ser corrigidos matematicamente. Portanto, necessário medir a temperatura do líquido e corrigir a densidade do líquido adequadamente e definir o diâmetro interno do recipiente contendo o líquido.

Efeitos da Temperatura na Densidade do Líquido

A densidade do líquido de empuxo depende da temperatura. A alteração na densidade por °C de alteração da temperatura é a seguinte:

- 0,02% para água destilada
- 0,1% para álcool e hidrocarbonetos

A alteração pode aparecer na terceira casa decimal durante a determinação de densidade.

Para corrigir a densidade do líquido em termos de temperatura, proceda da seguinte forma:

- meça a temperatura do líquido usando o termômetro fornecido.
- A densidade da água pode ser encontrada na tabela no Capítulo "5.4 Valores de Densidade," página 142 e pode ser usada para ρ (fl).

Empuxo do Ar

Dependendo da temperatura, umidade e pressão do ar, um volume de 1 cm³ de ar terá um peso de cerca de 1,2 mg. Ao pesar no ar, o objeto experimenta um empuxo correspondente por cm³ de seu volume. O erro que resulta se o empuxo do ar não é permitido aparece na terceira casa decimal e, portanto deve ser corrigida.

A força do empuxo é considerada na seguinte fórmula:

$$\rho = \frac{P(a) \cdot [\rho(fl) - \rho(a)]}{P(a) - P(fl)} + \rho(a)$$

Onde $\rho(a) = 0,0012 \text{ g/cm}^3$ = densidade do sob condições normais (temperatura 20°C, pressão 101,325 kPa).

Profundidade de Imersão

O prato para manter e/ou imergir a amostra durante a pesagem em líquido é anexada rigidamente a dois cabos e é imersa aproximadamente 30 mm abaixo da superfície do líquido. Desde que a balança seja tarada antes de cada medição, o empuxo adicional da parte submersa da instalação de medição não é considerada na determinação da densidade.

Ao pesar o líquido, um volume de líquido correspondente ao volume do corpo da amostra fica deslocado. Isto faz com que os cabos de fixação do prato sejam imersos mais profundamente e gerem empuxo adicional, criando um erro na determinação da densidade.

A seguinte fórmula corrigirá o erro:

$$\rho = \frac{P(a) \cdot [\rho(fl) - \rho(a)]}{0,99983 [P(a) - P(fl)]} + \rho(a)$$

Como o fator de correção é determinado exclusivamente pela geometria do dispositivo, deve ser garantido que apenas recipientes fornecidos com maior diâmetro (90 mm) sejam usados para determinar a densidade de um objeto sólido. Capítulo "6 Fórmulas," página 143 mostra como este fator de correção é derivado.

Adesão do Líquido ao Cabo

Ao imergir o suporte de amostra (ou peneira) no líquido de empuxo, o líquido desloca o cabo por causa da força de adesão e gera alguns miligramas adicionais de peso.

Uma vez que o suporte de amostra (ou peneira) está no meio de empuxo tanto quando pesa no ar quando pesa no líquido, e a balança é tarada no começo de cada medição, a influência do menisco do líquido pode ser ignorada.

Para reduzir a tensão da superfície e fricção do líquido no cabo, adicione três gotas de surfactante (Antiestático Mirasol ou um detergente convencional) à água destilada no recipiente.

Por cauda do líquido de empuxo deslocando o cabo, o valor do peso pode continuar mudando lentamente após o "e" aparecer. Por esta razão, o valor do peso deve ser lido assim que o "e" aparecer.

Bolhas de Ar

Os erros de medição que ocorrem como um resultado das bolhas de ar que se aderem à amostra podem ser avaliados como a seguir. Se a bolha de ar tiver um diâmetro de 0,5 mm, isto produzirá um empuxo adicional de menos que 0,1 mg quando pesado na água. Se a bolha de ar tiver um diâmetro de 1 mm, o empuxo adicional será cerca de 0,5 mg, e se o diâmetro é de cerca de 2 mm, aproximadamente 4,2 mg. Portanto, é indispensável que as bolhas de ar maiores sejam removidas com uma boa escova ou similar.

A umidade também pode ser adicionada antecipadamente em um contêiner separado.

5.3 Determinação de Densidade

5.3.1 Determinando a Densidade de Objetos Sólidos

Preparação

Na seguinte descrição, água destilada é usada.

Procedimento

- ▶ Coloque o béquer com maior diâmetro (\varnothing 90 mm) no centro da ponte
- ▶ Encha o béquer até a água destilada estar aproximadamente 5 mm abaixo da borda.
- ▶ Adicione três gotas de surfactante à água destilada.
- ▶ Anexe o termômetro à borda do béquer usando a presilha de fixação.
- ▶ Limpe o suporte de amostra com um solvente (preste muita atenção aos cabos imersos) e pendure na armação.

Procedimento de Medição

O peso da amostra deve ser determinado no ar.

Procedimento

- ▶ Tare a balança.
- ▶ Coloque a amostra na armação do prato de pesagem e pese-a.
- ▶ Faça uma nota do valor do peso P (a).

Determinando o Empuxo

$$E = P (a) - P (fl)$$

Procedimento

- ▶ Tare a balança com a amostra no prato de pesagem da armação.
- ▶ Coloque a amostra no suporte de amostra. Remova o prato de ferro do dispositivo de pesagem e garanta que **nenhuma** bolha de ar adicional se anexe após a nova imersão no líquido; Se possível, adicione a amostra diretamente usando uma pinça ou similar.
- ▶ Faça uma nota do valor absoluto do empuxo G, com um sinal negativo na frente.

Calculando a Densidade

Procedimento

- ▶ Leitura da temperatura.
- ▶ Localize o valor da densidade ρ (fl) na tabela usando a temperatura da leitura.
- ▶ Calcule a densidade usando a seguinte fórmula:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(\text{fl}) - 0,0012 \text{ g/cm}^3]}{0,99983 G} + 0,0012 \text{ g/cm}^3$$

P (a) e E em e; ρ (fl) em g/cm^3 $E = P(a) - P(\text{fl})$

5.3.2 Determinado a Densidade de Objetos Sólidos com uma Densidade Menor que 1 g/cm^3

Há dois diferentes métodos para determinação da densidade de objetos sólidos com uma densidade menor que 1 g/cm^3 .

Método 1

Água destilada ainda é usada como líquido de empuxo. Entretanto, o prato de ferro é substituído pelo prato invertido de peneira (peneira).

Para determinar o empuxo da amostra, primeiro coloque-a na superfície da água e então a mergulhe usando a peneira que foi previamente removida.

Também é possível usar pinças ou similares para colocar a amostra diretamente sob o prato de peneira (sem remover a peneira da armação).

Se o empuxo da substância a ser medida é maior que o peso da peneira, o peso da peneira deve ser aumentado adicionando um peso adicional ao prato de pesagem da armação.

Método 2

Um líquido com uma densidade menor que a do objeto sólido que será medido deve ser usado como um meio de empuxo. Bons resultados foram alcançados com etanol (até uma densidade de aprox. $0,8 \text{ g/cm}^3$).

O efeito negativo da tensão da superfície do líquido no resultado é menos notável ao usar etanol que ao usar água destilada. Portanto, não é necessário adicionar surfactantes.

Precauções de segurança aplicáveis devem ser tomadas ao trabalhar com etanol.

O segundo método deve ser usado se a densidade do objeto sólido divergir um pouco da densidade da água destilada. Como a amostra está suspensa na água, erros de medição podem ocorrer se o primeiro método for usado. Também faz sentido usar o segundo método para determinar a densidade de uma substância granulada. Neste caso, seria difícil colocar a amostra inteira embaixo da peneira ao usar o primeiro método.

Não use etanol se a amostra puder ser atacada ou dissolvida por ele.

Preparação

Na seguinte descrição, água destilada é usada.

Procedimento

- ▶ Coloque o béquer com maior diâmetro ($\varnothing 90 \text{ mm}$) no centro da ponte
- ▶ Encha o béquer até a água destilada estar aproximadamente 5mm abaixo da borda.
- ▶ Adicione três gotas de surfactante à água destilada.
- ▶ Anexe o termômetro à borda do béquer usando a presilha de fixação.
- ▶ Limpe a peneira com um solvente (preste muita atenção aos cabos imersos) e pendure na armação.

Procedimento de Medição

O peso da amostra deve ser determinado no ar.

Procedimento

- ▶ Tare a balança.
- ▶ Coloque a amostra na armação do prato de pesagem e pese-a.
- ▶ Faça uma nota do valor do peso P (a).

Determinando o Empuxo

$$E = P (a) - P (fl)$$

Procedimento

- ▶ Tare a balança com a amostra no prato de pesagem da armação.
- ▶ Coloque a amostra no suporte de amostra. Remova o prato de ferro do dispositivo de pesagem e garanta que **nenhuma** bolha de ar adicional se anexe após a nova imersão no líquido; Se possível, adicione a amostra diretamente usando uma pinça ou similar.
- ▶ Faça uma nota do valor absoluto do empuxo G, com um sinal negativo na frente.

Calculando a Densidade

Procedimento

- ▶ Leitura da temperatura.
- ▶ Localize o valor da densidade ρ (fl) na tabela no Capítulo "5.4 Valores de Densidade," página 142 usando a temperatura da leitura.
- ▶ Calcule a densidade usando a seguinte fórmula:

$$\rho = \frac{P (a) \cdot \rho (fl)}{0,99983 G} + 0,0012 \text{ g/cm}^3$$

P (a) e E em e; ρ (fl) em g/cm^3 E = P (a) - P (fl)

5.3.3 Determinado a Densidade dos Líquidos

Preparação

Procedimento

- ▶ Coloque o béquer com o menor diâmetro (\varnothing 55 mm) no centro da ponte.
- ▶ Anexe o termômetro à borda do béquer usando a presilha de fixação.

Procedimento de Medição

Procedimento

- ▶ Suspenda o disco com o imersor de vidro (pendurado em um cabo) da armação.
- ▶ Tare a balança.
- ▶ Encha o béquer com líquido a ser testado até 10 mm acima do imersor de vidro.

Determinando o Empuxo $E = P(a) - P(fl)$

O peso negativo exibido pela balança corresponde a ação do empuxo no imersor de vidro no líquido.

Procedimento

- ▶ Faça uma nota do empuxo E , com um sinal negativo na frente.
- ▶ Leia e faça uma nota da temperatura.

Calculando a Densidade

Procedimento

► Calcule a densidade usando a seguinte fórmula:

$$\rho \text{ (f)} = \frac{E}{V}$$

E em e; V em cm³

O imersor de vidro incluso no kit de determinação de densidade possui um volume de 10 cm³.

É fácil obter a real densidade do líquido (em g/cm³); Desloque o ponto decimal na tela da balança um espaço à esquerda.

5.4 Valores de Densidade

Densidade da H₂O (Água livre de Gás) na Temperatura T (em °C) em g/cm³

T/°C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
10	0,99970	0,99969	0,99968	0,99967	0,99966	0,99965	0,99964	0,99963	0,99962	0,99961
11	0,99960	0,99959	0,99958	0,99957	0,99956	0,99955	0,99954	0,99953	0,99952	0,99951
12	0,99950	0,99949	0,99947	0,99946	0,99945	0,99944	0,99943	0,99941	0,99940	0,99939
13	0,99938	0,99936	0,99935	0,99934	0,99933	0,99931	0,99930	0,99929	0,99927	0,99926
14	0,99924	0,99923	0,99922	0,99920	0,99919	0,99917	0,99916	0,99914	0,99913	0,99911
15	0,99910	0,99908	0,99907	0,99905	0,99904	0,99902	0,99901	0,99899	0,99897	0,99896
16	0,99894	0,99893	0,99891	0,99889	0,99888	0,99886	0,99884	0,99883	0,99881	0,99879
17	0,99877	0,99876	0,99874	0,99872	0,99870	0,99869	0,99867	0,99865	0,99863	0,99861
18	0,99860	0,99858	0,99856	0,99854	0,99852	0,99850	0,99848	0,99846	0,99844	0,99842
19	0,99840	0,99838	0,99837	0,99835	0,99833	0,99831	0,99829	0,99826	0,99824	0,99822
20	0,99820	0,99818	0,99816	0,99814	0,99812	0,99810	0,99808	0,99806	0,99803	0,99801
21	0,99799	0,99797	0,99795	0,99793	0,99790	0,99788	0,99786	0,99784	0,99781	0,99779
22	0,99777	0,99775	0,99772	0,99770	0,99768	0,99765	0,99763	0,99761	0,99758	0,99756
23	0,99754	0,99751	0,99749	0,99747	0,99744	0,99742	0,99739	0,99737	0,99734	0,99732
24	0,99729	0,99727	0,99725	0,99722	0,99720	0,99717	0,99714	0,99712	0,99709	0,99707
25	0,99704	0,99702	0,99699	0,99697	0,99694	0,99691	0,99689	0,99686	0,99683	0,99681
26	0,99678	0,99676	0,99673	0,99670	0,99667	0,99665	0,99662	0,99659	0,99657	0,99654
27	0,99651	0,99648	0,99646	0,99643	0,99640	0,99637	0,99634	0,99632	0,99629	0,99626
28	0,99623	0,99620	0,99617	0,99615	0,99612	0,99609	0,99606	0,99603	0,99600	0,99597
29	0,99594	0,99591	0,99588	0,99585	0,99582	0,99579	0,99576	0,99574	0,99571	0,99568
30	0,99564	0,99561	0,99558	0,99555	0,99552	0,99549	0,99546	0,99543	0,99540	0,99537

Referências:

- NIST ITS-90 Densidade da Formulação de água para Calibração de Padrões Volumétricos, Volume 97, Número 3, Capítulo 3.3 Densidade de Água Sem Ar ρ (kg m⁻³) = 999,85308 + 6,32693 x 10⁻² t - 8,523829 x 10⁻³ t² + 6,943248 x 10⁻⁵ t³ - 3,821216 x 10⁻⁷ t⁴
- DAKS-DKD-LF-8-2 água líquida de calibração - DakS, anexo 1, tabela A

6 Fórmulas

Para obter um melhor entendimento do processo, a teoria por trás das fórmulas e do fator de correção é explicada aqui.

Princípios Básicos

$$\text{Densidade} = \frac{\text{Massa (g)}}{\text{Volume (cm}^3\text{)}}$$

O princípio de Arquimedes afirma:

Um objeto imerso no líquido estará sujeito a uma força de empuxo (E). Esta força é igual ao peso do líquido deslocado pelo objeto. O volume do objeto imerso V (s) é igual ao volume do líquido deslocado V (fl).

Os seguintes são determinados:

1. Peso no ar P (a)
2. Empuxo de um objeto no líquido (E)

A densidade de um objeto é:

$$\rho = \frac{\text{massa do objeto}}{\text{volume do objeto}} = \frac{P (a)}{V (s)} = \frac{P (a)}{V (fl)}$$

Se a densidade ρ (fl) do líquido deslocado é conhecida:

$$V (fl) = \frac{\text{Massa (fl)}}{\rho} = \frac{E}{\rho (fl)}$$

Portanto:

$$\rho = \frac{P (a) \cdot \rho (fl)}{E}$$

Cálculo

A densidade de um objeto sólido é calculada baseada na razão:

$$\rho : P(a) = \rho(fl) : [P(a) - P(fl)]$$

Portanto:

$$\rho = \frac{P(a) \cdot \rho(fl)}{P(a) - P(fl)}$$

$$P(a) - P(fl) = E = \text{empuxo da amostra}$$

A densidade de um líquido é determinada pelo empuxo do objeto imerso que possui um volume definido.

$$\rho(fl) = \frac{E}{V}$$

Onde:

ρ	densidade do objeto sólido
$\rho(fl)$	densidade do líquido
$P(a)$	peso do objeto sólido no ar
$P(fl)$	peso do objeto sólido no líquido
E	empuxo do objeto imerso
V	volume do objeto imerso

Correções

O seguinte deve ser permitido ao corrigir a determinação da densidade:

- O empuxo do ar enfrentado pela amostra quando pesado no ar.
Onde $\rho(a) = 0,0012 \text{ g/cm}^3$ = densidade do ar sob condições normais (temperatura 20°C, pressão 101,325 kPa); que resulta em:

$$\rho = \frac{P(a) \cdot [\rho(fl) - \rho(a)]}{P(a) - P(fl)} + \rho(a)$$

- A imersão dos cabos do suporte de amostra ou peneira
Ao usar este kit de determinação de densidade específico, o empuxo $E = [P(a) - P(fl)]$ deve ser multiplicado pelo fator 0,99983 (corr). Fórmula expandida:

$$\rho = \frac{P(a) \cdot [\rho(fl) - \rho(a)]}{[P(a) - P(fl)] \cdot corr} + \rho(a)$$

Este fator permite o empuxo dos cabos que estão submersos mais profundamente quando a amostra é introduzida.

Como este Fator de Correção É Derivado:

O empuxo causado pelos cabos submersos depende da altura "a" da qual o líquido emerge quando a amostra é imersa.

Logo, o volume da amostra V (pr) corresponde ao volume líquido V (fl).
O volume da amostra é determinado pela medição do empuxo. Logo:

$$V(pr) = V(fl)$$

ou

$$\frac{P(a) - P(fl)}{\rho(fl)} = \frac{\pi \cdot a \cdot D^2}{4}$$

$$\text{Então } a = \frac{4 \cdot [P(a) - P(fl)]}{\rho(fl) \cdot \pi \cdot D^2}$$

O empuxo "A" causado pelos cabos imersos é:

$$A = 2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot a \cdot \rho(fl)$$

Quando "a" é usado:

$$\rho = \frac{2 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot 4 \cdot [P(a) - P(fl)] \cdot \rho(fl)}{4 \cdot \rho(fl) \cdot \pi \cdot D^2}$$

$$A = 2 \cdot \frac{d^2}{D^2} \cdot [P(a) - P(fl)]$$

Para permitir o empuxo dos cabos, subtraia o empuxo "A" causado pelos cabos imersos do empuxo determinado para a amostra:

$E = P(a) - P(fl)$. O valor do empuxo "A (corr)" que deve ser usado no cálculo é então: $E - "A"$.

$$A(\text{corr}) = [P(a) - P(fl)] - 2 \cdot \frac{d^2}{D^2} \cdot [P(a) - P(fl)]$$

$$A(\text{corr}) = \left[1 - 2 \cdot \frac{d^2}{D^2} \right] \cdot [P(a) - P(fl)]$$

Neste kit de determinação de densidade, o béquer com maior diâmetro ($\varnothing 90$ mm) e um dispositivo de imersão com dois cabos com diâmetro de 0,7 mm são usados para determinar a densidade de objetos sólidos.

Quando os valores $d = 0,7$ mm e $D = 90$ mm são usados, o fator de correção é:

$$1 - 2 \cdot \frac{0,7^2}{90^2} = \mathbf{0,99983}$$

Quando usar dispositivos com outras dimensões o fator de correção deve ser adequadamente recalculado.

Содержание

1 Об этой инструкции	148		
1.1 Действительность	148		
1.2 Применимые документы	148		
1.3 Обозначения, используемые в инструкции	148		
1.3.1 Предупредительные указания в описании действий	148		
1.3.2 Другие обозначения, используемые в инструкции	148		
2 Безопасность	149		
2.1 Использование по назначению	149		
2.2 Компоненты из стекла	149		
3 Описание устройства	150		
3.1 YDK03MS	150		
3.2 YDK04MS	151		
4 Монтаж	152		
4.1 Комплект поставки	152		
4.2 Распаковка	152		
4.3 Монтировать изделие	152		
4.3.1 Монтировать YDK03MS в весы	152		
4.3.2 Монтировать YDK04MS в весы	154		
4.3.3 Выберите химический стакан и погружное устройство	155		
		4.3.4 Монтировать стеклянный опускной цилиндр	156
		4.3.5 Монтировать термометр	156
5 Управление	157		
5.1 Метод определения плотности	157		
5.2 Источники ошибок и возможности корректировки	158		
5.3 Определение плотности	161		
5.3.1 Определение плотности твердых тел	161		
5.3.2 Определение плотности твердых тел, чья плотность меньше 1 г/см ³	162		
5.3.3 Определение плотности жидкостей	165		
5.4 Значения плотности	166		
6 Формулы	167		

1 Об этой инструкции

1.1 Действительность

Данное руководство является частью изделия. Данное руководство действует для изделия в следующих исполнениях:

Изделие:	Тип
Комплект для определения плотности для лабораторных весов Cubis® с дискретностью от 0,1 мг до 0,01 мг	YDK03MS
Комплект для определения плотности для лабораторных весов Cubis® с дискретностью 1 мг	YDK04MS

1.2 Применимые документы

- ▶ Дополнительно к данному руководству соблюдайте следующие документы:
 - Руководство используемых лабораторных весов

1.3 Обозначения, используемые в инструкции

1.3.1 Предупредительные указания в описании действий

УВЕДОМЛЕНИЕ

Обозначает опасность, которая может привести к материальному ущербу, если ее **не** предупредить.

1.3.2 Другие обозначения, используемые в инструкции

- ▶ Инструкция по выполнению действия: описывает действия, которые следует выполнить.
- ▷ Результат: описание результата выполненных действий.

2 Безопасность

2.1 Использование по назначению

Изделие используется для определения плотности твердых тел или жидкостей. Для определения плотности твердых тел следует использовать тестовую жидкость.

Изделие необходимо использовать с лабораторными весами Sartorius с подходящей дискретностью.

Если на лабораторных весах установлена программа для определения плотности: Программа и комплект для определения плотности позволяют автоматически определять показатели плотности.

При использовании программ для определения плотности: Определение плотности необходимо выполнить согласно руководству по эксплуатации лабораторных весов.

Изделие предназначено исключительно для эксплуатации в соответствии с данным руководством. Любое использование, выходящее за пределы указанного считается **ненадлежащим**.

2.2 Компоненты из стекла

Стекланный опускной цилиндр, химические стаканы и термометр изготовлены из стекла. Опасность травмирования при повреждении стекла.

- ▶ При повреждении стеклянного опускного цилиндра, химических стаканов или термометра: Замените стеклянный опускной цилиндр, химические стаканы или термометр.

3 Описание устройства

3.1 YDK03MS

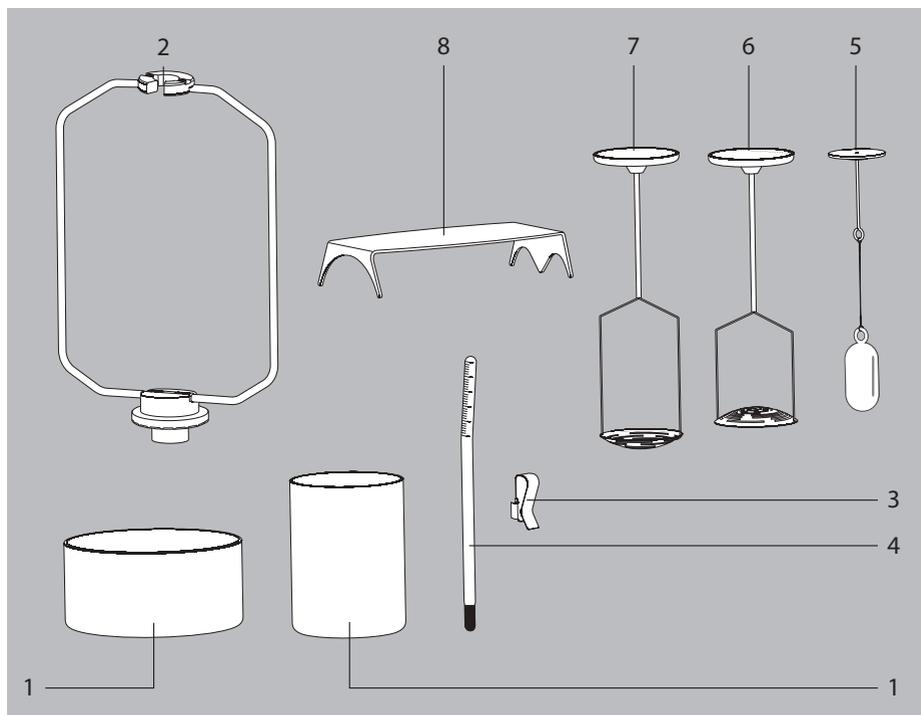


Рис. 1: Компоненты YDK03MS

Поз.	Наименование	Поз.	Наименование
1	Химические стаканы (Ø 90 мм и Ø 55 мм)	5	Стекланный опускающий цилиндр
2	Корпус	6	Погружное сито
3	Зажим для крепления термометра, при поставке установлена на термометре	7	Погружная корзина
4	Термометр	8	Перемычка

3.2 YDK04MS

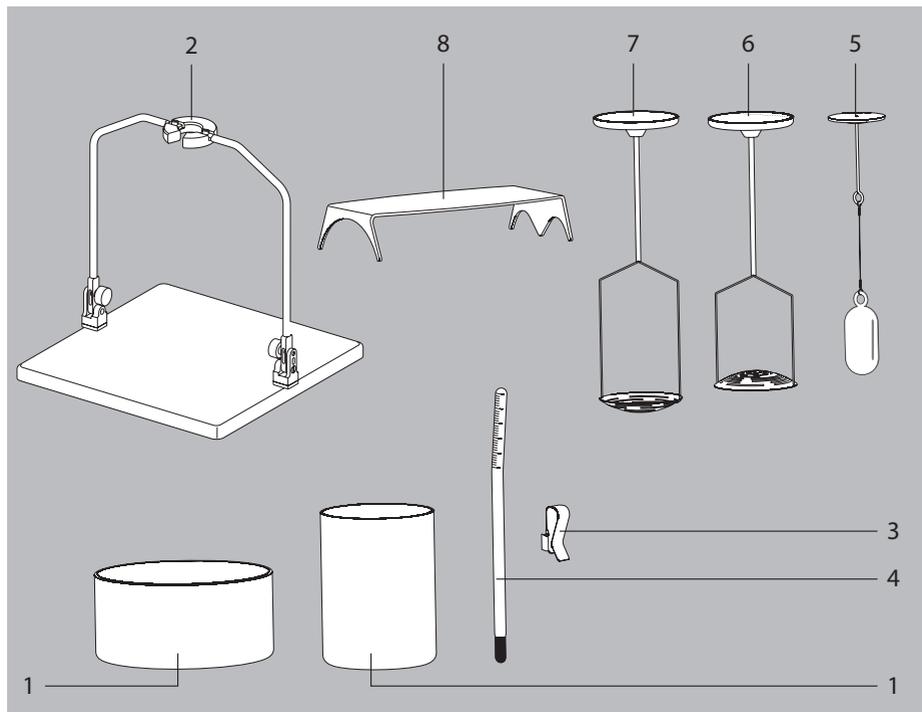


Рис. 2: Компоненты YDK04MS

Поз.	Наименование	Поз.	Наименование
1	Химические стаканы (\varnothing 90 мм и \varnothing 55 мм)	5	Стеклянный опускной цилиндр
2	Корпус	6	Погружное сито
3	Зажим для крепления термометра, при поставке установлена на термометре	7	Погружная корзина
4	Термометр	8	Перемычка

4 Монтаж

4.1 Комплект поставки

Артикул	Количество
Химический стакан (Ø 90 мм и Ø 55 мм)	2
Корпус	1
Зажим для крепления термометра	1
Термометр	1
Стекланный опускной цилиндр	1
Погружное сито	1
Погружная корзина	1
Перемычка	1

4.2 Распаковка

Порядок действий

УВЕДОМЛЕНИЕ

Повреждение компонентов при распаковке!

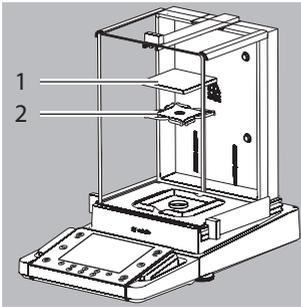
▶ Изделие состоит из хрупких компонентов. Аккуратно распакуйте все детали.

4.3 Монтировать изделие

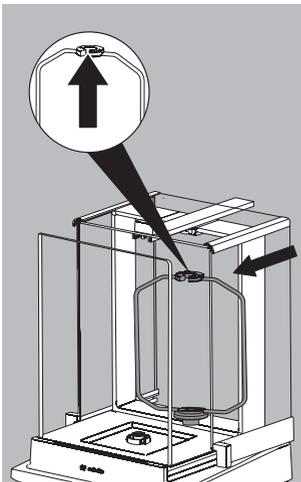
4.3.1 Монтировать YDK03MS в весы

Условия

Доступны лабораторные весы типа Cubis® с дискретностью 0,1 мг или 0,01 мг.

Порядок действий

- ▶ Снимите следующие детали с весов:
 - чашу весов (1);
 - держатель чаши (2);



- ▶ Вставьте корпус в камеру взвешивания. Клинообразное отверстие сверху на корпусе должен смотреть в направлении, где вставляется погружная корзина (погружное сито/стеклянный опускающийся цилиндр).



- ▶ Поставьте перемычку для размещения химического стакана через корпус на весы.

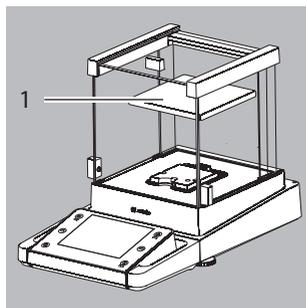
4.3.2 Монтировать YDK04MS в весы

Условия

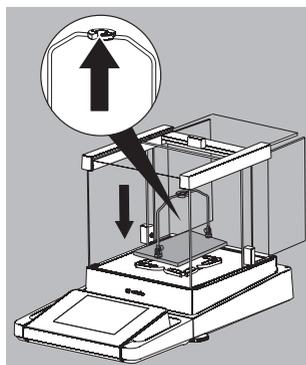
Доступны лабораторные весы типа Cubis® с дискретностью 1 мг.

Порядок действий

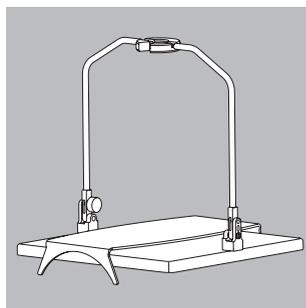
- ▶ Снимите чашу весов (1) с весов.



- ▶ Вставьте корпус в камеру взвешивания. Клинообразное отверстие сверху на корпусе должно смотреть в направлении, где вставляется погружная корзина (погружное сито/стеклянный опускающийся цилиндр).



- ▶ Поставьте переключатель для размещения химического стакана через корпус на весы.

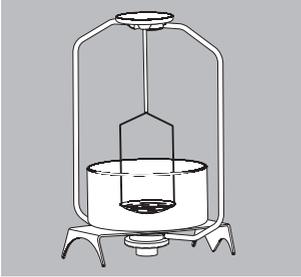


4.3.3 Выберите химический стакан и погружное устройство

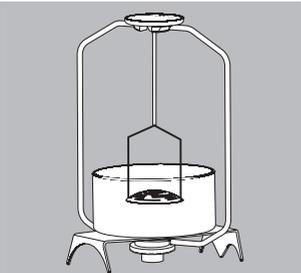
Порядок действий

- ▶ Выберите химический стакан или погружное устройство. Выбор химического стакана и погружного устройства зависит от определяемой пробы.

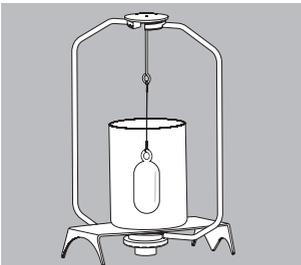
Обзор химического стакана и погружного устройства:



- Для определения плотности твердых тел, чья плотность выше плотности жидкости для окуна-ния: потребуется химический стакан (сд 90 мм и погружная корзина



- Для определения плотности твердых тел, чья плотность ниже плотности жидкости для окуна-ния: потребуется химический стакан с \varnothing 90 мм и погружное сито



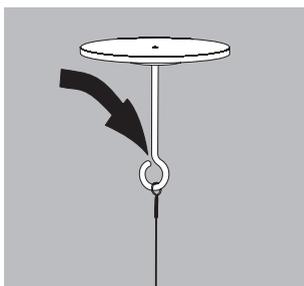
- Для определения плотности жидкостей: потребу-ется химический стакан с \varnothing 55 мм и стеклянный опускающийся цилиндр

4.3.4 Монтировать стеклянный опускной цилиндр

На стеклянном опускном цилиндре закреплена проволока с ушком. Ушко проволоки должно быть заведено в крепление стеклянного опускного цилиндра.

Порядок действий

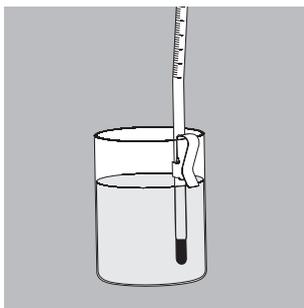
- ▶ **УВЕДОМЛЕНИЕ** Поломанная проволока из-за изгиба! Вытяните стеклянный опускной цилиндр за стеклянное ушко из упаковки. При этом **не** перегибайте проволоку стеклянного опускного цилиндра.
- ▶ Ушко проволоки стеклянного опускного цилиндра вставьте в скобу крепления.
- ▶ Зафиксируйте крепление стеклянного опускного цилиндра на корпусе.



4.3.5 Монтировать термометр

Порядок действий

- ▶ Позиционировать термометр в стеклянной таре.
- ▶ Если необходимо закрепить термометр: Зафиксируйте термометр зажимом для крепления на ободке стеклянной тары.



5 Управление

5.1 Метод определения плотности

Для определения плотности твердого тела для используемого устройства измерения применяется «принцип Архимеда»:

- На тело, погруженное в воду, действует направленная вверх подъемная сила. Эта сила равна весу жидкости, вытесненной объемом тела.
- С помощью гидростатических весов, которые позволяют взвешивать твердое тело как в воздухе, так и в воде, можно определить плотность твердого тела, если известна плотность подъемной среды:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot \rho(fl)}{W(a) - W(fl)}$$

или

определить плотность жидкости, если известен объем погружного тела.

$$\rho(fl) = \frac{G}{V}$$

При этом:

ρ	Плотность твердого тела
$\rho(fl)$	Плотность жидкости
$W(a)$	Вес твердого тела в воздухе
$W(fl)$	Вес твердого тела в жидкости
G	Подъем погружного тела
V	Объем погружного тела

5.2 Источники ошибок и возможности корректировки

УВЕДОМЛЕНИЕ

Неправильный порядок действий при юстировке весов!

- ▶ Перед юстировкой снимите держатель образца комплекта для определения плотности.
-

Формула определения плотности твердых тел позволяет получить результат с точностью от одного до двух знаков после запятой. В зависимости от необходимой точности необходимо учитывать следующие коэффициенты ошибок и поправок:

- Температурная зависимость плотности подъемной жидкости
- Подъемная сила при взвешивании в воздухе
- Изменение глубины погружения чаши перемычки при погружении образца
- Сцепление жидкости на подвесной проволоке створок скобы
- прилипшие к образцу воздушные пузыри

Ошибки можно частично исправить с помощью компьютера. Для этого необходимо измерить температуру жидкости и внести соответствующие поправки в плотность жидкости и предварительно задать фиксированное значение внутреннего диаметра сосуда для размещения жидкости.

Температурная зависимость плотности жидкости

Плотность подъемной жидкости зависит от температуры. Изменение плотности в зависимости от изменения температуры в °C осуществляется в таком соотношении:

- 0,02 % для дистиллированной воды
- 0,1 % для спиртов и углеводов

Изменение может обнаружиться в 3-ем знаке после запятой при определении плотности.

Для внесения поправок в плотность жидкости относительно температуры действуйте следующим образом:

- Температура жидкости измеряется поставленным термометром.
- Плотность воды можно взять из главы «5.4 Значения плотности», страница 166 и использовать для ρ (fl).

Подъемная сила в воздухе

Объем воздуха 1 см³ в зависимости от температуры, влажности и давления воздуха может весить 1,2 мг. При взвешивании в воздухе каждый см³ объема тела действует соответствующая подъемная сила. Таким образом получаемая ошибка при несоблюдении подъемной силы в воздухе обнаруживается в третьем знаке после запятой и поэтому ее необходимо исправить.

Формула учета подъемной силы в воздухе следующая:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(fl) - \rho(a)]}{W(a) - W(fl)} + \rho(a)$$

При этом $\rho(a) = 0,0012 \text{ г/см}^3 =$ плотность воздуха при стандартных условиях (температура 20°C, давление 101,325 кПа).

Глубина погружения

Чаша для размещения или погружения образца в процессе взвешивания в жидкости неподвижно закреплена двумя проволоками и погружается в жидкость примерно на 30 мм. Поскольку перед каждой процедурой взвешивания весы тарируются, дополнительный подъем из-за погруженной части измерительного прибора не включается в определение плотности.

При взвешивании в жидкости вытесняется объем жидкости равный объему телу образца. Это приводит к тому, что крепежная проволока чаши погружается глубже и образует дополнительные подъемные усилия, которые включаются в процесс определения плотности как ошибка.

Эта ошибка исправляется в процессе использования по следующей формуле:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(fl) - \rho(a)]}{0,99983 [W(a) - W(fl)]} + \rho(a)$$

Поскольку поправочный коэффициент определяется исключительно по геометрии прибора, необходимо обязательно следить за тем, чтобы для определения плотности твердого тела использовался только поставленный сосуд с увеличенным диаметром (90 мм). Этот поправочный коэффициент выведен в главе «6 Формулы», страница 167.

Сцепление жидкости на проволоке

При погружении погружной корзины (погружного сита) в подъемную жидкость жидкость ползет по проволоке вверх под действием силы сцепления и образует дополнительный вес в размере нескольких миллиграмм.

Поскольку погружная корзина (погружное сито) при взвешивании как в воздухе, так и в жидкости находится в подъемной среде и перед каждой процедурой измерения веса тарируются, воздействие мениска жидкости можно не принимать во внимание.

Для уменьшения поверхностного напряжения и трения жидкости по проволоке к содержимому сосуда дист. воды добавляют около трех капель ПАВ (Mirasol Antistatic или обычное моющее средство).

В связи с подъемом подъемной жидкости по проволоке значение взвешивания после появления символа «г» может еще слегка измениться. Поэтому значение взвешивания необходимо считывать сразу после появления символа «г».

Воздушные пузыри

Ошибку измерения, которая образуется из-за прилипающих к образцу воздушных пузырьков можно определить следующим образом. Для воздушного пузыря диаметром 0,5 мм дополнительный подъем при взвешивании в воде меньше 0,1 мг. При диаметре 1 мм дополнительный подъем равен уже около 0,5 мг, а при диаметре 2 мм около 4,2 мг. Более крупные воздушные пузырьки необходимо обязательно убрать с помощью тонкой кисточки или подобного вспомогательного инструмента.

Увлажнение также можно выполнить заранее в отдельном сосуде.

5.3 Определение плотности

5.3.1 Определение плотности твердых тел

Подготовка

В следующем описании используется дист. вода.

Порядок действий

- ▶ Расположите химический стакан большого диаметра (\varnothing 90 мм) посередине на перемычке
- ▶ Наполните химический стакан по уровню прим. 5 мм до верха дист. водой.
- ▶ Добавьте 3 капли ПАВ в дист. воду.
- ▶ Зафиксируйте термометр зажимом на ободке химического стакана.
- ▶ Очистите погружную корзину растворителем (в частности погружаемую проволоку) и вставьте в корпус.

Процесс измерения

Должен быть определен вес образца в воздухе.

Порядок действий

- ▶ Тарировать весы.
- ▶ Положите образец на чашу весов и взвесьте.
- ▶ Запишите значение веса W (a).

Определение подъема $G = W$ (a) – W (fl)

Порядок действий

- ▶ Тарируйте весы с образцом на чаше весов.
- ▶ Положите образец в погружную корзину. Для этого снимите чашу перемычки с измерительного прибора и следите за тем, чтобы при повторном погружении в жидкость **не** прилипали дополнительные воздушные пузырьки, для этого по возможности подавайте образец напрямую пинцетом и или чем-то подобным.
- ▶ Запишите абсолютное значение отображаемого подъема G со знаком минус.

Расчет плотности

Порядок действий

- ▶ Считайте температуру.
- ▶ Используйте значение плотности ρ (fl) из таблицы в приложении с учетом считанной температуры.
- ▶ Рассчитайте плотность по следующей формуле:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(\text{fl}) - 0.0012 \text{ г/см}^3]}{0.99983 G} + 0.0012 \text{ г/см}^3$$

$W(a)$ и G в г; $\rho(\text{fl})$ в г/см³ $G = W(a) - W(\text{fl})$

5.3.2 Определение плотности твердых тел, чья плотность меньше 1 г/см³

Для твердых тел, чья плотность меньше 1 г/см³ доступно два разных метода определения плотности.

Метод 1

В качестве подъемной жидкости далее будет использоваться дист. вода. Используется чаша перемычки с перевернутой чашей сита (погружное сито).

Для определения подъема образец сначала необходимо расположить на поверхности воды и затем окунуть с помощью извлеченного заранее погружного сита.

Но при этом с помощью пинцета или чего-то подобного можно также разместить образец под чашей сита (без извлечения погружного сита из корпуса).

Если подъем измеряемой субстанции больше веса погружного сита, вес погружного сита необходимо увеличить с помощью дополнительного груза на чаше весов.

Метод 2

В качестве подъемной среды используется жидкость, чья плотность меньше плотности определяемого твердого тела. Хорошо себя зарекомендовал этанол (плотностью прим. до. 0,8 г/см³).

При использовании этанола негативное воздействие поверхностного напряжения жидкости на результаты измерения становится меньше, чем при использовании дист. воды. Поэтому добавление ПАВ не требуется.

При работе с этанолом необходимо обязательно соблюдать действующие требования безопасности.

Второй метод необходимо применять в тех случаях, когда плотность твердого тела лишь незначительно отличается от плотности дист. воды. Поскольку образец в воде находится во взвешенном состоянии, при применении первого метода может возникнуть ошибка измерения. Также целесообразно применять второй метод тогда, когда необходимо определить плотность гранулянта. При использовании первого метода в этом случае сложно разместить гранулянт полностью под чашей сита.

Этанол не следует использовать в том случае, если образец удалось ухватить (растворить).

Подготовка

В следующем описании используется дист. вода.

Порядок действий

- ▶ Расположите химический стакан большого диаметра (Ø 90 мм) посередине на перемычке
- ▶ Наполните химический стакан по уровню прим. 5 мм до верха дист. водой.
- ▶ Добавьте 3 капли ПАВ в дист. воду.
- ▶ Зафиксируйте термометр зажимом на ободке химического стакана.
- ▶ Очистите погружное сито растворителем (в частности погружаемую проволоку) и вставьте в корпус.

Процесс измерения

Должен быть определен вес образца в воздухе.

Порядок действий

- ▶ Тарировать весы.
- ▶ Положите образец на чашу весов и взвесьте.
- ▶ Запишите значение веса $W(a)$.

Определение подъема $G = W(a) - W(fl)$

Порядок действий

- ▶ Тарируйте весы с образцом на чаше весов.
- ▶ Положите образец в погружную корзину. Для этого снимите чашу перемычки с измерительного прибора и следите за тем, чтобы при повторном погружении в жидкость **не** прилипали дополнительные воздушные пузырьки, для этого по возможности подавайте образец напрямую пинцетом или чем-то подобным.
- ▶ Запишите абсолютное значение отображаемого подъема G со знаком минус.

Расчет плотности

Порядок действий

- ▶ Считайте температуру.
- ▶ Используйте значение плотности $\rho(fl)$ из таблицы в главе «5.4 Значения плотности», страница 166 с учетом считанной температуры.
- ▶ Рассчитайте плотность по следующей формуле:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot \rho(fl)}{0.99983 G} + 0.0012 \text{ г/см}^3$$

$W(a)$ и G в г; $\rho(fl)$ в г/см³ $G = W(a) - W(fl)$

5.3.3 Определение плотности жидкостей

Подготовка

Порядок действий

- ▶ Расположите химический стакан небольшого диаметра (\varnothing 55 мм) посередине на перемычке.
- ▶ Зафиксируйте термометр зажимом на ободке химического стакана.

Процесс измерения

Порядок действий

- ▶ Вставьте конический диск с висящим на проволоке стеклянным опускным цилиндром в корпус.
- ▶ Тарировать весы.
- ▶ Наполните химический стакан определяемой жидкостью до отметки 10 мм над стеклянным опускным цилиндром.

Определение подъема $G = W(a) - W(fl)$

Отображаемое на весах отрицательное значение веса равно подъему, который действует на опускное тело в жидкости.

Порядок действий

- ▶ Запишите отображаемый подъем G со знаком минус.
- ▶ Считайте температуру и запишите ее.

Расчет плотности

Порядок действий

► Рассчитайте плотность по следующей формуле:

$$\rho \text{ (fl)} = \frac{G}{V}$$

G в г; V в см³

Объем стеклянного погружного тела из комплекта для определения жидкости равен 10 см³.

Текущая плотность жидкости (в г/см³) выводится очень просто. Для этого переставьте запятую на индикации весов на один десятичный знак влево.

5.4 Значения плотности

Значения плотности H₂O (дегазированная вода) при температуре T (в °C) в г/см³

T/°C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
10	0.99970	0.99969	0.99968	0.99967	0.99966	0.99965	0.99964	0.99963	0.99962	0.99961
11	0.99960	0.99959	0.99958	0.99957	0.99956	0.99955	0.99954	0.99953	0.99952	0.99951
12	0.99950	0.99949	0.99947	0.99946	0.99945	0.99944	0.99943	0.99941	0.99940	0.99939
13	0.99938	0.99936	0.99935	0.99934	0.99933	0.99931	0.99930	0.99929	0.99927	0.99926
14	0.99924	0.99923	0.99922	0.99920	0.99919	0.99917	0.99916	0.99914	0.99913	0.99911
15	0.99910	0.99908	0.99907	0.99905	0.99904	0.99902	0.99901	0.99899	0.99897	0.99896
16	0.99894	0.99893	0.99891	0.99889	0.99888	0.99886	0.99884	0.99883	0.99881	0.99879
17	0.99877	0.99876	0.99874	0.99872	0.99870	0.99869	0.99867	0.99865	0.99863	0.99861
18	0.99860	0.99858	0.99856	0.99854	0.99852	0.99850	0.99848	0.99846	0.99844	0.99842
19	0.99840	0.99838	0.99837	0.99835	0.99833	0.99831	0.99829	0.99826	0.99824	0.99822
20	0.99820	0.99818	0.99816	0.99814	0.99812	0.99810	0.99808	0.99806	0.99803	0.99801
21	0.99799	0.99797	0.99795	0.99793	0.99790	0.99788	0.99786	0.99784	0.99781	0.99779
22	0.99777	0.99775	0.99772	0.99770	0.99768	0.99765	0.99763	0.99761	0.99758	0.99756
23	0.99754	0.99751	0.99749	0.99747	0.99744	0.99742	0.99739	0.99737	0.99734	0.99732
24	0.99729	0.99727	0.99725	0.99722	0.99720	0.99717	0.99714	0.99712	0.99709	0.99707
25	0.99704	0.99702	0.99699	0.99697	0.99694	0.99691	0.99689	0.99686	0.99683	0.99681
26	0.99678	0.99676	0.99673	0.99670	0.99667	0.99665	0.99662	0.99659	0.99657	0.99654
27	0.99651	0.99648	0.99646	0.99643	0.99640	0.99637	0.99634	0.99632	0.99629	0.99626
28	0.99623	0.99620	0.99617	0.99615	0.99612	0.99609	0.99606	0.99603	0.99600	0.99597
29	0.99594	0.99591	0.99588	0.99585	0.99582	0.99579	0.99576	0.99574	0.99571	0.99568
30	0.99564	0.99561	0.99558	0.99555	0.99552	0.99549	0.99546	0.99543	0.99540	0.99537

Список литературы (ссылка):

- NIST ITS-90 Density of Water Formulation for Volumetric Standards Calibration, Volume 97, Number 3, Chapter 3.3 Density of Air-Free Water $\rho \text{ (kg m}^{-3}\text{)} = 999.85308 + 6.32693 \times 10^{-2} t - 8.523829 \times 10^{-3} t^2 + 6.943248 \times 10^{-5} t^3 - 3.821216 \times 10^{-7} t^4$
- DAkKS-DKD-LF-8-2 калибровочная жидкость вода – DakKS, Приложение 1, таблица A

6 Формулы

Для улучшенного понимания ниже будут выведены используемые формулы и поправочный коэффициент.

Основные положения

$$\text{Плотность} = \frac{\text{Масса (г)}}{\text{Объем (см}^3\text{)}}$$

Закон Архимеда:

На тело, погруженное в воду, действует подъемная сила (G). Эта сила равна весу жидкости, вытесненной объемом тела. Объем погруженного тела V (s) равен объему вытесненной жидкости V (fl).

Определяется:

1. Вес в воздухе W (a)
2. Подъем тела в жидкости (G)

Плотность тела равна:

$$\rho = \frac{\text{Масса тела}}{\text{Объем тела}} = \frac{W (a)}{V (s)} = \frac{W (a)}{V (fl)}$$

Если плотность $\rho (fl)$ вытесненной воды известна, получается

$$V (fl) = \frac{\text{Масса (fl)}}{\rho} = \frac{G}{\rho (fl)}$$

За этим следует:

$$\rho = \frac{W (a) \cdot \rho (fl)}{G}$$

Расчет

Плотность твердого тела рассчитывается из соотношения

$$\rho : W (a) = \rho (fl) : [W (a) - W (fl)]$$

Из этого следует:

$$\rho = \frac{W (a) \cdot \rho (fl)}{W (a) - W (fl)}$$

$W (a) - W (fl) = G$ = подъем образца

Плотность жидкости рассчитывается из подъема погружного тела с заданным объемом.

$$\rho (fl) = \frac{G}{V}$$

При этом:

ρ	Плотность твердого тела
$\rho (fl)$	Плотность жидкости
$W (a)$	Вес твердого тела в воздухе
$W (fl)$	Вес твердого тела в жидкости
G	Подъем погружного тела
V	Объем погружного тела

Поправки

Для внесения поправок в определение плотности твердых тел учитывается:

- Подъемная сила в воздухе, которая действует на образец при взвешивании в воздухе.

При этом $\rho (a) = 0,0012 \text{ г/см}^3$ = плотность воздуха при стандартных условиях (температура 20°C, давление 101,325 кПа); Отсюда следует:

$$\rho = \frac{W (a) \cdot [\rho (fl) - \rho (a)]}{W (a) - W (fl)} + \rho (a)$$

- Погружение проволок погружной корзины или погружного сита
При использовании данного комплекта для определения плотности подъем $G = [W(a) - W(fl)]$ необходимо умножить на коэффициент 0,99983 (погр.).
Расширенная формула:

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(fl) - \rho(a)]}{[W(a) - W(fl)] \cdot \text{погр.}} + \rho(a)$$

Этот коэффициент образуется при учете подъема проволок, которые погружаются глубже при размещении образца.

Выведение поправочного коэффициента:

Подъем из-за погружаемых проволок зависит от высоты «h», на которую поднимается жидкость при погружении образца.

При этом объем образца $V(pr)$ равен объему жидкости $V(fl)$.

Объем образца определяется путем измерения подъема. То есть:

$$V(pr) = V(fl)$$

или

$$\frac{W(a) - W(fl)}{\rho(fl)} = \frac{\pi \cdot h \cdot D^2}{4}$$

$$\text{Тогда } h = \frac{4 \cdot [W(a) - W(fl)]}{\rho(fl) \cdot \pi \cdot D^2}$$

Вызванный погружением проволок подъем «А» равен:

$$A = 2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h \cdot \rho(fl)$$

При использовании «h» получается:

$$\rho = \frac{2 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot 4 \cdot [W(a) - W(fl)] \cdot \rho(fl)}{4 \cdot \rho(fl) \cdot \pi \cdot D^2}$$

$$A = 2 \cdot \frac{d^2}{D^2} \cdot [W(a) - W(fl)]$$

Для учета подъема проволоки от рассчитанного подъема образца:

$G = W(a) - W(fl)$ необходимо отнять вызванный проволоками подъем «А».

Таким образом используемое при расчете значение подъема «А (попр.)» будет следующим: $G - «А»$.

$$A(\text{попр.}) = [W(a) - W(fl)] - 2 \cdot \frac{d^2}{D^2} \cdot [W(a) - W(fl)]$$

$$A(\text{попр.}) = \left[1 - 2 \cdot \frac{d^2}{D^2} \right] \cdot [W(a) - W(fl)]$$

В комплекте для определения плотности для определения плотности твердых тел используется химический стакан большого диаметра ($\varnothing 90$ мм) и погружное устройство с двумя проволоками диаметром 0,7 мм.

При использовании значений для $d = 0,7$ мм и $D = 90$ мм поправочный коэффициент вытекает из:

$$1 - 2 \cdot \frac{0,7^2}{90^2} = \mathbf{0.99983}$$

При использовании устройств других размеров поправочный коэффициент соответственно необходимо рассчитать заново.

目录

1 关于本文档	172	5 运行	181
1.1 有效性.....	172	5.1 用于测定密度的方法.....	181
1.2 其它适用文档	172	5.2 误差源和修正选项.....	182
1.3 使用的符号	172	5.3 密度测定.....	185
1.3.1 操作描述中的警告 信息.....	172	5.3.1 测定固体的密度... 185	
1.3.2 其它符号	172	5.3.2 测定密度低于 1 克/立方厘米的固 体的密度	186
2 安全	173	5.3.3 测定液体的密度... 189	
2.1 预期用途.....	173	5.4 密度值.....	190
2.2 玻璃组件.....	173	6 公式	191
3 设备说明	174		
3.1 YDK03MS.....	174		
3.2 YDK04MS.....	175		
4 安装	176		
4.1 标准配置.....	176		
4.2 拆封设备.....	176		
4.3 安装产品.....	176		
4.3.1 将 YDK03MS 安装到 天平.....	176		
4.3.2 将 YDK04MS 安装到 天平.....	178		
4.3.3 选择烧杯和沉浸 装置.....	179		
4.3.4 安装玻璃锤	180		
4.3.5 安装温度计	180		

1 关于本文档

1.1 有效性

操作说明为产品的一部分。这些说明适用于以下版本的产品：

产品	型号
用于 Cubis® 实验室天平的密度测定工具，天平可读性为 0.1 毫克和 0.01 毫克	YDK03MS
用于 Cubis® 实验室天平的密度测定工具，天平可读性为 1 毫克	YDK04MS

1.2 其它适用文档

- ▶ 除这些说明之外，请遵循以下文档：
 - 所用实验室天平的说明

1.3 使用的符号

1.3.1 操作描述中的警告信息

注意

本符号表示如果不避免该危险，可能导致财产损失的风险。

1.3.2 其它符号

- ▶ 所需的操作：描述必须执行的操作。
- ▷ 结果：描述已执行的操作的结果。

2 安全

2.1 预期用途

本产品用于测定固体或液体的密度。为了测定固体的密度，必须使用测试液体。

本产品必须跟具有适当可读性的 Sartorius 实验室天平一起操作。

如果实验室天平具有密度测定程序：可以使用密度测定工具和密度测定应用程序自动计算密度值。

如果使用密度测定程序测定密度：必须如实验室天平操作说明所述测定密度。产品经过专门设计，仅可按照这些说明使用。任何未按照指示的操作均视为不当。

2.2 玻璃组件

玻璃锤、烧杯和温度计采用玻璃制成。破碎的玻璃可能导致伤害。

► 如果玻璃锤、烧杯或温度计破损：更换玻璃锤、烧杯或温度计。

3 设备说明

3.1 YDK03MS

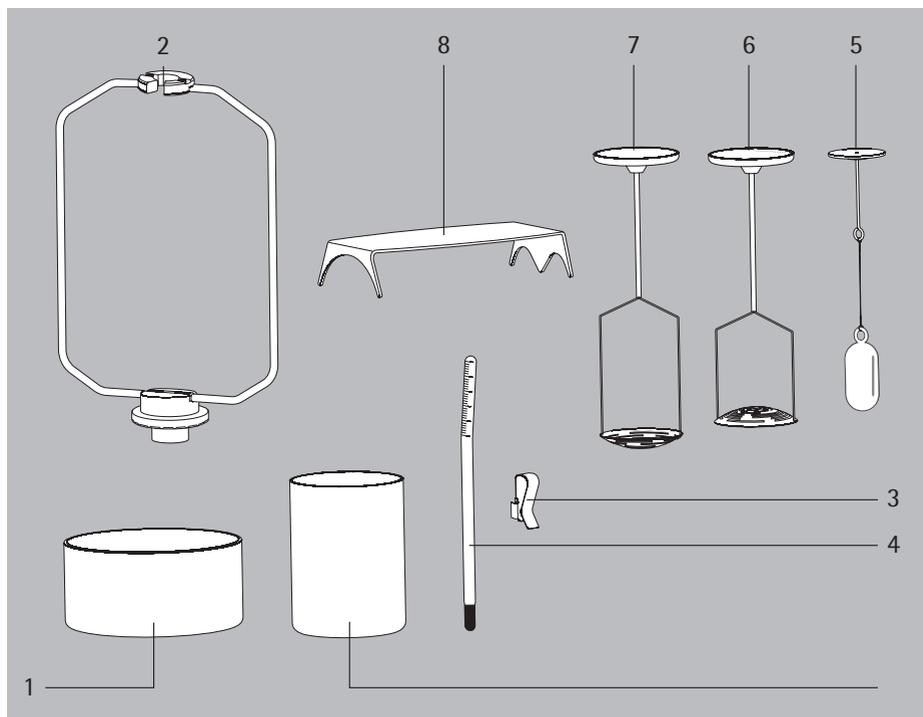


图. 1: YDK03MS 组件

编号	名称	编号	名称
1	烧杯 (直径 90 mm 和直径 55 mm)	5	玻璃锤
2	支架	6	滤网
3	温度计固定夹, 交付时已安装	7	样品支架
4	温度计	8	桥

3.2 YDK04MS

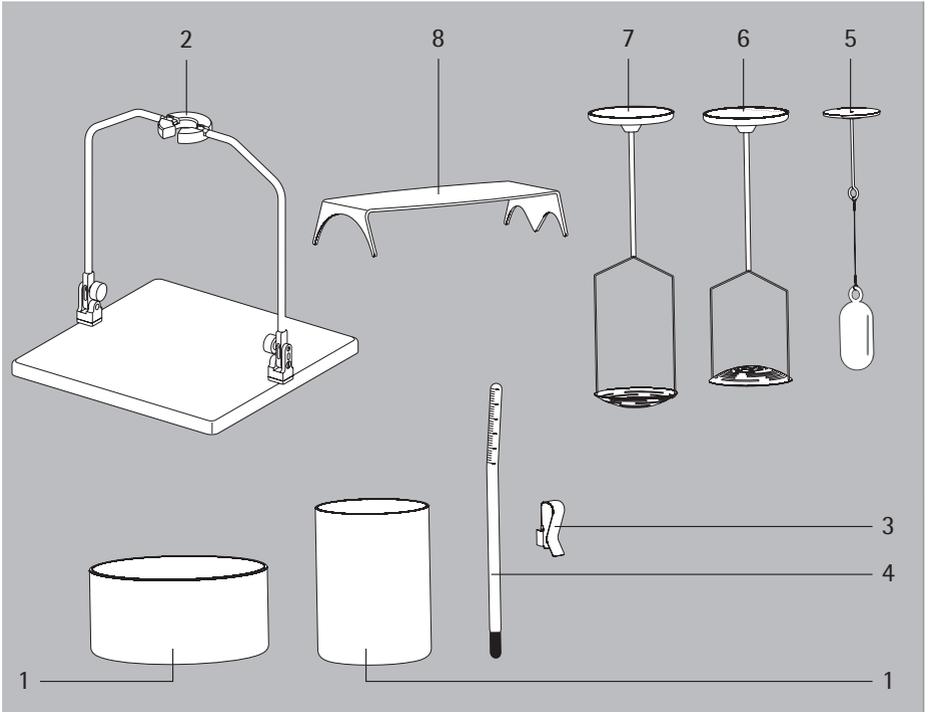


图.2: YDK04MS 组件

编号	名称	编号	名称
1	烧杯 (直径 90 mm 和直径 55 mm)	5	玻璃锤
2	支架	6	滤网
3	温度计固定夹, 交付时已安装	7	样品支架
4	温度计	8	桥

4 安装

4.1 标准配置

项目	数量
烧杯（直径 90 毫米 和直径 55 毫米）	2
支架	1
温度计固定夹	1
温度计	1
玻璃锤	1
滤网	1
样品支架	1
桥	1

4.2 拆封设备

程序

注意

打开包装时可能会损坏组件！

▶ 本产品包含易碎组件。打开所有部件包装时请小心。

4.3 安装产品

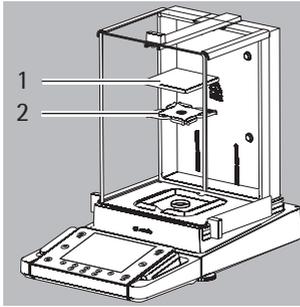
4.3.1 将 YDK03MS 安装到天平

先决条件

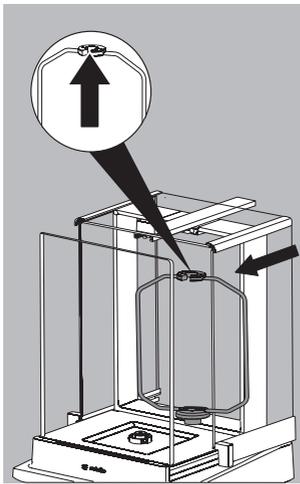
可读性为 0.1 毫克或 0.01 毫克的 Cubis® 实验室天平

程序

- ▶ 从天平上拆卸以下部件：
 - 称重盘 (1)
 - 盘支架 (2)



- ▶ 将支架插入称重室内。支架顶部的楔形开孔务必面向样品托盘（滤网/玻璃锤）放入支架内的方向。



- ▶ 将可以盛放烧杯的桥穿过支架放置在天平上。



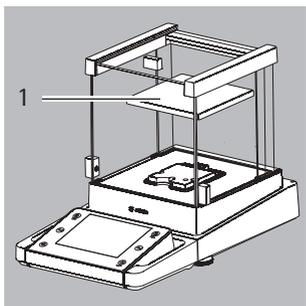
4.3.2 将 YDK04MS 安装到天平

先决条件

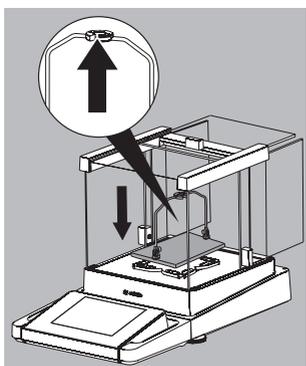
可读性为 1 毫克的 Cubis® 实验室天平

程序

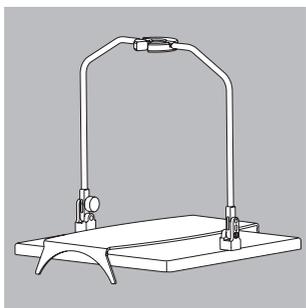
- ▶ 从天平上拆下称重盘（1）。



- ▶ 将支架插入称重室内。支架顶部的楔形开孔务必面向样品托盘（滤网/玻璃锤）放入支架内的方向。



- ▶ 将可以盛放烧杯的桥穿过支架放置在天平上。



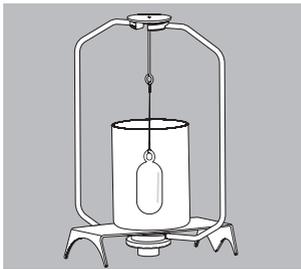
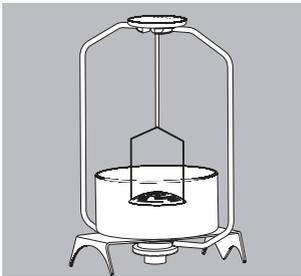
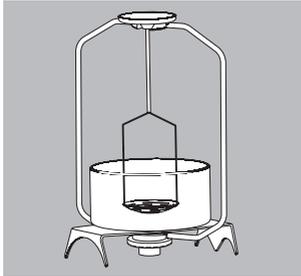
4.3.3 选择烧杯和沉浸装置

程序

- ▶ 选择烧杯或沉浸装置。烧杯或沉浸装置的选择取决于待测定的样品。

烧杯和沉浸装置的概述：

- 要测定密度大于所沉浸液体的固体的密度：需要直径 90 毫米的烧杯和样品托盘
- 要测定密度小于所沉浸液体的固体的密度：需要直径 90 毫米的烧杯和样品盘
- 要测定液体的密度：需要直径 55 毫米的烧杯和玻璃锤

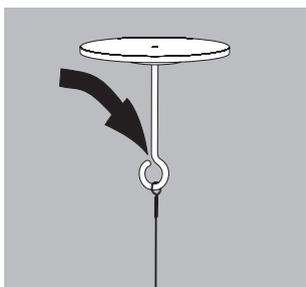


4.3.4 安装玻璃锤

一条线通过线孔系在玻璃锤上。线孔必须挂在玻璃锤的钩子上。

程序

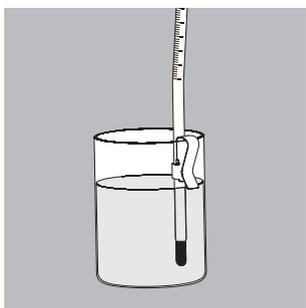
- ▶ **注意** 如果弯曲，线可能会断裂！将玻璃锤通过玻璃眼孔拉出包装。请勿弯曲玻璃锤上的线。
- ▶ 将玻璃锤上的线孔绕在固定器的钩子上。
- ▶ 将玻璃锤的钩子安装到支架。



4.3.5 安装温度计

程序

- ▶ 将温度计放入烧杯。
- ▶ 如果需要安装温度计：使用固定夹将温度计固定到烧杯边缘。



5 运行

5.1 用于测定密度的方法

本测量装置使用阿基米德原理测定固体密度：

- 浸入液体的固体承受向上的浮力。该力等于固体排开的液体的重力。
- 利用允许您在空气以及水中称量固体的流体静力学天平，如果浮力介质密度已知，就可以测定固体的密度：

$$\rho = \frac{W(a) \cdot \rho(fl)}{W(a) - W(fl)}$$

或

如果浸入固体的体积已知，则可测定液体的密度。

$$\rho(fl) = \frac{G}{V}$$

其中：

- ρ 固体的密度
- $\rho(fl)$ 液体的密度
- $W(a)$ 固体在空气中的重量
- $W(fl)$ 固体在液体中的重量
- G 浸入物体的浮力
- V 浸入物体的体积

5.2 误差源和修正选项

注意

调整天平时程序不正确！

- ▶ 在调整前，移除密度测定套件的样品托盘。
-

用于测定固体密度的公式足以实现一位至两位小数点的精确度。根据所需的精度，请考虑下列误差和修正系数：

- 温度对浮力液体密度的影响
- 在空气中称重时的空气浮力
- 浸入样品时铁盘浸入深度的变化
- 液体黏着在铁盘的拉线上
- 附着在样品上的气泡

某些误差可以通过数学方法纠正。因此，有必要测量液体的温度，并相应修正液体密度，以确定容纳液体的容器内径。

温度对液体密度的影响

浮力液体的密度受温度影响。温度每变化一摄氏度密度变化如下：

- 蒸馏水，0.02%
- 酒精和碳氢化合物，0.1%

在密度测定期间，该变化可以表现在第三个小数位。

要根据温度修正液体密度，请执行下列步骤：

- 使用提供的温度计测量液体温度
- 水的密度可以在章节“5.4 密度值”，第 190 页的表格中查看，可以用于 ρ (fl)。

空气浮力

根据温度、湿度和气压，1 立方厘米体积大气的重量约为 1.2 毫克。在空气中称重时，每立方厘米的物体承受相应的浮力。空气浮力导致的误差不允许出现在第三个小数位，因此应进行修正。

以下公式中考虑了浮力：

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(fl) - \rho(a)]}{W(a) - W(fl)} + \rho(a)$$

其中 $\rho(a) = 0.0012$ 克/立方厘米 = 标准条件（温度 20° C、气压 101.325 千帕）下的空气密度。

浸入深度

在液体中称重期间，用于固定和/或浸入样品的盘刚性连接到两根连接线上并浸入液体表面以下大约 30 毫米。由于每次测量之前天平已经去皮，测量装置浸入部分产生的其它浮力未计入密度测定。

如果在液体中称重，跟样品体积对应的液体体积被取代。这导致盘上的固定线浸入更深，并产生额外的浮力，产生密度测定误差。

以下公式将纠正该误差：

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(fl) - \rho(a)]}{0.99983 [W(a) - W(fl)]} + \rho(a)$$

由于修正系数仅由装置几何结构决定，必须确保只有随大直径烧杯（90 毫米）提供的容器用于测定固体密度。章节“6 公式”，第 191 页说明了该修正系数的获取方法。

液体对线的粘着力

当样品架（或滤网）浸入浮力液体时，液体由于粘附力的作用会抬起连接线并产生几毫克的额外重量。

无论在空气中还是在液体中称重，由于样品架（或滤网）位于浮力介质中，且在每次测量开始时天平已去皮，可以忽略液体弯月面的影响。

为了减少液体对线的表面张力和摩擦，将三滴表面活性剂（Mirasol 防静电剂或普通洗涤剂）添加到容器中的蒸馏水里。

由于液体会抬起连接线，在显示“g”之后，重量值可能会继续缓慢变化。因此，在显示“g”后应立即读取重量值。

气泡

因气泡粘附在样品上所产生的测量误差可以如下评估。如果气泡直径为 0.5 毫米，在水中称重时会产生低于 0.1 毫克的额外浮力。如果气泡直径为 1 毫米，额外浮力约为 0.5 毫克。如果直径在 2 毫米左右，则大约 4.2 毫克。因此必须用细毛刷或类似工具除去较大的气泡。

也可以在单独的容器中提前加入湿气。

5.3 密度测定

5.3.1 测定固体的密度

准备

在以下描述中，均使用蒸馏水。

程序

- ▶ 将较大口径的烧杯（直径 90 毫米）放在桥的中心。
- ▶ 为烧杯注水，直至蒸馏水水位处在烧杯边缘之下约 5 毫米
- ▶ 将三滴表面活性剂添加到蒸馏水中。
- ▶ 使用固定夹将温度计固定到烧杯边缘。
- ▶ 使用溶剂清洁样品架（特别注意浸入的线）并将其悬挂在支架上。

测量程序

样品重量必须在空气中测定。

程序

- ▶ 将天平去皮。
- ▶ 将样品放在支架称重盘上并称重。
- ▶ 记下重量值 $W(a)$ 。

测定浮力

$$G = W(a) - W(fl)$$

程序

- ▶ 用支架称重盘上的样品对天平去皮。
- ▶ 将样品置于样品架：从测量装置移除铁盘，并确保重新浸入时无额外气泡附着；如果可能，使用镊子或类似工具直接添加样品。
- ▶ 记下浮力 G 的绝对值，前面带负号。

计算密度

程序

- ▶ 读取温度。
- ▶ 使用读取的温度在表格中找到密度值 ρ (fl)。
- ▶ 使用下列公式计算密度：

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(fl) - 0.0012 \text{ g/cm}^3]}{0.99983 G} + 0.0012 \text{ g/cm}^3$$

$W(a)$ 和 G (单位为克) ; $\rho(fl)$ (单位为克/立方厘米) $G = W(a) - W(fl)$

5.3.2 测定密度低于 1 克/立方厘米的固体的密度

有两种不同的方法可用于测定密度低于 1 克/立方厘米的固体的密度。

方法 1

仍使用蒸馏水作为浮力液体。但是，铁盘被更换为颠倒的滤网盘（滤网）。要测定样品的浮力，先让其放在水面，然后使用之前移除的滤网将其浸入。也可以使用镊子或相似工具将样品直接置于滤网下面（无需从支架上移除滤网）。

如果要测量的物质浮力大于滤网的重量，则必须在支架称重盘上添加额外砝码来增加滤网的重量。

方法 2

必须使用密度小于待测固体密度的液体作为浮力介质。使用乙醇（密度最大约为 0.8 克/立方厘米）进行测量时，获得了良好的结果。

在使用乙醇时，液体表面张力对结果的负面影响没有使用蒸馏水时那么明显。因此，不需要添加表面活性剂。

在使用乙醇时，必须采取有效的安全预防措施。

如果固体的密度与蒸馏水的密度相差甚微，请使用第二种方法。当样品悬浮在水中，如果使用第一种方法，则可能出现测量误差。要测定颗粒物质的密度，同样应当使用第二种方法。此时，使用第一种方法很难将整个样品置于滤网之下。

如果乙醇会腐蚀或溶解样品，请不要使用乙醇。

准备

在以下描述中，均使用蒸馏水。

程序

- ▶ 将较大口径的烧杯（直径 90 毫米）放在桥的中心。
- ▶ 为烧杯注水，直至蒸馏水水位处在烧杯边缘之下约 5 毫米
- ▶ 将三滴表面活性剂添加到蒸馏水中。
- ▶ 使用固定夹将温度计固定到烧杯边缘。
- ▶ 使用溶剂清洁滤网（特别注意浸入的线）并将其悬挂在支架上。

测量程序

样品重量必须在空气中测定。

程序

- ▶ 将天平去皮。
- ▶ 将样品放在支架称重盘上并称重。
- ▶ 记下重量值 $W(a)$ 。

测定浮力

$$G = W(a) - W(fl)$$

程序

- ▶ 用支架称重盘上的样品对天平去皮。
- ▶ 将样品置于样品架：从测量装置移除铁盘，并确保重新浸入液体时无额外气泡附着；如果可能，使用镊子或类似工具直接添加样品。
- ▶ 记下浮力 G 的绝对值，前面带负号。

计算密度

程序

- ▶ 读取温度。
- ▶ 使用读取的温度在章节“5.4 密度值”，第 190 页的表格查找密度值 $\rho(fl)$ 。
- ▶ 使用下列公式计算密度：

$$\rho = \frac{W(a) \cdot \rho(fl)}{0.99983 G} + 0.0012 \text{ g/cm}^3$$

$W(a)$ 和 G （单位为克）； $\rho(fl)$ （单位为克/立方厘米） $G = W(a) - W(fl)$

5.3.3 测定液体的密度

准备

程序

- ▶ 将较小直径的烧杯（直径 55 毫米）放在桥的中心。
- ▶ 使用固定夹将温度计固定到烧杯边缘。

测量程序

程序

- ▶ 将带有玻璃锤的盘片（悬挂在连接线上）从支架悬吊下来。
- ▶ 将天平去皮。
- ▶ 使用待测试的液体加注烧杯，直至液体液位高于玻璃锤 10 毫米。

测定浮力 $G = W(a) - W(fl)$

天平显示的负数重量对应于液体作用在玻璃锤上的浮力。

程序

- ▶ 记下浮力 G ，前面带负号。
- ▶ 读取并记录温度。

计算密度

程序

► 使用下列公式计算密度：

$$\rho \text{ (fl)} = \frac{G}{V}$$

G 的单位为克，V 的单位为立方厘米

密度测定套件中包含的玻璃锤的体积为 10 立方厘米。

获取液体的实际密度（克/立方厘米）很容易；将天平显示读数的小数点向左移动一位。

5.4 密度值

H₂O（无气水）在温度 T（°C）时的密度，单位为克/立方厘米

T/° C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
10	0.99970	0.99969	0.99968	0.99967	0.99966	0.99965	0.99964	0.99963	0.99962	0.99961
11	0.99960	0.99959	0.99958	0.99957	0.99956	0.99955	0.99954	0.99953	0.99952	0.99951
12	0.99950	0.99949	0.99947	0.99946	0.99945	0.99944	0.99943	0.99941	0.99940	0.99939
13	0.99938	0.99936	0.99935	0.99934	0.99933	0.99931	0.99930	0.99929	0.99927	0.99926
14	0.99924	0.99923	0.99922	0.99920	0.99919	0.99917	0.99916	0.99914	0.99913	0.99911
15	0.99910	0.99908	0.99907	0.99905	0.99904	0.99902	0.99901	0.99899	0.99897	0.99896
16	0.99894	0.99893	0.99891	0.99889	0.99888	0.99886	0.99884	0.99883	0.99881	0.99879
17	0.99877	0.99876	0.99874	0.99872	0.99870	0.99869	0.99867	0.99865	0.99863	0.99861
18	0.99860	0.99858	0.99856	0.99854	0.99852	0.99850	0.99848	0.99846	0.99844	0.99842
19	0.99840	0.99838	0.99837	0.99835	0.99833	0.99831	0.99829	0.99826	0.99824	0.99822
20	0.99820	0.99818	0.99816	0.99814	0.99812	0.99810	0.99808	0.99806	0.99803	0.99801
21	0.99799	0.99797	0.99795	0.99793	0.99790	0.99788	0.99786	0.99784	0.99781	0.99779
22	0.99777	0.99775	0.99772	0.99770	0.99768	0.99765	0.99763	0.99761	0.99758	0.99756
23	0.99754	0.99751	0.99749	0.99747	0.99744	0.99742	0.99739	0.99737	0.99734	0.99732
24	0.99729	0.99727	0.99725	0.99722	0.99720	0.99717	0.99714	0.99712	0.99709	0.99707
25	0.99704	0.99702	0.99699	0.99697	0.99694	0.99691	0.99689	0.99686	0.99683	0.99681
26	0.99678	0.99676	0.99673	0.99670	0.99667	0.99665	0.99662	0.99659	0.99657	0.99654
27	0.99651	0.99648	0.99646	0.99643	0.99640	0.99637	0.99634	0.99632	0.99629	0.99626
28	0.99623	0.99620	0.99617	0.99615	0.99612	0.99609	0.99606	0.99603	0.99600	0.99597
29	0.99594	0.99591	0.99588	0.99585	0.99582	0.99579	0.99576	0.99574	0.99571	0.99568
30	0.99564	0.99561	0.99558	0.99555	0.99552	0.99549	0.99546	0.99543	0.99540	0.99537

参考：

- NIST ITS-90 容积标准校准的水溶剂密度，卷 97，编号 3，章节 3.3 无气水的密度 $\rho \text{ (kg m}^{-3}\text{)} = 999.85308 + 6.32693 \times 10^{-2} t - 8.523829 \times 10^{-3} t^2 + 6.943248 \times 10^{-5} t^3 - 3.821216 \times 10^{-7} t^4$
- DAKS-DKD-LF-8-2 校准液体水 - DakS, 附录 1, 表 A

6 公式

为了更好的理解该过程，下面解释了公式和修正因子背后的理论。

基本原理

$$\text{密度} = \frac{\text{质量 (克)}}{\text{体积 (立方厘米)}}$$

阿基米德原理称：

浸入液体的固体将会承受浮力 (G)。该力等于固体排开的液体的重力。浸入固体的体积 V (s) 等于排开液体的体积 V (fl)。

测定下列数值：

1. 空气中的重量 W (a)
2. 固体在液体中的浮力 (G)

物体密度为：

$$\rho = \frac{\text{物体质量}}{\text{物体体积}} = \frac{W (a)}{V (s)} = \frac{W (a)}{V (fl)}$$

如果排开液体的密度 $\rho (fl)$ 已知：

$$V (fl) = \frac{\text{质量 (fl)}}{\rho} = \frac{G}{\rho (fl)}$$

则：

$$\rho = \frac{W (a) \cdot \rho (fl)}{G}$$

计算

固体密度的计算基于以下比率：

$$\rho : W(a) = \rho(fl) : [W(a) - W(fl)]$$

则：

$$\rho = \frac{W(a) \cdot \rho(fl)}{W(a) - W(fl)}$$

$W(a) - W(fl) = G =$ 样品的浮力

从浸入物体的浮力测定液体的密度，其中浸入物体的体积已定。

$$\rho(fl) = \frac{G}{V}$$

其中：

ρ	固体的密度
$\rho(fl)$	液体的密度
$W(a)$	固体在空气中的重量
$W(fl)$	固体在液体中的重量
G	浸入物体的浮力
V	浸入物体的体积

修正

修正测定的密度时，必须考虑以下：

- 样品在空气中称重时所受的空气浮力。
其中 $\rho(a) = 0.0012$ 克/立方厘米 = 标准条件（温度 20° C、气压 101.325 千帕）下的空气密度；结果：

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(fl) - \rho(a)]}{W(a) - W(fl)} + \rho(a)$$

- 样品架或滤网线的浸入
使用该比重测定套件时，必须将浮力 $G = [W(a) - W(fl)]$ 乘以系数 0.99983（修正）。扩展公式：

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(fl) - \rho(a)]}{[W(a) - W(fl)] \cdot \text{corr}} + \rho(a)$$

该系数考虑了引入样品时浸入更深的线的浮力。

推导修正系数的方法：

浸入线产生的浮力取决于浸入样品时液体上升的高度“h”。

在此，样品体积 $V(pr)$ 对应于液体体积 $V(fl)$ 。

样品体积通过测量浮力测出。因此：

$$V(pr) = V(fl)$$

或

$$\frac{W(a) - W(fl)}{\rho(fl)} = \frac{\pi \cdot h \cdot D^2}{4}$$

$$\text{则 } h = \frac{4 \cdot [W(a) - W(fl)]}{\rho(fl) \cdot \pi \cdot D^2}$$

浸入线产生的浮力“A”是：

$$A = 2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h \cdot \rho(fl)$$

当使用“h”时：

$$\rho = \frac{2 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot 4 \cdot [W(a) - W(fl)] \cdot \rho(fl)}{4 \cdot \rho(fl) \cdot \pi \cdot D^2}$$

$$A = 2 \cdot \frac{d^2}{D^2} \cdot [W(a) - W(fl)]$$

要考虑线的浮力，从测定的样品浮力中减去浸入线产生的浮力“A”：

$G = W(a) - W(fl)$.将用于计算的浮力值“A (corr)”为： $G - “A”$.

$$A(\text{corr}) = [W(a) - W(fl)] - 2 \cdot \frac{d^2}{D^2} \cdot [W(a) - W(fl)]$$

$$A(\text{corr}) = \left[1 - 2 \cdot \frac{d^2}{D^2} \right] \cdot [W(a) - W(fl)]$$

在本密度测定套件中，具有较大口径的烧杯（口径 90 毫米）以及带有 2 根线（直径 0.7 毫米）的浸入装置用来测定固体密度。

当使用数值 $d = 0.7$ 毫米和 $D = 90$ 毫米时，修正系数为：

$$1 - 2 \cdot \frac{0.7^2}{90^2} = \mathbf{0.99983}$$

使用其他尺寸的设备时，必须相应地重新计算修正系数。

目次

1 本書について	196	5 操作	205
1.1 有効性.....	196	5.1 密度測定に使用される 方法.....	205
1.2 その他の関連文書.....	196	5.2 誤差の原因と補正オプシ ョン.....	206
1.3 使用している記号.....	196	5.3 密度測定.....	209
1.3.1 操作説明の警告 情報.....	196	5.3.1 固体の密度測定... ..	209
1.3.2 その他の記号.....	196	5.3.2 密度1 g/cm ³ 未満の 固体の密度測定 ..	210
2 安全	197	5.3.3 液体の密度測定... ..	213
2.1 用途.....	197	5.4 密度の値.....	214
2.2 ガラス製構成部品.....	197	6 公式	215
3 機器の説明	198		
3.1 YDK03MS.....	198		
3.2 YDK04MS.....	199		
4 設置	200		
4.1 同梱物の内容.....	200		
4.2 機器の開梱.....	200		
4.3 製品の設置.....	200		
4.3.1 天びんへのYDK03MS の取り付け.....	200		
4.3.2 天びんへのYDK04MS の取り付け.....	202		
4.3.3 ビーカーと浸漬機器 の選択.....	203		
4.3.4 ガラスプラミットの 設置.....	204		
4.3.5 温度計の設置.....	204		

1 本書について

1.1 有効性

本取扱説明書は製品の一部です。本書の説明は、次のバージョンの製品に適用されます。

製品	型式
Cubis®ラボ用天びん用密度測定キット（読取限度0.1 mg および0.01 mg）	YDK03MS
Cubis®ラボ用天びん用密度測定キット（読取限度1 mg）	YDK04MS

1.2 その他の関連文書

- ▶ 本書の説明に加えて、以下の文書も参照してください。
 - 使用するラボ用天びんの取扱説明書

1.3 使用している記号

1.3.1 操作説明の警告情報

注記

回避しない場合に、物的損害につながる可能性のある危険性を示します。

1.3.2 その他の記号

- ▶ 必要な措置：実行する必要がある措置を表します。
- ▷ 結果：実行した作業の結果を表します。

2 安全

2.1 用途

本製品は、固体または液体の密度測定に使用します。固体の密度測定には、必ず試液を使用します。

本製品は、必ず適切な読取限度のザルトリウスラボ用天びんとともに使用します。

密度測定プログラム搭載のラボ用天びんの場合：密度測定キットと密度測定プログラムを使用して、密度を自動計算できます。

密度測定プログラムを使用して密度を測定する場合：ラボ用天びんの取扱説明書に従って、密度を測定します。

製品を使用する際には、本書に必ず従ってください。これ以外の使用方法は、**不適切**とみなされます。

2.2 ガラス製構成部品

ガラスプラミット、ビーカー、温度計はガラス製です。割れたガラスはけがの原因になります。

- ▶ ガラスプラミット、ビーカー、温度計が損傷した場合：ガラスプラミット、ビーカー、温度計を交換します。

3 機器の説明

3.1 YDK03MS

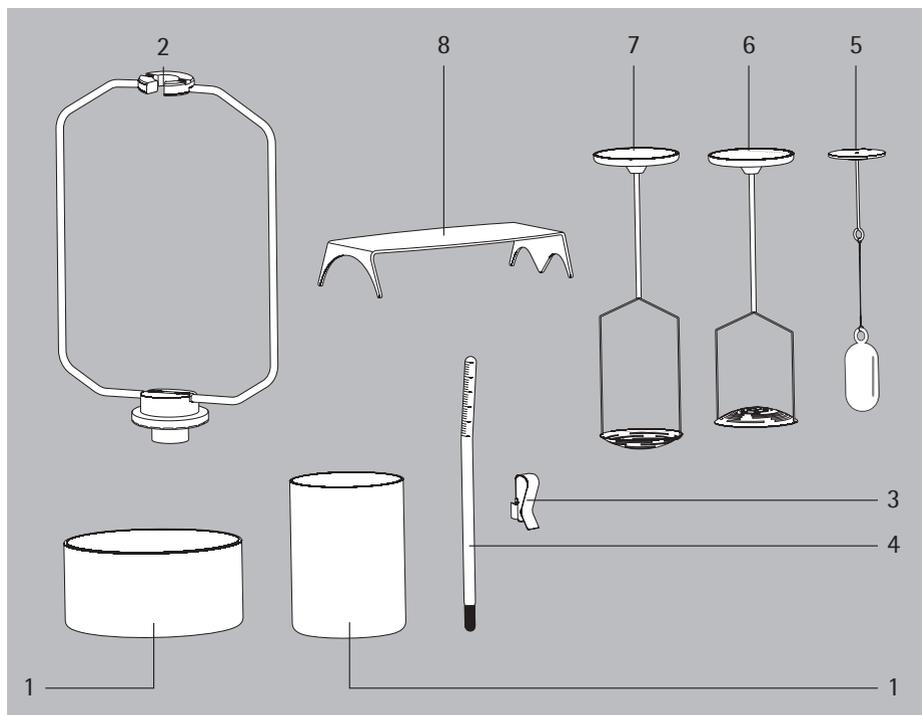


図1: YDK03MSの構成部品

No.	名前	No.	名前
1	ビーカー (φ90 mmおよびφ55 mm)	5	ガラスプラミット
2	フレーム	6	ふるい
3	温度計リテーナークリップ (出荷時に設置済み)	7	試料ホルダー
4	温度計	8	ブリッジ

3.2 YDK04MS

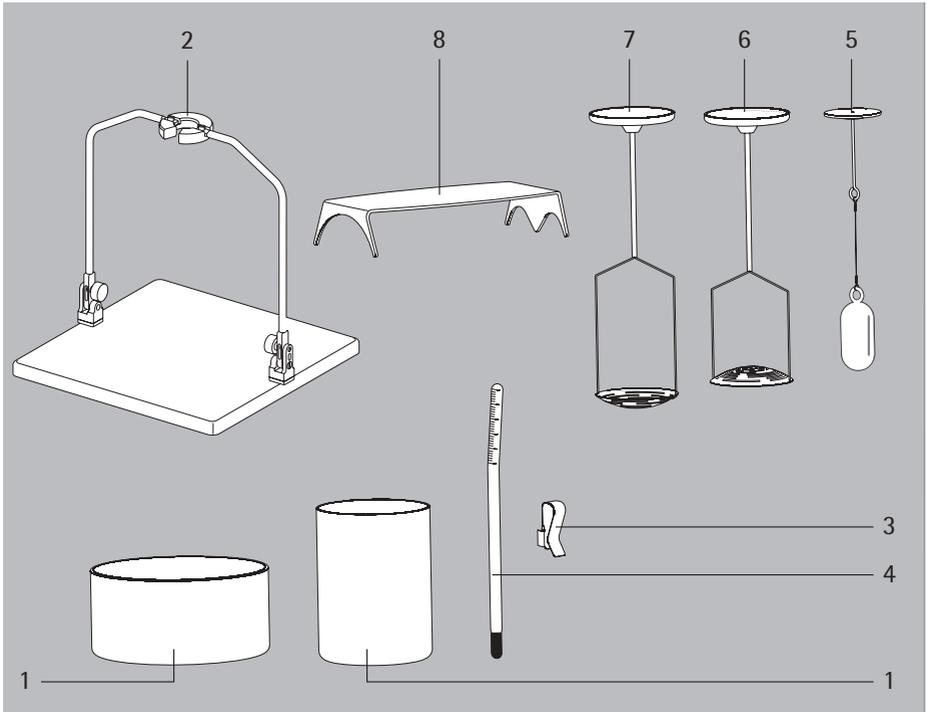


図 2: YDK04MSの構成部品

No.	名前	No.	名前
1	ビーカー (Ø90 mmおよびØ55 mm)	5	ガラスプラミット
2	フレーム	6	ふるい
3	温度計リテーナークリップ (出荷時に設置済み)	7	試料ホルダー
4	温度計	8	ブリッジ

4 設置

4.1 同梱物の内容

品目	数量
ビーカー（ $\phi 90$ mmおよび $\phi 55$ mm）	2
フレーム	1
温度計リテーナークリップ	1
温度計	1
ガラスプラミット	1
ふるい	1
試料ホルダー	1
ブリッジ	1

4.2 機器の開梱

手順

注記

開梱時に構成部品が損傷する恐れがあります。

- ▶ 本製品は、繊細な構成部品で構成されています。すべての部品を慎重に開梱してください。

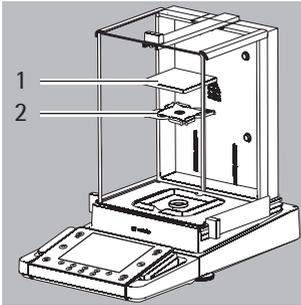
4.3 製品の設置

4.3.1 天びんへのYDK03MSの取り付け

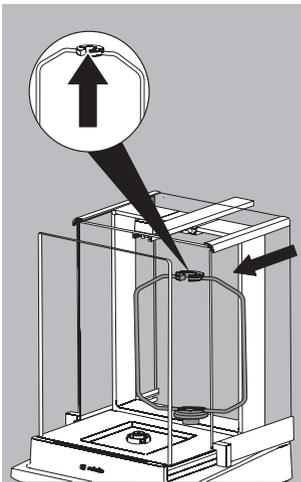
前提条件

Cubis® ラボ用天びん（読取限度0.1 mgまたは0.01 mg）。

手順



- ▶ 以下の部品を天びんから取り外します。
 - ひょう量皿 (1)
 - パンサポート (2)



- ▶ フレームを秤量室に差し込みます。試料ホルダー（ふるい/ガラスプラミット）の挿入口側に、フレーム上部の円の切れ目が向くようにします。



- ▶ 天びん上のフレームにビーカーを置くブリッジをくぐらせます。

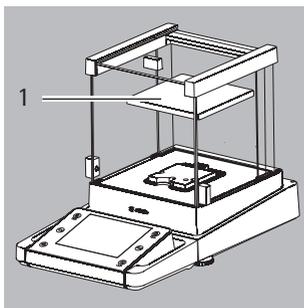
4.3.2 天びんへのYDK04MSの取り付け

前提条件

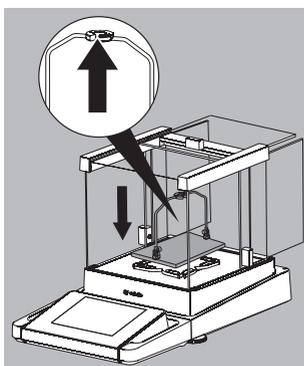
Cubis® ラボ用天びん（読取限度1 mg）。

手順

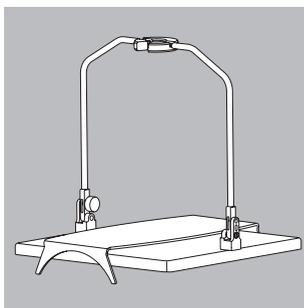
- ▶ 天びんからひょう量皿（1）を取り外します。



- ▶ フレームを秤量室に差し込みます。試料ホルダー（ふるい/ガラスプラミット）の挿入口側に、フレーム上部の円の切れ目が向くようにします。



- ▶ 天びん上のフレームにビーカーを置くブリッジをくぐらせます。



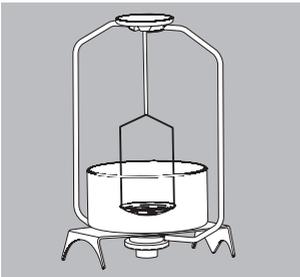
4.3.3 ビーカーと浸漬機器の選択

手順

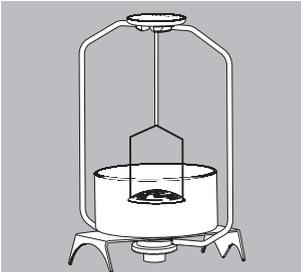
- ▶ ビーカーまたは浸漬機器を選択します。ビーカーと浸漬機器のどちらを選択するかは、測定する試料によって異なります。

ビーカーおよび浸漬機器の概要：

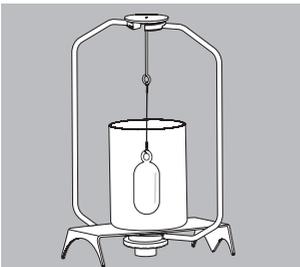
- 固体の密度測定 (密度が浸漬液を超える場合)： $\varnothing 90$ mmのビーカー、および試料ホルダーが必要。



- 固体の密度測定 (密度が浸漬液を下回る場合)： $\varnothing 90$ mmのビーカー、およびひょう量皿が必要。



- 液体の密度測定： $\varnothing 55$ mmのビーカー、およびガラスプラミットが必要。

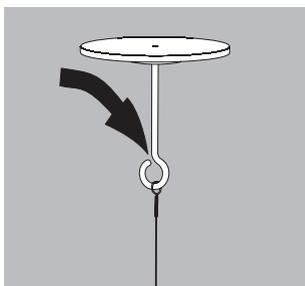


4.3.4 ガラスプラミットの設置

ワイヤは、ワイヤアイレットでガラスプラミットに取り付けられています。ワイヤアイレットが、ガラスプラミットのフックから吊り下がるようにします。

手順

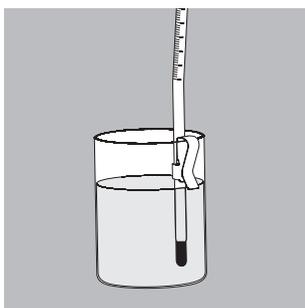
- ▶ **注記** ワイヤは曲げると損傷します。ガラスアイレットを持って、ガラスプラミットを包装から取り出します。ガラスプラミットのワイヤが**折れ曲がらない**ようにします。
- ▶ ガラスプラミットのワイヤアイレットを、リテーナーのフックにかけます。
- ▶ ガラスプラミットのフックをフレームに取り付けます。



4.3.5 温度計の設置

手順

- ▶ ビーカーに温度計を置きます。
- ▶ 温度計を取り付ける必要がある場合：リテーナークリップを使って、温度計をビーカーの縁に取り付けます。



5 操作

5.1 密度測定に使用される方法

本測定機器の固体密度の測定には、「アルキメデスの原理」が使用されています：

- 液体に浸した物体は、上向きの浮力を受けます。この浮力は、その物体によって置き換えられた液体の重量に等しくなります。
- 静水天びんを使用して、空気中と水中で固体を計量します。浮力媒体の密度がわかれば、以下の式で固体の密度を計算できます。

$$\rho = \frac{W(a) \cdot \rho(fl)}{W(a) - W(fl)}$$

または

浸漬対象の容量がわかれば、以下の式で液体の密度を計算できます。

$$\rho(fl) = \frac{G}{V}$$

記号の説明：

ρ	固体の密度
$\rho(fl)$	液体の密度
$W(a)$	空気中の固体の重量
$W(fl)$	液体中の固体の重量
G	浸漬物体の浮力
V	浸漬物体の容量

5.2 誤差の原因と補正オプション

注記

天びんの調整手順を守りましょう。

▶ 調整前に、密度測定キットの試料ホルダーを外します。

小数第一位～第二位までは、この公式で正確に固体の密度を割り出すことができます。求める精度によっては、以下の誤差と補正係数を考慮する必要があります。

- 浮力のある液体の密度に対する温度の影響
- 空気中で測定する場合の空気浮力
- 試料を浸漬する場合の鉄皿の浸漬深度の変化
- 鉄皿のспан線に対する液体の付着性
- 試料に付着した気泡

一部の誤差は、数学的に補正できます。それには、液体の温度を測定し、それに応じて液体密度を修正することと、液体を入れた容器の内径を定義することが必要です。

液体密度に対する温度の影響

浮力のある液体の密度は、温度に依存します。温度変化により、密度は以下のように変化します。

- 蒸留水で0.02%
- アルコールおよび炭化水素で0.1%

この変化は、密度測定時に小数第三位に現れます。

液体密度を温度で修正するには、以下の手順に従います。

- 付属の温度計を使って液体の温度を測定します。
- 水の密度は「5.4 密度の値」（214ページ）の表に記載されています。これは、 $\rho(f)$ に使用できます。

空気浮力

温度、湿度、気圧に応じて、1 cm³ の空気の重量は約1.2 mgになります。空气中で計量する場合、物体はその容量のcm³ 当たりの浮力を受けます。小数第三位に空気浮力を反映したくない場合は、出現した誤差を修正する必要があります。

浮力は、以下の公式で算出します。

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(fl) - \rho(a)]}{W(a) - W(fl)} + \rho(a)$$

$\rho(a) = 0.0012 \text{ g/cm}^3 =$ 通常条件下の空気密度（温度20℃、圧力101.325 kPa）

。

浸漬深度

液体内での計量時に試料の固定/浸漬に使用する皿は、2本のワイヤをしっかりと取り付け、液体表面の約30 mm下に浸漬します。天びんは各測定前にテアーされているため、測定装置の液体に沈んだ部分による追加浮力は、密度の測定に影響しません。

液体内で計量すると、試料本体の容量に対応する液体容量が除かれます。これで、皿のワイヤがさらに深く浸漬され、追加浮力が生じて、密度測定の誤差がもたらされます。

以下の公式で誤差を修正します。

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(fl) - \rho(a)]}{0.99983 [W(a) - W(fl)]} + \rho(a)$$

補正係数は機器の形状で決まるため、固体の密度測定には、必ず付属の大型容器（直径90 mm）を使用します。この補正係数の算出方法は、「6 公式」（215ページ）に記載されています。

ワイヤに対する液体の付着性

試料ホルダー（またはふるい）を浮力のある液体に浸漬すると、液体は付着力の働きでワイヤをつたって上昇し、重量は数ミリグラム増加します。

試料ホルダー（またはふるい）は、空気中の計量でも液体内での計量でも浮力媒体内にあり、天びんは各測定の開始時にテアーされることから、液体メニスカスの影響は無視できます。

ワイヤ上の液体の表面張力と摩擦を減らすには、界面活性剤（Mirasol Antistaticまたは従来型洗剤）3滴を、容器の蒸留水に垂らします。

浮力のある液体がワイヤをつたって上ってくるため、「g」が表示された後もひょう量値はゆっくり変化していきます。こうした理由から、ひょう量値は「g」が表示されたらすぐに読み取る必要があります。

気泡

試料に気泡が付着することにより生じる測定誤差は、以下のように求めます。直径0.5 mmの気泡では、水中計量時に0.1 mg未満の追加浮力が生じます。直径1 mmの気泡では約0.5 mg、直径約2 mmの気泡では約4.2 mgの追加浮力が生じます。このため、大きい気泡は必ず細かいブラシなどで落とす必要があります。

個々の容器に、事前に水分を加えておくこともできます。

5.3 密度測定

5.3.1 固体の密度測定

準備

以下の説明では、蒸留水を使用します。

手順

- ▶ 大型ビーカー（ $\varnothing 90$ mm）をブリッジ中央に置きます。
- ▶ ビーカーの縁から約5 mm下まで、蒸留水を注ぎます。
- ▶ 蒸留水に、界面活性剤を3滴垂らします。
- ▶ リテナークリップを使って、温度計をビーカーの縁に取り付けます。
- ▶ 試料ホルダーを溶剤でクリーニングし（浸漬したワイヤに特に注意する）、フレームに引っかけます。

測定手順

試料の重量は、必ず空气中で測定します。

手順

- ▶ 天びんをテアーします。
- ▶ フレームひょう量皿に試料を乗せて計量します。
- ▶ ひょう量値W (a)を書き留めます。

浮力の測定

$$G = W (a) - W (fl)$$

手順

- ▶ フレームひょう量皿に試料を乗せて天びんをテアーします。
- ▶ 試料を試料ホルダーに置きます。測定機器から鉄皿を外し、液体への再浸漬時に余計な気泡が**付着しない**ようにします。できれば、試料はピンセットなどで直接追加します。
- ▶ マイナス記号の付いた浮力Gの絶対値を書き留めます。

密度の計算

手順

- ▶ 温度を読み取ります。
- ▶ 読み取った温度から、表内の密度値 ρ (fl)を特定します。
- ▶ 以下の公式を使用して密度を計算します。

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(\text{fl}) - 0.0012 \text{ g/cm}^3]}{0.99983 G} + 0.0012 \text{ g/cm}^3$$

W (a)とGの単位はg、 ρ (fl)の単位は g/cm^3 $G = W(a) - W(\text{fl})$

5.3.2 密度 1 g/cm^3 未満の固体の密度測定

密度 1 g/cm^3 未満の固体の密度を測定するには、2つの方法があります。

方法1

蒸留水をそのまま浮力液に使用します。ただし鉄皿は、逆ふるい皿（ふるい）に置き換えます。

試料の浮力を測定するにはまず水面に置き、さらに事前に外しておいたふるいを使ってそれを浸漬します。

ピンセットなどを使って試料を直接ふるい皿の下に置くこともできます（ふるいはフレームから取らない）。

測定する物質の浮力がふるいの重量を超える場合、フレームのひょう量皿に重量を追加することで、ふるいの重量を増やす必要があります。

方法2

測定する固体より密度の低い液体を、浮力媒体に使用します。エタノールを使用すると適切な結果が得られます（最高密度約0.8 g/cm³）。

エタノールを使用する場合、液体の表面張力が結果にもたらす負の影響は、蒸留水を使用する場合より小さくなります。したがって、界面活性剤の使用は必要ありません。

エタノールを使用する場合は、対応する安全に関する注意事項を守ります。

この方法2は、固体の密度が蒸留水の密度とほとんど変わらない場合に使用します。試料を水中に吊り下げる場合、方法1では測定誤差が生じる可能性があります。粒状物質の密度を測定する場合も、方法2を使用するのが妥当です。この場合は、方法1を使ってふるいの下にすべての試料を置くのは困難です。

試料が腐食したり溶けたりする場合は、エタノールを使用しないでください。

準備

以下の説明では、蒸留水を使用します。

手順

- ▶ 大型ビーカー（ $\varnothing 90$ mm）をブリッジ中央に置きます。
- ▶ ビーカーの縁から約5 mm下まで、蒸留水を注ぎます。
- ▶ 蒸留水に、界面活性剤を3滴垂らします。
- ▶ リテーナークリップを使って、温度計をビーカーの縁に取り付けます。
- ▶ ふるいを溶剤でクリーニングし（浸漬したワイヤに特に注意する）、フレームに引っかけます。

測定手順

試料の重量は、必ず空気中で測定します。

手順

- ▶ 天びんをテアーします。
- ▶ フレームひょう量皿に試料を乗せて計量します。
- ▶ ひょう量値W (a)を書き留めます。

浮力の測定

$$G = W (a) - W (fl)$$

手順

- ▶ フレームひょう量皿に試料を乗せて天びんをテアーします。
- ▶ 試料を試料ホルダーに置きます。測定機器から鉄皿を外し、液体への再浸漬時に余計な気泡が**付着しない**ようにします。できれば、試料はピンセットなどで直接追加します。
- ▶ マイナス記号の付いた浮力Gの絶対値を書き留めます。

密度の計算

手順

- ▶ 温度を読み取ります。
- ▶ 読み取った温度から、「5.4 密度の値」（214ページ）の表内の密度値 ρ (fl)を特定します。
- ▶ 以下の公式を使用して密度を計算します。

$$\rho = \frac{W (a) \cdot \rho (fl)}{0.99983 G} + 0.0012 \text{ g/cm}^3$$

W (a)とGの単位はg、 g/cm^3 の ρ (fl) $G = W (a) - W (fl)$

5.3.3 液体の密度測定

準備

手順

- ▶ 小型ビーカー（ ϕ 55 mm）をブリッジ中央に置きます。
- ▶ リテーナークリップを使って、温度計をビーカーの縁に取り付けます。

測定手順

手順

- ▶ ワイヤ1本でガラスプラミットを吊るしたディスクを、フレームから吊るします。
- ▶ 天びんをテアーします。
- ▶ 試験に使用する液体を、ビーカーに注ぎます（ガラスプラミットの10 mm 上まで）。

浮力の測定

$$G = W (a) - W (fl)$$

天びんに表示されるマイナス記号付きの重量は、液体内のガラスプラミットに作用する浮力と一致します。

手順

- ▶ マイナス記号の付いた浮力Gを書き留めます。
- ▶ 温度を読み取り、書き留めます。

密度の計算

手順

▶ 以下の公式を使用して密度を計算します。

$$\rho (\text{fl}) = \frac{G}{V}$$

Gの単位はg、Vの単位はcm³

密度測定キット付属のガラスプラミットの容量は、10 cm³です。

液体の実際の密度 (g/cm³) は、天びんに表示される数値の小数点を一桁左にずらすだけで簡単にわかります。

5.4 密度の値

温度T (°C)、g/cm³のH₂O (ガスフリー水) の密度

T/°C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
10	0.99970	0.99969	0.99968	0.99967	0.99966	0.99965	0.99964	0.99963	0.99962	0.99961
11	0.99960	0.99959	0.99958	0.99957	0.99956	0.99955	0.99954	0.99953	0.99952	0.99951
12	0.99950	0.99949	0.99947	0.99946	0.99945	0.99944	0.99943	0.99941	0.99940	0.99939
13	0.99938	0.99936	0.99935	0.99934	0.99933	0.99931	0.99930	0.99929	0.99927	0.99926
14	0.99924	0.99923	0.99922	0.99920	0.99919	0.99917	0.99916	0.99914	0.99913	0.99911
15	0.99910	0.99908	0.99907	0.99905	0.99904	0.99902	0.99901	0.99899	0.99897	0.99896
16	0.99894	0.99893	0.99891	0.99889	0.99888	0.99886	0.99884	0.99883	0.99881	0.99879
17	0.99877	0.99876	0.99874	0.99872	0.99870	0.99869	0.99867	0.99865	0.99863	0.99861
18	0.99860	0.99858	0.99856	0.99854	0.99852	0.99850	0.99848	0.99846	0.99844	0.99842
19	0.99840	0.99838	0.99837	0.99835	0.99833	0.99831	0.99829	0.99826	0.99824	0.99822
20	0.99820	0.99818	0.99816	0.99814	0.99812	0.99810	0.99808	0.99806	0.99803	0.99801
21	0.99799	0.99797	0.99795	0.99793	0.99790	0.99788	0.99786	0.99784	0.99781	0.99779
22	0.99777	0.99775	0.99772	0.99770	0.99768	0.99765	0.99763	0.99761	0.99758	0.99756
23	0.99754	0.99751	0.99749	0.99747	0.99744	0.99742	0.99739	0.99737	0.99734	0.99732
24	0.99729	0.99727	0.99725	0.99722	0.99720	0.99717	0.99714	0.99712	0.99709	0.99707
25	0.99704	0.99702	0.99699	0.99697	0.99694	0.99691	0.99689	0.99686	0.99683	0.99681
26	0.99678	0.99676	0.99673	0.99670	0.99667	0.99665	0.99662	0.99659	0.99657	0.99654
27	0.99651	0.99648	0.99646	0.99643	0.99640	0.99637	0.99634	0.99632	0.99629	0.99626
28	0.99623	0.99620	0.99617	0.99615	0.99612	0.99609	0.99606	0.99603	0.99600	0.99597
29	0.99594	0.99591	0.99588	0.99585	0.99582	0.99579	0.99576	0.99574	0.99571	0.99568
30	0.99564	0.99561	0.99558	0.99555	0.99552	0.99549	0.99546	0.99543	0.99540	0.99537

参考文献：

- NIST ITS-90 Density of Water Formulation for Volumetric Standards Calibration, Volume 97, Number 3, Chapter 3.3
Density of Air-Free Water ρ (kg m⁻³) = 999.85308 + 6.32693 × 10⁻² t - 8.523829 × 10⁻³ t² + 6.943248 × 10⁻⁵ t³ - 3.821216 × 10⁻⁷ t⁴
- DAkKs-DKDLF-8-2 calibration liquid water - DakKs, annex 1, table A

6 公式

ここでは、プロセスをより深く理解するために、公式と補正係数の背景となる理論を説明します。

基本原理

$$\text{密度} = \frac{\text{質量 (g)}}{\text{容量 (cm}^3\text{)}}$$

アルキメデスの原理：

液体に浸漬した物体は、浮力 (G) を受けます。この浮力は、その物体によって置き換えられた液体の重量に等しくなります。浸漬されている物体の容量 V (s) は、置き換えられた液体 V (fl) の容量と一致します。

以下を測定できます：

1. 空気中での重量 W (a)
2. 液体(G)内での物体の浮力

物体の密度：

$$\rho = \frac{\text{物体の質量}}{\text{物体の容量}} = \frac{W (a)}{V (s)} = \frac{W (a)}{V (fl)}$$

置き換えられた液体の密度 ρ (fl) がわかっている場合：

$$V (fl) = \frac{\text{質量}(fl)}{\rho} = \frac{G}{\rho (fl)}$$

したがって

$$\rho = \frac{W (a) \cdot \rho (fl)}{G}$$

計算

固体の密度は、比率をもとに計算します。

$$\rho : W(a) = \rho(fl) : [W(a) - W(fl)]$$

したがって

$$\rho = \frac{W(a) \cdot \rho(fl)}{W(a) - W(fl)}$$

$$W(a) - W(fl) = G = \text{試料の浮力}$$

液体の密度は、容量を定義した浸漬物体の浮力から割り出します。

$$\rho(fl) = \frac{G}{V}$$

ここでは

ρ	固体の密度
$\rho(fl)$	液体の密度
$W(a)$	空気中の固体の重量
$W(fl)$	液体中の固体の重量
G	浸漬物体の浮力
V	浸漬物体の浮力

補正

密度の測定を補正する場合には、以下を考慮する必要があります。

- 空気中で測定した場合に試料が受ける空気浮力。
 $\rho(a) = 0.0012 \text{ g/cm}^3 = \text{通常条件下の空気密度 (温度 } 20^\circ\text{C、圧力 } 101.325 \text{ kPa)}$ 。
 ここから、

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(fl) - \rho(a)]}{W(a) - W(fl)} + \rho(a)$$

- 試料ホルダーまたはふるいのワイヤの浸漬
この専用密度測定キットを使用すると、浮力 $G = [W(a) - W(fl)]$ に補正係数 0.99983 (corr) が乗じられます。拡張公式：

$$\rho = \frac{W(a) \cdot [\rho(fl) - \rho(a)]}{[W(a) - W(fl)] \cdot \text{corr}} + \rho(a)$$

この係数は、試料を乗せた場合に浸漬が深くなるワイヤの浮力を考慮したものです。

この補正係数の由来：

浸漬したワイヤのもたらず浮力は、試料の浸漬時に液体が上昇する高さ「h」によって変わります。

試料容量 $V(pr)$ は、液体容量 $V(fl)$ に一致します。
試料容量は、浮力の測定によって決まります。したがって

$$V(pr) = V(fl)$$

または

$$\frac{W(a) - W(fl)}{\rho(fl)} = \frac{\pi \cdot h \cdot D^2}{4}$$

$$\text{ここから } h = \frac{4 \cdot [W(a) - W(fl)]}{\rho(fl) \cdot \pi \cdot D^2}$$

浸漬したワイヤのもたらず浮力「A」は、

$$A = 2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h \cdot \rho(fl)$$

「h」を使用すると、

$$\rho = \frac{2 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot 4 \cdot [W(a) - W(fl)] \cdot \rho(fl)}{4 \cdot \rho(fl) \cdot \pi \cdot D^2}$$

$$A = 2 \cdot \frac{d^2}{D^2} \cdot [W(a) - W(fl)]$$

ワイヤの浮力を考慮するには、割り出した試料の浮力から浸漬したワイヤのもたらず浮力「A」を減じます。

$G = W(a) - W(fl)$.計算で使用する浮力値「A (corr)」は、 $G - 「A」$ となります。

$$A(\text{corr}) = [W(a) - W(fl)] - 2 \cdot \frac{d^2}{D^2} \cdot [W(a) - W(fl)]$$

$$A(\text{corr}) = \left[1 - 2 \cdot \frac{d^2}{D^2} \right] \cdot [W(a) - W(fl)]$$

この密度測定キットでは、大型ビーカー（直径90 mm）、および直径0.7 mmのワイヤ2本を使った浸漬機器を使用して、固体の密度を測定します。

$d = 0.7 \text{ mm}$ と $D = 90 \text{ mm}$ を使用する場合、補正係数は以下になります。

$$1 - 2 \cdot \frac{0.7^2}{90^2} = \mathbf{0.99983}$$

これ以外の直径の機器を使用する場合は、補正係数を相応に再計算します。

Sartorius Lab Instruments GmbH & Co. KG
Otto-Brenner-Strasse 20
37079 Goettingen, Germany

Phone: +49.551.308.0
www.sartorius.com

The information and figures contained in these instructions correspond to the version date specified below.

Sartorius reserves the right to make changes to the technology, features, specifications and design of the equipment without notice. Masculine or feminine forms are used to facilitate legibility in these instructions and always simultaneously denote the other gender as well.

Copyright notice:

This instruction manual, including all of its components, is protected by copyright. Any use beyond the limits of the copyright law is not permitted without our approval. This applies in particular to reprinting, translation and editing irrespective of the type of media used.

© Sartorius Germany

Last updated:
10 | 2017