

**Carmen Gabriela Bostan
Rodica Perjoiu**

**Ioana Stoica
Mihaela Mariana Țura**

PHYSIK

8. Klasse



EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ S.A.

INHALTSVERZEICHNIS

Arbeitsschutzregeln im Physiklabor	9
--	---

I. KAPITEL Thermische Erscheinungen 10

I.1. Die Brownsche Bewegung (experimentell). Die Wärmebewegung. Die Diffusion.	10
I.1.1. Die Brownsche Bewegung.....	10
I.1.2. Die Wärmebewegung	10
I.1.3. Die Diffusion	11
I.2. Der Erwärmungszustand. Das thermische Gleichgewicht. Die empirische Temperatur	13
I.3. Die Wärme, eine Prozessgröße	19
I.4. Die Wärmeübertragung (durch Wärmeleitung, Wärmeströmung, Wärmestrahlung)	20
I.5. Technische Erweiterung: der Wärmekraftmotor (qualitativ)	21
I.6. Kalorische Koeffizienten. Kalorimetrie.....	21
I.7. Aggregatzustände, Eigenschaften	25
I.8. <i>Erweiterung:</i> Zustandsänderungen	26
I.9. <i>Fachübergreifende Erweiterung:</i> Der Wärmeaustausch beim Schmelzen des Eises (latente Wärmen)	28
I.10. <i>Technische Erweiterung:</i> Das Bestimmen der Gleichgewichtstemperatur nichthomogener Systeme	31
I.11. <i>Erweiterung:</i> Brennstoffe	32

II. KAPITEL Elektrische und magnetische Erscheinungen 40

II.1. Die Elektrostatik	40
II.1.1. Das Elektrisieren, die elektrische Ladung. Die Wechselwirkung zwischen elektrisierten Körpern .	40
Das Elektrisieren durch Reibung	42
Das Elektrisieren durch Influenz oder durch Induktion	44
Die Wechselwirkung zwischen elektrisierten Körpern.....	44
II.1.2. Das Coulombsche Gesetz (Experimentelle Bestimmung der Größen, welche die elektrische Kraft beeinflussen)	45
II.2. Die Elektrokinetik	47
II.2.1. Elektrische Stromkreise. Die Elemente eines Stromkreises. Elektrische Generatoren	47
II.2.2. Die elektrische Spannung. Die elektrische Stromstärke	49
II.2.3. Messgeräte – das Amperemeter, das Voltmeter, das Ohmmeter, das Wattmeter, das Multimeter	52
II.2.4. Die elektromotorische Spannung	55
II.2.5. Der elektrische Widerstand	56
Die Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes von der Temperatur	59
II.2.6. Das Ohmsche Gesetz für einen Stromkreisabschnitt	61
II.2.7. Das Ohmsche Gesetz für den gesamten Stromkreis	62
Der Generator im Kurzschluss-Betrieb	63
Der Generator im Leerlauf-Betrieb	64
II.2.8. Das Zusammenschalten der Widerstände	65
Die Reihenschaltung	65
Die Parallelschaltung	66
II.2.9. <i>Erweiterung:</i> Die Kirchhoffschen Gesetze	67
Anwendungsregeln der Kirchhoffschen Gesetze	70
II.2.10. Das Zusammenschalten identischer Generatoren (experimentell)	71
Die Reihenschaltung identischer Generatoren	71
Die Parallelschaltung identischer Generatoren	72
II.2.11. Die elektrische Energie und die elektrische Leistung. Das Joulesche Gesetz	73
Die elektrische Energie	73
Die elektrische Leistung	76
Der Wirkungsgrad eines einfachen Stromkreises	78
II.2.12. <i>Erweiterung:</i> Der chemische Effekt des elektrischen Stromes. Die Elektrolyse	78
Anwendungen der Elektrolyse	80

II.2.13. <i>Erweiterung:</i> Der Leistungstransfer in einem einfachen Gleichstromkreis	80
II.3. Der magnetische Effekt des elektrischen Stromes	82
II.3.1. Experimentelles (qualitatives) Studium des magnetischen Effektes. Elektromagnete	86
II.3.2. Die Kraft eines Elektromagneten als Funktion des Stromes (Stärke und Richtungssinn) und als Funktion der Konstruktionsparameter der Spule (Querschnitt, Anzahl der Windungen, Kernmaterial)	87
Die Wechselwirkungskraft zwischen zwei parallelen, stromdurchflossenen Leitern	89
II.3.3. Anwendungen	90
Der Elektromotor	91

III. KAPITEL. Optische Erscheinungen 94

III.1. Einleitung	94
III.1.1. Lichtquellen	94
III.1.2. Die Ausbreitung des Lichtes in verschiedenen Medien (die Absorption, die Dispersion, die Farbe der Körper usw.)	95
III.1.3. Die Lichtstrahlen/das Lichtbündel	97
III.1.4. Die Prinzipien der Ausbreitung des Lichtes	98
III.2. Die Reflexion	99
III.2.1. Die Reflexion des Lichtes	99
III.2.2. Die Reflexionsgesetze – experimentelle Anwendung – ebene Spiegel	99
III.2.3. <i>Erweiterung:</i> Anwendungen der Reflexionsgesetze in der Technik	103
III.3. Die Brechung	106
III.3.1. Die Brechzahl/der Brechungsindex	106
III.3.2. Die Lichtbrechung – experimenteller Nachweis der Erscheinung.....	106
III.3.3. Die Totalreflexion	109
III.3.4. <i>Erweiterung:</i> Die Brechungsgesetze, die Brechzahl	112
III.3.5. Praktische Anwendungen: der Lichtleiter, das Prisma mit Totalreflexion	115
Der Lichtleiter	115
Das Prisma mit Totalreflexion	116
III.4. Dünne Linsen	117
III.4.1. Das experimentelle Bestimmen der Linsenart (konvergent, divergent)	117
III.4.2. Das experimentelle Bestimmen der physikalischen Eigenschaften der dünnen Linsen, der Brennpunkt, die Position des Bildes	118
III.4.3. Die geometrische Konstruktion der Bilder durch eine dünne Linse	121
III.4.4. <i>Erweiterung:</i> Das Ableiten der Formeln für dünne Linsen mithilfe von Elementen der ebenen Geometrie (konjugierte Punkte, lineare transversale Vergrößerung)	123
III.5. Optische Instrumente	127
Das Auge	127
Die Lupe	128
Die Brille	128

IV. KAPITEL. Erweiterung: Die Energie und das Leben 134

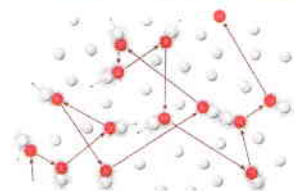
IV.1. Energieformen. Energiequellen – Integrationsthema	134
IV.4.1. Die Umwandlung und die Erhaltung der Energie in verschiedenen Systemen (z. B. das Lebenserhaltungssystem einer Raumstation, andere in Biologie, Geografie usw. gelernte Systeme)	135
Der elektrische Generator.....	135
Der Dynamo	135
Das Wasserkraftwerk	136
Die Windkraftanlage.....	136
Die Geothermalkraftwerke	136
Die Solarkraftwerke	137
Die Energiebilanz des Bodens und der Atmosphäre	137
Der Wirkungsgrad einer Energiekette	138
Das Lebenserhaltungssystem einer Raumstation.	
Das Züchten der Pflanzen auf einer Raumkolonie	139
Wiederholungsaufgaben	141
Lösungen	143

THERMISCHE ERSCHEINUNGEN

I.1. Die Brownsche Bewegung (experimentell). Die Wärmebewegung. Die Diffusion

I.1.1. Die Brownsche Bewegung

Du hast vielleicht schon mal in einem verdunkelten Zimmer, in das ein enger Lichtstrahl einfällt, sich chaotisch bewegende Staubteilchen gesehen, die nicht zu Boden fallen. Ein ähnliches Phänomen hat 1827 der Botaniker Robert Brown beobachtet. Als er unter dem Mikroskop Pollen, die sich in Wasser befanden, beobachtet hat, bemerkte er, dass die Pollen eine ständige, ungeordnete Zickzackbewegung hatten.



Die Brownsche Bewegung
Abbildung I.1



Experimentelle Tätigkeit

Du kannst den Versuch von Brown mit kleinen Styroporteilchen oder Pollenkörnern nachmachen:

- schneide mit einem Messer sehr kleine Styroporteilchen;
- lasse einen Wassertropfen auf die Lamelle eines Mikroskops fallen;
- streue ganz feine Styroporteilchen in den Wassertropfen auf der Lamelle;
- bedecke das Gemisch mit einer zweiten Lamelle;
- beobachte die Bewegung der Styroporteilchen durch das Mikroskop;
- wiederhole den Versuch mit heißem Wasser.



Schlussfolgerung

Die Styroporteilchen befinden sich in einer chaotischen Bewegung. Die Bewegung ist umso schneller, je größer die Temperatur des Wassers ist.

Obwohl er die Bewegung, *Brownsche Bewegung* genannt, sehr ausführlich beschrieben hat, konnte der schottische Botaniker das Phänomen nicht erklären.

I.1.2. Die Wärmebewegung

Die Brownsche Bewegung kann erklärt werden, wenn man berücksichtigt, dass die Atome und Moleküle der Stoffe, unabhängig von ihrem Aggregatzustand, sich in einer chaotischen, ständigen Bewegung befinden, die *Wärmebewegung* genannt wird. In ihrer chaotischen Bewegung stoßen die Moleküle/Atome gegeneinander und ändern so ständig ihre Bewegungsrichtung. Die Wärmebewegung ist temperaturabhängig. Je größer die Temperatur ist, umso stärker ist die Wärmebewegung.



Merke dir!

Die Wärmebewegung ist die chaotische, ständige Bewegung der Atome und Moleküle der Stoffe, unabhängig von ihrem Aggregatzustand. Die Bewegung ist umso stärker, je größer die Temperatur ist.

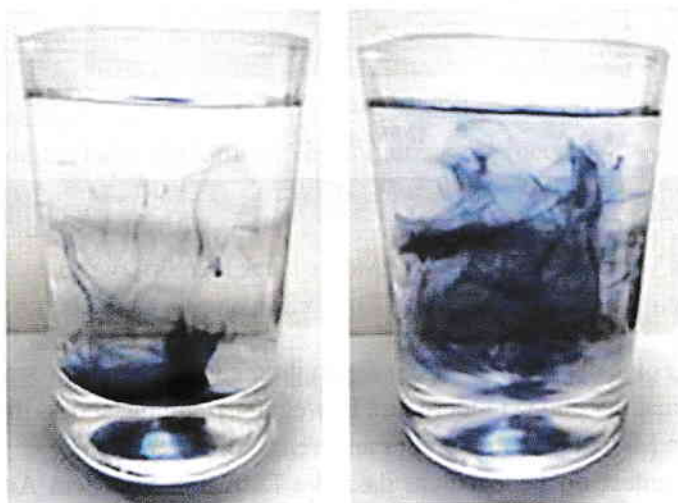
Albert Einstein hat die Bewegung der Pollen erklärt: Die Wassermoleküle, die sich chaotisch bewegen, stoßen gegen die Pollenteilchen und erzeugen die von Brown beobachtete ungeordnete Bewegung. Die von Einstein gelieferte Erklärung ist ein indirekter Beweis für die Existenz der Atome und Moleküle.

Vielleicht hast du schon mal beobachtet, dass wenn du einen Tropfen blaue Tinte in ein Wasserglas gibst, die Farbe sich nach einer gewissen Zeit im Wasser gleichmäßig verteilt, bis die gesamte Flüssigkeit bläulich wird. Führe folgenden Versuch durch, um die Ursache dieses Phänomens zu untersuchen.



Experimentelle Tätigkeit

- Fülle zwei durchsichtige Gläser mit kaltem bzw. warmem Wasser.
- Gib in jedes Gefäß mithilfe einer Pipette zwei oder drei blaue Tintentropfen.
- Warte, bis die Farbe der Flüssigkeit gleichmäßig ist. Du wirst feststellen, dass in beiden Gläsern die Farbe gleichmäßig wird, jedoch schneller in dem Glas mit dem warmen Wasser.



Die Diffusion in zwei Gefäßen mit kleinerer (links)
bzw. größerer (rechts) Temperatur

Abbildung I.2



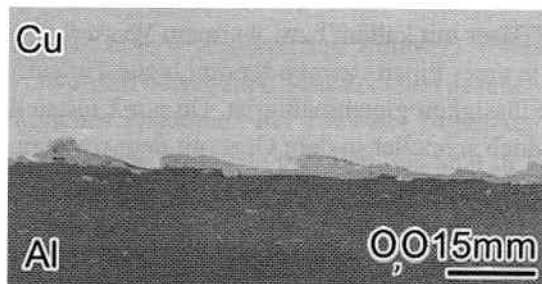
Schlussfolgerung

Die Tintenmoleküle und die Wassermoleküle vermischen sich spontan. Dieses Phänomen der Verteilung der Moleküle eines Körpers zwischen den Molekülen eines anderen Körpers ohne äußere Einwirkung heißt *Diffusion*. Die Diffusion tritt in allen Aggregatzuständen auf. Außer der Temperatur ist die Diffusion unter anderem auch von der Dichte der diffundierenden Stoffe abhängig.

Die Diffusion kann beim Öffnen einer Parfümflasche beobachtet werden: Der Geruch verteilt sich im gesamten Raum, da die Parfümmoleküle sich zwischen den Atomen und Molekülen der Luft verteilen. (Im Allgemeinen verteilen sich Gerüche infolge der Diffusion). Wenn man Zucker in Wasser auflöst, diffundieren die Zuckermoleküle zwischen den Wassermolekülen.

Bei Festkörpern ist wegen der großen Dichte dieses Phänomen schwieriger zu beobachten (es dauert mehrere Jahre, bis dieses Phänomen sichtbar wird).

In der Praxis (in der elektrotechnischen Industrie, der Industrie der Luftraumfahrt usw.) erzeugt man (kalte) Schweißnähte durch die Diffusion der Metalle, wie z. B. Cu-Fe, Al-Ag, Au-Pt usw.



Beispiele von Diffusion

Abbildung 1.3



Merke dir!

Die Diffusion ist das Verteilen der Moleküle/Atome eines Körpers zwischen den Molekülen/Atomen eines anderen Körpers ohne äußere Einwirkung. Die Diffusion gibt es in allen Aggregatzuständen.

Die Diffusion ist eine Folge der *Wärmebewegung*. In ihrer chaotischen Bewegung stoßen die Moleküle/Atome der Stoffe gegeneinander und verändern ihre Bewegungsrichtung, sodass die Moleküle/Atome eines Stoffes sich zwischen den Molekülen/Atomen des anderen Stoffes verteilen.

Aus dem Versuch konntest du beobachten, dass die Diffusion von dem Ansteigen der Temperatur beschleunigt wird.



Kuriositäten

- Brown war nicht der Erste, der die chaotische Bewegung der Teilchen beobachtet hat. Der römische Dichter Lukrez hat im Jahre 60 v. Chr. die chaotische Bewegung der Staubteilchen als Beweis für die Existenz der Atome verwendet.

- 1908 hat Jean Perrin die Behauptung von Einstein bezüglich der Wärmebewegung der Wassermoleküle experimentell überprüft. Perrin hat 1926 den Nobelpreis für das Untersuchen der diskontinuierlichen Struktur der Stoffe erhalten.

- Du hast schon erfahren, dass die Diffusion von der Dichte der Stoffe und der Temperatur abhängig ist. Bei Gasen findet die Diffusion sehr schnell statt, gewöhnlich innerhalb von wenigen Sekunden. Weil sie so schnell stattfindet, kann die Gasdiffusion sehr gefährlich sein; eine Vergiftung mit Kohlenstoffmonoxid oder mit anderen Gasen kann sehr schnell auftreten.

- Im Alltag gibt es viele Beispiele von nützlichen Anwendungen: das Auflösen von Zucker und Salz, von Waschmitteln in Wasser, das Verwenden von Sprühflaschen usw.

- Wegen der Diffusion gelangt der Sauerstoff aus den Lungen in das Blut und aus dem Blut in die Gewebe; außerdem diffundiert das Kohlendioxid aus den Kapillaren des Kreislaufes in die Lungenalveolen.

- Die Nährstoffe aus den Lebensmitteln diffundieren in die Zellen.

- Die Wälder säubern die Luft durch Diffusion.
- Die unteren Schichten der Atmosphäre sind homogene Gemische aus Stickstoff, Sauerstoff, Wasserdampf, Kohlendioxid, Wasserstoff, Argon, Helium usw. Ohne Diffusion würde das Gravitationsfeld der Erde die Atmosphäre in unterschiedliche Schichten trennen. Die unterste Schicht würde Kohlendioxid enthalten, die nächste Schicht Sauerstoff, die nächste Stickstoff, danach Wasserdampf und die oberste Schicht würde aus Helium und Wasserstoff bestehen.
- Auf der Internationalen Raumstation sind die „Betten“ (Schlafsäcke) der Astronauten an den Wänden neben den Ventilatoren angebracht. So wird sichergestellt, dass sie während des Schlafes genügend frische Luft erhalten; andernfalls würden sie wegen des fehlenden Sauerstoffs unter Migräne leiden.



Lern- und Selbstbewertungstätigkeiten

1. Die Fische atmen den im Wasser gelösten Sauerstoff der Flüsse, der Seen und der Meere. Nenne den physikalischen Prozess, dank welchem der Sauerstoff aus der Atmosphäre in das Wasser gelangt.
2. Erkläre, ob sich Gerüche in einem luftdicht verschlossenen Raum, in dem es keinen Luftzug gibt, verteilen.
3. Kann die Diffusion aufhören? Aber die Wärmebewegung?
4. Die Diffusion kann im Falle der Umweltverschmutzung verheerende Auswirkungen haben: Man hat festgestellt, dass wegen der Industriebetriebe, des Verkehrs und der öffentlichen Dienstleistungen die Luft in den Städten Sandteilchen, Kohlestaub, Zementstaub, Kadmium, Quecksilber, Blei, Eisenoxid, Kupferoxid usw. enthält.
5. Führe folgenden Versuch durch, um die Diffusion zu beobachten: Gieße in ein durchsichtiges Gefäß geschmolzenes Wachs über Kaliumpermanganat-Kristalle.
Warte ab! Dieser Diffusionsprozess ist so langsam, dass das Ergebnis des Versuches erst in 2 Monaten zu erkennen ist.

I.2. Der Erwärmungszustand. Das thermische Gleichgewicht. Die empirische Temperatur

Ist es im Weltraum warm oder kalt?

Sind die Begriffe warm und kalt ausreichend, um den Erwärmungszustand eines Körpers zu beschreiben? Lasst uns diese Fragen gemeinsam beantworten.



Experimentelle Tätigkeit

Wie du vielleicht schon weißt, hat der englische Philosoph John Locke (1632 – 1704) im Jahre 1790 einen Versuch durchgeführt, der zeigt, dass die Begriffe warm und kalt subjektiv sind. Führe auch du diesen Versuch durch.

- Stelle drei große Gefäße mit warmem Wasser, mit heißem Wasser und mit Wasser mit Eis auf.
- Tauche gleichzeitig eine Hand in das warme und eine in das kalte Wasser und warte ein paar Sekunden.
- Nimm die Hände gleichzeitig aus den beiden Gefäßen heraus und tauche sie in das dritte Gefäß.



Schlussfolgerung

Die Informationen, die von den beiden Händen kommen, sind unterschiedlich: Für die Hand, die im heißen Wasser war, fühlt sich das Wasser aus dem dritten Gefäß kalt an, und für die Hand, die im kalten Wasser war, fühlt sich das Wasser warm an. Die Empfindung von warm und kalt ist subjektiv. Der Erwärmungszustand eines Körpers ist eine messbare Eigenschaft, kann also objektiv bestimmt werden. Manche Körper sind wegen des *unterschiedlichen Erwärmungszustands* kälter als andere.

Zwei oder mehrere Körper mit unterschiedlichem Erwärmungszustand, die miteinander in Kontakt kommen, befinden sich in thermischer Wechselwirkung. Nach einer ausreichend langen Zeit gelangen Körper, die im thermischen Kontakt sind, *zu einem thermischen Gleichgewicht; sie werden also denselben Erwärmungszustand haben*. Das System kann nicht von selber den thermischen Gleichgewichtszustand verlassen. Wie du wahrscheinlich schon weißt, verwendet man zum Messen des Erwärmungszustandes der Körper die physikalische Größe *Temperatur*. Die empirische Temperatur ist eine messbare physikalische Größe, die jedem Erwärmungszustand eines Körpers einen Wert zuordnet.



Merke dir!

Die *empirische Temperatur* ist eine skalare physikalische Größe, die notwendig und ausreichend ist, um das thermische Gleichgewicht zu beschreiben. Körper im thermischen Gleichgewicht haben dieselbe Temperatur. *Das Prinzip der Transitivität des thermischen Gleichgewichts* besagt: Wenn ein Körper A mit einem Körper B im thermischen Gleichgewicht ist und der Körper B mit dem Körper C im thermischen Gleichgewicht ist, dann ist der Körper A im thermischen Gleichgewicht mit dem Körper C.



Kuriositäten

• Auf mikroskopischer Ebene ist die Temperatur ein Maß der Intensität der Wärmebewegung der Atome und Moleküle der Stoffe. Je stärker die Wärmebewegung ist, umso größer ist die Temperatur. Deswegen beträgt im Weltraum, wo die Konzentration der Teilchen sehr klein ist (ungefähr ein Atom pro Kubikmeter), die Temperatur ungefähr $-270,42\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Merke dir!

Die *Maßeinheit* der Temperatur im Internationalen Maßeinheitensystem ist *Kelvin*:

$$[T]_{SI} = \text{K}$$

Das Kelvin ist eine *fundamentale Maßeinheit* wie das Meter, die Sekunde, das Kilogramm, das Mol usw.

Es gibt auch andere Maßeinheiten für die Temperatur: Grad Celsius, Grad Fahrenheit, Grad Rankine usw.



Merke dir!

Das Messgerät für die Temperatur ist *das Thermometer*.

Wie du schon weißt, hat jedes Thermometer einen *thermometrischen Körper*, gekennzeichnet durch eine temperaturabhängige Größe.

Der thermometrische Körper kann eine Flüssigkeit (z. B. Alkohol, die temperaturabhängige Größe ist die Länge der Flüssigkeitssäule), ein Gas (Wasserstoff, Stickstoff; temperaturabhängig ist das Gasvolumen) oder ein flüssiges Metall (Quecksilber; temperaturabhängig ist die Länge der Quecksilbersäule) sein.



Die physikalische Größe, die den thermometrischen Körper beschreibt, *muss temperaturabhängig sein. Diese Abhängigkeit sollte linear sein*, sodass einem bestimmten Erwärmungszustand ein bestimmter Wert der Temperatur entspricht.

Wenn zum Beispiel ein Thermometer mit Alkohol mit Körpern mit unterschiedlichem Erwärmungszustand in Kontakt gebracht wird, hat die Länge der Alkoholsäule für verschiedene Erwärmungszustände unterschiedliche, gut bestimmbare Werte. Wenn das Thermometer in Kontakt mit einem Körper mit einem bestimmten Erwärmungszustand ist, dann wird bei thermischem Gleichgewicht die Temperatur des thermometrischen Körpers gleich mit der Temperatur des Körpers sein.

Um die Maßeinheit der Temperatur anzugeben (unabhängig von der Art der Grade), benötigt man eine *Temperaturskala*; man muss also festlegen, welche Temperatur welchem Wert der physikalischen Größe, die den thermometrischen Körper beschreibt, entspricht.



Quecksilberthermometer

Abbildung I.4



Merke dir!

Um eine Temperaturskala (Celsius, Fahrenheit usw.) festzulegen, benötigt man zwei unterschiedliche, leicht erhaltbare Erwärmungszustände, Fixpunkte genannt, denen man zwei beliebige Temperaturwerte zuordnet.

Man bezeichnet auf einer Skala die Werte, die der thermometrischen Größe bei den zwei Temperaturen entsprechen. Man erhält somit ein *Temperaturintervall*. Um die Temperatureinheit der Skala zu erhalten, teilt man das Temperaturintervall in beliebig viele gleich große Abschnitte. Die Temperatur, die mit einem Thermometer mit einer wie oben beschriebenen Skala gemessen wird, heißt *empirische Temperatur*.

Für die *Celsius-Skala* sind die beiden Fixpunkte *der Gefrierpunkt und der Siedepunkt des reinen Wassers* bei normalem atmosphärischem Druck.

Bei der *Fahrenheit-Skala* sind die beiden Fixpunkte *der Gefrierpunkt einer salzigen Lösung aus reinem Wasser, Eis und Ammoniumchlorid* ($0\text{ }^{\circ}\text{F}$) und *die Körpertemperatur des Menschen* ($96\text{ }^{\circ}\text{F}$), sodass dem Gefrierpunkt des reinen Wassers der Wert $32\text{ }^{\circ}\text{F}$ und dem Siedepunkt des reinen Wassers bei Normaldruck der Wert $212\text{ }^{\circ}\text{F}$ entspricht. Der Abschnitt zwischen den beiden Fixpunkten enthält 180 Einheiten, Grad Fahrenheit genannt.

Die *Kelvin-Skala*, aufgestellt von *Lord William Thomson Kelvin* (1824 – 1907) im Jahre 1848, enthält nur positive Werte. Diese Skala ist nicht von den Eigenschaften eines Stoffes abhängig (benötigt keine zwei Fixpunkte aus der Natur). Der Temperatur von Null Grad Celsius entspricht die Temperatur $T_0 = 273,15\text{ K}$ (in Anwendungen wird manchmal der Wert $T_0 = 273\text{ K}$ verwendet).

Eine Einheit der Kelvin-Skala ist gleich mit einer Einheit der Celsius-Skala.

Die Umrechnungsformel einer Temperatur auf der Celsius-Skala und derselben Temperatur auf der Kelvin-Skala ist:

$$t\text{ (}^{\circ}\text{C)} = T - T_0$$

Angenommen, t_1 und t_2 sind zwei beliebige Temperaturen auf der Celsius-Skala. Diesen zwei Temperaturen entsprechen auf der Kelvin-Skala die Temperaturen T_1 und T_2 . Mit der oberen Umrechnungsformel erhalten wir:

$$t_2 - t_1 = (T_2 - T_0) - (T_1 - T_0) \Rightarrow t_2 - t_1 = T_2 - T_0 - T_1 + T_0 \Rightarrow t_2 - t_1 = T_2 - T_1$$

$$\Delta t = \Delta T$$



Merke dir!

Die Temperaturänderung in Grad Celsius ist gleich mit der Temperaturänderung in Kelvin:

$$\Delta t = \Delta T$$

Die Temperatur von *glühenden Körpern* kann nicht mit dem Thermometer gemessen werden. In diesem Fall wird die Temperatur abhängig von der Farbe des Körpers bestimmt. Das Messgerät, das die Temperatur als Funktion der als Wärmestrahlung abgegebenen Energie eines Körpers misst, heißt Pyrometer.

Temperatur °C (°F)	Farbe (subjektiv)
580 °C (1 076°F)	dunkelrot
730 °C (1 350°F)	hellrot
930 °C (1 710°F)	hellorange
1 300 °C (2 370°F)	hellgelb

Obwohl das Pyrometer anfangs nur zur Temperaturmessung glühender Körper verwendet wurde, werden heutzutage auch kleinere Temperaturen damit gemessen. Diese Art der Temperaturmessung geschieht ohne Kontakt zwischen dem Pyrometer und dem Körper, dessen Temperatur gemessen wird. Deswegen wird das Pyrometer zur Temperaturmessung von Körpern verwendet, die wir aus verschiedenen Gründen nicht berühren können.

Zur Messung sehr kleiner Temperaturänderungen verwendet man *Temperatursensoren*. Im Welt-raum (z. B. auf der Internationalen Raumstation) funktionieren Thermometer mit Flüssigkeiten nicht, sodass die Temperatur auch mit *Temperatursensoren* gemessen werden muss.

Unter der Adresse <https://astro-pi.org/> findest du ein interessantes Projekt zur Messung der Temperatur an Bord der Internationalen Raumstation mithilfe von Temperatursensoren. Viel Erfolg!



Thermometer, Pyrometer und Temperatursensor

Abbildung I.5



Experimentelle Tätigkeit

Das Eichen in Grad Fahrenheit eines in Grad Celsius geeichten Thermometers

• Benötigte Materialien:

- ▶ Gefäß mit Wasser und Eiswürfeln;
- ▶ Gefäß mit siedendem Wasser;
- ▶ in Grad Celsius geeichtes Thermometer;
- ▶ wasserfester Stift.

• Durchführung

▶ Halte den Flüssigkeitsbehälter des Thermometers in ein Gefäß mit Wasser und Eis; warte, bis sich das thermische Gleichgewicht einstellt. Ordne dem oberen Flüssigkeitsniveau den Wert 32 zu.

▶ Halte danach das Thermometer ins siedende Wasser. Warte, bis sich das thermische Gleichgewicht einstellt und ordne dem oberen Flüssigkeitsniveau den Wert 212 zu. Bezeichne mit dem Stift die beiden Werte auf dem Thermometer (die Länge der Flüssigkeitssäule wird natürlich nicht größer als im ersten Fall sein).

▶ Teile das Intervall zwischen den beiden Fixpunkten auf der Skala des Thermometers in 180 gleiche Abschnitte. Ordne jeder Einheit einen steigenden Wert von 32 bis 212 zu. Jede dieser Einheiten entspricht einem Grad Fahrenheit, und die Temperatur eines Körpers, gemessen mit diesem Thermometer, entspricht der Zahl auf der Skala dieses Thermometers.

• Arbeitsaufgaben und Schlussfolgerungen

▶ Dem Gefrierpunkt des reinen Wassers entspricht der Wert 32 °F und dem Siedepunkt des reinen Wassers bei Normaldruck entspricht der Wert 212 °F. Wenn bekannt ist, dass die Einheiten (Grad Fahrenheit genannt) gleich sind und dass beide Skalen linear sind, finde auf *theoretischem Weg* die Beziehung zwischen einem Grad Celsius und einem Grad Fahrenheit.

▶ Finde auf *theoretischem Weg* die Beziehung zwischen den Temperaturen in Grad Celsius und in Grad Fahrenheit.

▶ Überprüfe mithilfe dieser Beziehung, ob du die Skala richtig geeicht hast.

▶ Finde wenigstens drei Fehlerquellen, die das Eichen beeinflussen.

▶ Finde die Temperatur, die denselben Wert auf beiden Skalen hat.

▶ Finde auf der geeichten Skala den Wert in Grad Celsius, welcher der Körpertemperatur des Menschen entspricht (die menschliche Körpertemperatur war ein Fixpunkt auf der Fahrenheit-Skala).

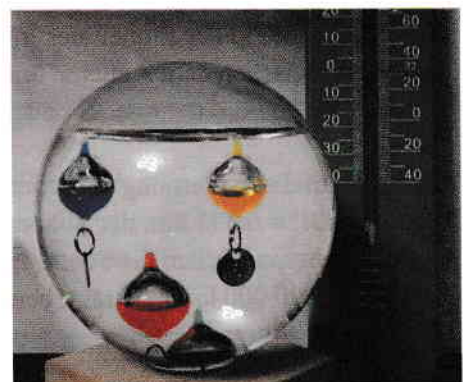
▶ Berechne den relativen Fehler für die Bestimmung der menschlichen Körpertemperatur von 37 °C.



Kuriositäten

✱ 1592 hat Galileo Galilei das erste Gerät zur Bestimmung der Temperaturänderungen gebaut: kleine Glaskugeln, die in Alkohol je nach Temperaturänderung höher oder tiefer schwammen. Dieses Gerät, Thermoskop genannt, hatte keine Skala, um den Erwärmungszustand anzugeben.

✱ Es wird angenommen, dass Santorio Santorio in den Jahren 1611–1613 zum ersten Mal einem Temperaturmessgerät eine Skala zugeordnet hat.



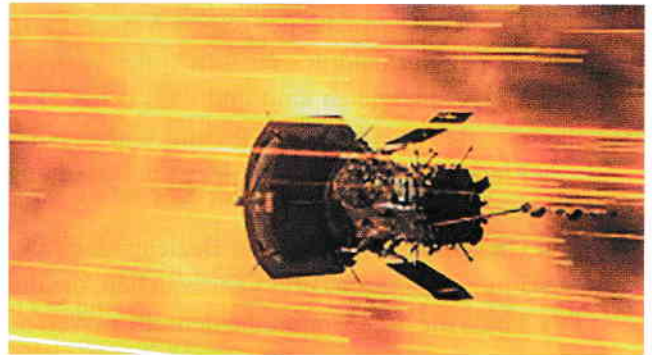
Thermoskop
Abbildung I.6

- 1701 hat Isaac Newton (1643 – 1727) ein Thermometer mit sechs Fixpunkten gebaut: der Gefrierpunkt des Wassers, die Körpertemperatur des Menschen, der Schmelzpunkt des Waxes, der Siedepunkt des Wassers, der Schmelzpunkt einer gewissen Legierung und der Schmelzpunkt des Bleis.
- Das erste Thermometer mit Quecksilber und Kapillarröhrchen wurde 1714 von Gabriel Fahrenheit (1686 – 1736) gebaut.



Lern- und Selbstbewertungstätigkeiten

1. Ein falsch geeichtes Thermometer zeigt für ein Gemisch aus Wasser und Eis im thermischen Gleichgewicht die Temperatur von $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ und für das Gemisch aus Wasser im thermischen Gleichgewicht mit Wasserdampf $+109\text{ }^{\circ}\text{C}$. Der Versuch wird bei atmosphärischem Normaldruck durchgeführt. Welches ist die reelle Temperatur, wenn dieses Thermometer $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ anzeigt?
2. Auf der Rankine-Skala wird dem Gefrierpunkt des reinen Wassers bei Normaldruck der Wert $491,6\text{ }^{\circ}\text{R}$ und dem Siedepunkt des reinen Wassers bei Normaldruck der Wert $671,6\text{ }^{\circ}\text{R}$ zugeordnet.
 - a) Welches ist die Beziehung zwischen einem Grad Celsius und einem Grad Rankine?
 - b) Welches ist die Umrechnungsformel der Temperatur, ausgedrückt in Grad Rankine, in Grad Celsius?
3. Rechne folgende Temperaturen in die Maßeinheit des Internationalen Einheitensystems um: $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $17\text{ }^{\circ}\text{F}$, $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$, $37\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0\text{ }^{\circ}\text{R}$.
4. Die 2018 von der NASA gestartete Raumsonde Parker Solar Probe erforscht die Sonnenkorona. Dabei wird die Sonde der Sonne so nahe kommen wie noch kein anderes von der Erde gestartetes Objekt und Temperaturen von $2500\text{ }^{\circ}\text{F}$ standhalten müssen. Deswegen hat sie einen Wärmeschutzschild. Um die Temperatur des Kühlsystems so gut wie möglich zu steuern (die Temperatur im Inneren der Sonde darf $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ nicht überschreiten), ist Parker Solar Probe mit Temperatursensoren ausgestattet.
 - a) Nenne zwei Gründe, weshalb an Bord der Sonde keine Quecksilber- oder Alkoholthermometer verwendet werden können.
 - b) Rechne die Temperatur, der die Sonde standhalten muss, in Grad Celsius um.
 - c) Berechne in der Einheit des Internationalen Maßeinheitensystems den maximalen Temperaturunterschied zwischen dem Äußeren und dem Inneren der Raumsonde.
 - d) Berechne die relative Temperaturänderung zwischen dem Äußeren und dem Inneren der Raumsonde.
 - e) Wenn die Entfernung zwischen dem Erdmittelpunkt und der Sonne $D_{ES} = 8,31$ Lichtminuten, der Erdradius $R_E = 6\,371\text{ km}$, der Sonnenradius $R_S = 696\,000\text{ km}$, die kleinste Entfernung in Bezug auf den Sonnenmittelpunkt, den die Sonde erreichen wird, $R = 9,86$ Sonnenradien, und die Geschwindigkeit der Sonde $v = 690\,000\text{ km/h}$ beträgt, berechne die Zeit, in der die Sonde ihr Ziel erreicht (angenommen, die Bahn ist geradlinig.)



Weltraumsonde Parker Solar Probe
Abbildung 1.7

Anmerkung: Ein Lichtjahr ist die Entfernung, die das Licht innerhalb eines Jahres zurücklegt.

I.3. Die Wärme, eine Prozessgröße

Die Thermosflaschen (Behälter, die Getränke bei einer fast konstanten Temperatur halten) haben eine doppelte Glaswand und reflektierende Innen- und Außenwände. Zwischen den Wänden ist Vakuum, und der Behälter befindet sich in der Thermosflasche auf einer Gummiunterlage.

Weshalb ist eine Thermosflasche so aufgebaut?



Experimentelle Tätigkeit

- Fülle gleiche Mengen heißes und warmes Wasser in zwei Gefäße. Miss die Wassertemperaturen und schreibe sie in dein Heft.
- Leere die beiden Wassermengen in ein Kalorimeter. Warte, bis sich das thermische Gleichgewicht im Kalorimeter eingestellt hat und miss mit demselben Thermometer die Temperatur des Gemisches.
- Wiederhole den Versuch mit einer doppelt so großen heißen Wassermenge, wobei die Anfangstemperaturen der beiden Flüssigkeiten dieselben sein sollen.
- Wiederhole den Versuch mit einer doppelt so großen kalten Wassermenge, wobei die Anfangstemperaturen der beiden Flüssigkeiten dieselben sein sollen. Du wirst feststellen, dass die Gleichgewichtstemperatur des Gemisches jedes Mal eine andere ist, wobei dieser Wert immer kleiner ist als die Temperatur des heißen Wassers und größer als die Temperatur des kalten Wassers.



Schlussfolgerung

Wenn zwei Körper mit unterschiedlichen Temperaturen in Wärmekontakt sind, dann wird, während sich das thermische Gleichgewicht einstellt, Energie in Form von Wärme von dem Körper mit der größeren Temperatur auf den Körper mit der kleineren Temperatur übertragen.



Merke dir!

Die Wärme ist eine skalare Prozessgröße (zum Unterschied zu der Temperatur, die eine Zustandsgröße ist) und entspricht der Energie, die zwischen zwei Körpern mit unterschiedlichen Temperaturen in thermischem Kontakt ausgetauscht wird.



Kuriositäten

Auf mikroskopischer Ebene entspricht die Wärme der Übertragung der kinetischen Energie zwischen Teilchen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Während sich das thermische Gleichgewicht einstellt, „beschleunigen“ die schnellen Teilchen die langsamen, bis alle Teilchen des Systems fast dieselbe Energie besitzen.



Merke dir!

Im Internationalen Maßeinheitensystem wird die Wärme in *Joule* gemessen: $[Q]_{SI} = J$