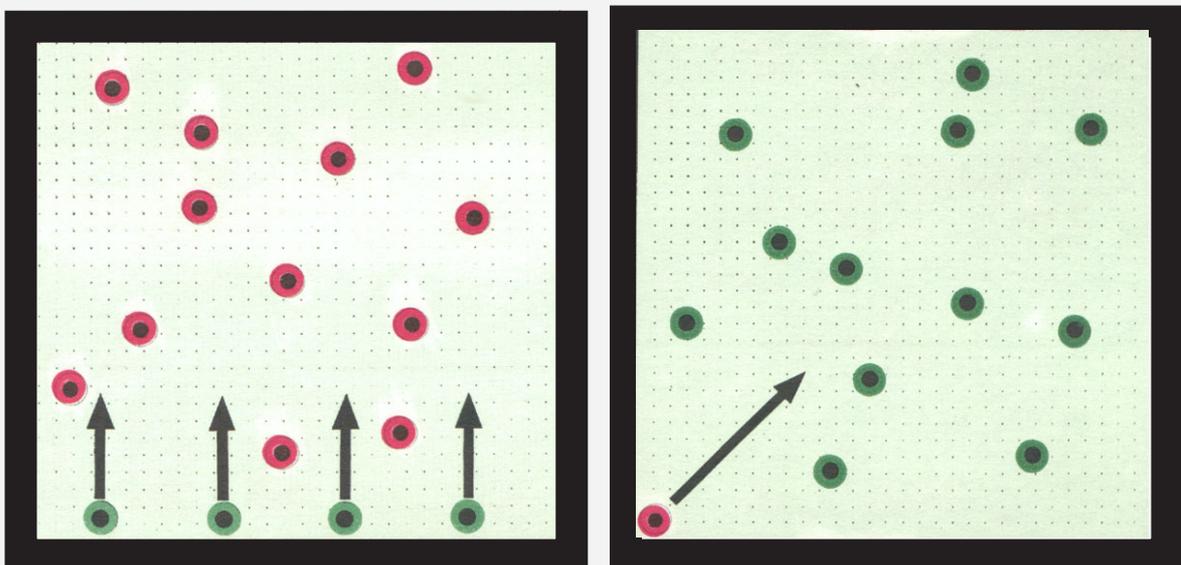


Physikalische Experimente auf dem Luftkissentisch



Inhalt

Vorwort

1. Aufbau und Einsatzmöglichkeiten des Luftkissentisches	6
1.1 Bestandteile des Experimentiergerätes	6
1.2 Prinzipielle Einsatzmöglichkeiten des Luftkissentisches	11
1.3 Aufbau des Luftkissentisches	11
1.4 Hinweise zur Bedienung	12
1.5 Wartung der Geräte	13
2 Beschreibung der Experimente	14
2.1 Aufbau und Eigenschaften der Gase	14
2.1.1 Bewegung eines Moleküls im Hochvakuum	14
2.1.2 Bewegung der Moleküle in einem Gas	14
2.1.3 Abhängigkeit der Anzahl der Stöße mit der Gefäßwand von der Geschwindigkeit der Moleküle	15
2.1.4 Abhängigkeit der Anzahl der Stöße auf die Gefäßwand vom Volumen	15
2.1.5 Mittlere Geschwindigkeit der Moleküle — Temperatur eines Gases	16
2.1.6 Mittlere Geschwindigkeit der Moleküle — Einfluß auf fremde Moleküle	17
2.1.7 Geschwindigkeit der Moleküle in einem Gasgemisch	18
2.1.8 Mischungstemperatur von Gasen	19
2.1.9 Temperaturerhöhung von Gasen bei Energiezufuhr	20
2.1.10 Form- und Volumenverhalten von Gasen	20
2.1.12 Abhängigkeit des Drucks von der Temperatur	22
2.1.13 Abhängigkeit des Drucks von der Molekülanzahl	23
2.1.14 Diffusion von Gasen	24
2.1.15 Diffusion von Gasen durch eine poröse Trennwand	25
2.1.16 Brownsche Bewegung in einem Gas	26
2.1.17 Dichteverteilung in einem Gas im Schwerfeld	26
2.1.18 Ortsverteilung der Moleküle in einem Gas	27
2.2 Aufbau und Eigenschaften von Flüssigkeiten	29
2.2.1 Anordnung und Bewegung der Moleküle in einer Flüssigkeit	29
2.2.2 Temperaturerhöhung bei Flüssigkeiten durch Energiezufuhr	29
2.2.3 Diffusion von Flüssigkeiten	30
2.2.4 Brownsche Bewegung in einer Flüssigkeit	31
2.2.5 Verdunsten einer Flüssigkeit	32
2.2.6 Verflüssigen eines Gases durch Druck	33
2.2.7 Erstarren einer Flüssigkeit	33

2.3	<i>Aufbau und Eigenschaften von festen Körpern</i>	35
2.3.1	Anordnung und Bewegung der Gitterbausteine in einem festen Körper	35
2.3.2	Schmelzen eines festen Körpers	35
2.3.3	Änderung des Aggregatzustandes eines Gases durch Kompression und Abkühlung	36
2.3.4	Wärmeleitung in festen Körpern	37
2.4	<i>Elektrische Leitungsvorgänge</i>	38
2.4.1	Bewegung eines Elektrons im Vakuum unter dem Einfluß eines elektrischen Feldes (nachgebildet durch mechanische Kräfte)	38
2.4.2	Ablenkung einer Elektronenstrahlung im elektrischen Feld	38
2.4.3	Bewegung von Elektronen im Vakuum unter dem Einfluß eines elektrischen Feldes	39
2.4.4	Prinzip des elektrischen Leitungsvorganges	40
2.4.5	Einfluß von Gitterbausteinen auf die Bewegung der Elektronen im elektrischen Feld	41
2.4.6	Bewegung eines Elektrons im Metallgitter unter dem Einfluß des elektrischen Feldes — ohmscher Widerstand (nachgebildet durch mechanische Kräfte)	41
2.4.7	Bewegung der freien Elektronen in einem Metall	42
2.4.8	Glühemission	43
2.4.9	Gebundene Ladungsträger in einem Isolator	44
2.4.10	Verhalten eines freien Ladungsträgers in einem Isolator	45
2.4.11	Elektrischer Leitungsvorgang in einem Halbleiter — Eigenleitung (nachgebildet durch mechanische Kräfte)	45
2.4.12	Elektrischer Leitungsvorgang in einem Halbleiter — n-Leitung (nachgebildet durch mechanische Kräfte)	46
2.4.13	Elektrischer Leitungsvorgang in einem Halbleiter — p-Leitung (nachgebildet durch mechanische Kräfte)	47
2.5	<i>Atomphysik</i>	48
2.5.1	Streuung positiv geladener Teilchen an einem Atomkern	48
2.5.2	Streuung von Alpha-Teilchen beim Durchgang durch eine Metallfolie	48
2.5.3	Das Rutherford'sche Atommodell	49
2.6	<i>Mechanische Bewegungen</i>	50
2.6.1	Senkrechter, waagerechter und schräger Wurf	50
2.6.2	Elastischer Stoß	50
2.6.3	Veränderung der Bewegungsrichtung eines Körpers durch eine Kraft	51

Vorwort

Luftkissen werden dadurch erzeugt und aufrechterhalten, daß aus Düsen in einem der gegeneinander bewegten Körper ständig Luft austritt. Dadurch berühren sich die beiden Körper nicht. Als „Schmiermittel“ befindet sich zwischen ihnen ein dünnes Gaspolster, ähnlich dem oft verwendeten Ölfilm. Infolge der viel kleineren Viskosität der Luft sinkt die Reibung auf vernachlässigbar kleine Beträge ab.

Die Nutzung des Luftkissens ermöglicht es, viele Experimente in einer wesentlich besseren Qualität durchzuführen.

Eine größere Anzahl von Experimenten wird jedoch prinzipiell erst durchführbar, wenn man sich des Luftkissens bedient.

Der Nachteil herkömmlicher flächenförmiger Luftkissenanordnungen besteht in der begrenzten Sichtbarkeit. Um den Bewegungsablauf in zwei Dimensionen verfolgen zu können, muß man nahe an die Anordnung herantreten. Außerdem sind solche Geräte wegen des großen Stabilisierungs- und Justieraufwandes sehr unhandlich. Neue Möglichkeiten ergeben sich durch den Einsatz der Projektion. Sie gestattet gleichzeitig eine zweckmäßige Verkleinerung aller Teile der Experimentieranordnung und eine wesentliche Verbesserung der Sichtbarkeit.

Schließlich erwiesen sich mechanische Stöße als zu wenig wirksam. Da hierbei nur ein Teil der Energie übertragen wird, hätten zusätzliche Maßnahmen ergriffen werden müssen, um die Verluste an kinetischer Energie auszugleichen. Die Verwendung der Kräfte zwischen keramischen Magneten ermöglicht es, weitgehend vollelastische Stöße zu realisieren. Die Tatsache, daß dabei eine unmittelbare Berührung der Stoßpartner ausbleibt, ist in den meisten Fällen kein Nachteil. Auf diese Weise werden z.B. die Kraftverhältnisse im mikrophysikalischen Bereich sehr gut modellmäßig nachgebildet.

Gaskissenprinzip, Einsatz der Projektion und Verwendung magnetischer Kräfte machen den Luftkissentisch zu einem hochwertigen Unterrichtsmittel, das sich durch einfache Bedienung, hohe Zuverlässigkeit/ universelle Einsatzmöglichkeiten und große methodische Vorzüge auszeichnet. Einige der Experimente sind mit den z. z. bekannten Methoden prinzipiell nicht besser durchführbar.

Den Haupteinsatz findet der Luftkissentisch bei

Modellexperimenten zu mikrophysikalischen Vorgängen. Durch die modellmäßig-anschauliche und sehr gut sichtbare Demonstration stellt er eine Art „Fenster zum Mikrokosmos“ dar. Dabei müssen jedoch die Mängel und Grenzen der Modellierung beachtet werden. Neben der starken Vereinfachung und der rein mechanischen Darstellung bestimmen in vielen Fällen andersartige Kräfte den Bewegungsablauf der realen Objekte. Weiterhin laufen alle Vorgänge in einer Ebene ab. Das Modell enthält schließlich zusätzliche Verfälschungen, die z.B. in der Form und der Farbe der Schwebekörper ihren Niederschlag finden.

Infolge des relativ großen Luftdurchsatzes und der kleinen Schwebekörper treten zusätzliche Antriebsmechanismen auf. Sie bewirken, daß die kleinen Schwebekörper nie zur Ruhe kommen, solange der Luftstrom anhält. Daraus resultiert der große didaktische Vorteil, daß viele Prozesse beliebig lange beobachtet werden können, ohne daß ein Eingriff von außen erforderlich ist.

Andererseits bedingt die begrenzte Kraftwirkung zwischen Schwebekörpern und zwischen ihnen und den magnetischen Barrieren eine bestimmte Höchstgeschwindigkeit, die sich bei sehr schnellen Schwebekörpern bereits nach einem Stoß weitgehend gestellt hat.

Diese Mechanismen tragen in den meisten Fällen dazu bei, daß sich ein optimaler, gut beobachtbarer Bewegungsablauf von selbst einstellt. Der Antriebsmechanismus vergrößert die Geschwindigkeit, die nicht voll elastischen Stöße begrenzen sie.

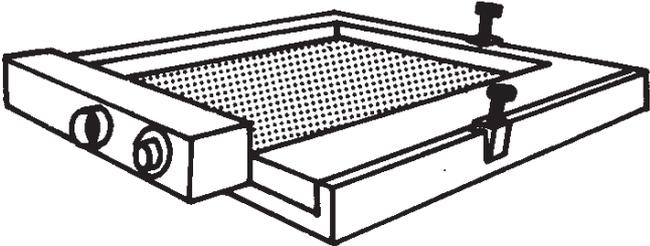
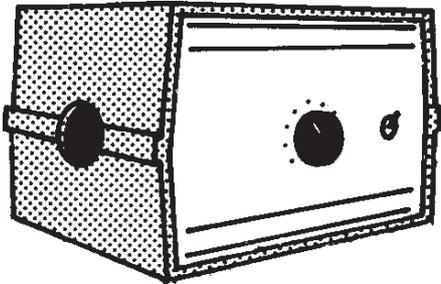
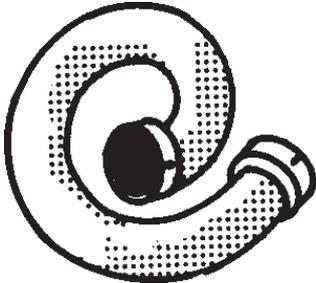
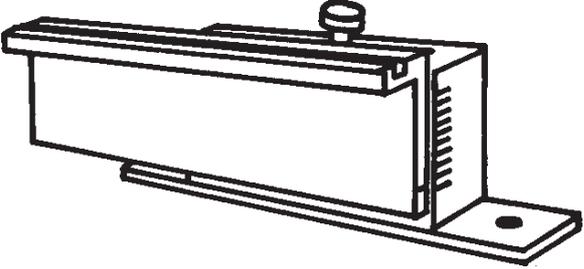
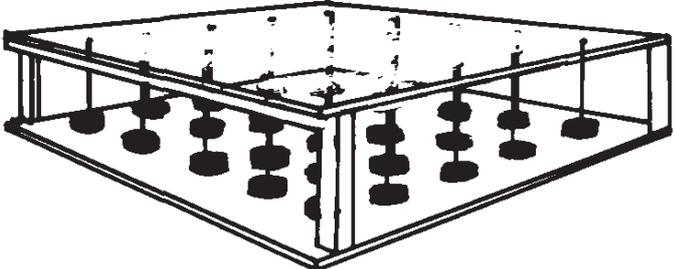
Beide Mechanismen können sich jedoch auch nachteilig auswirken, indem sie die interessierenden Bewegungsabläufe verfälschen. Erst die Kenntnis dieser Prozesse und ihre bewußte Nutzung bzw. Berücksichtigung durch den Experimentator ermöglicht die volle Ausschöpfung der großen Potenzen dieses wertvollen Unterrichtsmittels.

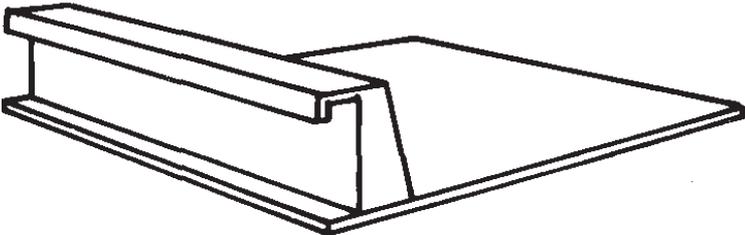
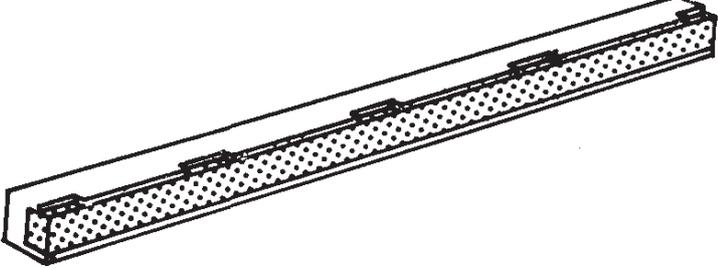
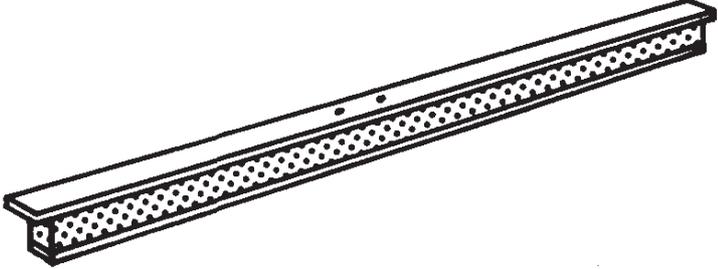
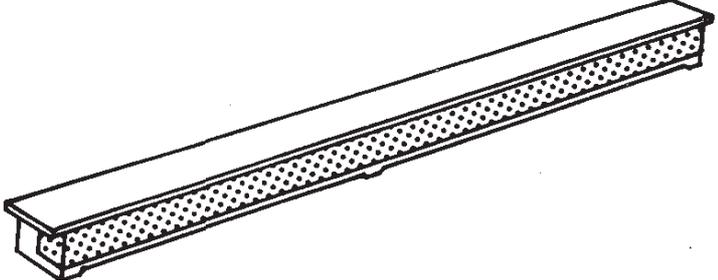
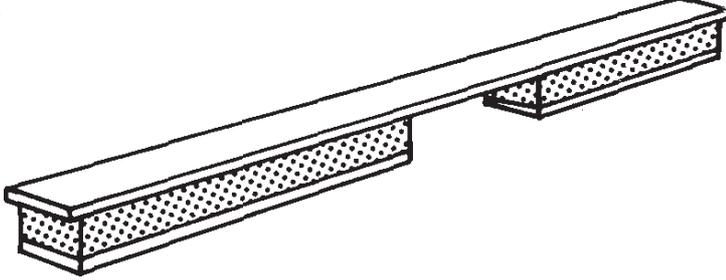
Im folgenden werden zunächst der Aufbau und die Einsatzmöglichkeiten des Luftkissentisches beschrieben. Danach erfolgt eine Anleitung für die Durchführung wichtiger Experimente.

Die Bilder sollen die Arbeit erleichtern. Sie sind jeweils aus der Blickrichtung aufgenommen, aus der der Lehrer den experimentellen Aufbau auf dem Luftkissentisch sieht.

1. Aufbau und Einsatzmöglichkeiten des Luftkissentisches

1.1 BESTANDTEILE DES EXPERIMENTIERGERÄTES

Bezeichnung	Anzahl	Skizze
Luftkissentisch	1	
Gebälse	1	
Schlauch	1	
Haltevorrichtung	1	
Gittermodell	1	

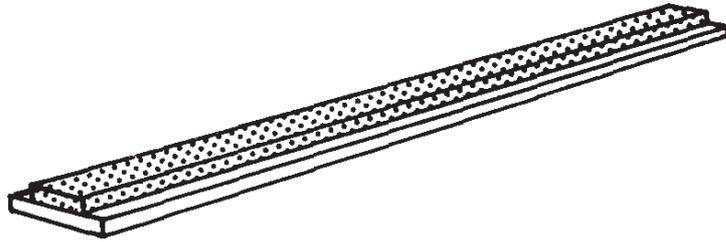
Bezeichnung	Anzahl	Skizze
Piacrylplatte	1	
magnetische Barriere 253 mm (Nr. 3 und Nr. 4)	2	
magnetische Barriere 233 mm (Nr. 2)	1	
magnetische Barriere 233 mm mit Aussparung für den seitlichen Lufteintritt (Nr. 1)	1	
magnetische Barriere 233 mm mit Öffnung	1	

Physikalische Experimente auf dem Luftkissentisch

Bezeichnung	Anzahl	Skizze
-------------	--------	--------

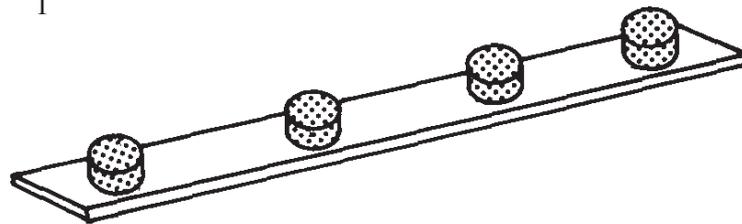
flache magnetische Barriere

1



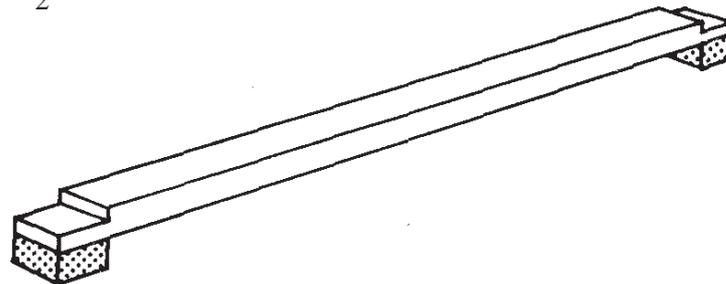
magnetische Barriere
aus 4 Magneten

1



Elektroden

2



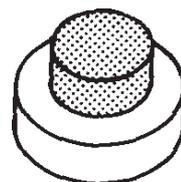
Manipulierstab

1



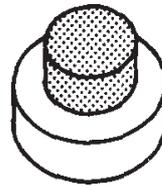
magnetische Schwebekörper
Ø 16 mm, rot

30

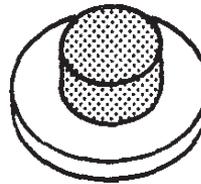


Bezeichnung	Anzahl	Skizze
-------------	--------	--------

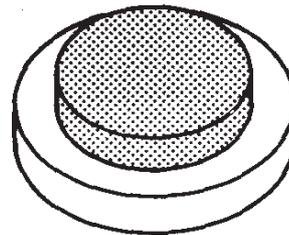
magnetische Schwebekörper
 \varnothing 16 mm, grün



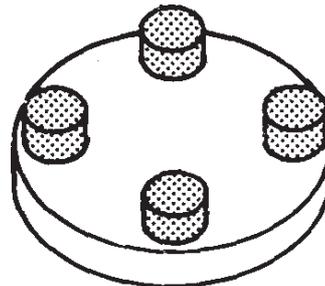
magnetische Schwebekörper
 aus Aluminium, \varnothing 21 mm



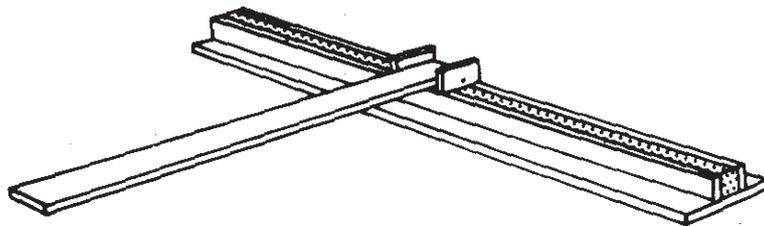
magnetische Schwebekörper
 \varnothing 28 mm, orange



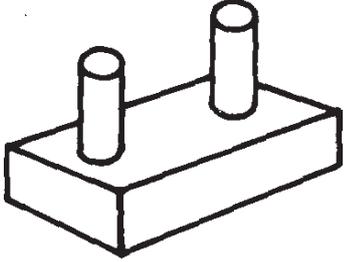
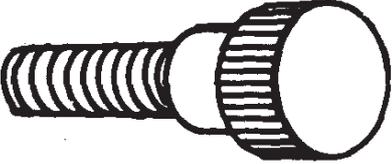
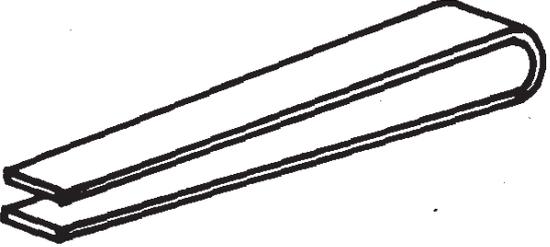
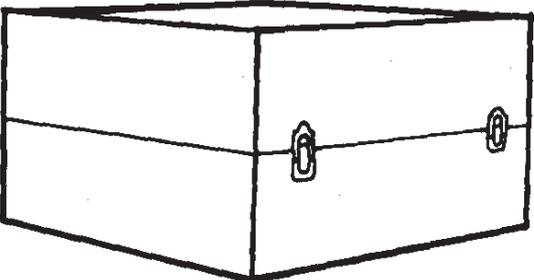
magnetische Schwebekörper
 \varnothing 48 mm, blau



magnetischer Kolben 1



Physikalische Experimente auf dem Luftkissentisch

<i>Bezeichnung</i>	<i>Anzahl</i>	<i>Skizze</i>
Führungsstück für den magnetischen Kolben	1	
Befestigungsschrauben für die Haltevorrichtung	2	
Pinzette aus Plast	1	
Aufbewahrungskasten	1	

1.2 PRINZIPIELLE EINSATZMÖGLICHKEITEN DES LUFTKISSENTISCHES

Das Gerätesystem ermöglicht

- eine nahezu reibungsfreie Bewegung der Schwebekörper
 - durch das Luftkissen;
- eine Modellierung der Wechselwirkungen zwischen den Mikroobjekten und zwischen Mikroobjekten und Feld
 - durch magnetische Kräfte,
 - durch elektrische Kräfte
 - durch Neigen der Experimentierfläche;
- gute Sichtbarkeit aller Experimente
 - durch die Projektion mit dem Tageslichtprojektor;
- geringen Aufwand bei der Vorbereitung
 - durch die übersichtliche und einfache Konstruktion des Gerätes,
 - durch geringen Justieraufwand.

Der Experimentator kann die beeinflussenden Größen kontinuierlich einstellen und in den experimentellen Ablauf direkt eingreifen.

All das sichert vielfältige Einsatzmöglichkeiten, bevorzugt zur Demonstration des Verhaltens von einzelnen Mikroobjekten oder Systemen von Mikroobjekten. So lassen sich bewegte, anschauliche, jedoch stark vereinfachte Modelle schaffen von komplizierten, der direkten Beobachtung unzugänglichen physikalischen Objekten und Phänomenen.

Die in den Modellexperimenten wirksamen Kräfte weichen z. T. erheblich von denen ab, die zwischen den Realobjekten auftreten. In vielen Fällen sind jedoch die Kraft-Abstand-Beziehungen sehr ähnlich, so daß ihnen nur bei quantitativen Experimenten die notwendige Aufmerksamkeit geschenkt werden muß.

Trotz dieser Einschränkung ist der Luftkissentisch in der Hand eines fachlich und methodisch qualifizierten und geschickten Experimentators ein vielseitiges, wirksames und attraktives Unterrichtsmittel. Beim vollen Verständnis für die Funktion der Anlage und bei Beachtung der im folgenden dargelegten Hinweise zum Gerät und seiner Handhabung kann der Lehrer Experimente mit physikalisch überzeugenden und effektvollen Ergebnissen vorführen.

1.3 Aufbau des Luftkissentisches

Der Luftkissentisch besteht aus einem Rahmen und einer Druckkammer. Die Deckplatte der Druckkammer ist mit 1089 Bohrungen versehen

($\varnothing 0,8$ mm). Sie bildet die Experimentierfläche. Der seitliche Teil der Druckkammer, in dem sich das Impulsventil befindet, wird über den Schlauch mit dem Gebläse verbunden. Die Horizontal- oder Schrägeinstellung der Experimentierfläche läßt sich durch zwei Justierschrauben erreichen.

Zum Luftkissentisch gehören fünf verschiedene Arten von Schwebekörpern. Sie bestehen aus farbigen, transparenten Plastscheiben bzw. Aluminiumscheiben, auf denen zylinderförmige keramische Magnete befestigt sind. Diese Schwebekörper simulieren, getragen vom Luftkissen, die sich bewegenden Objekte.

Die Experimentierfläche ist von einem flachen Plastrahmen umgeben. Sie kann außerdem durch magnetische Barrieren, die nahezu vollelastische Stöße der Schwebekörper ermöglichen, begrenzt werden. Dadurch lassen sich Wechselwirkungen mit den Gefäßwänden darstellen.

Zur Erzeugung eines elektrischen Feldes können 2 stabförmige Elektroden auf die Arbeitsfläche aufgelegt werden. Die Wirkung eines elektrischen Feldes kann modellmäßig auch durch eine einstellbare Neigung des Luftkissentisches erzielt werden.

Mit dem Impulsventil läßt sich ein Luftstrom parallel zur Experimentierfläche erzeugen, der die Bewegung der Schwebekörper beeinflußt. Auf diese Weise kann die Geschwindigkeit der Schwebekörper vergrößert werden.

Das Gebläse sorgt für ein ausreichendes Luftkissen über der Arbeitsfläche. Seine Leistung ist stufenlos einstellbar und kann den experimentellen Bedingungen angepaßt werden. Das Gebläse ist mit einem Druck- und einem Sauganschluß ausgestattet. Beim Experimentieren mit dem Luftkissentisch wird der Druckanschluß verwendet, der Sauganschluß kann für andere physikalische Experimente eingesetzt werden (z.B. mit dem Diapaneelgerät).

Das Gittermodell besteht aus 25 keramischen Magneten, die an dünnen Stahldrähten hängen. Dieses System schwingt mit kleiner Dämpfung. Es wird verwendet, um die Wechselwirkung z.B. eines Metallgitters mit den sich bewegenden Ladungsträgern zu modellieren. Man setzt es in gleicher Weise wie die zur Ausstattung gehörende Piacrylplatte in die Haltevorrichtung ein. Die für das jeweilige Experiment günstige Höhe, in der

sich diese Teile über der Arbeitsfläche befinden, läßt sich mit der Stellschraube festlegen. Mittels der Skala ist diese Einstellung leicht reproduzierbar.

1.4 HINWEISE ZUR BEDIENUNG

Der Luftkissentisch wird auf den Tageslichtprojektor so aufgesetzt, daß der Pfeil an der Druckkammer auf den Projektionsschirm zeigt. Die magnetischen Barrieren (Bild 1) setzt man so auf den Luftkissentisch auf, daß ihre Bezeichnung (Nr. 1 bis Nr. 4) mit der Bezeichnung an den Rändern der Arbeitsfläche übereinstimmt. Die magnetische Barriere mit Aussparung im unteren Teil wird an der Seite des Tisches angeordnet, an welcher der Schlauch vom Gebläse mündet. Durch die Aussparung strömt die Luft bei Anwendung des Impulsventils über die Experimentierfläche.

Druckkammer und Gebläse werden durch den Schlauch miteinander verbunden (Bild 2). Dabei sollte der Schlauch möglichst gerade gehalten werden. Er läßt sich an beiden Geräten nur in einer Stellung befestigen. Deshalb sind beide Schlauchenden und die Anschlüsse der Geräte durch einen Strich markiert. Der Schlauch wird so auf das Gerät aufgesteckt, daß sich beide Striche in gleicher Lage befinden. Dann wird er leicht nach rechts oder links verdreht.

Danach richtet man die Experimentierfläche mit den Justierschrauben an den Seiten 2 und 4 mit Hilfe der Libellen horizontal aus.

Das Impulsventil wird bei Bedarf mehrmals ca. 1 Sekunde lang betätigt. Dabei muß die Leistung

des Gebläses auf einen ausreichenden Wert eingestellt sein, da sonst der Druck des Luftkissens zu stark sinkt und die Schwebekörper auf der Experimentierfläche aufsitzen.

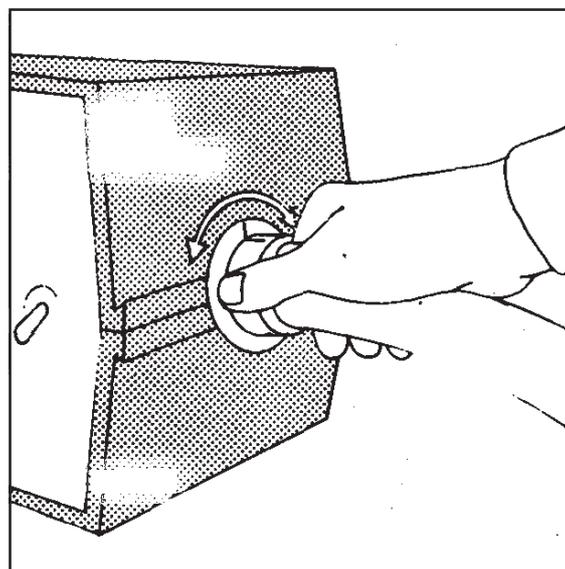
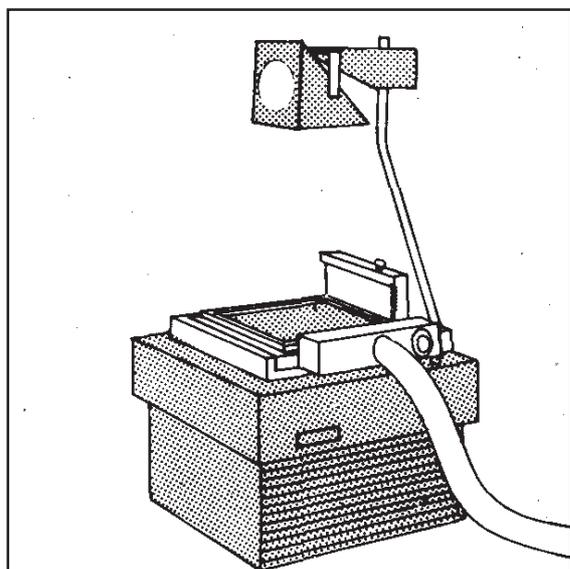
Zur Befestigung des Gittermodells wird die Haltevorrichtung auf den Rahmen des Luftkissentisches geschraubt. Das Gittermodell wird dann in die Nut der Haltevorrichtung eingesetzt (Bild 3). Der Einfluß des Gittermodells auf die Bewegung der Schwebekörper hängt sehr von der Höhe des Gitters über der Arbeitsfläche ab. Die Haltevorrichtung, die mit einer Skala versehen ist (Bild 4), kann mit Hilfe einer Stellschraube stufenlos im erforderlichen Bereich eingestellt werden.

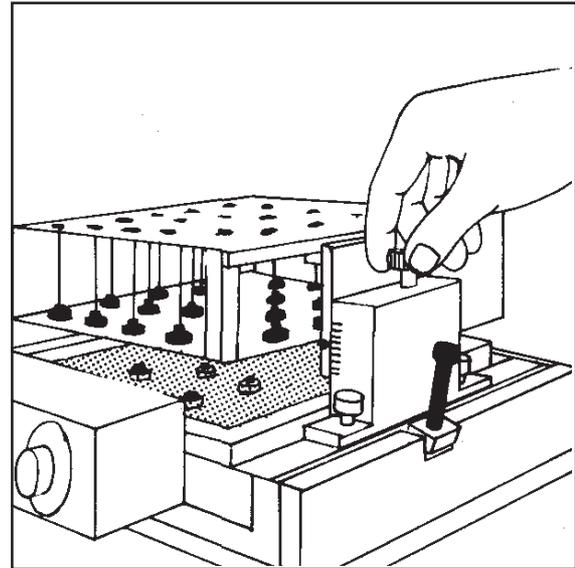
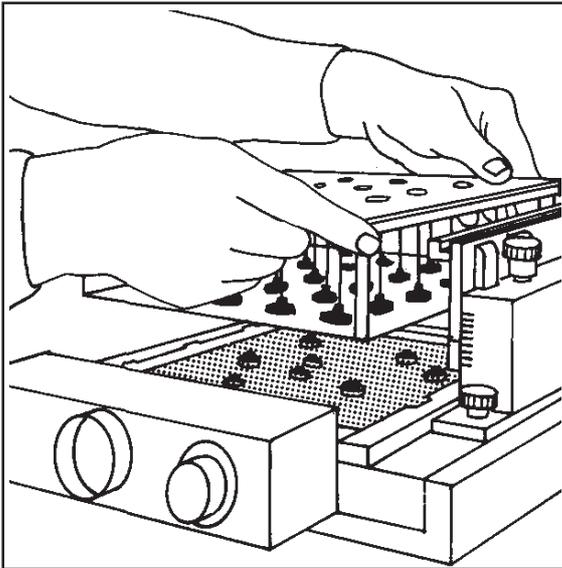
Dadurch wird es möglich, das Verhalten von Leitern, Halbleitern und Isolatoren zu demonstrieren.

Zur Erzeugung eines elektrischen Feldes dienen die Elektroden. Sie können in zwei Lagen Verwendung finden. Stellt man sie auf ihre Füße, so entsteht zwischen Experimentierfläche und Elektrode ein Spalt. Er ist so groß, daß die Schwebekörper aus Aluminium hindurchpassen. Dabei laden sie sich dann entsprechend der Polarität der jeweiligen Elektrode auf.

Man kann die Elektroden auch drehen, so daß ihre Füße nach oben zeigen. Dann liegen die Aluminiumteile auf der Experimentierfläche auf, und die Schwebekörper stoßen jeweils auf die Elektroden.

Die angelegte Spannung sollte größer als 20 000 V sein. Bei kleineren Spannungen müssen die Elektroden dichter aneinandergerückt werden.





Als Spannungsquelle ist besonders die Influenzmaschine geeignet.

Der Einfluß des elektrischen Feldes auf die Bewegung der Schwebekörper kann auch durch geringfügiges Neigen der Experimentierfläche modellmäßig nachgebildet werden. Der Grad der Neigung entspricht dann der Stärke des elektrischen Feldes.

Die Leistung des Gebläses wird jeweils so gewählt, daß sich die Schwebekörper gerade frei bewegen. Dadurch tritt nur ein schwaches Geräusch auf. Bei starkem Luftstrom läßt sich eine Geräuschbelästigung durch das Gebläse nicht vermeiden. Es sollte deshalb hinter dem Experimentiertisch oder in ihm aufgestellt werden. Dadurch dringt der Lärm gedämpft in die Klasse. Eine weitere Geräuschminderung ist durch Umwickeln des Gebläses mit Schaumgummi oder durch Verkleiden mit Piatherm möglich. Dabei muß sorgfältig darauf geachtet werden, daß die Luft ungehindert in den Ansaugstutzen einströmen kann.

1.5 WARTUNG DER GERÄTE

Der Luftkissentisch ist ein hochwertiges Gerät, das einen sorgsamem Umgang erfordert. Seiner Stabilität sind durch die Festigkeit des notwendigerweise durchsichtigen Materials Grenzen gesetzt.

- Beschädigungen durch Fall, Schlag, Stoß, Schleifen oder Reiben müssen vermieden werden.
- Alle Teile müssen sauber und staubfrei gehalten werden.
- Staub wird mit dem Antistatiktuch entfernt. Starkes Reiben der Tischfläche führt zur elektrischen Aufladung, die die Experimente beträchtlich stören kann.
- Der Luftstromerzeuger darf nicht in die Nähe von Staubansammlungen gestellt werden, um eine Verschmutzung der Druckkammer zu vermeiden.
- Die Unterseiten der Schwebekörper müssen stets sauber sein. Sie lassen sich leicht mit Spiritus reinigen.

2 Beschreibung der Experimente

2.1 Aufbau und Eigenschaften der Gase

2.1.1 Bewegung eines Moleküls im Hochvakuum

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- Schwebekörper, orange 1 Stück

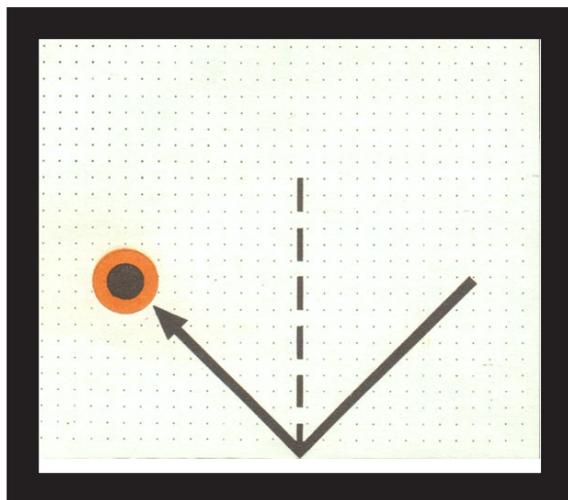
Modellierung	
Realobjekt	Modell
Gefäß, in dem sich das Gas befindet	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Wände des Gefäßes	magnetische Barrieren
Gasmolekül	Schwebekörper

Durchführung:

Der Luftkissentisch wird horizontal ausgerichtet und mit den magnetischen Barrieren versehen. Am Gebläse stellt man eine mittlere Leistung ein. Der Schwebekörper wird auf die Experimentierfläche gelegt und so angestoßen, daß er unter einem Winkel von 45° auf die Mitte einer magnetischen Barriere trifft.

Ergebnis:

Der Schwebekörper bewegt sich geradlinig und gleichförmig. Trifft er auf eine Barriere, so ändert sich die Richtung seiner Bewegung. Der Betrag der Geschwindigkeit bleibt unverändert. Der Schwebekörper prallt mit demselben Winkel zurück, mit dem er auftrifft. Es gilt das Reflexionsgesetz.



Deutung:

Das Gasmolekül bewegt sich nach den Gesetzen der klassischen Mechanik.

2.1.2 Bewegung der Moleküle in einem Gas

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- Schwebekörper, rot 16 Stück

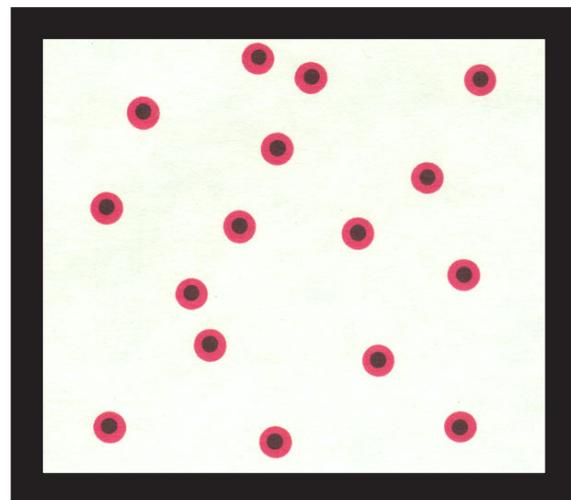
Modellierung	
Realobjekt	Modell
Gefäß, in dem sich das Gas befindet	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Wände des Gefäßes	magnetische Barrieren
Gasmolekül	Schwebekörper

Durchführung:

Der Luftkissentisch wird horizontal ausgerichtet und mit den magnetischen Barrieren versehen. Man legt die 16 roten Schwebekörper dicht nebeneinander an eine beliebige Stelle der Experimentierfläche, so daß ihr gegenseitiger Abstand etwa 1 cm beträgt. Danach wird die Leistung des Gebläses so eingestellt, daß alle Schwebekörper sicher abheben.

Ergebnis:

Jeder Schwebekörper bewegt sich so lange geradlinig und gleichförmig, solange er nicht mit einem anderen zusammenstößt oder auf eine magnetische Barriere trifft. Beim Zusammenstoßen zweier Schwebekörper verändert sich in der Regel deren Geschwindigkeit in Betrag und Richtung. Dabei wird kinetische Energie übertragen. Beim Aufprallen auf eine magnetische Barriere verändert sich nur die Richtung der Geschwindigkeit.



Deutung:

Zwischen den Molekülen eines Gases und beim Auftreffen der Moleküle auf die Gefäßwandung

treten elastische Stöße auf. Entlang der Strecke zwischen zwei Stößen, der „freien Weglänge“, bewegen sich die Moleküle geradlinig und gleichförmig.

Hinweis:

Das Experiment kann aus dem unter 2.1.1 beschriebenen entwickelt werden. Dazu werden nacheinander bei eingeschaltetem Gebläse 3 weitere orange Schwebekörper auf die Experimentierfläche gebracht. Die Stöße zwischen den Teilchen und die damit verbundene Übertragung kinetischer Energie sind bei geringer Teilchenanzahl besonders gut zu beobachten.

2.1.3 Abhängigkeit der Anzahl der Stöße mit der Gefäßwand von der Geschwindigkeit der Moleküle

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- Schwebekörper, orange 2 Stück
- Stoppuhr oder Zentraluhr 1 Stück

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Gefäß in dem sich das Gas befindet	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Wände des Gefäßes	magnetische Barrieren
Gasmolekül	Schwebekörper

Durchführung:

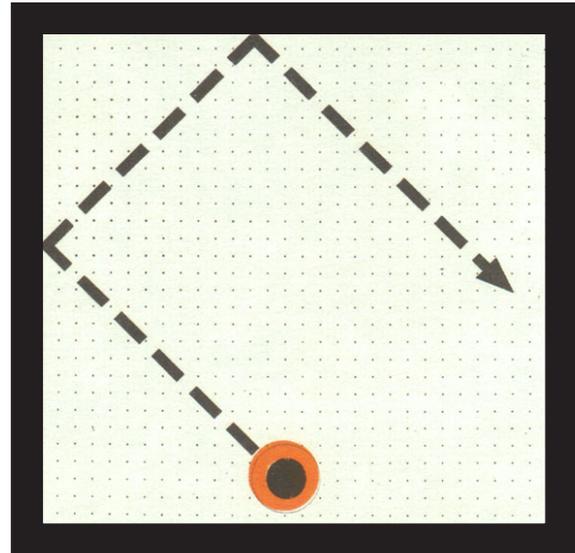
Nachdem man den Luftkissentisch horizontal ausgerichtet hat, setzt man die magnetischen Barrieren auf.

Den Luftstrom stellt man so ein, daß zwei aufeinandergelegte Schwebekörper sicher schweben. Man stößt diesen doppelten Schwebekörper an, so daß er mit möglichst kleiner Geschwindigkeit unter einem Winkel von 45° auf die Mitte einer Barriere trifft. Die in einer vorgegebenen Zeit (10 Sekunden) auftretenden Wandstöße werden gezählt.

Danach wiederholt man das Experiment mit nur einem der Schwebekörper bei größerer Geschwindigkeit.

Ergebnis:

Je größer die Geschwindigkeit des Schwebekörpers ist, um so häufiger trifft er in der gleichen Zeit auf die magnetischen Barrieren auf.



Deutung:

Die Stöße der Gasmoleküle auf die Gefäßwand treten um so häufiger auf, je größer die Geschwindigkeit der Moleküle ist. Da diese Stöße den Druck verursachen, bedingen höhere Molekülgeschwindigkeiten einen höheren Druck.

Hinweis:

Der Schwebekörper kann auch so in Bewegung versetzt werden, daß er senkrecht auf die Mitte der Barrieren trifft.

2.1.4 Abhängigkeit der Anzahl der Stöße auf die Gefäßwand vom Volumen

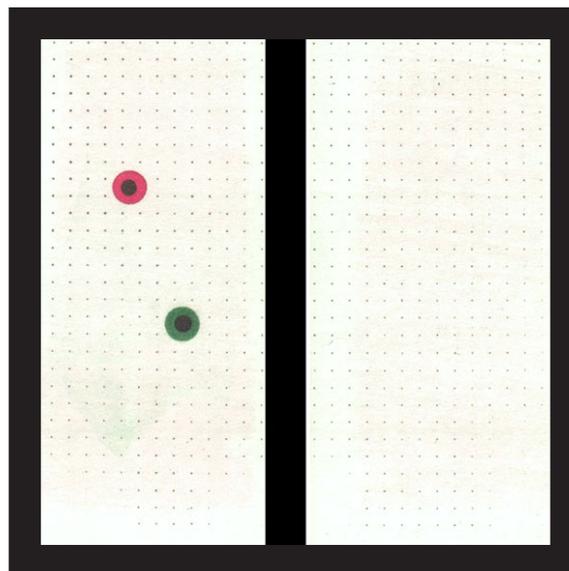
Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- Schwebekörper, rot 1 Stück
- Schwebekörper, grün 1 Stück
- Stoppuhr oder Zentraluhr

Modellierung:	
Realobjekt	Modell
Gefäß, in dem sich das Gas befindet	von den magnetischen Barrieren umgebene Experimentierfläche des Luftkissentisches
Wände des Gefäßes	magnetische Barrieren
Gasmoleküle	Schwebekörper

Durchführung:

Der Luftkissentisch wird horizontal ausgerichtet und mit den magnetischen Barrieren versehen.



Am Gebläse stellt man eine solche Leistung ein, daß die Schwebekörper frei schweben. Danach bringt man beide Schwebekörper in eine Ecke der Experimentierfläche, hält sie zunächst mit zwei Fingern fest und läßt sie dann schnell los. Man zählt die Stöße mit den Gefäßwänden, die ein Teilchen in einer bestimmten Zeit (5 Sekunden) ausführt.

Anschließend wird die Fläche, auf der sich die Schwebekörper bewegen können, auf die Hälfte verringert. Dazu hebt man die magnetische Barriere Nr. 2 an und setzt sie so wieder auf, daß sie die Experimentierfläche halbiert und ihre beiden Enden in die Vertiefungen der beiden Barrieren Nr. 3 und Nr. 4 einrasten. Die beiden Schwebekörper werden in gleicher Weise in Bewegung gesetzt. Man zählt, wie oft einer der Schwebekörper in der gleichen Zeit wie beim vorangegangenen Experiment auf die magnetischen Barrieren stößt.

Ergebnis:

Die Anzahl der Stöße mit den Barrieren ist im ersten Experiment geringer als im zweiten. Beim Verringern der Fläche auf die Hälfte vergrößert sich die Anzahl der Stöße etwa auf das Doppelte.

Deutung:

Verringert man das Volumen eines Gefäßes, in dem sich ein Gas befindet, so nimmt die Anzahl der Stöße mit den Gefäßwänden, welche die Gasmoleküle in einer bestimmten Zeit ausführen, zu. Da die Anzahl der Stöße, die in einer bestimmten Zeit mit einer bestimmten Wandfläche auftritt, ein Maß für den Druck ist, ergibt sich, daß der Druck bei der Verringerung des Volumens zunimmt.

Hinweis:

Die Auswertung vereinfacht sich, wenn in beiden Experimenten nur die Stöße auf die magnetische Barriere Nr. 2 gezählt werden. Das erfordert jedoch längere Meßzeiten.

Es ist auch möglich, die Gesamtanzahl der Stöße beider Teilchen zu ermitteln. Dazu empfiehlt es sich, daß gleichzeitig ein Schüler die Stöße des roten und ein anderer die des grünen Schwebekörpers zählt. Beide Zahlen werden jeweils addiert.

2.1.5 Mittlere Geschwindigkeit der Moleküle — Temperatur eines Gases

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- Schwebekörper, rot 16 Stück

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Gefäß, in dem sich das Gas befindet	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Wände des Gefäßes	magnetische Barrieren
Gasmoleküle	Schwebekörper

Durchführung:

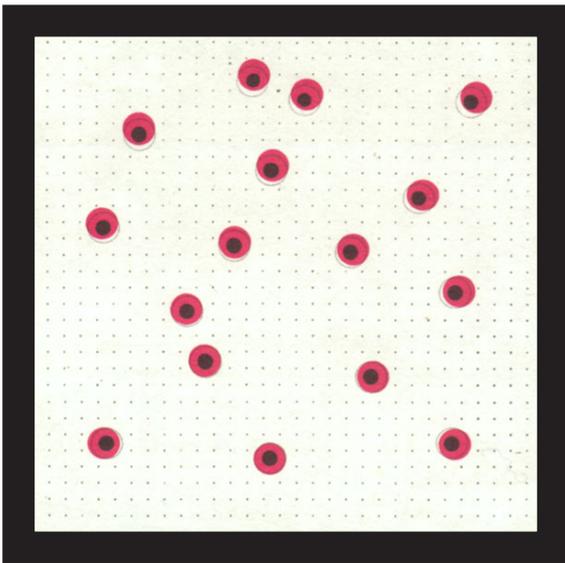
Der Luftkissentisch wird horizontal ausgerichtet. Die magnetischen Barrieren werden aufgesetzt. Alle Schwebekörper werden in eine Ecke der Experimentierfläche aufgelegt, so daß ihr gegenseitiger Abstand etwa 1 cm beträgt. Am Gebläse wird ein mittlerer Luftstrom eingestellt. Man beobachtet nacheinander die Bewe-

gung einzelner Schwebekörper. Dabei gilt die Aufmerksamkeit der Geschwindigkeit des einzelnen Schwebekörpers im Verhältnis zur Geschwindigkeit aller Schwebekörper.

Danach wird die Leistung des Gebläses allmählich verringert, so daß alle Schwebekörper zur Ruhe kommen, und nachfolgend wieder so weit erhöht, daß sie sicher schweben. Die Beobachtungen werden in gleicher Weise bei der geringeren Geschwindigkeit wiederholt.

Ergebnis:

Die Geschwindigkeit jedes Schwebekörpers ändert sich bei jedem Stoß. Während beim Stoß mit der Gefäßwand nur die Richtung verändert wird, ändert sich beim Stoß zweier Schwebekörper in der Regel auch der Betrag der Geschwindigkeit. Zu jedem Zeitpunkt bewegen sich die meisten Schwebekörper mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit. Nur wenige Schwebekörper haben eine große und wenige eine sehr kleine Geschwindigkeit.



Deutung:

Die Moleküle in einem Gas besitzen unterschiedliche Geschwindigkeiten. Die Geschwindigkeit jedes Gasmoleküls ändert sich bei jedem Stoß. Viele Moleküle bewegen sich mit einer Geschwindigkeit, die in der Nähe der mittleren Geschwindigkeit liegt. Nur wenige Moleküle besitzen eine sehr kleine oder große Geschwindigkeit. Die Geschwindigkeitsverteilung ist bei einer großen Molekülanzahl zeitlich konstant. Die mittlere kinetische Energie der Moleküle kennzeichnet die Temperatur des Gases. Kleine mittlere kinetische Energie entspricht einer niedrigen, große mittlere kinetische Energie einer hohen Temperatur. In jedem Falle gibt es Moleküle, deren Geschwindigkeit

sehr klein ist, und solche, die besonders schnell sind.

Hinweis:

Um die Bewegung eines der Schwebekörper besser beobachten zu können, ist es möglich, anstelle der 16 roten Schwebekörper 15 rote und einen grünen zu verwenden.

2.1.6 Mittlere Geschwindigkeit der Moleküle — Einfluß auf fremde Moleküle

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- Schwebekörper, grün 12 Stück
- Schwebekörper, rot 1 Stück

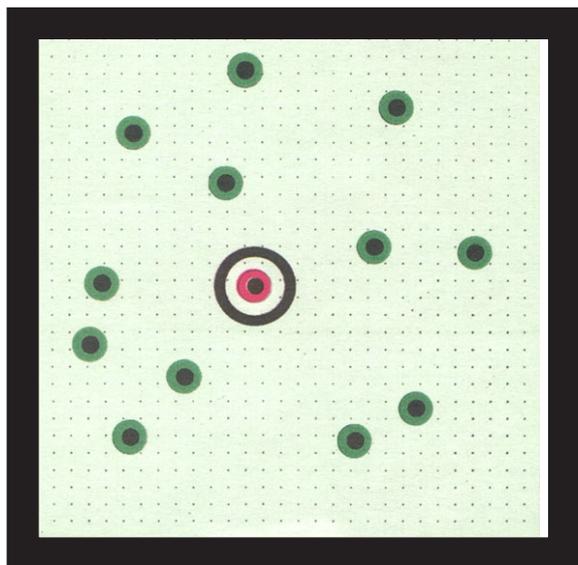
Modellierung	
Realobjekt	Modell
Gefäß, in dem sich das Gas befindet	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Wände des Gefäßes	magnetische Barrieren
Moleküle des Gases	grüne Schwebekörper
fremdes Gasmolekül	roter Schwebekörper

Durchführung:

Der Luftkissentisch wird horizontal ausgerichtet, die magnetischen Barrieren werden aufgesetzt. Die grünen Schwebekörper legt man dicht nebeneinander in eine Ecke der Experimentierfläche, so daß der gegenseitige Abstand etwa 1 cm beträgt. Die Leistung des Gebläses wird so weit erhöht, daß alle Schwebekörper sicher abheben. Den roten Schwebekörper legt man in die Mitte der Experimentierfläche, hält ihn mit dem Finger fest und läßt ihn dann los, so daß er zunächst ruht. Seine nachfolgende Bewegung wird beobachtet. Danach bringt man den roten Schwebekörper unmittelbar in eine Ecke der Experimentierfläche, hält ihn mit dem Zeigefinger fest und läßt ihn schnell los, so daß er sich mit großer Geschwindigkeit in Richtung der Mitte bewegt. Seine Bewegung wird wieder verfolgt.

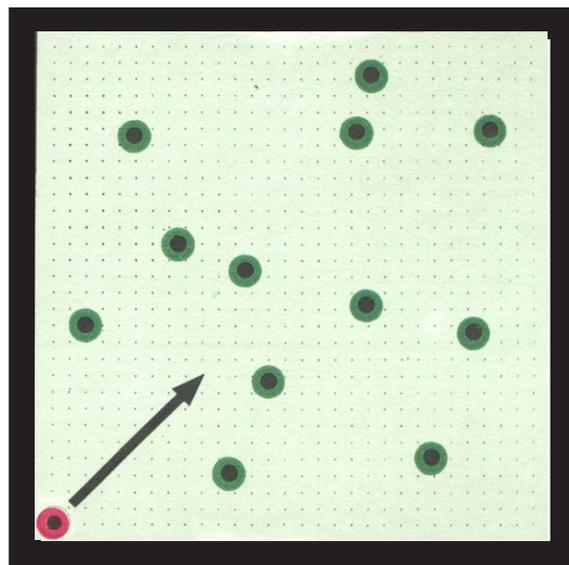
Ergebnis:

Im ersten Experiment wird der rote Schwebekörper von den grünen wiederholt angestoßen. Seine Bewegung unterscheidet sich dann nicht mehr von der der übrigen Schwebekörper. Im zweiten Experiment verringert sich die Geschwindigkeit des roten Schwebekörpers durch Stöße mit den grünen, so daß er sich ebenfalls wie diese bewegt.



Deutung:

Dringt ein fremdes Gasmolekül in ein Gas ein, so kann es seinen Bewegungszustand nicht aufrechterhalten. Durch die Wechselwirkung mit den übrigen Gasmolekülen bewegt es sich nach kurzer Zeit in der gleichen Weise wie diese.



Ergebnis:

Die mittlere Geschwindigkeit der orange Schwebekörper ist wesentlich geringer als die mittlere Geschwindigkeit der roten.

2.1.7 Geschwindigkeit der Moleküle in einem Gasgemisch

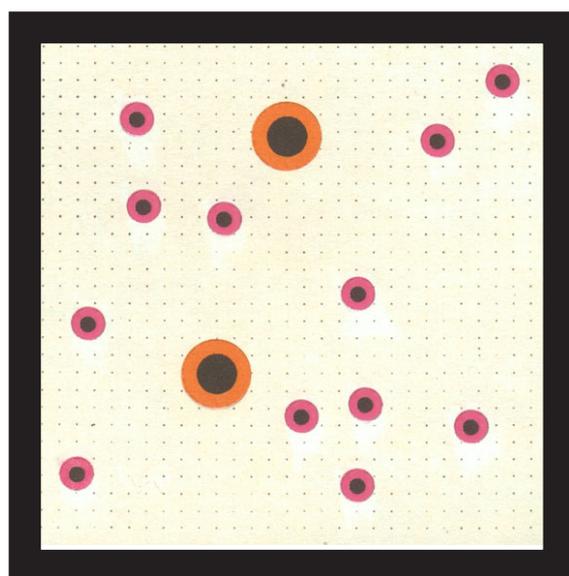
Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- Schwebekörper, rot 12 Stück
- Schwebekörper, orange 2 Stück

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Gefäß, in dem sich das Gas befindet	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Wände des Gefäßes	magnetische Barrieren
Gasmoleküle kleiner Masse	rote Schwebekörper
Gasmoleküle großer Masse	orange Schwebekörper

Durchführung:

Der Luftkissentisch wird horizontal ausgerichtet und mit magnetischen Barrieren versehen. Die Schwebekörper bringt man an eine beliebige Stelle auf die Experimentierfläche, so dass der gegenseitige Abstand nicht viel mehr als 1 cm beträgt. Die Leistung des Gebläses wird so weit erhöht, bis alle Schwebekörper sicher abheben. Man beobachtet die Bewegungen beider Arten von Schwebekörpern bezüglich der Geschwindigkeiten.



Deutung:

In einem Gemisch von zwei Gasen, deren Moleküle unterschiedliche Massen besitzen, haben die Moleküle unterschiedliche mittlere Geschwindigkeiten. Die Moleküle mit der geringeren Masse bewegen sich wesentlich schneller als jene mit der größeren Masse. Da die Temperatur des Gasgemisches der mittleren kinetischen Energie *aller* Moleküle entspricht, muß die mittlere kinetische Energie der Moleküle mit der kleineren Masse $\bar{E}_k = \frac{1}{2}m_k v_k^2$ gleich der mittleren kinetischen Energie der Moleküle großer Masse $\bar{E}_k = \frac{1}{2}m_g v_g^2$ sein. Daraus folgt, daß in einem Gasgemisch bei gegebener Temperatur Moleküle unterschiedlicher Masse verschiedene mittlere Geschwindigkeiten haben.

2.1.8 Mischungstemperatur von Gasen

Geräte:

Luftkissentisch mit Tageslichtprojektor	
magnetische Barriere, lang	2 Stück
magnetische Barriere, kurz	2 Stück
magnetischer Kolben	1 Stück
Führungsstück für den magnetischen Kolben	1 Stück
Schwebekörper, orange	4 Stück

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Gefäß, in dem sich das Gas befindet	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Wände des Gefäßes	magnetische Barrieren
Trennwand	magnetischer Kolben
Moleküle des Gases	Schwebekörper

Durchführung:

Der Luftkissentisch wird horizontal ausgerichtet und mit den magnetischen Barrieren versehen. Mittels des magnetischen Kolbens teilt man die Experimentierfläche parallel zu den Barrieren Nr. 1 und Nr. 2 in zwei Hälften. Zur Führung der Kolbenstange setzt man auf die Barriere Nr. 2 das Führungsstück für den magnetischen Kolben auf. In jede Hälfte bringt man 2 Schwebekörper. Die Leistung des Gebläses wird so weit erhöht, daß die Schwebekörper auch bei geöffnetem Impulsventil sicher schweben. Durch mehrmaliges Betätigen des Impulsventils versetzt man die Schwebekörper in der benachbarten Hälfte der Experimentierfläche in heftige Bewegung, während man – ggf. durch Abbremsen – dafür sorgt, daß

sich die beiden anderen Schwebekörper nur geringfügig bewegen. Nun hebt man schnell den magnetischen Kolben von der Experimentierfläche ab und beobachtet die Bewegung aller Schwebekörper.

Ergebnis:

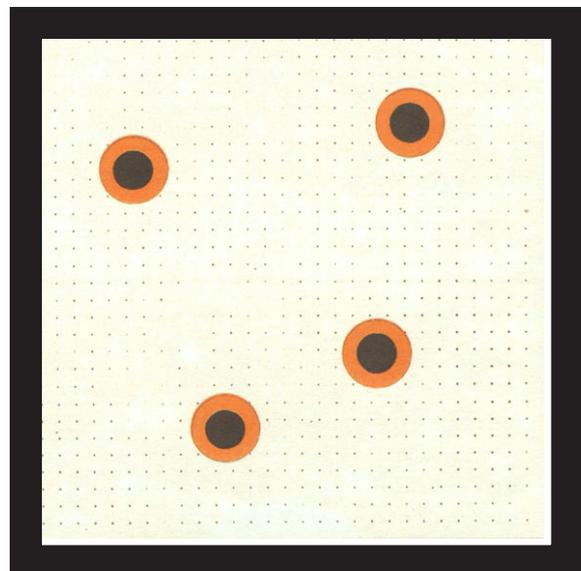
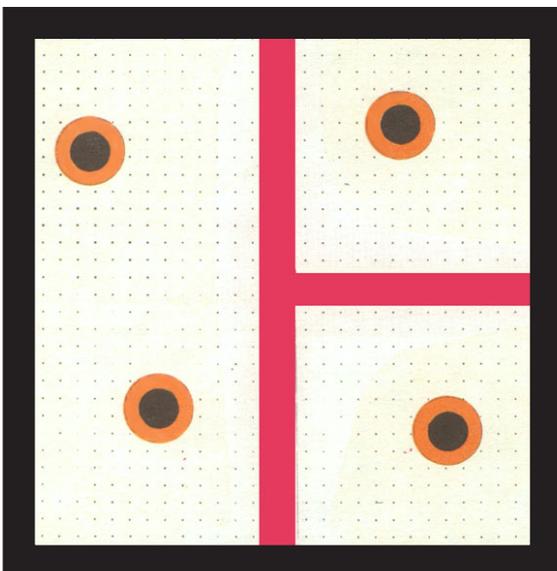
Die schnellen Schwebekörper übertragen ihre Energie teilweise auf die langsamen. Die mittlere Geschwindigkeit der 4 Schwebekörper ist nach dem Abheben des Kolbens kleiner als die der 2 schnellen in der einen Hälfte und größer als die der 2 langsamen in der anderen.

Deutung:

Beim Mischen zweier Gase unterschiedlicher Temperatur stellt sich eine Mischungstemperatur ein, die zwischen den beiden Ausgangstemperaturen liegt. Sie resultiert daraus, daß die Moleküle des Gases mit der höheren Temperatur einen Teil ihrer kinetischen Energie an die Moleküle des Gases mit der niedrigeren Temperatur abgeben.

Hinweis:

Das Experiment kann auch mit 8 grünen und 8 roten Schwebekörpern durchgeführt werden. Die Verhältnisse in einem Gas werden dann infolge der größeren Anzahl der Schwebekörper besser wiedergegeben. Dabei bereitet jedoch die Aufrechterhaltung des Geschwindigkeitsunterschiedes Schwierigkeiten. Deshalb ist es erforderlich, möglichst kurzzeitig vor dem Abheben des Kolbens die Schwebekörper in der einen Hälfte (mit der Hand) zu beschleunigen und in der anderen abzubremsen.



2.1.9 Temperaturerhöhung von Gasen bei Energiezufuhr

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- Schwebekörper, rot 12 Stück
- Schwebekörper, grün 4 Stück

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Gefäß, in dem sich das Gas befindet	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Wände des Gefäßes	magnetische Barrieren
Moleküle des Gases	rote Schwebekörper
Moleküle mit höherer Energie	grüne Schwebekörper

Durchführung:

Nach dem horizontalen Ausrichten des Luftkissentisches werden die magnetischen Barrieren aufgelegt und die roten Schwebekörper gleichmäßig auf der Experimentierfläche verteilt.

Man sorgt für einen Luftstrom, der gerade ausreicht, um alle Schwebekörper zum Schweben zu bringen. Dadurch ist die mittlere Geschwindigkeit der roten Schwebekörper gering. Kurze Zeit danach schießt man die 4 grünen Schwebekörper mit möglichst großer Geschwindigkeit zwischen die roten. Das kann rasch aufeinanderfolgend von einer Ecke aus erfolgen. Dazu hält man jeweils einen Schwebekörper unmittelbar in der Ecke mit dem Zeigefinger fest und läßt ihn schnell los.

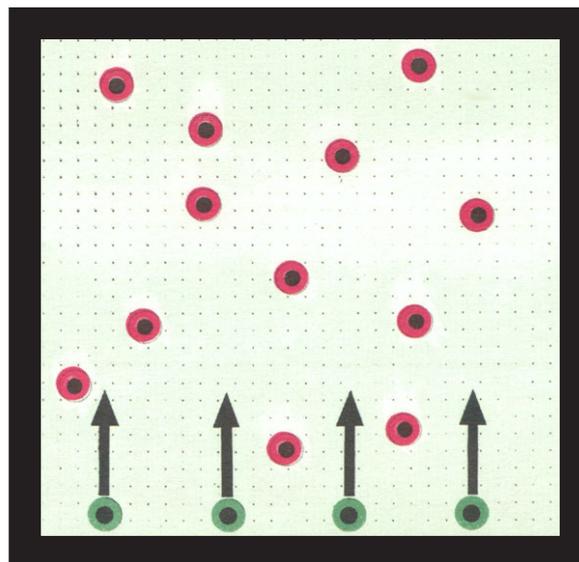
Es ist aber auch möglich, alle 4 Schwebekörper gleichzeitig an eine Barriere zu drücken, mit den Fingern festzuhalten und dann freizugeben, so daß sie mit großer Geschwindigkeit auf die roten Schwebekörper prallen.

Ergebnis:

Die mit großer Geschwindigkeit eingeschossenen grünen Schwebekörper erhöhen merklich die mittlere Geschwindigkeit der roten Schwebekörper.

Deutung:

Wird einem Gas Energie zugeführt, so erhöht sich dessen Temperatur. Die vorgenommene Energiezufuhr kann gedeutet werden als Einschleßen schneller Teilchen, Mischen mit einem Gas höherer Temperatur oder Erwärmen.



Hinweise:

Die Energie kann auch dadurch zugeführt werden, daß das Impulsventil mehrmals kurzzeitig geöffnet wird. Damit die Schwebekörper auch bei geöffnetem Ventil sicher schweben, ist ein stärkerer Luftstrom erforderlich.

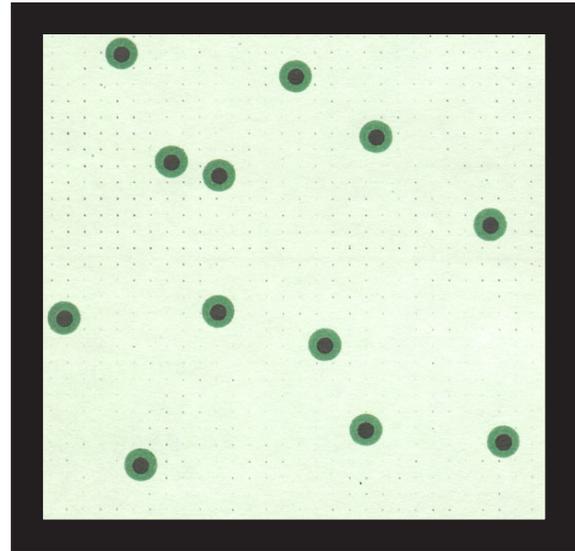
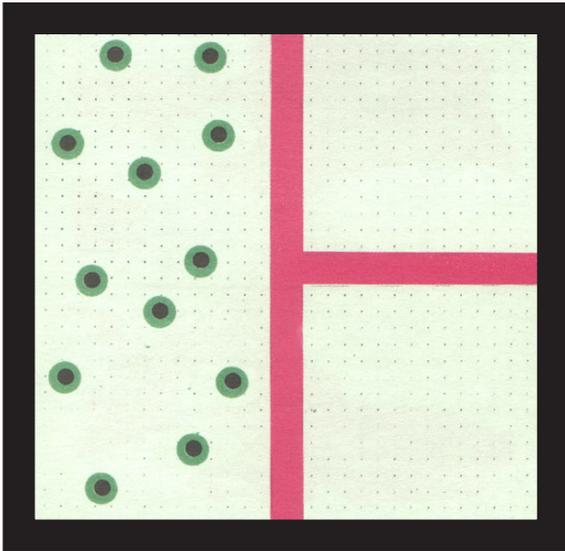
Zur Wiederholung des Experiments wird der Luftstrom allmählich verringert, bis die Bewegung aufhört, und nachfolgend wieder auf den ursprünglichen Wert eingestellt.

2.1.10 Form- und Volumenverhalten von Gasen

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- magnetischer Kolben 1 Stück
- Schwebekörper, grün 12 Stück

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Gefäß, in dem sich das Gas befindet	von den magnetischen Barrieren und dem magnetischen Kolben umgebene Experimentierfläche des Luftkissentisches
Wände des Gefäßes	magnetische Barrieren
Kolben zur Veränderung von Form und Volumen des Gasraumes	magnetischer Kolben
Gasmoleküle	Schwebekörper



Durchführung:

Man richtet den Luftkissentisch horizontal aus und legt die magnetischen Barrieren auf. Durch Auflegen des magnetischen Kolbens teilt man die Experimentierfläche in zwei Hälften. In einer der Hälften legt man die Schwebekörper dicht nebeneinander, so daß der gegenseitige Abstand nicht viel mehr als 1 cm beträgt.

Die Leistung des Gebläses wird so weit gesteigert, daß alle Schwebekörper sicher schweben. Durch schnelles Hochheben des Kolbens wird die Fläche, die den Schwebekörpern zur Verfügung steht, vergrößert.

Der Kolben wird wieder in der Nähe einer Barriere auf die Experimentierfläche aufgesetzt und sein Stiel abwechselnd nach rechts und links bewegt, so daß sich die Form der Experimentierfläche, auf der sich die Schwebekörper bewegen können, verändert. In beiden Fällen wird beobachtet, wie die Schwebekörper auf die Flächenänderung reagieren.

Ergebnis:

In beiden Experimenten füllen die Schwebekörper die zur Verfügung stehende Fläche voll aus. Sie verteilen sich dabei schnell auf die ganze Fläche.

Deutung:

Gase besitzen keine bestimmte Form und kein bestimmtes Volumen. Sie füllen schnell den ganzen Raum aus, der ihnen zur Verfügung steht.

Hinweis:

Die Experimente können mit verschiedenen Anfangsstellungen des Kolbens und unterschiedlichen mittleren Geschwindigkeiten der Schwebekörper wiederholt werden.

Je dichter die Teilchen anfangs zusammengedrängt sind und je größer ihre mittlere Geschwindigkeit ist, um so schneller nehmen sie die gesamte Fläche ein.

2.1.11 Adiabatische Kompression und Expansion von Gasen

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- magnetischer Kolben 1 Stück
- Führungsstück für den magnetischen Kolben 1 Stück
- Schwebekörper, rot 10 Stück

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Gefäß, in dem sich das Gas befindet	von den magnetischen Barrieren und dem Kolben umgebene Experimentierfläche des Luftkissentisches
Wände des Gefäßes	magnetische Barrieren
Kolben zur Veränderung des Volumens des Gases	magnetischer Kolben
Gasmoleküle	Schwebekörper

Durchführung:

Der Luftkissentisch wird horizontal ausgerichtet und mit magnetischen Barrieren versehen. Den Kolben legt man an den Rand der Experimentierfläche. Zur Führung der Kolbenstange setzt man das Führungsstück für den magnetischen Kolben

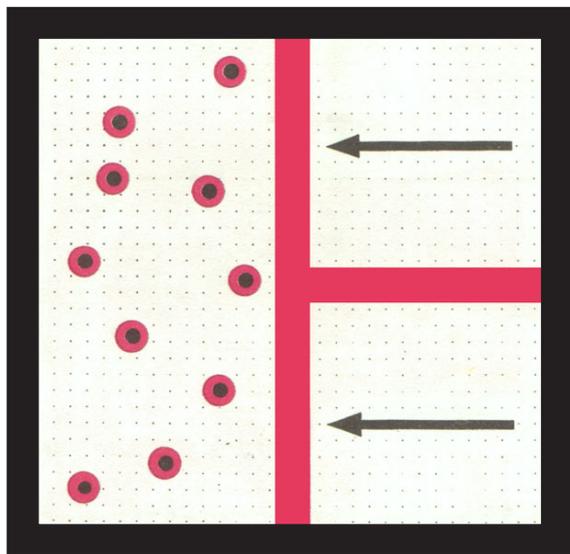
auf die Barriere Nr. 2 auf. Die 10 Schwebekörper werden so auf der Experimentierfläche verteilt, daß ihr gegenseitiger Abstand etwa 2,5 cm beträgt. Danach erhöht man die Leistung des Gebläses so weit, daß alle Schwebekörper gut schweben.

Der Kolben wird zügig zur gegenüberliegenden Seite bewegt, so daß die Fläche, auf der sich die Schwebekörper bewegen können, etwa auf ein Fünftel verringert wird.

Dabei beobachtet man die Bewegung der Schwebekörper bez. der Geschwindigkeit und der Stöße. Nachfolgend wird die Fläche durch Zurückbewegen des Kolbens in entsprechender Weise vergrößert. Auch hierbei wird die Bewegung der Schwebekörper beobachtet.

Ergebnis:

Bei der Verringerung der Fläche nimmt sowohl die mittlere Geschwindigkeit der Schwebekörper als auch die Anzahl der Stöße untereinander und mit den Barrieren zu. Bei der Vergrößerung der Fläche verringert sich die mittlere Geschwindigkeit; die Anzahl der Stöße nimmt ab.



Deutung:

Wird ein Gas schnell komprimiert, so nehmen die mittlere Geschwindigkeit der Moleküle und die Stoßanzahl zu. Es erhöhen sich Temperatur und Druck des Gases. Wird ein Gas adiabatisch expandiert, so nimmt die mittlere Geschwindigkeit der Moleküle ab. Es verringern sich Druck und Temperatur.

2.1.12 Abhängigkeit des Drucks von der Temperatur

Geräte

Luftkissentisch mit Gebläse	
Tageslichtprojektor	
magnetische Barriere, lang	2 Stück
magnetische Barriere, kurz	2 Stück
magnetischer Kolben	1 Stück
Führungsstück für	
den magnetischen Kolben	1 Stück
Schwebekörper, orange	8 Stück

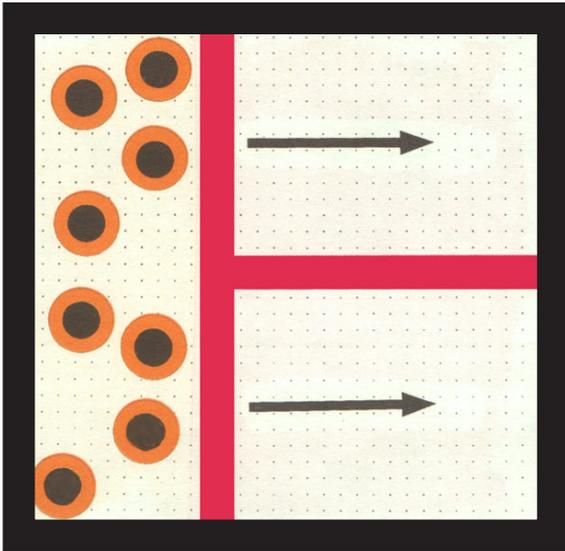
Modellierung	
Realobjekt	Modell
Gefäß, in dem sich das Gas befindet	von den magnetischen Barrieren und dem Kolben umgebene Experimentierfläche des Luftkissentisches
Wände des Gefäßes	magnetische Barrieren
Kolben, der das Volumen des Gases begrenzt	magnetischer Kolben
Gasmoleküle	Schwebekörper

Durchführung:

Der Luftkissentisch wird horizontal ausgerichtet und mit magnetischen Barrieren versehen. Den Kolben legt man parallel zur magnetischen Barriere Nr. 2 auf die Experimentierfläche. Die zeitliche Begrenzung für die Kolbenstange und ihre gute Führung werden durch Aufsetzen des Führungsstücks für den magnetischen Kolben auf die Barriere N. 2 realisiert. Die Schwebekörper werden in der Nähe der Barriere Nr. 1 mit der Aussparung für den seitlichen Lufteintritt auf die Experimentierfläche gelegt. Der Kolben wird möglichst weit auf diese Barriere zubewegt. Mit dem Gebläse wird ein kräftiger Luftstrom bereitgestellt. Durch mehrmaliges kurzzeitiges Öffnen des Impulsventils erhöht man die mittlere Geschwindigkeit der Schwebekörper. Die Bewegungen der Schwebekörper und des Kolbens werden beobachtet.

Ergebnis:

In dem Maße, wie die mittlere Geschwindigkeit der Schwebekörper zunimmt, wird der Kolben durch die Stöße der Schwebekörper verschoben. Dadurch vergrößert sich die Fläche, auf der sich die Schwebekörper bewegen.



Deutung:

Erhöht man die Temperatur eines Gases, so nimmt der Druck zu, wenn das Volumen konstant ist. Ist das Gefäß, in dem sich das Gas befindet, mit einem beweglichen Kolben versehen, so vergrößert sich das Volumen des Gases bei Temperaturzunahme.

Hinweis:

Die auf den Kolben von außen infolge des Luftdruckes wirkende Kraft kann im Experiment ebenfalls modellmäßig nachgebildet werden. Dazu wird die Experimentierfläche geringfügig geneigt, so daß der Kolben von den Schwebekörpern schräg nach oben geschoben werden muß.

2.1.13 Abhängigkeit des Drucks von der Molekülanzahl

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor



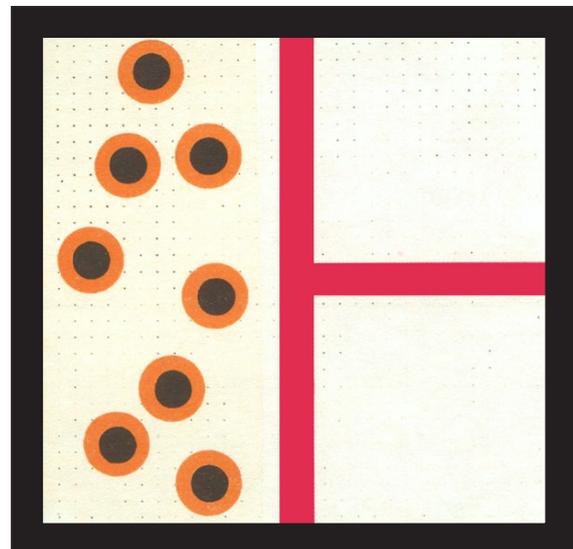
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- magnetischer Kolben 1 Stück
- Führungsstück für den magnetischen Kolben 1 Stück
- Schwebekörper, orange 8 Stück

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Gefäß, in dem sich das Gas befindet	von den magnetischen Barrieren und dem Kolben umgebene Experimentierfläche des Luftkissentisches
Wände des Gefäßes	magnetische Barrieren
Kolben, der das Volumen des Gases begrenzt	magnetischer Kolben
Gasmoleküle	Schwebekörper

Durchführung:

Man richtet den Luftkissentisch horizontal aus und ordnet die magnetischen Barrieren um die Experimentierfläche an. Den Kolben legt man parallel zur magnetischen Barriere Nr. 2. Die Kolbenstange liegt dabei auf dem Führungsstück für den magnetischen Kolben, das auf die magnetische Barriere Nr. 2 aufgesetzt wurde. Dadurch ist eine gute Führung garantiert. Drei der Schwebekörper ordnet man in der Nähe der Barriere Nr. 1 mit der Aussparung für den Lufteintritt aus dem Impulsventil an. Der Kolben wird möglichst weit an diese Barriere herangeschoben. Das Gebläse wird auf einen kräftigen Luftström eingestellt.

Nun bringt man nacheinander die übrigen Schwebekörper auf die Experimentierfläche, wo-



bei man jeden von der Barriere Nr. 1 aus mit möglichst großer Geschwindigkeit einschießt. Die Bewegungen der Schwebekörper und des Kolbens werden beobachtet.

Ergebnis:

In dem Maße, wie sich die Teilchenanzahl erhöht, wird der Kolben durch die Stöße der Schwebekörper verschoben. Dadurch nimmt die Fläche, auf der sich die Schwebekörper bewegen, zu.

Deutung:

Vergrößert man die Anzahl der Moleküle in einem bestimmten Gasvolumen, so nimmt der Druck zu. Ist das Gefäß, in dem sich das Gas befindet, mit einem beweglichen Kolben versehen, so vergrößert sich das Volumen des Gases, wenn die Anzahl der Moleküle zunimmt.

Hinweis:

Man kann auch die Kraft, die auf den Kolben durch den Luftdruck von außen einwirkt, modellmäßig nachbilden. Dazu neigt man die Experimentierfläche geringfügig, so daß die Schwebekörper den magnetischen Kolben schräg nach oben verschieben müssen, wenn sich die Fläche vergrößern soll.

2.1.14 Diffusion von Gasen

Geräte:

- Luftkissentisch mit Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- magnetischer Kolben 1 Stück
- Schwebekörper, rot 6 Stück
- Schwebekörper, grün 6 Stück

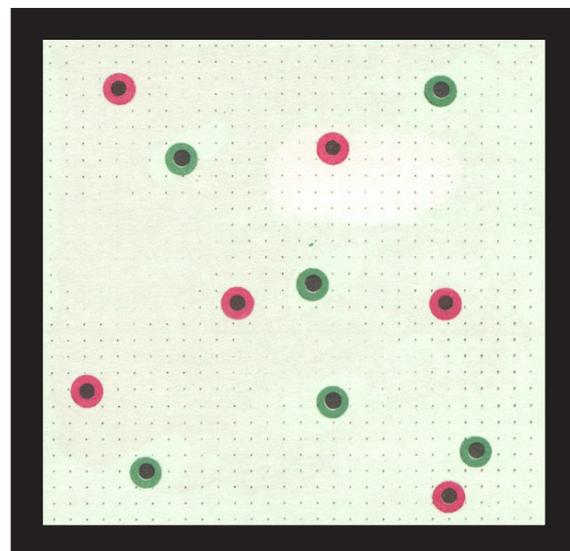
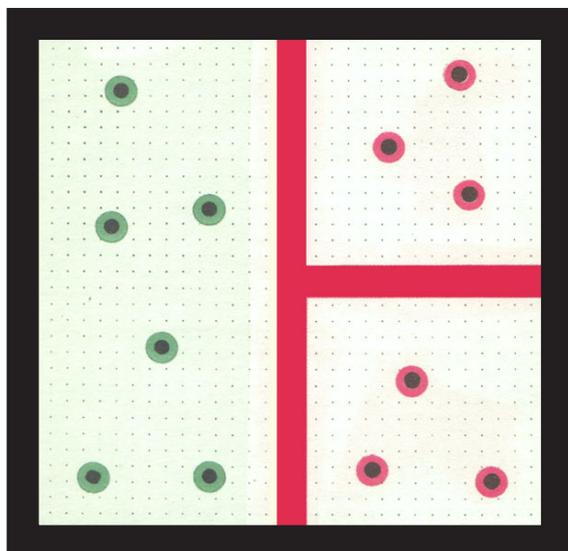
Modellierung	
Realobjekt	Modell
Gefäß, in dem sich die Gase befinden	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Wände des Gefäßes	magnetische Barrieren
Trennwand	magnetischer Kolben
Moleküle des einen Gases	grüne Schwebekörper
Moleküle des anderen Gases	rote Schwebekörper

Durchführung:

Man richtet den Luftkissentisch horizontal aus und setzt die magnetischen Barrieren ein. Auf die eine Hälfte der Experimentierfläche, in der Nähe der magnetischen Barriere Nr. 1, bringt man die roten, auf die andere Hälfte, in der Nähe der Barriere Nr. 2, die grünen Schwebekörper. Den magnetischen Kolben legt man als Trennwand in die Mitte parallel zu den Barrieren Nr. 1 und Nr. 2. Das Gebläse wird auf kleine Leistung eingestellt, so daß die Schwebekörper gerade schweben. Dann hebt man den Kolben schnell hoch und beobachtet die Bewegung der roten und grünen Schwebekörper. Man wiederholt das Experiment mit einem kräftigeren Luftstrom, nachdem man die roten Schwebekörper dicht an die Barriere Nr. 1 und die grünen dicht an die Barriere Nr. 2 herangelegt hat.

Ergebnis:

Nach dem Beseitigen der Trennwand durchmischen sich die Schwebekörper infolge ihrer Eigenbewegung gleichmäßig. Die Durchmischung erfolgt bei größerer mittlerer Geschwindigkeit schneller als bei kleinerer.



Deutung:

Entfernt man die Wand, die zwei Gase in einem Behälter voneinander trennt, so durchmischen sich diese Gase von selbst (Diffusion). Dieser Vorgang vollzieht sich infolge der thermischen Bewegung der Moleküle. Je höher die Temperatur ist, um so größer ist die Diffusionsgeschwindigkeit. Ursache hierfür ist die größere Geschwindigkeit der Moleküle bei höherer Temperatur.

Bei der Diffusion geht das System von einem Zustand höherer Ordnung in einen geringerer Ordnung über. Die Entropie nimmt zu.

2.1.15 Diffusion von Gasen durch eine poröse Trennwand

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- magnetische Barriere mit Öffnung 1 Stück
- Schwebekörper, grün 4 Stück
- Schwebekörper, rot 6 Stück

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Gefäß, in dem sich die Gase befinden	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Wände des Gefäßes	magnetische Barrieren
poröse Trennwand	magnetische Barriere mit Öffnung
Moleküle des einen Gases	rote Schwebekörper
Moleküle des anderen Gases	grüne Schwebekörper

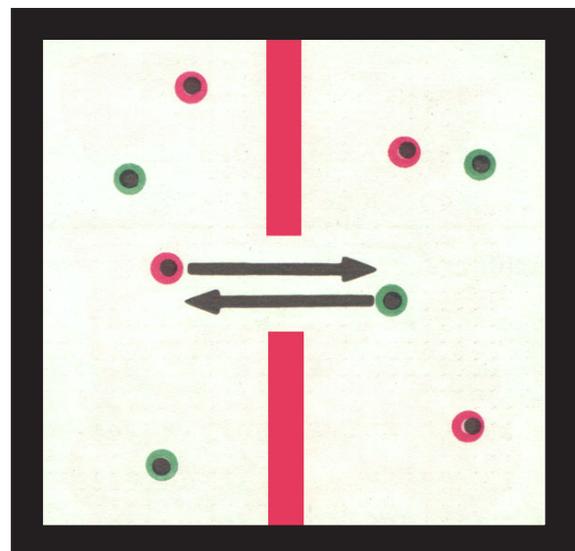
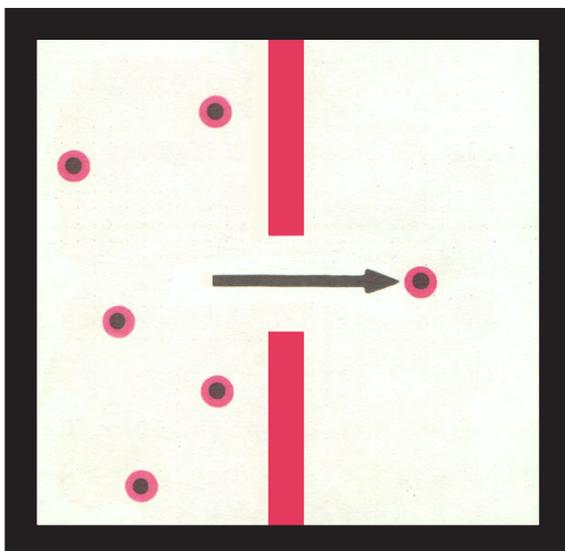
Durchführung:

Man richtet den Luftkissentisch horizontal aus und versieht ihn mit den magnetischen Barrieren. Die magnetische Barriere mit Öffnung teilt die Experimentierfläche in zwei Hälften. Ihre Enden rasten dabei in die Vertiefungen der Barrieren Nr. 3 und Nr. 4 ein. Auf die eine Hälfte, die durch die magnetische Barriere Nr. 1 mit der Aussparung für den seitlichen Lufteintritt begrenzt ist, legt man die roten Schwebekörper.

Man bringt die Schwebekörper bei einem möglichst schwachen Luftstrom zum Schweben und beobachtet die Bewegung der Schwebekörper durch die Öffnung der mittleren Barriere. Das Experiment wird mit einem stärkeren Luftstrom wiederholt, wobei die mittlere Geschwindigkeit der Schwebekörper durch mehrmaliges kurzzeitiges Öffnen des Impulsventils gegenüber dem ersten Experiment erhöht wird. Für das folgende Experiment bringt man auf die eine Hälfte der Experimentierfläche 4 grüne, auf die andere 4 rote Schwebekörper. Nach dem Einschalten des Gebläses wird die Bewegung der Schwebekörper durch die Öffnung beobachtet. Die mittlere Geschwindigkeit der Schwebekörper vergrößert man durch wiederholtes kurzzeitiges Öffnen des Impulsventils.

Ergebnis:

In allen Experimenten bewegen sich in unregelmäßiger zeitlicher Folge Schwebekörper durch die Öffnung. Das führt bei den ersten beiden Experimenten dazu, daß sich nach einiger Zeit etwa gleich viele Schwebekörper in beiden Hälften befinden. Beim letzten Experiment durchdringen die Schwebekörper die Öffnung in beiden Richtungen. Beide Arten von Schwebekörper durchmischen sich. Diese Vorgänge vollziehen sich um



so schneller, je größer die mittlere Geschwindigkeit der Schwebekörper ist.

Deutung:

Die Moleküle eines Gases können eine poröse Wand durchdringen. Befindet sich, das Gas anfangs in der einen Kammer eines Gefäßes mit einer porösen Trennwand, so führt die Diffusion durch die Trennwand zu einem Druckausgleich, so daß schließlich in beiden Kammern gleichviele Moleküle enthalten sind. Befinden sich in beiden Kammern eines Gefäßes, das durch eine poröse Trennwand geteilt ist, verschiedene Gase, so erfolgt durch die Trennwand eine Durchmischung. Die Diffusion verläuft um so schneller, je größer die Temperatur der Gase ist.

2.1.16 Brownsche Bewegung in einem Gas

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- Schwebekörper, rot 16 Stück
- Schwebekörper, blau 1 Stück

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Gefäß, in dem sich das Gas befindet	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Wände des Gefäßes	magnetische Barrieren
Moleküle des Gases	rote Schwebekörper
Körperchen, das Brownsche Bewegung zeigt	blauer Schwebekörper

Durchführung:

Man richtet den Luftkissentisch horizontal aus und ordnet die magnetischen Barrieren um die Experimentierfläche an.

Die roten Schwebekörper werden in der Nähe der magnetischen Barrieren auf den Luftkissentisch aufgelegt. In die Mitte der Experimentierfläche legt man den blauen Schwebekörper.

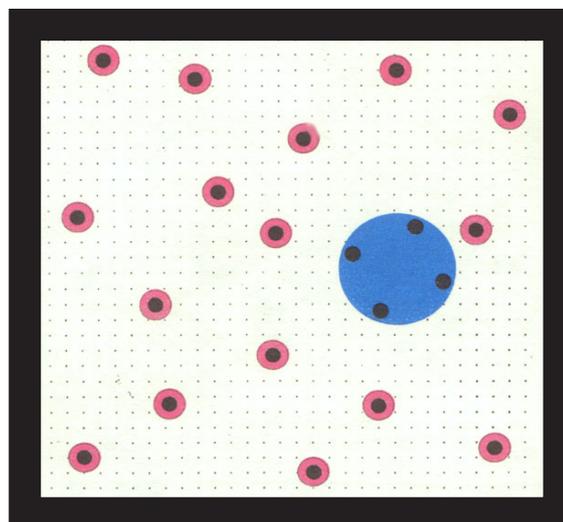
Das Gebläse wird auf mittlere Leistung eingestellt. Man beobachtet die Bewegung des blauen Schwebekörpers.

Ergebnis:

Die roten Schwebekörper stoßen in unregelmäßiger Folge auf den blauen Schwebekörper.

Dadurch wird dieser in Bewegung versetzt. Betrag und Richtung seiner Geschwindigkeit ändern sich ständig, so daß eine zickzackartige Bahn entsteht.

Im zeitlichen Mittel ist seine Geschwindigkeit wesentlich geringer als die der roten Schwebekörper.



Deutung:

Kleine Körperchen (Staub, Rauchpartikel, Wassertröpfchen), die im Mikroskop sichtbar sind, führen in Gasen eine Brownsche Bewegung aus. Sie wird durch die thermische ungeordnete Bewegung der Gasmoleküle verursacht.

2.1.17 Dichteverteilung in einem Gas im Schwerfeld

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetisch Barriere, kurz 2 Stück
- Schwebekörper, rot 20 Stück

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Teil der Lufthülle der Erde	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Gasmoleküle in der Lufthülle der Erde	Schwebekörper
Schwerfeld der Erde	Neigung der Experimentierfläche

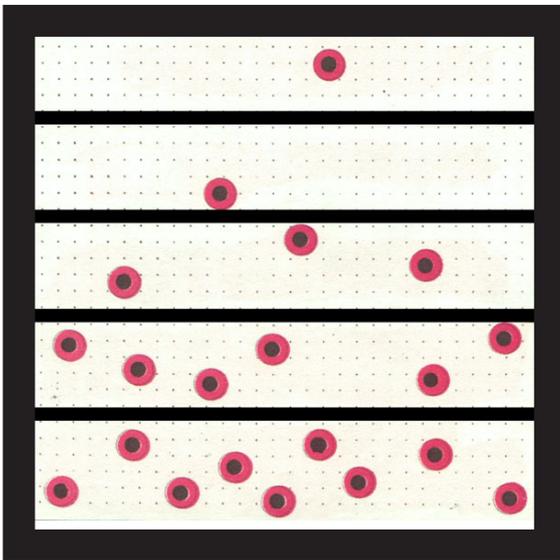
Durchführung:

Der Luftkissentisch wird horizontal ausgerichtet. Die magnetischen Barrieren werden auf die Experimen-

tierfläche aufgesetzt. Die Schwebekörper ordnet man in der Nähe der magnetischen Barrieren an. Am Gebläse wird eine mittlere Leistung eingestellt. Mit Hilfe der Justierschraube bei der Barriere Nr. 4 wird die Arbeitsfläche des Tisches mehr und mehr in Richtung zur Projektionswand geneigt. Dabei beobachtet man die unterschiedliche Verteilung der Schwebekörper auf der Experimentierfläche.

Ergebnis:

Zunächst sind die Schwebekörper auf der gesamten Experimentierfläche gleichmäßig verteilt. Mit zunehmender Neigung nimmt die Dichte der Schwebekörper von unten nach oben immer mehr ab.



Deutung:

Befindet sich ein Gas im Gravitationsfeld der Erde, so nimmt die Dichte des Gases mit zunehmendem Abstand von der Erdoberfläche ab.

Hinweise:

Das Experiment kann auch quantitativ ausgewertet werden. Dazu zerlegt man die Experimentierfläche z. B. in 5 parallele, gleich breite, waagerechte Streifen. Das kann durch Linien auf einer Folie erfolgen, die man unter den Luftkissentisch schiebt. Das Gebläse wird ausgeschaltet und nachfolgend die Anzahl der Schwebekörper bestimmt, die sich in jedem der Streifen befinden. Stellt man die aus mehreren Messungen berechneten Mittelwerte für die Besetzungszahlen jedes Streifens als Funktion der Höhe grafisch dar, so zeigt der Graph einen annähernd exponentiellen Verlauf.

Die Abweichungen resultieren daraus, daß jeder Schwebekörper eine relativ große Fläche ein-

nimmt und die abstoßenden Kräfte auch noch in einigen Zentimetern Abstand vom Schwebekörper die Bewegung merklich beeinflussen.

2.1.18 Ortsverteilung der Moleküle in einem Gas

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- Manipulierstab 1 Stück
- Schwebekörper, rot 4 Stück
- Stoppuhr oder Zentraluhr

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Gefäß, in dem sich das Gas befindet	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Wände des Gefäßes	magnetische Barrieren
Halbräume des Gefäßes	Hälften der Experimentierfläche
Gasmoleküle	Schwebekörper

Durchführung:

Nach dem horizontalen Ausrichten des Luftkissentisches werden die magnetischen Barrieren am Rande der Experimentierfläche angeordnet. Durch Auflegen des Manipulierstabes auf die Mitte der Barrieren Nr. 3 und Nr. 4 wird die Experimentierfläche halbiert. Die Schwebekörper legt man an beliebige Stellen auf die Experimentierfläche und stellt am Gebläse eine mittlere Leistung ein. Durch wiederholtes kurzzeitiges Öffnen des Impulsventils erteilt man den Schwebekörpern eine große mittlere Geschwindigkeit. Nach einer vorgegebenen Zeit bestimmt man die Verteilung der 4 Schwebekörper auf beide Räume. Zu diesem Zwecke verschließt man die Ansatzöffnung (Ansaugöffnung) des Gebläses mit der Hand. Die ermittelte Verteilung wird in Tabelle 1 eingetragen. Nachfolgend wird die Öffnung wieder freigegeben und das Impulsventil mehrmals betätigt. Nach der vorgegebenen Zeit verschließt man die Öffnung erneut und bestimmt die Verteilung usw.

Nach 20 Experimenten, 40 Experimenten usw. stellt man die relative Häufigkeit für jede mögliche Verteilung in einem Säulendiagramm dar (Bild 5).

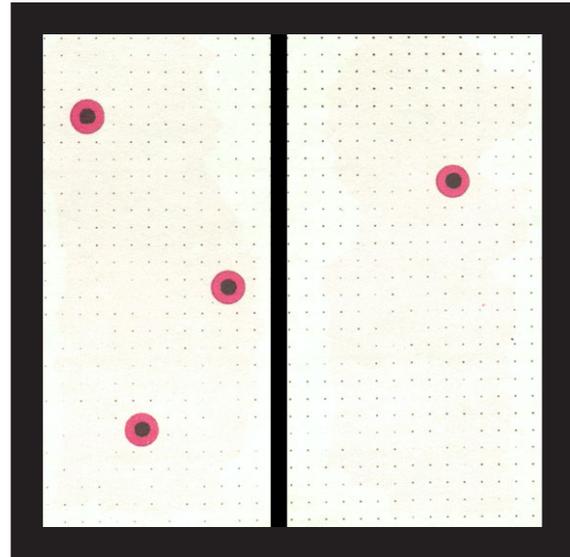
Ergebnis:

Obwohl sich die Schwebekörper völlig unregelmäßig bewegen, zeigt sich bei einer großen An-

zahl von Experimenten, daß eine gesetzmäßige Verteilung auf beide Hälften erfolgt. Am häufigsten tritt die 2:2-Verteilung auf, ihr folgen die 3:1- und die 1:3- Verteilung und schließlich in größerem Abstand die 4:0- und die 0:4-Verteilung. Die Häufigkeiten der 3:1- und der 1:3-Verteilung sind etwa gleich; ebenso gleichen sich die 4:0 und die 0:4-Verteilung.

Deutung:

Die Verteilung der Moleküle in einem Gas genügt den Gesetzen der Statistik. Im Falle der Verteilung von 4 Molekülen auf zwei Halbräume treten die 0:4, 1:3-, 2:2-, 3:1- und 4:0-Verteilung im Verhältnis 1:4:6:4:1 auf. Das entspricht den relativen Häufigkeiten von 6,25%:25%:37,5%:25%:6,25%.



Hinweise:

Die Ermittlung der einzelnen Verteilungen läßt sich vereinfachen, indem man jeweils nach einer vorgegebenen Zeit (etwa 5 s) die Verteilung ermittelt und notiert. Dazu genügt es, nur eine Hälfte der Experimentierfläche zu beobachten und zu bestimmen, wieviele Schwebekörper sich zu den festgelegten Zeiten in dieser befinden.

Die Anzahl der Schwebekörper in der anderen Hälfte ergibt sich durch Differenzbildung zu 4.

Das oben angegebene Verhältnis der Verteilungen gilt unter der Annahme, daß die Moleküle ein vernachlässigbar kleines Volumen besitzen und die Abstoßungskräfte nur in unmittelbarer Nähe der Moleküle wirksam sind. Diese Voraussetzungen sind für die Schwebekörper nicht erfüllt. Deshalb zeigt sich beim Experiment die 2:2-Verteilung als überrepräsentiert, die übrigen Verteilungen treten seltener als erwartet auf.

Tabelle 1					
Verteilung	0 : 4	1 : 3	2 : 2	3 : 1	4 : 0
relative Häufigkeit in %	5	20	49	21	5

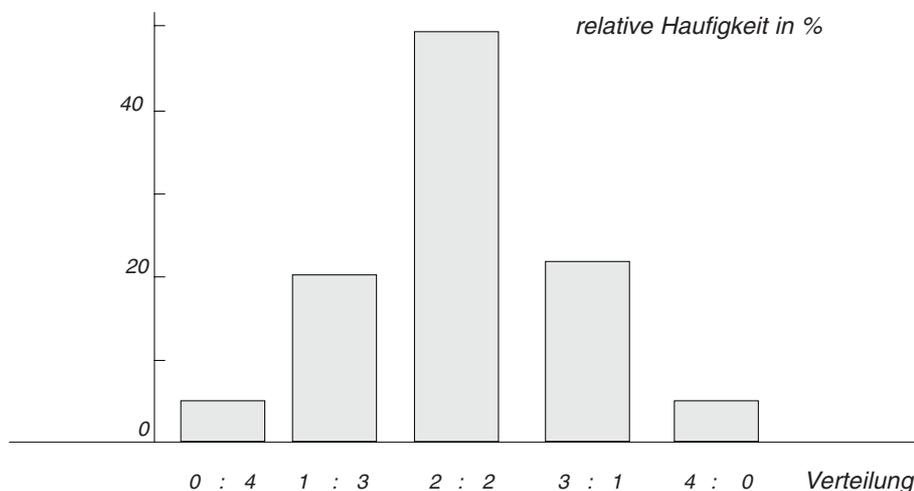


Bild 5: Relative Häufigkeit der Verteilungen bei 100 Experimenten

2.2 Aufbau und Eigenschaften von Flüssigkeiten

2.2.1 Anordnung und Bewegung der Moleküle in einer Flüssigkeit

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- Schwebekörper, orange 25 Stück

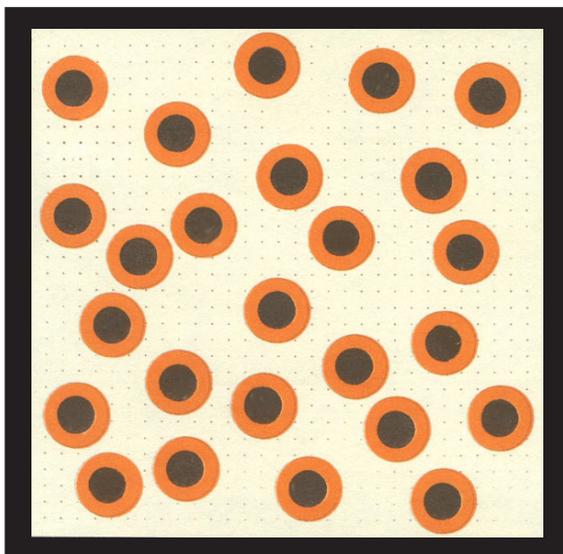
Modellierung	
Realobjekt	Modell
Gefäß, in dem sich die Flüssigkeit befindet	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Wände des Gefäßes	magnetische Barrieren
Moleküle der Flüssigkeit	Schwebekörper

Durchführung:

Der Luftkissentisch wird horizontal ausgerichtet. Es werden zunächst die magnetischen Barrieren und danach die Schwebekörper auf die Experimentierfläche aufgelegt. Der Luftstrom wird so kräftig eingestellt, daß alle Schwebekörper auch bei geöffnetem Impulsventil schweben. Das Impulsventil wird mehrmals kurzzeitig geöffnet, so daß die Schwebekörper eine möglichst große mittlere Geschwindigkeit besitzen. Anordnung und Bewegung der Schwebekörper werden beobachtet.

Ergebnis:

Die Schwebekörper sind in geringem Abstand voneinander unregelmäßig angeordnet. Jeder Schwebekörper führt schwingende und kreisende Bewegungen um den jeweiligen Ort aus, an dem er sich befindet. Er ist aber nicht an diesen be-



stimmten Ort gebunden, sondern wechselt ihn in unregelmäßigen Zeitabständen bzw. bewegt sich zwischen den anderen Schwebekörpern hindurch. Die kinetische Energie ist von Schwebekörper zu Schwebekörper verschieden und unterliegt für jeden Schwebekörper zeitlichen Änderungen.

Deutung:

Die Moleküle in einer Flüssigkeit befinden sich in ständiger, unregelmäßiger Bewegung. Dabei überwiegen schwingende und kreisende Bewegungen um die jeweilige Lage. Sie sind für jedes Molekül zeitweilig überlagert von unregelmäßigen Translationsbewegungen. Die kinetische Energie der einzelnen Moleküle ist unterschiedlich und ändert sich ständig.

2.2.2 Temperaturerhöhung bei Flüssigkeiten durch Energiezufuhr

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- Schwebekörper, orange 25 Stück

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Gefäß, in dem sich die Flüssigkeit befindet	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Wände des Gefäßes	magnetische Barrieren
Moleküle der Flüssigkeit	Schwebekörper

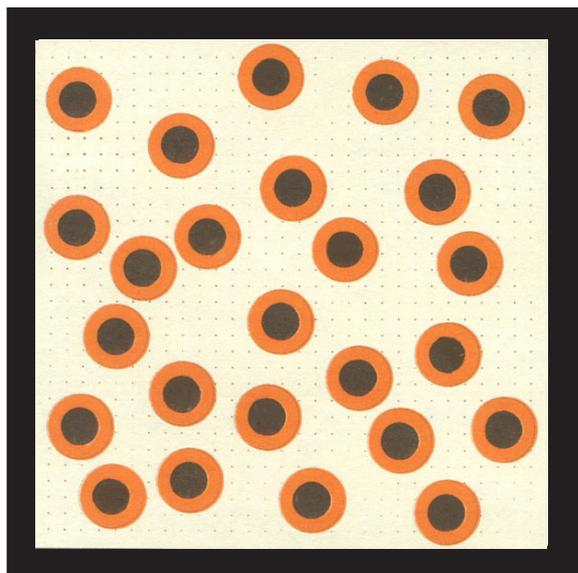
Durchführung:

Den Luftkissentisch richtet man horizontal aus und versieht ihn mit den magnetischen Barrieren. Die Schwebekörper werden auf die Experimentierfläche gelegt.

Am Gebläse stellt man den Luftstrom so kräftig ein, daß die Schwebekörper auch bei geöffnetem Impulsventil sicher abheben. Die Geschwindigkeit der Schwebekörper muß zunächst klein sein. Dazu wird das Impulsventil nur in größeren Zeitabständen kurzzeitig geöffnet. Durch immer häufigeres Öffnen erhöht man die Geschwindigkeit allmählich. Die Bewegung der Schwebekörper wird beobachtet.

Ergebnis:

Mit zunehmender Energiezufuhr bewegen sich die Schwebekörper immer heftiger. Dabei füh-



ren sie Schwingungen mit größeren Amplituden aus, vertauschen häufiger ihre Plätze und bewegen sich mit höherer Geschwindigkeit von einem Ort zum anderen.

Deutung:

Führt man einer Flüssigkeit Energie zu, so erhöht sich die mittlere kinetische Energie der Moleküle. Die Temperatur steigt an.

2.2.3 Diffusion von Flüssigkeiten

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- Schwebekörper, rot 20 Stück
- Schwebekörper, grün 20 Stück

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Gefäß, in dem sich die Flüssigkeiten befinden	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Wände des Gefäßes	magnetische Barrieren
Moleküle der einen Flüssigkeit	rote Schwebekörper
Moleküle der anderen Flüssigkeit	grüne Schwebekörper

Durchführung:

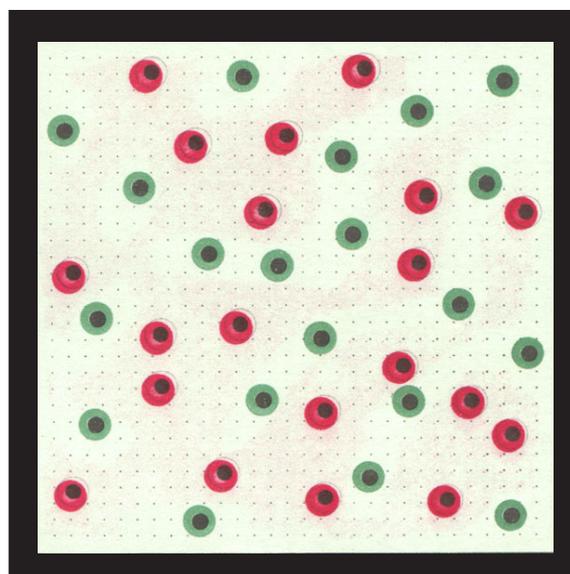
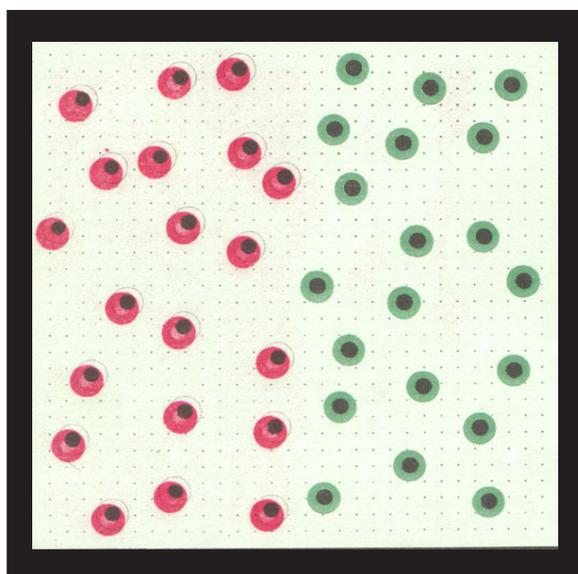
Den Luftkissentisch richtet man horizontal aus und legt die magnetischen Barrieren auf die Experimentierfläche. Man verteilt die Schwebekörper gleichmäßig auf die gesamte Experimentierfläche, so daß sich alle grünen auf der einen Hälfte und alle roten auf der anderen befinden und die Trennlinie parallel zur Barriere Nr. 1 und Nr. 2 verläuft. Am Gebläse wird der Luftstrom so eingestellt, daß die Schwebekörper auch bei geöffnetem Impulsventil sicher schweben. Die Bewegung der Schwebekörper, insbesondere im Bereich der Grenzschicht, wird beobachtet.

Ergebnis:

Die Schwebekörper durchmischen sich im Bereich der Grenzschicht infolge der gelegentlichen Translationsbewegungen allmählich. Nach und nach bewegen sich immer mehr rote Schwebekörper in den Bereich der grünen und immer mehr grüne in den Bereich der roten. Nach einiger Zeit liegt eine völlige Durchmischung vor.

Deutung:

Infolge der ungeordneten Bewegung der Mole-



küle durchmischen sich zwei Flüssigkeiten von selbst. Die geringe Translationsgeschwindigkeit bedingt, daß die Diffusion in Flüssigkeiten wesentlich langsamer als in Gasen erfolgt.

2.2.4 Brownsche Bewegung in einer Flüssigkeit

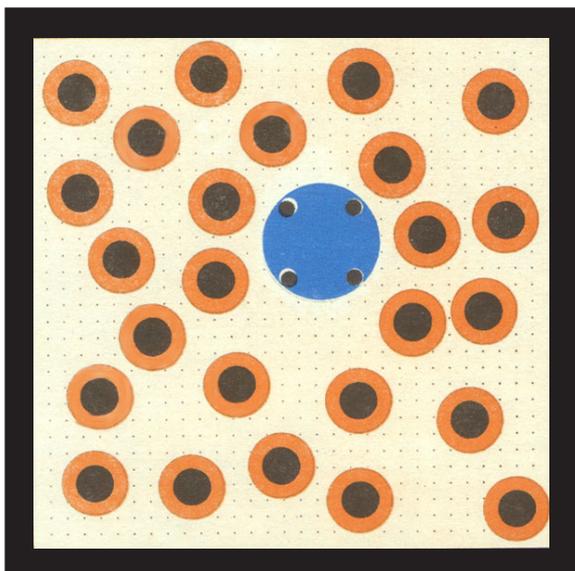
Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- Schwebekörper, orange 25 Stück
- Schwebekörper, blau 1 Stück

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Gefäß, in dem sich die Flüssigkeit befindet	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Wände des Gefäßes	magnetische Barrieren
Moleküle der Flüssigkeit	orange Schwebekörper
Körperchen, das Brownsche Bewegung zeigt	blauer Schwebekörper

Durchführung:

Der Luftkissentisch wird horizontal ausgerichtet und mit den magnetischen Barrieren versehen. Die orange Schwebekörper werden in der Nahe der magnetischen Barrieren auf die Experimentierfläche gelegt. In die Mitte der Experimentierfläche bringt man den blauen Schwebekörper. Die Leistung des Gebläses wird bei geöffnetem Impulsventil so weit erhöht, daß alle Schwebekörper abheben. Danach wird das Impulsventil ab und zu kurzzeitig geöffnet. Man beobachtet die Bewegung des blauen Schwebekörpers in Wechselwirkung mit den orangefarbenen.



körper abheben. Danach wird das Impulsventil ab und zu kurzzeitig geöffnet. Man beobachtet die Bewegung des blauen Schwebekörpers in Wechselwirkung mit den orangefarbenen.

Ergebnis:

Infolge der wiederholten Stöße der orange Schwebekörper führt der blaue eine unregelmäßige Bewegung aus. Seine Geschwindigkeit ist im zeitlichen Mittel wesentlich geringer als die mittlere Geschwindigkeit der orange Schwebekörper.

Deutung:

Befinden sich in einer Flüssigkeit mikroskopisch kleine Körperchen, so werden sie durch die thermische Bewegung der nicht sichtbaren Moleküle in unregelmäßige Bewegung versetzt, die unter dem Mikroskop verfolgt werden kann.

2.2.5 Verdunsten einer Flüssigkeit

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- Haltevorrichtung 1 Stück
- Piacrylplatte 1 Stück
- flache magnetische Barriere 1 Stück
- Schwebekörper, grün 10 Stück

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Gefäß, in dem sich die Flüssigkeit befindet	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Wände des Gefäßes	magnetische Barrieren
Oberfläche der Flüssigkeit	flache magnetische Barriere
Moleküle der Flüssigkeit	Schwebekörper

Durchführung:

Man richtet den Luftkissentisch horizontal aus und versieht ihn mit den magnetischen Barrieren. Dann neigt man die Experimentierfläche durch Hineinschrauben der Justierschraube bei der Barriere Nr. 4. Die Schwebekörper ordnet man auf der Hälfte der Experimentierfläche an, die der Barriere Nr. 3 zugewandt ist. Man befestigt die Haltevorrichtung am Luftkissentisch und hängt die Piacrylplatte ein. Parallel zu den magnetischen Barrieren Nr. 3 und Nr. 4 legt man unterhalb der Mitte die flache magnetische Barriere-

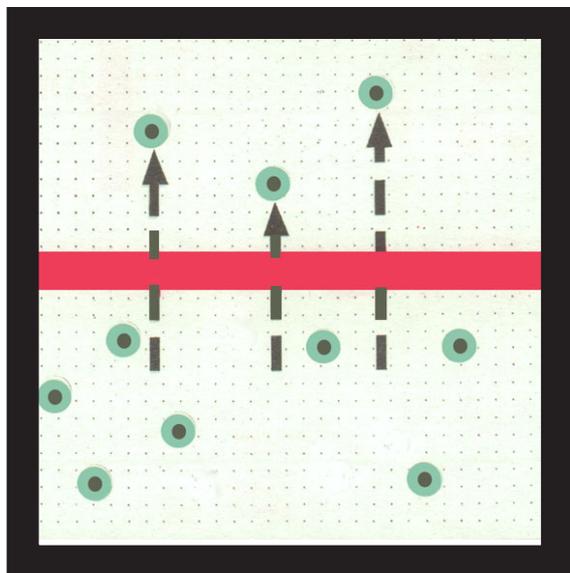
re auf die Piacrylplatte. Die Magnetleiste soll dabei nach unten zeigen und der Pfeil zur Projektionswand gerichtet sein. Dann stellt man die Platte auf die niedrigste Position.

Das Gebläse wird auf eine mittlere Leistung eingestellt. Man beobachtet das Verhalten der Schwebekörper besonders in der Nähe der flachen magnetischen Barriere. Danach wird durch wiederholte kurzzeitige Betätigung des Impulsventils die mittlere Geschwindigkeit der Schwebekörper schrittweise erhöht.

Ergebnis:

Die langsamen Schwebekörper können nicht den unteren Teil der Experimentierfläche verlassen. Die schnelleren dagegen überwinden die Barriere und gelangen in den oberen Teil der Experimentierfläche, Hier bewegen sie sich geradlinig gleichförmig, bis sie auf einen anderen Schwebekörper oder die magnetische Barriere treffen. Einzelne Schwebekörper gelangen auch in ihren ursprünglichen Aufenthaltsraum zurück.

Je größer die mittlere Geschwindigkeit der Schwebekörper ist, um so schneller verlassen einzelne Schwebekörper den ursprünglichen Bereich.



Deutung:

In einer Flüssigkeit befinden sich zu jeder Zeit Moleküle unterschiedlicher Geschwindigkeit. Den jeweils schnellsten Molekülen gelingt es, die Flüssigkeit zu verlassen. Dieser Vorgang des Verdunstens tritt auch unterhalb der Siedetemperatur der Flüssigkeit auf. Da auch Moleküle aus

der Gasatmosphäre in die Flüssigkeit zurückgelangen, stellt sich bald ein dynamischer Gleichgewichtszustand ein. Die Verdunstungsgeschwindigkeit ist um so größer, je höher die Temperatur der Flüssigkeit ist.

Hinweis:

Die Neigung der Experimentierfläche simuliert das Gravitationsfeld. Dadurch kehren mehr Teilchen aus der Gasphase in die Flüssigkeitsphase zurück.

2.2.6 Verflüssigen eines Gases durch Druck Geräte:

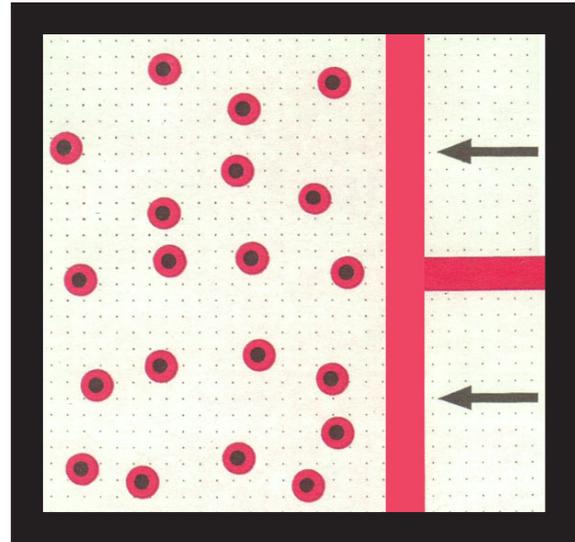
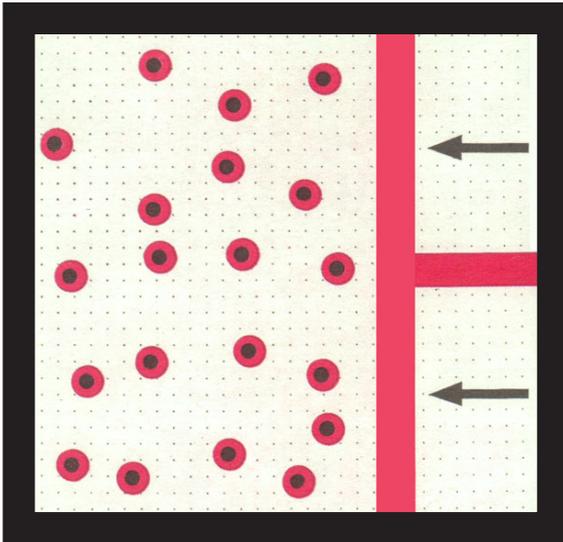
- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- magnetischer Kolben 1 Stück
- Führungsstück für den magnetischen Kolben 1 Stück
- Schwebekörper, rot 20 Stück

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Gefäß, in dem sich das Gas befindet	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Wände des Gefäßes	magnetische Barrieren
Kolben zum Komprimieren des Gases	magnetischer Kolben
Moleküle des Gases	Schwebekörper

Durchführung:

Der Luftkissentisch wird horizontal ausgerichtet und mit den magnetischen Barrieren versehen. Den Kolben legt man auf die Experimentierfläche dicht neben die Barriere Nr. 2.

Das Führungsstück für den magnetischen Kolben, das auf die magnetische Barriere Nr. 2 aufgesetzt wird, garantiert eine gute Führung der Kolbenstange. In die Nähe der Barriere Nr. 1 werden die magnetischen Schwebekörper gebracht. Das Gebläse wird auf eine mittlere Leistung eingestellt. Man bewegt den Kolben langsam auf die Barriere Nr. 1 zu, bis die Fläche, auf der sich die Schwebekörper bewegen können, weniger als die Hälfte der Experimentierfläche beträgt. Anordnung und Bewegung der Schwebekörper werden beobachtet.



Ergebnis:

Beim Verringern der Fläche verändert sich das Verhalten der Schwebekörper. Die Anzahl der Stöße nimmt zu. Die Strecken, über die sich die Schwebekörper geradlinig bewegen können, werden immer kleiner. Es dominieren schwingende und kreisende Bewegungen. Bleibende Ortsveränderungen zeigen sich vornehmlich als Wechsel der gegenseitigen Lage.

Deutung:

Bei der Kompression eines Gases kann unter bestimmten Bedingungen eine Verflüssigung auftreten. Dabei ändern sich Anordnung und Bewegungsform der Moleküle. Während im gasförmigen Aggregatzustand nur Translationsbewegungen auftreten, überwiegen im flüssigen Zustand die Schwingungen um die jeweilige Lage.

2.2.7 Erstarren einer Flüssigkeit

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- Schwebekörper, orange 25 Stück

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Gefäß, in dem sich die Flüssigkeit befindet	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Wände des Gefäßes	magnetische Barrieren
Moleküle der Flüssigkeit	Schwebekörper

Durchführung:

Nach dem horizontalen Ausrichten des Luftkissentisches wird er mit den magnetischen Barrieren versehen.

Die Schwebekörper verteilt man gleichmäßig auf der Experimentierfläche.

Der Luftstrom wird so stark gewählt, daß die Schwebekörper auch bei geöffnetem Impulsventil sicher abheben.

Das Impulsventil wird mehrmals hintereinander kurzzeitig betätigt, so daß die Schwebekörper eine große mittlere kinetische Energie besitzen.

Die Bewegung der Schwebekörper wird beobachtet.

Ergebnis:

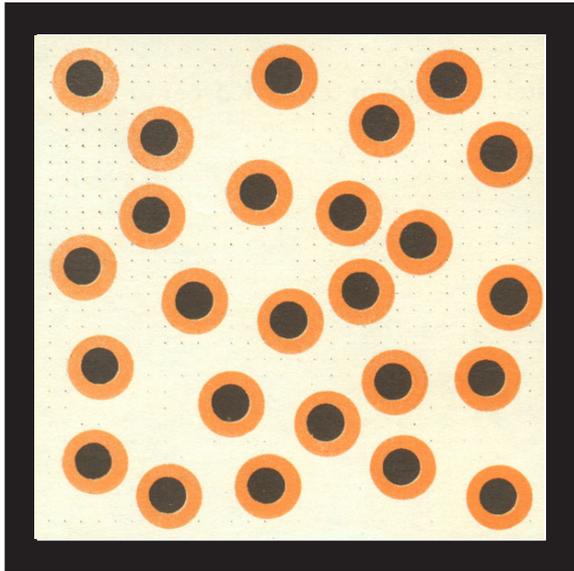
Zunächst führen die Schwebekörper schwingende und kreisende Bewegungen aus, die ihren Translationsbewegungen überlagert sind. Allmählich nimmt ihre mittlere kinetische Energie ab.

Die Amplituden der Schwingungen werden geringer, Translationsbewegungen treten seltener auf. Später beobachtet man noch vereinzelt Platzwechsel.

Schließlich bewegt sich jeder Schwebekörper nur noch um seine Gleichgewichtslage.

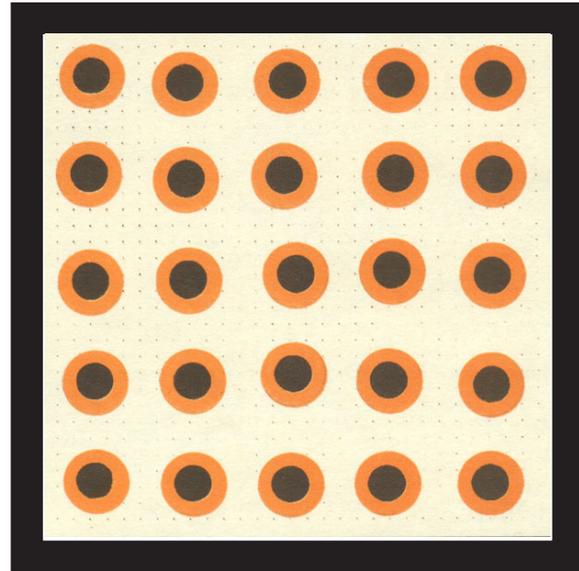
Hinweis:

Die mittlere Geschwindigkeit der Schwebekörper nimmt schneller ab, wenn die Leistung des Gebläses verringert wird.



Deutung:

Verringert man die Temperatur einer Flüssigkeit, so erstarrt sie. Bei der Temperaturerniedrigung nimmt die mittlere kinetische Energie der Flüssigkeitsmoleküle ab. Beim Erstarren ordnet sich jedes Molekül an einem bestimmten Platz an. Um diesen führt es unregelmäßige Schwingungsbewegungen aus.



Hinweis:

Die mittlere Geschwindigkeit der Schwebekörper nimmt schneller ab, wenn die Leistung des Gebläses verringert wird.

2.3 Aufbau und Eigenschaften von festen Körpern

2.3.1 Anordnung und Bewegung der Gitterbausteine in einem festen Körper

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- Schwebekörper, orange 25 Stück

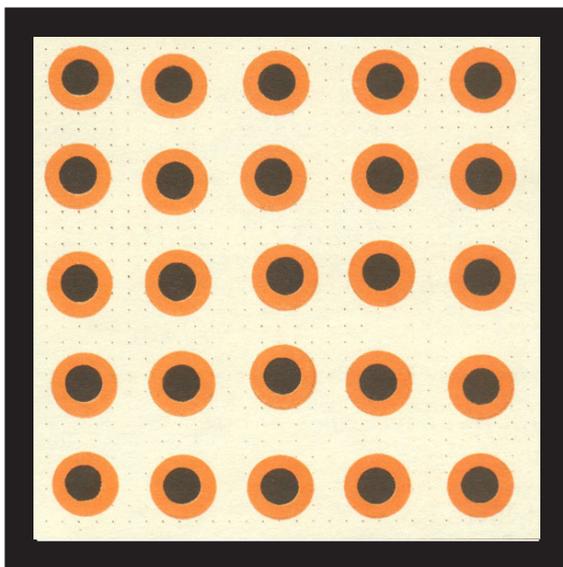
Modellierung	
Realobjekt	Modell
Raum, in dem das Verhalten des festen Körpers beobachtet wird	Experimentierfläche des Luftkissentisches
benachbarte Gitterbausteine	magnetische Barrieren
Gitterbausteine des festen Körpers	Schwebekörper

Durchführung:

Man richtet den Luftkissentisch horizontal aus, versieht ihn mit den magnetischen Barrieren und verteilt die Schwebekörper gleichmäßig über die Experimentierfläche. Man stellt den Luftstrom so stark ein, daß die Schwebekörper auch bei geöffnetem Impulsventil sicher schweben. Nach dem einmaligen Betätigen des Impulsventils beobachtet man die Bewegung der Schwebekörper.

Ergebnis:

Jeder Schwebekörper ist an einen bestimmten Platz gebunden. Um seine Gleichgewichtslage führt er schwingende und kreisende Bewegun-



gen aus. Die Amplituden sind unterschiedlich und verändern sich laufend. Im Laufe der Zeit nimmt die mittlere kinetische Energie der Schwebekörper allmählich ab.

Deutung:

In einem festen Körper sind die Gitterbausteine regelmäßig angeordnet. Sie führen um ihre Gleichgewichtslage unregelmäßige Schwingungen aus. Die Amplituden sind örtlich verschieden und ändern sich zeitlich. Beim Verringern der Temperatur nimmt die mittlere kinetische Energie der schwingenden Gitterbausteine ab.

Hinweise:

Um die modellmäßige Nachbildung der Temperaturerniedrigung überzeugend zu demonstrieren, empfiehlt es sich, während des Experimentes die Leistung des Gebläses bis auf einen möglichst kleinen Wert zu verringern.

Das Experiment kann auch mit roten bzw. grünen Schwebekörpern durchgeführt werden. Dazu ist es erforderlich, die wirksame Experimentierfläche durch Verlagern der Barriere Nr. 2 bis in die Mitte des Luftkissentisches zu verkleinern.

2.3.2 Schmelzen eines festen Körpers

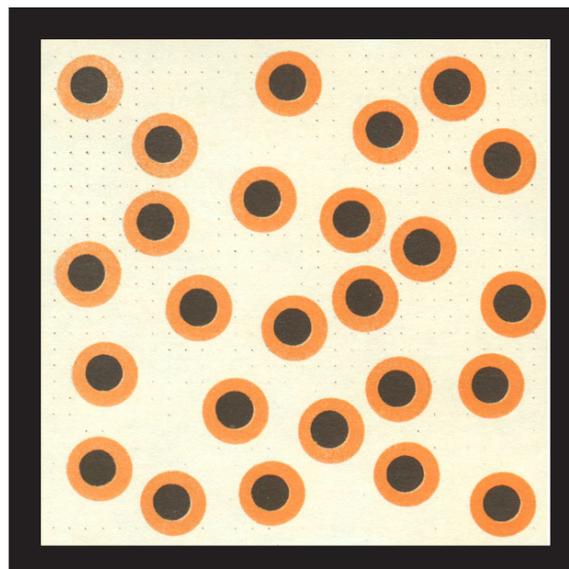
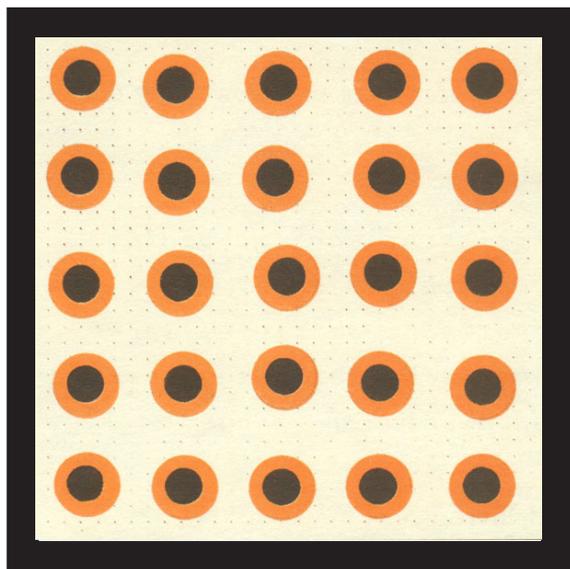
Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- Schwebekörper, orange 25 Stück

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Raum, in dem das Verhalten des festen Körpers beobachtet wird	Experimentierfläche des Luftkissentisches
benachbarte Gitterbausteine	magnetische Barrieren
Gitterbausteine des festen Körpers	Schwebekörper

Durchführung:

Der Luftkissentisch wird horizontal ausgerichtet und mit den magnetischen Barrieren versehen. Die Schwebekörper werden gleichmäßig auf der Experimentierfläche verteilt.



Die Leistung des Gebläses wird so weit erhöht, daß alle Schwebekörper auch bei geöffnetem Impulsventil schweben.

Im Abstand von einigen Sekunden wird das Impulsventil mehrmals kurzzeitig geöffnet und die Bewegung der Schwebekörper beobachtet.

Ergebnis:

Die Schwebekörper sind zunächst regelmäßig angeordnet und führen um ihren jeweiligen Platz schwingende und kreisende Bewegungen aus. Nachfolgend nehmen die Amplituden ihrer Schwingungen zu. Einzelne Schwebekörper wechseln ihren Platz. Schließlich führen alle zeitweilig neben Schwingungen auch Translationsbewegungen aus.

Deutung:

Beim Vergrößern der Temperatur schmilzt ein fester Körper. Während zunächst alle Gitterbausteine an einen festen Platz gebunden sind, um den sie schwingen, tritt nach folgend eine Überlagerung von Schwingungen und Translationsbewegungen auf.

2.3.3 Änderung des Aggregatzustandes eines Gases durch Kompression und Abkühlung

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- magnetischer Kolben 1 Stück
- Führungsstück für den magnetischen Kolben 1 Stück

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Gefäß, in dem sich das Gas befindet	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Wände des Gefäßes	magnetische Barrieren
Kolben im Gefäß	magnetischer Kolben
Moleküle des Gases	Schwebekörper

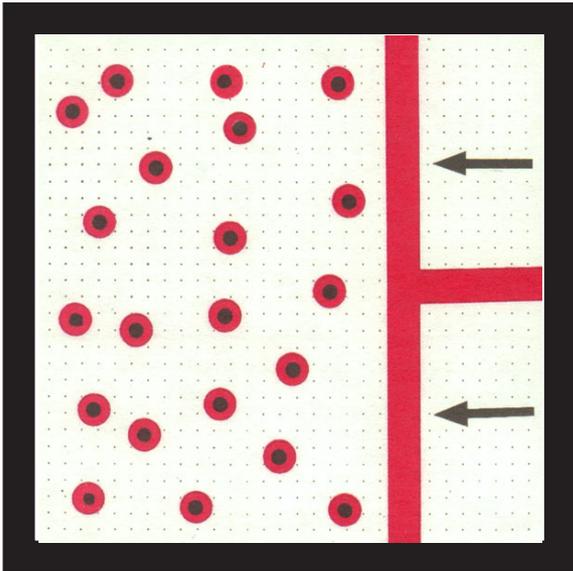
Durchführung:

Man richtet den Luftkissentisch horizontal aus und versieht ihn mit den magnetischen Barrieren. Der Kolben wird dicht neben der Barriere Nr. 2 angeordnet. Durch Aufsetzen des Führungsstücks für den magnetischen Kolben erreicht man eine gute Führung der Kolbenstange. Die Schwebekörper legt man auf die Experimentierfläche, so daß sie sich in der Nähe der Barriere Nr. 1 befinden.

Die Leistung des Gebläses wird so weit erhöht, daß alle Schwebekörper sicher abheben. Man bewegt den Kolben sehr langsam von der Barriere Nr. 2 auf die Barriere Nr. 1 zu, bis sich der Kolben über die Mitte der Experimentierfläche hinwegbewegt hat. Die Bewegung der Schwebekörper wird beobachtet.

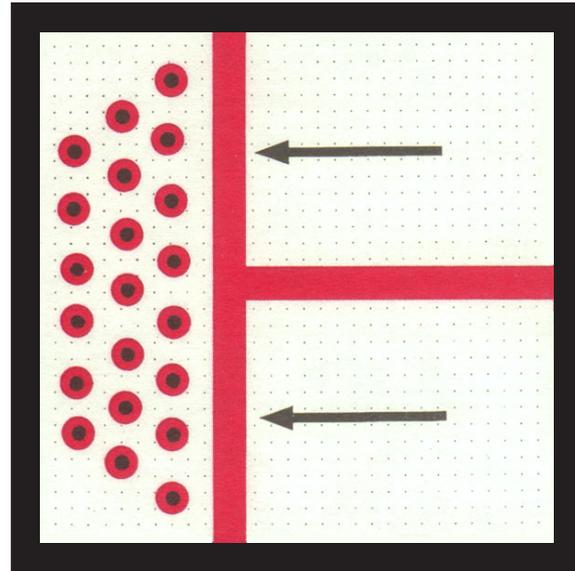
Ergebnis:

Zunächst bewegen sich die Schwebekörper wie Moleküle in einem Gas. Bei zunehmender Verkleinerung der Fläche werden die Translationsbewegungen immer mehr behindert. Zusätzlich treten Schwingungen der Schwebekörper um den jeweiligen Platz auf. Die Schwebekörper verändern ihre Gleichgewichtslagen immer seltener. Zum Schluß befindet sich jeder Schwebekörper an einem festen Platz, um den er schwingende und kreisende Bewegungen ausführt.



Deutung:

Beim Vergrößern des Druckes und gleichzeitiger Temperaturerniedrigung geht ein Gas von dem gasförmigen in den flüssigen Aggregatzustand über. Eine weitere Temperaturerniedrigung bewirkt ein Erstarren der Flüssigkeit. Während im gasförmigen Aggregatzustand Translationsbewegungen der Moleküle auftreten, überwiegen im flüssigen Aggregatzustand Schwingungen, denen geringfügige Translationsbewegungen überlagert sind. Im festen Aggregatzustand sind die Gitterbausteine regelmäßig angeordnet. Sie führen um ihre Gleichgewichtslage Schwingungen aus.



Schwebekörper bewegen. Mit einem Finger versetzt man einen Schwebekörper, der sich an der Ecke der Experimentierfläche befindet, in schnelle Schwingungsbewegungen. (Dabei muß man darauf achten, daß die Experimentierfläche nicht durch Reiben beschädigt wird.) Die Bewegung der Schwebekörper wird beobachtet

Ergebnis:

Die heftige Bewegung des Schwebekörpers überträgt sich nach und nach auf die übrigen.

2.3.4 Wärmeleitung in festen Körpern

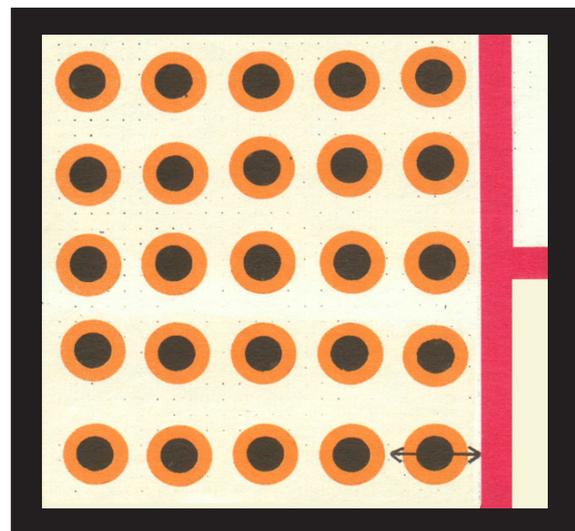
Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- Schwebekörper, orange 25 Stück

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Raum, in dem das Verhalten des festen Körpers beobachtet wird	Experimentierfläche des Luftkissentisches
benachbarte Gitterbausteine	magnetische Barrieren
Gitterbausteine des festen Körpers	Schwebekörper

Durchführung:

Der Luftkissentisch wird horizontal ausgerichtet und mit den magnetischen Barrieren versehen. Auf der Experimentierfläche ordnet man die Schwebekörper regelmäßig an. Man erhöht die Leistung des Gebläses so weit, daß sich alle



Deutung:

In festen Körpern wird Energie durch Wärmeleitung übertragen. Erhöht man die Temperatur eines Körpers an einer Stelle, so nimmt dort die mittlere kinetische Energie der Gitterbausteine zu. Infolge der Kräfte zwischen den Gitterbausteinen wird die kinetische Energie jeweils an benachbarte übertragen. Dadurch steigt die Temperatur auch an anderen Stellen der festen Körper an.

2.4 Elektrische Leitungsvorgänge

2.4.1 *Bewegung eines Elektrons im Vakuum unter dem Einfluß eines elektrischen Feldes (nachgebildet durch mechanische Kräfte)*

Geräte:

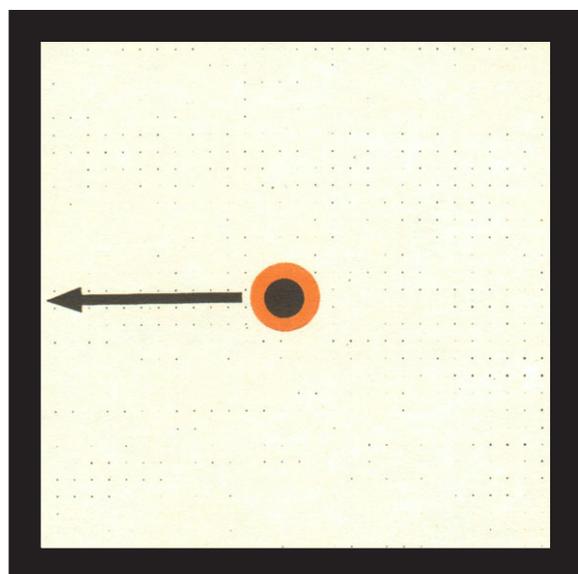
- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, kurz 1 Stück
- Schwebekörper, orange 1 Stück

Modellierung:	
Realobjekt	Modell
Raum, in dem ein elektrisches Feld vorhanden ist	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Stärke des elektrischen Feldes	Neigung der Experimentierfläche
Elektron	Schwebekörper

Durchführung:

Der Luftkissentisch wird horizontal ausgerichtet. Die magnetische Barriere Nr. 2 bringt man umgekehrt an ihre Position, so daß die Nummer nach unten zeigt. Dadurch wird der Schwebekörper festgehalten. Man senkt mittels der Justierschraube bei der Barriere Nr. 2 die Experimentierfläche auf dieser Seite ab, so daß eine leichte Neigung auftritt.

Das Gebläse wird auf eine mittlere Leistung eingestellt. Der Schwebekörper wird auf die gegenüberliegende Seite der Experimentierfläche gebracht und mit dem Finger festgehalten. Danach



läßt man ihn los und beobachtet seine Bewegung. Das Experiment wird mit stärkerer Neigung der Experimentierfläche wiederholt.

Ergebnis:

Der Schwebekörper bewegt sich beschleunigt. Die Beschleunigung nimmt mit der Neigung zu.

Deutung:

Elektronen bewegen sich im elektrischen Feld beschleunigt, wenn keine weiteren Kräfte auf sie einwirken. Die Beschleunigung nimmt mit der Stärke des elektrischen Feldes zu.

2.4.2 *Ablenkung einer Elektronenstrahlung im elektrischen Feld*

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, kurz 1 Stück
- Elektrode 2 Stück
- Manipulierstab 1 Stück
- Schwebekörper, grün 2 Stück
- Schwebekörper, Aluminium 5 Stück
- Hochspannungsquelle

Modellierung:	
Realobjekt	Modell
Vakuum, in dem ein elektrisches Feld vorhanden ist	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Elektroden	Elektroden
Elektronen	Schwebekörper aus Aluminium

Durchführung:

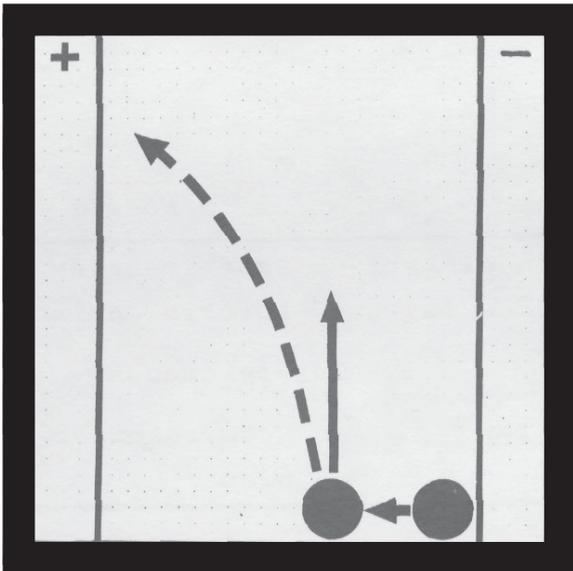
Man richtet den Luftkissentisch mittels der Libellen sorgfältig horizontal aus. Die Elektroden werden parallel zu den Seiten Nr. 1 und Nr. 2 so auf die Experimentierfläche gelegt, daß die Elektrode auf der Seite Nr. 2 auf den Füßen steht, die Füße der anderen Elektrode jedoch nach oben zeigen. Die Barriere Nr. 2 wird außerhalb der Experimentierfläche parallel zur Elektrode auf die Seite Nr. 2 gebracht. Sie ist um 180° gedreht, so daß die Schwebekörper infolge der magnetischen Anziehung an ihr haften.

Auf die Seite Nr. 3 legt man dicht nebeneinander 2 grüne Schwebekörper, die dem Schwebekörper aus Aluminium eine bestimmte Anfangsge-

schwindigkeit erteilen sollen. An die Elektroden wird die Gleichspannung der Hochspannungsquelle angelegt. Mittels des Manipulierstabes bewegt man einen Schwebekörper aus Aluminium mit dem Manipulierstab zunächst zur Elektrode auf der Seite Nr. 1, so daß er Ladungen aufnimmt. Dann führt man ihn an den Rand der Experimentierfläche auf die Seite Nr. 3 zwischen die beiden grünen Schwebekörper. Das Gebläse wird mit einer mittleren Leistung eingeschaltet und die Bewegung des Schwebekörpers beobachtet. Das Experiment wird mit den übrigen Schwebekörpern aus Aluminium wiederholt, wobei jeweils der Abstand der grünen Schwebekörper von der Experimentierfläche variiert wird.

Ergebnis:

Die Schwebekörper bewegen sich auf einer parabolischen Bahn zur gegenüberliegenden Elektrode.



Deutung:

Elektronen unterliegen im elektrischen Feld einer Kraft. Treten Elektronen im Vakuum senkrecht zu den Feldlinien in ein elektrisches Feld ein, so werden sie auf parabelförmige Bahnen gezwungen. Dabei nimmt ihre Geschwindigkeit zu.

Hinweis:

Es empfiehlt sich, das Experiment zunächst ohne elektrisches Feld durchzuführen um die geradlinige, gleichförmige Bewegung der Elektronen zu demonstrieren.

2.4.3 Bewegung von Elektronen im Vakuum unter dem Einfluß eines elektrischen Feldes

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- Elektrode 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 1 Stück
- Schwebekörper aus Aluminium 5 Stück
- Pinzette aus Plast 1 Stück
- Hochspannungsgerät

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Vakuum, in dem ein elektrisches Feld vorhanden ist	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Elektroden	Elektroden
Elektronen	Schwebekörper aus Aluminium

Durchführung:

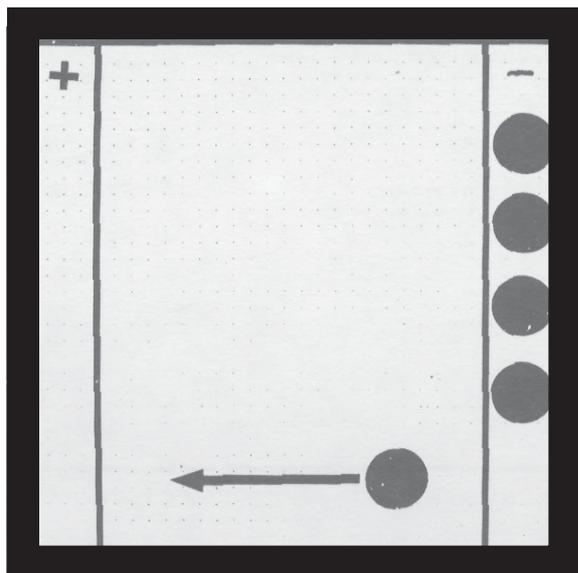
Der Luftkissentisch wird mittels der Libellen sorgfältig horizontal ausgerichtet. An die Ränder der Experimentierfläche bringt man parallel zueinander die beiden Elektroden. Dabei stellt man die Elektrode auf der Seite Nr. 2 auf die Füße, während die Füße der anderen nach oben zeigen. Parallel zur Elektrode legt man auf der Seite Nr. 2 die um 180° gedrehte magnetische Barriere dicht neben die Experimentierfläche, so daß die Schwebekörper infolge der magnetischen Anziehung haften.

Die Elektroden verbindet man mit der Hochspannungsquelle, so daß sich die Anode neben der magnetischen Barriere befindet. Die Schwebekörper legt man zunächst auf die Kathode.

Die Gleichspannung wird angelegt und das Gebläse auf eine mittlere Leistung eingestellt. Dann hebt man mit der Pinzette die Schwebekörper von der Kathode und setzt sie nacheinander dicht vor ihr auf die Experimentierfläche. Ihre Bewegung zwischen den Elektroden wird beobachtet.

Ergebnis:

Die Schwebekörper bewegen sich beschleunigt von der einen Elektrode zur anderen.



Deutung:

Im Vakuum bewegen sich die Elektronen unter dem Einfluß eines elektrischen Feldes beschleunigt von der Katode zur Anode.

2.4.4 Prinzip des elektrischen Leitungsvorganges

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- Elektrode 2 Stück
- Schwabekörper aus Aluminium 5 Stück
- Pinzette aus Plast Hochspannungsgerät 1 Stück

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Raum, in dem ein elektrisches Feld vorhanden ist	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Elektroden	Elektroden
Ladungsträger	Schwabekörper aus Aluminium

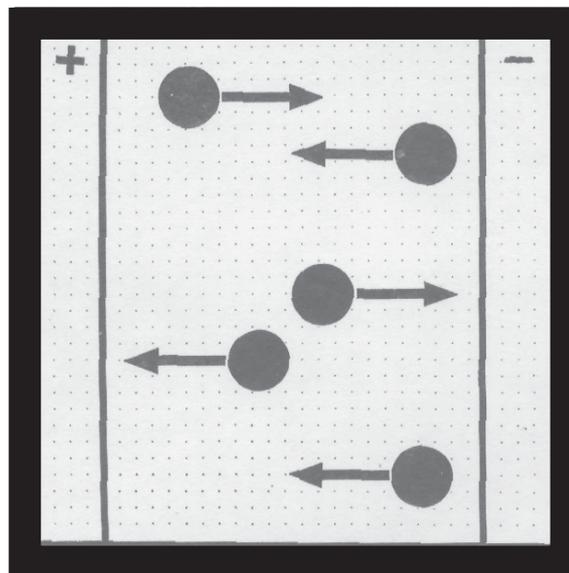
Durchführung:

Der Luftkissentisch wird horizontal ausgerichtet. An zwei einander gegenüberliegenden Seiten werden die Elektroden aufgebracht, so daß sie dicht auf der Experimentierfläche aufliegen und ihre Füße nach oben zeigen. Man verbindet sie mit dem Hochspannungsgerät. Ein Schwabekörper wird dicht neben eine Elektrode gebracht. An die Elektroden wird Gleichspannung angelegt. Man erhöht die Leistung des Gebläses so weit, daß der Schwabekörper sicher abhebt. Die übrigen Schwabekörper werden mit der Pinzette nacheinander auf die Experimentierfläche dicht

neben, eine Elektrode gebracht. Man beobachtet die Bewegung der Schwabekörper.

Ergebnis:

Unter dem Einfluß des elektrischen Feldes bewegen sich die Schwabekörper zwischen den Elektroden hin und her.



Deutung:

Befinden sich in einem elektrischen Feld leicht bewegte Körperchen (Ladungsträger), so nehmen sie an einer Elektrode Ladungen auf und transportieren sie zur gegenüberliegenden. Dort geben sie die Ladungen ab und nehmen solche entgegengesetzter Polarität auf. Danach bewegen sie sich zur ersten Elektrode zurück usw. Diese gerichtete Bewegung der Ladungsträger stellt einen Strom dar.

Hinweise:

Das Experiment bildet in übersichtlicher Weise die Verhältnisse nach, die z.B. vorliegen, wenn sich Grießkörnchen oder Aluminiumfitter zwischen den Platten eines Plattenkondensators infolge der Einwirkung des elektrischen Feldes hin- und herbewegen. Die Anordnung ist weiterhin dazu geeignet, um den Leitungsvorgang mit bipolaren Ladungsträgern zu simulieren. Dazu wird auf jede Elektrode ein ca. 8 cm breiter Pappstreifen gelegt. Er soll etwa 3 cm über die Elektroden hinaus in den Raum zwischen die Elektroden hineinragen. Wiederholt man unter diesen Bedingungen das Experiment, so verschwindet jeweils der Ladungsträger scheinbar in der entsprechenden Elektrode. Er tritt dann als ein „anderer“ Ladungsträger (entgegengesetzter Polarität) wieder aus der Elektrode aus.

2.4.5 Einfluß von Gitterbausteinen auf die Bewegung der Elektronen im elektrischen Feld

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- Haltevorrichtung
- Piacrylplatte
- Elektrode 2 Stück
- Manipulierstab 1 Stück
- Schwebekörper, orange 1 Stück
- Schwebekörper aus Aluminium 4 Stück
- Hochspannungsgerät

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Teil eines metallischen Leiters	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Gitterbaustein des Metalls	orange Schwebekörper
Elektroden	Elektroden
Leitungselektronen	Schwebekörper aus Aluminium

Durchführung:

Der Luftkissentisch wird horizontal ausgerichtet. An zwei einander gegenüberliegenden Seiten der Experimentierfläche werden die Elektroden angebracht, so daß sie auf der Experimentierfläche aufliegen und ihre Füße nach oben zeigen. Man befestigt die Haltevorrichtung am Luftkissentisch und hängt die Piacrylplatte ein. Die 4 Schwebekörper aus Aluminium werden auf die Experimentierfläche gelegt und an eine der Elektroden herangeschoben. Man verbindet die Elektroden mit dem Hochspannungsgerät.

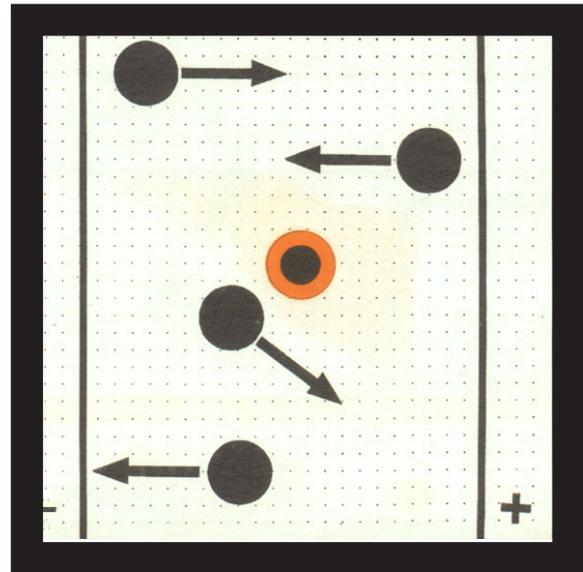
Es wird Gleichspannung angelegt. Man erhöht die Leistung des Gebläses so weit, daß alle Schwebekörper abheben. Dann beobachtet man ihre Bewegung. Nachfolgend bringt man auf die Piacrylplatte über die Mitte der Experimentierfläche den orange Schwebekörper. Er wird mit dem Magnet nach unten gelegt, so daß die Schwebekörper aus Aluminium abgestoßen werden. Durch Verstellen der Höhe der Piacrylplatte verändert man den Einfluß des orange Schwebekörpers auf die übrigen. Man beobachtet deren Bewegung.

Ergebnis:

Zunächst bewegen sich die Schwebekörper von einer Elektrode zur anderen und nachfolgend

wieder zurück. Von geringfügigen gegenseitigen Störungen abgesehen, erfolgt das weitgehend geradlinig.

Durch den Einfluß des orange Schwebekörpers werden diese Bewegungsabläufe stark behindert. Den Schwebekörpern aus Aluminium gelingt es oftmals nur auf großen Umwegen, zur gegenüberliegenden Elektrode zu gelangen. Je tiefer sich die Piacrylplatte befindet, um so stärker ist der störende Einfluß des orange Schwebekörpers.



Deutung:

Zwischen den Gitterbausteinen eines Metalls bewegen sich die Leitungselektronen weitgehend unbehindert. In der Nähe der Gitterbausteine treten dagegen starke Störungen auf.

Hinweis:

Von der Tatsache, daß die gerichtete Bewegung der Elektronen nur von der Katode zur Anode erfolgt, wird bewußt abgesehen.

2.4.6 Bewegung eines Elektrons im Metallgitter unter dem Einfluß des elektrischen Feldes — ohmscher Widerstand (nachgebildet durch mechanische Kräfte)

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, kurz 1 Stück
- Haltevorrichtung 1 Stück
- Gittermodell 1 Stück
- Manipulierstab 1 Stück
- Schwebekörper, orange 1 Stück

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Teil eines metallischen Leiters	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Metallgitter	Gittermodell
Stärke des elektrischen Feldes	Neigung der Experimentierfläche
Elektron	Schwebekörper

Durchführung:

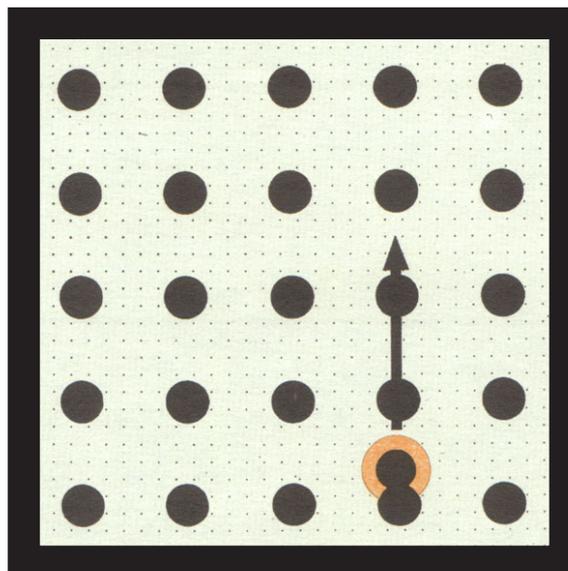
Der Luftkissentisch wird horizontal ausgerichtet. Die magnetische Barriere Nr. 2 dreht man um 180° und legt sie an ihren Platz auf die Experimentierfläche. Man befestigt die Haltevorrichtung am Luftkissentisch und hängt das Gittermodell ein. Es wird in der Rinne der Haltevorrichtung so weit verschoben, daß sich seine Kante bei der Barriere Nr. 2 mit der letzten Reihe von Bohrungen der Düsenplatte deckt.

Auf diese Weise entsteht zwischen dem Gittermodell und der Druckkammer ein etwa 3 cm breiter Streifen, durch den man den Schwebekörper auf die Arbeitsfläche legen kann. Das Gittermodell wird auf die niedrigste Stellung gebracht. Mittels der Justierschraube bei der Barriere Nr. 2 stellt man eine geringe Neigung des Tisches durch Absenken des Tischteils an dieser Stelle ein. Der Schwebekörper wird neben die Druckkammer auf die Experimentierfläche gelegt. Man erhöht die Leistung des Gebläses so weit, daß der Schwebekörper schwebt. Dann beobachtet man seine Bewegung und die der hängenden Magnete. Das Experiment wird mit verschiedenen Neigungen der Experimentierfläche wiederholt.

Ergebnis:

Das Gittermodell beeinflusst die Bewegung des Schwebekörpers so, daß die mittlere Driftgeschwindigkeit konstant ist.

Durch die Wechselwirkung mit den schwingenden Magneten wird der Schwebekörper abgebremst. Er gibt einen Teil seiner Energie an die Magneten ab, so daß die Amplitude der Schwingungen zunimmt. Die Geschwindigkeit des Schwebekörpers und die Amplitude der Gitterschwingungen werden mit zunehmender Neigung des Luftkissentisches größer.



Deutung:

In einem metallischen Leiter bewegen sich die Elektronen unter dem Einfluß des elektrischen Feldes mit konstanter mittlerer Driftgeschwindigkeit. Infolge der Wechselwirkung mit den Gitterbausteinen übertragen sie an diese einen Teil ihrer Energie, wodurch deren Gitterschwingungen heftiger werden und damit die Temperatur des Leiters zunimmt.

2.4.7 Bewegung der freien Elektronen in einem Metall

Geräte:

Luftkissentisch mit Gebläse	
Tageslichtprojektor	
magnetische Barriere, lang	2 Stück
magnetische Barriere, kurz	2 Stück
Haltevorrichtung	1 Stück
Gittermodell	1 Stück
Schwebekörper, rot	25 Stück

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Teil eines metallischen Leiters	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Metallgitter	Gittermodell
Elektronen	Schwebekörper

Durchführung:

Man richtet den Luftkissentisch horizontal aus und ordnet die magnetischen Barrieren um die Experimentierfläche an.

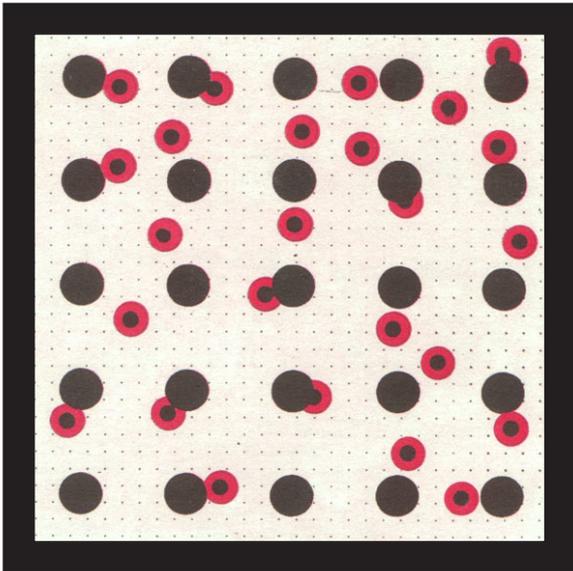
Am Luftkissentisch wird die Haltevorrichtung befestigt und das Gittermodell eingehängt. Man stellt seine Höhe auf den größten Wert ein. Auf die Experimentierfläche werden die Schwebekörper gebracht.

Man erhöht die Leistung des Gebläses so weit, daß sich die Schwebekörper auf dem Luftkissentisch frei bewegen. Ihre Bewegung und die Wechselwirkung mit den Magneten des Gittermodells werden beobachtet.

Ergebnis:

Die Bewegung der Schwebekörper ist denen der Moleküle eines Gases ähnlich. Bei Annäherung an einen Magneten des Gittermodells treten Wechselwirkungen auf.

Ein Schwebekörper mit großer Geschwindigkeit kann einen hängenden Magneten zu Schwingungen mit einer größeren Amplitude anregen. Ein heftig schwingender, hängender Magnet kann bewirken, daß sich die Geschwindigkeit eines Schwebekörpers erhöht.



Deutung:

Die Leitungselektronen bewegen sich in einem Metall ähnlich wie die Moleküle in einem Gas. Sie treten in Wechselwirkung mit den Gitterbausteinen. Eine höhere Temperatur des Metalls hat eine größere mittlere Geschwindigkeit der Elektronen zur Folge. Eine Vergrößerung der Geschwindigkeit der Elektronen bewirkt eine Erhöhung der Temperatur des Metalls.

2.4.8 Glühemission

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- Haltevorrichtung 1 Stück
- Gittermodell 1 Stück
- Schwebekörper, rot 15 Stück
- Schwebekörper, grün 11 Stück

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Teil eines Metalls	Teil der Experimentierfläche, die sich unter dem Dynamikgitter befindet
Vakuum	Teil der Experimentierfläche, die sich nicht unter dem Dynamikgitter befindet
Metallgitter	Gittermodell
Elektronen	Schwebekörper

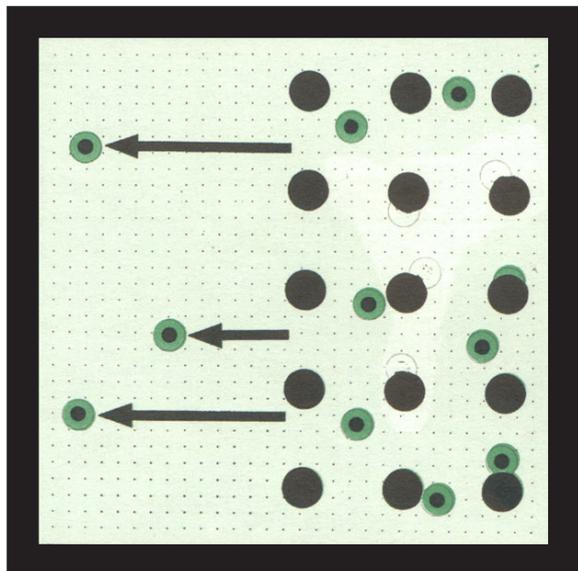
Durchführung:

Man richtet den Luftkissentisch horizontal aus und ordnet die magnetischen Barrieren an. Die Haltevorrichtung wird befestigt und das Gittermodell eingehängt. Seine Höhe stellt man auf einen mittleren Wert ein. Es wird so weit in der Rille nach außen geschoben, daß sich 2 Reihen der hängenden Magnete über dem Impulsventil befinden. An jeden hängenden Magnet der restlichen 3 Reihen bringt man je einen roten Schwebekörper an. Diese haften infolge der magnetischen Anziehung an den Magneten. Man legt die grünen Schwebekörper auf die Experimentierfläche und schiebt sie unter das Gittermodell. Die Leistung des Gebläses wird so eingestellt, daß alle Schwebekörper sicher abheben. Durch wiederholtes kurzzeitiges Betätigen des Impulsventils erhöht man die mittlere Geschwindigkeit der Schwebekörper und die Amplitude der hängenden Magnete. Es wird das Verhalten der Schwebekörper beobachtet.

Ergebnis:

Ein Teil der Schwebekörper überwindet die Kräfte der Gittermagnete und bewegt sich auf die freie

Experimentierfläche des Luftkissentisches. Manche Schwebekörper kehren in den Raum unter dem Gittermodell zurück. Je heftiger die Bewegung der Schwebekörper bzw. Gittermagnete ist, um so mehr Schwebekörper verlassen den Raum unter dem Gittermodell.



Deutung:

Um aus der Oberfläche austreten zu können, müssen die Elektronen eine bestimmte Mindestenergie besitzen. Sie entspricht der Austrittsarbeit. Diese kinetische Energie besitzen einige der Elektronen bei hohen Temperaturen des Metalls. Je höher diese Temperatur ist, um so mehr Elektronen können es in einer bestimmten Zeit verlassen.

2.4.9 Gebundene Ladungsträger in einem Isolator

Geräte:

Luftkissentisch mit Gebläse	
Tageslichtprojektor	
magnetische Barriere, lang	2 Stück
magnetische Barriere, kurz	2 Stück
Haltevorrichtung	1 Stück
Gittermodell	1 Stück
Manipulierstab	1 Stück
Schwebekörper, rot	25 Stück

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Teil eines Isolators	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Kristallgitter des Isolators	Gittermodell
Stärke des elektrischen Feldes	Neigung der Experimentierfläche
Elektronen	Schwebekörper

Durchführung:

Nach dem horizontalen Ausrichten des Luftkissentisches werden die magnetischen Barrieren aufgelegt. Man ordnet die 25 Schwebekörper regelmäßig auf der Experimentierfläche an. Dann befestigt man die Haltevorrichtung und hängt das Gittermodell ein.

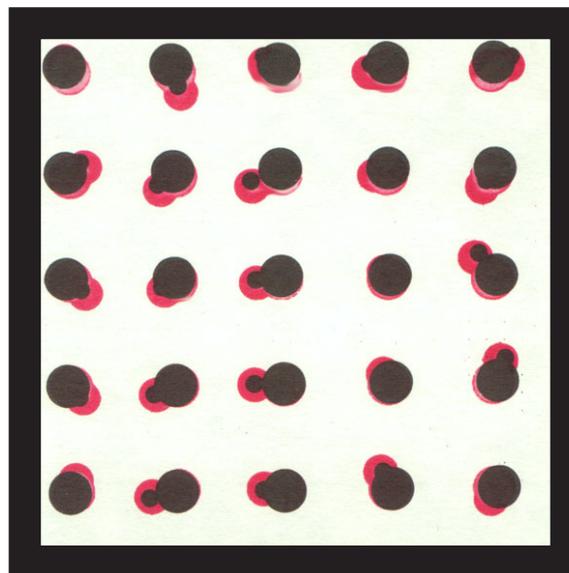
Seine Höhe wird auf einen möglichst niedrigen Wert eingestellt, wobei jedoch verhindert werden muß, daß die Schwebekörper zu den hängenden Magneten hochspringen.

Die Leistung des Gebläses wird so eingestellt, daß alle Schwebekörper abheben. Man beobachtet ihre Bewegung und die Wechselwirkung mit dem Gittermodell.

Danach neigt man die Experimentierfläche mehr und mehr und beobachtet das Verhalten der Schwebekörper.

Ergebnis:

Alle Schwebekörper sind fest an ihren Platz gebunden und schwingen mit kleinen Amplituden um ihre Gleichgewichtslage. Auch bei größerer Neigung der Experimentierfläche verlassen sie ihre Plätze nicht.



Deutung:

In einem Isolator sind die Elektronen fest an die Atomkerne gebunden. Auch unter der Einwirkung des elektrischen Feldes können sie ihre Plätze nicht verlassen.

2.4.10 Verhalten eines freien Ladungsträgers in einem Isolator

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- Haltevorrichtung 1 Stück
- Gittermodell 1 Stück
- Manipulierstab 1 Stück
- Schwebekörper, rot 25 Stück
- Schwebekörper, orange 1 Stück

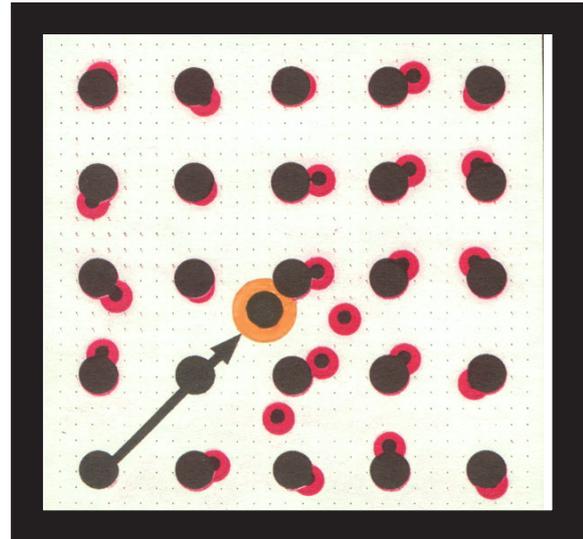
Modellierung:	
Realobjekt	Modell
Teil eines Isolators	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Kristallgitter des Isolators	Gittermodell
gebundene Elektronen	Schwebekörper, rot
eingeschossener Ladungsträger	Schwebekörper, orange

Durchführung:

Der Luftkissentisch wird horizontal ausgerichtet. Die magnetischen Barrieren werden aufgelegt. Auf der Experimentierfläche ordnet man die roten Schwebekörper regelmäßig an. Man befestigt die Haltevorrichtung am Luftkissentisch und hängt das Gittermodell ein. Es soll sich dicht über der Experimentierfläche befinden. Am Gebläse wird ein so starker Luftstrom eingestellt, daß alle Schwebekörper abheben. Unter jedem hängenden Magnet soll sich ein roter Schwebekörper befinden. Falls erforderlich, hilft man mit dem Manipulierstab nach. Der orange Schwebekörper wird in eine Ecke der Experimentierfläche gebracht und zunächst mit dem Finger festgehalten. Nach dem Loslassen beobachtet man die Veränderungen, die durch diesen Schwebekörper hervorgerufen werden.

Ergebnis:

Der orange Schwebekörper bewegt sich unregelmäßig auf der Experimentierfläche. Dabei verdrängt er einige rote Schwebekörper von ihren Plätzen. Auch diese bewegen sich dann zwischen den anderen gebundenen Schwebekörpern, erreichen jedoch nach einiger Zeit wieder feste Plätze.



Deutung:

Beschießt man einen Isolator mit einem schnellen Ladungsträger, so werden unter dessen Einfluß einige Elektronen freigesetzt. Diese sind für eine bestimmte Zeit wanderungsfähig. Dadurch kann im Isolator ein Strom fließen. Dieser Fall liegt z. B. vor, wenn bestimmte Nichtleiter einer energiereichen Strahlung ausgesetzt werden.

Hinweis:

Der Effekt ist ausgeprägter, wenn man den roten Schwebekörper entfernt, auf den der orange Schwebekörper als ersten treffen würde.

2.4.11 Elektrischer Leitungsvorgang in einem Halbleiter — Eigenleitung (nachgebildet durch mechanische Kräfte)

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- Haltevorrichtung 1 Stück
- Gittermodell 1 Stück
- Manipulierstab 1 Stück
- Schwebekörper, rot 25 Stück

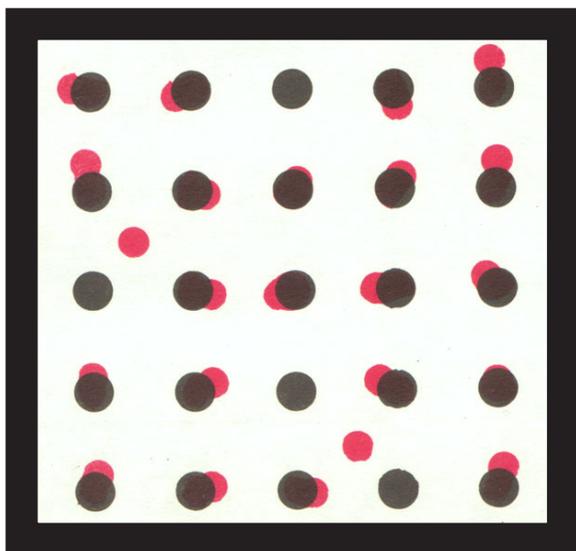
Modellierung	
Realobjekt	Modell
Teil eines Halbleiters	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Kristallgitter des Halbleiters	Gittermodell Halbleiters
positive Ionen des Kristallgitters	Gittermagnete
Elektronen	Schwebekörper

Durchführung:

Man richtet den Luftkissentisch horizontal aus und bringt die magnetischen Barrieren an. Die Schwebekörper werden auf der Experimentierfläche regelmäßig angeordnet. Man befestigt die Haltevorrichtung am Luftkissentisch und hängt das Gittermodell ein. Es wird auf eine mittlere Höhe eingestellt. Man erhöht die Leistung des Gebläses so weit, daß alle Schwebekörper gut abheben. Falls erforderlich, sorgt man mit dem Manipulierstab dafür, daß sich unter jedem hängenden Magnet ein Schwebekörper befindet. Durch wiederholte Betätigung des Impulsventils erhöht man die Geschwindigkeit der Schwebekörper. Man beobachtet deren Anordnung und Bewegung. Schließlich neigt man durch Verstellen der Justierschraube bei der Barriere Nr. 2 den Tisch mehr und mehr und beobachtet den Einfluß der Neigung auf die Schwebekörper.

Ergebnis:

Bei geringen Geschwindigkeiten sind alle Schwebekörper unter den Magneten des Gittermodells angeordnete. Bei größeren Geschwindigkeiten entfernt sich ein Teil der Schwebekörper von ihren Plätzen. Die Neigung der Experimentierfläche bewirkt, daß die ungeordnete Bewegung der Schwebekörper eine Vorzugsrichtung erhält.



Deutung:

Bei einem Eigenhalbleiter werden unter dem Einfluß der erhöhten Temperatur einige Elektronen aus dem Gitter herausgelöst, die sich dadurch im gesamten Halbleiter bewegen. Die herausgelösten Elektronen hinterlassen positive „Löcher“. Die Anzahl der wanderungsfähigen Elektronen und der Löcher ist gleich. Nach dem Anlegen einer Spannung fließt ein elektrischer Strom. Die Elektronen

bewegen sich bevorzugt in Richtung der positiven Elektrode, die „Löcher“ scheinbar in entgegengesetzter Richtung.

2.4.12 Elektrischer Leitungsvorgang in einem Halbleiter — n-Leitung (nachgebildet durch mechanische Kräfte)

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- Haltevorrichtung 1 Stück
- Gittermodell 1 Stück
- Manipulierstab 1 Stück
- Schwebekörper, rot 28 Stück

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Teil eines Halbleiters	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Kristallgitter des Halbleiters	Gittermodell
positive Ionen des Kristallgitters	Gittermagnete
Elektronen	Schwebekörper
Stärke des elektrischen Feldes	Neigung der Experimentierfläche

Durchführung:

Nach dem horizontalen Ausrichten des Luftkissentisches werden die magnetischen Barrieren um die Experimentierfläche angeordnet. Die Schwebekörper verteilt man regelmäßig auf der Experimentierfläche, befestigt die Haltevorrichtung und hängt das Gittermodell ein. Seine Höhe wird auf einen mittleren Wert eingestellt. Man erhöht die Leistung des Gebläses so weit, daß alle Schwebekörper frei schweben. Anordnung und Bewegung der Schwebekörper werden beobachtet. Danach neigt man die Experimentierfläche des Luftkissentisches.

Das Experiment wird nach mehrmaligem Betätigen des Impulsventils mit größerer Geschwindigkeit der Schwebekörper wiederholt.

Ergebnis:

Bei niedrigen Geschwindigkeiten sind 25 Schwebekörper Verhältnismäßig fest an die Magnete des Gittermodells gebunden. Die übrigen 3 bewegen sich unregelmäßig in den Zwischenräumen. Beim Neigen der Experimentierfläche wird der ungeordneten Bewegung eine ge-

richtete Bewegung der Schwebekörper überlagert. Eine Vergrößerung der Geschwindigkeit bewirkt, daß auch einige gebundene Schwebekörper ihre Plätze verlassen.



Deutung:

In einem Halbleiter mit n-Leitung sind bereits bei niedrigen Temperaturen wanderungsfähige Elektronen vorhanden. Wird eine Spannung angelegt, so fließt ein Strom; der Strom wird von diesen Elektronen hervorgerufen. Bei höheren Temperaturen werden weitere Elektronen für den Ladungstransport freigesetzt.

2.4.13 Elektrischer Leitungsvorgang in einem Halbleiter —p-Leitung (nachgebildet durch mechanische Kräfte)

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- Haltevorrichtung 1 Stück
- Gittermodell 1 Stück
- Manipulierstab 1 Stück
- Schwebekörper, rot 22 Stück

Modellierung:	
<i>Realobjekt</i>	<i>Modell</i>
Teil eines Halbleiters	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Kristallgitter des Halbleiters	Gittermodell
positive Ionen des Halbleiters	Gittermagnete
Elektronen	Schwebekörper
Stärke des elektrischen Feldes	Neigung der Experimentierfläche

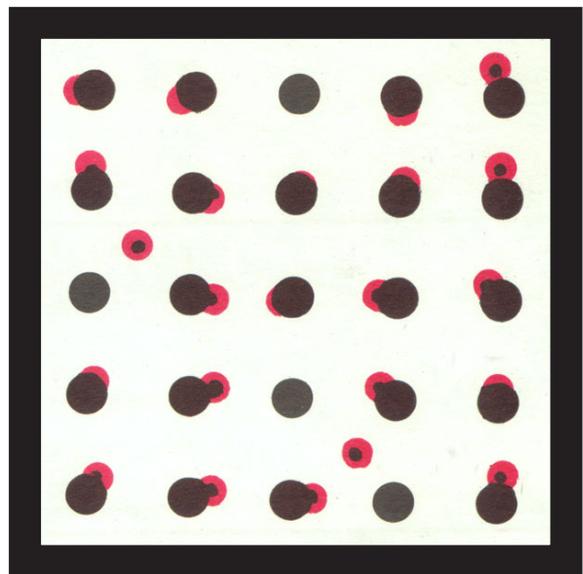
Durchführung:

Man richtet den Luftkissentisch horizontal aus und ordnet die magnetischen Barrieren an. Auf die Experimentierfläche verteilt man gleichmäßig die 22 Schwebekörper, befestigt die Haltevorrichtung und hängt das Gittermodell ein. Seine Höhe wird auf einen mittleren Wert eingestellt. Man erhöht die Leistung des Gebläses so weit, daß die Schwebekörper sicher abheben. Dann neigt man die Experimentierfläche. Anordnung und Bewegung der Schwebekörper werden beobachtet. Das Experiment wird mit größerer Geschwindigkeit der Schwebekörper wiederholt.

Ergebnis:

Die Schwebekörper sind an die Magnete des Gittermodells gebunden. Einige Plätze bleiben jedoch frei. Durch das Überwecheln benachbarter Schwebekörper in freie Plätze bewegen sich die Leerstellen. Die Neigung der Experimentierfläche führt zur Überlagerung einer gerichteten Bewegung.

Bei erhöhter Geschwindigkeit werden weitere Schwebekörper von ihren Plätzen gelöst.



Deutung:

In einem Halbleiter mit p-Leitung sind einige Gitterplätze nicht mit Elektronen besetzt. Diese „Löcher“ werden häufig von benachbarten Elektronen aufgefüllt, wobei wieder „Löcher“ entstehen. Beim Anlegen einer Spannung bewegen sich die positiven „Löcher“ in Richtung der negativen Elektrode. Bei höheren Temperaturen entstehen weitere „Löcher“.

2.5 Atomphysik

2.5.1 Streuung positiv geladener Teilchen an einem Atomkern

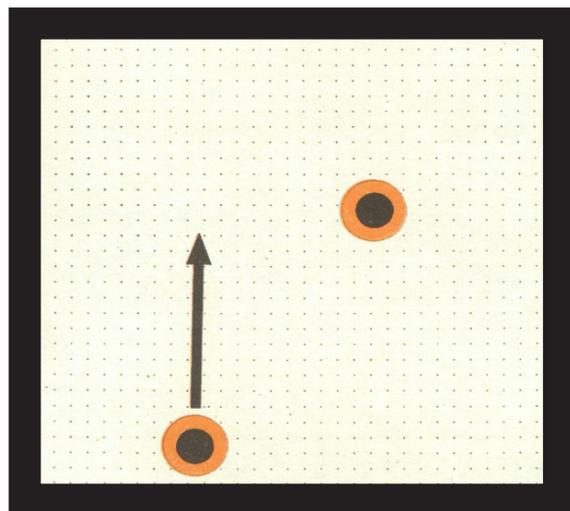
Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- Haltevorrichtung
- Piacrylplatte
- Schwebekörper, orange 5 Stück

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Raum, in dem sich positiv geladenen Teilchen bewegen	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Atomkern	übereinandergestellte Schwebekörper
positiv geladenes Teilchen	Schwebekörper

Durchführung:

Man richtet den Luftkissentisch mittels der Libellen sorgfältig horizontal aus. Am Luftkissentisch wird die Haltevorrichtung befestigt und die Piacrylplatte eingehängt. In die Mitte der Piacrylplatte bringt man die 4 übereinandergesetzten Schwebekörper, so daß jeweils die Magnete nach unten zeigen. Dadurch wird der Schwebekörper auf der Experimentierfläche abgestoßen. Dieser wird nun mit möglichst geringer Geschwindigkeit vom Rande der Experimentierfläche aus in Richtung der übereinandergelegten Magnete in Bewegung gesetzt. Man wiederholt dieses Experiment mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Danach wählt man die Bewegungsrichtung so, daß der Schwebekörper von Experiment zu Experiment in einem immer größeren Abstand an den übereinandergesetzten Magneten vorbeigleitet.



Ergebnis:

Der Schwebekörper ändert in der Nähe der übereinandergelegten Magnete seine Bewegungsrichtung. Die Richtungsänderung ist um so größer, je geringer die Geschwindigkeit des Schwebekörpers ist und je dichter die Bahn an den übereinandergestellten Schwebekörpern vorbeiführt.

Deutung:

Die geladenen Teilchen werden am Atomkern gestreut. Der Streuwinkel hängt von der Geschwindigkeit und von der Anfangsrichtung der Teilchen ab.

2.5.2 Streuung von Alpha-Teilchen beim Durchgang durch eine Metallfolie

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- magnetische Barriere aus 4 Magneten 1 Stück
- Schwebekörper, rot 1 Stück

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Raum, in dem sich die Alpha-Teilchen bewegen	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Metallfolie	magnetische Barriere aus 4 Magneten
Atomkerne	keramische Magnete der Barriere
Alpha-Teilchen	Schwebekörper

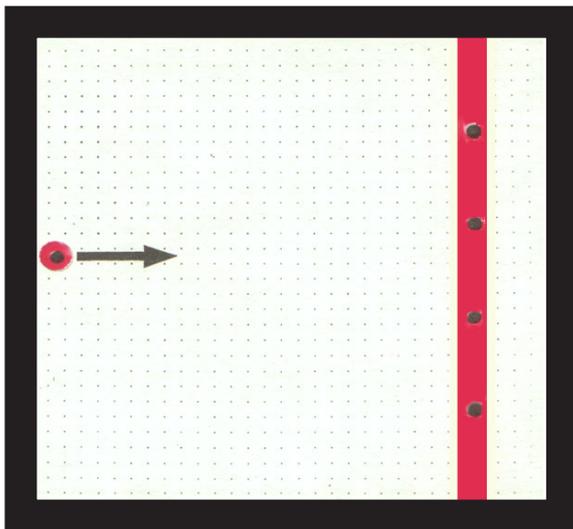
Durchführung:

Der Luftkissentisch wird mittels der Libellen sorgfältig horizontal ausgerichtet. Die magnetischen Barrieren werden aufgesetzt, wobei die Barriere Nr. 2 um 180° gedreht wird, so daß sie den ankommenden Schwebekörper festhält. Die magnetische Barriere aus 4 Magneten legt man mit ihren Enden in die Vertiefung der Barrieren Nr. 3 und Nr. 4 ein, die sich in der Nähe der Barriere Nr. 2 befinden. Die Leistung des Gebläses wird so eingestellt, daß sich der Schwebekörper frei bewegt. Er wird dicht an die Barriere Nr. 1 gebracht. Man hält ihn zunächst mit dem Finger fest und läßt ihn dann plötzlich los, so daß er mit großer Geschwindigkeit auf die Barriere aus den 4 Magneten trifft. Das Experiment wird mehrmals mit jeweils et-

was veränderter Startposition wiederholt. Man beobachtet die Bewegung des Schwebekörpers durch die magnetische Seite

Ergebnis:

In den meisten Fällen bewegt sich der Schwebekörper ohne merkbare Ablenkung durch die magnetische Barriere mit den Keramikmagneten. In mehreren Fällen verändert sich seine Bewegungsrichtung. Nur ganz vereinzelt wird er zurückgeschleudert.



Deutung:

Beim Rutherford'schen Streuexperiment durchdringen fast alle Alpha-Teilchen die Metallfolie. Nur wenige werden aus ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt. Ganz selten werden Alpha-Teilchen stark gestreut.

Hinweis:

Der Einfluß der magnetischen Barriere auf die Bewegung der Schwebekörper kann variiert werden. Dazu wird die Barriere auf die Piacrylplatte gelegt und diese in die gewünschte Höhe gestellt. Die Wirkung der Barriere wird durch Auflegen von orange Schwebekörpern auf die Keramikmagnete erhöht.

2.5.3 Das Rutherford'sche Atommodell

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- magnetische Barriere, lang 2 Stück
- magnetische Barriere, kurz 2 Stück
- Haltevorrichtung 1 Stück
- Piacrylplatte 1 Stück
- Manipulierstab 1 Stück
- Schwebekörper, orange 1 Stück
- Schwebekörper, rot 1 Stück

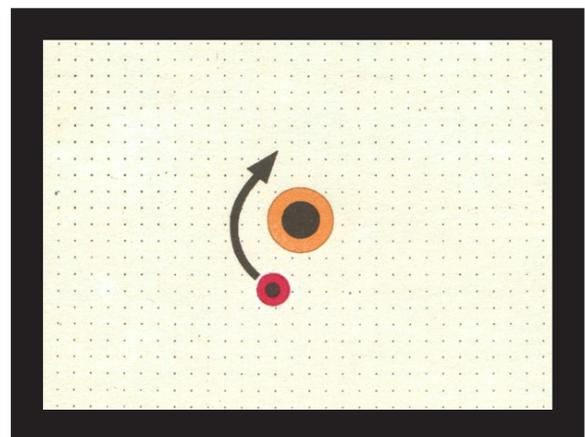
Modellierung	
Realobjekt	Modell
Atom	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Atomkern	Schwebekörper, orange
Elektron	Schwebekörper, rot

Durchführung:

Der Luftkissentisch wird horizontal ausgerichtet. Man setzt die magnetischen Barrieren auf und befestigt die Haltevorrichtung am Luftkissentisch. Nach dem Einhängen der Piacrylplatte wird diese auf geringen Abstand zur Experimentierfläche eingestellt. In die Mitte der Piacrylplatte legt man den orange Schwebekörper. Man stellt eine solche Leistung des Gebläses ein, daß der rote Schwebekörper sicher abhebt. Mittels Manipulierstab wird er auf der Experimentierfläche unter den orange Schwebekörper geschoben. Seine Bewegung wird beobachtet. Dann erhöht man durch Anstoßen mit dem Manipulierstab seine Geschwindigkeit und beobachtet wieder.

Ergebnis:

Der rote Schwebekörper bewegt sich auf unterschiedlichen Bahnen um den orange. Die Parameter der Bahnen hängen in starkem Maße von dem Betrag der Geschwindigkeit ab.



Deutung:

Die Experimente vermitteln einfache, modellmäßige Vorstellungen vom Aufbau des Atoms. Sie leisten einen Beitrag zur Veranschaulichung des Rutherford'schen Atommodells, das ausgehend von den Ergebnissen der Streuexperimente geschaffen wurde.

Hinweis:

Das Experiment kann dadurch variiert werden, daß man mehrere orange Schwebekörper übereinander legt und die Höhe der Piacrylplatte in entsprechender Weise verstellt.

2.6 Mechanische Bewegungen

2.6.1 Senkrechter, waagerechter und schräger Wurf

Geräte:

Luftkissentisch mit Gebläse
 Tageslichtprojektor
 Schwebekörper, orange 2 Stück

Modellierung	
Realobjekt	Modell
Raum, in dem der Wurf erfolgt	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Einfluß des Gravitationsfeldes	Kraft infolge der geringen Neigung der Experimentierfläche
geworfener Körper	Schwebekörper

Durchführung:

Die Experimentierfläche wird zunächst horizontal ausgerichtet, der Schwebekörper in die Mitte der Fläche gelegt und die Gebläseleistung so weit erhöht, daß er sicher schwebt. Dann wird die Experimentierfläche durch Hineinschrauben der Justierschraube auf der Seite 4 schwach geneigt, der Schwebekörper am oberen Rand zunächst mit dem Zeigefinger festgehalten und dann losgelassen, ohne ihm eine Anfangsgeschwindigkeit zu erteilen. Seine Bewegung muß in der Projektion deutlich als beschleunigt erkennbar sein, darf jedoch nicht zu schnell ablaufen (Neigung der Fläche entsprechend einstellen!). Nach diesem Vorversuch (Modellexperiment zum freien Fall) lassen sich die verschiedenen Wurfbahnen darstellen. Dabei sind geeignete Startpunkte und ein der im Vorversuch ermittelten „Fallzeit“ angepaßter Betrag der Anfangsgeschwindigkeit zu wählen.

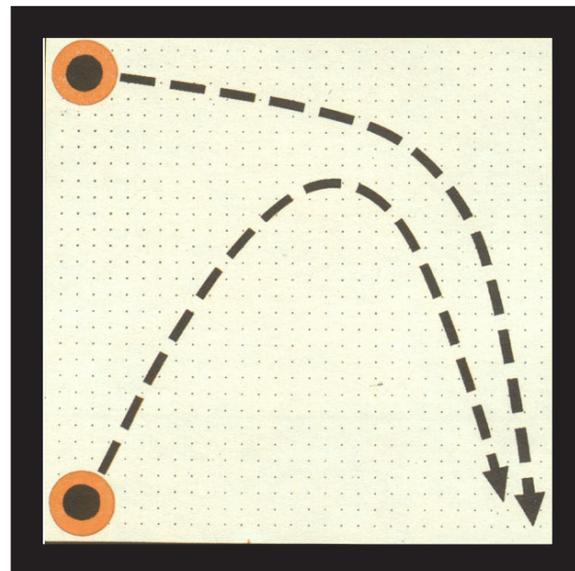
Wurfart	Startpunkt
senkrecht nach oben	Seite 3 Mitte
waagerecht	Seite 2 oben
schräg	Seite 2 unten

Ergebnis:

Die Bahnkurven entsprechen denen beim senkrechten, waagerechten und schrägen Wurf eines Körpers.

Deutung:

Infolge der Neigung der Experimentierfläche überlagern sich gleichförmige und gleichmäßig



beschleunigte Bewegung. Dadurch entsprechen die Bewegungsabläufe denen beim Wurf. Die geringfügige Neigung der Experimentierfläche bedingt nur eine geringe Beschleunigung. Deshalb kann mit sehr langsamen Bewegungsabläufen gearbeitet werden.

2.6.2 Elastischer Stoß

Geräte:

Luftkissentisch mit Gebläse
 Tageslichtprojektor
 magnetische Barriere, lang 2 Stück
 magnetische Barriere, kurz 2 Stück
 Schwebekörper, orange 4 Stück

Modellierung:	
Realobjekt	Modell
Fläche, auf der sich die stoßenden Körper bewegen	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Körper, die elastisch aufeinanderstoßen	Schwebekörper

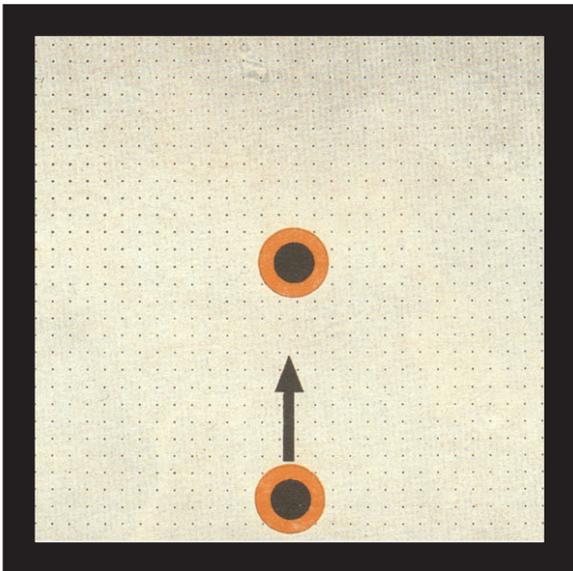
Durchführung:

Man richtet den Luftkissentisch mittels der Libellen sehr sorgfältig horizontal aus und setzt die magnetischen Barrieren auf. Zwei übereinandergesetzte Schwebekörper bringt man in die Mitte der Experimentierfläche. Der zweite doppelte Schwebekörper wird in eine Ecke der Experimentierfläche gelegt, mit dem Zeigefinger festgehalten und dann losgelassen, so daß er sich auf den ersten zubewegt. Dieser Vorgang wird

mehrmals wiederholt, wobei mehr oder weniger große Abweichungen vom zentralen Stoß auftreten. Es wird die Bewegung beider Körper vor und nach dem Stoß beobachtet.

Ergebnis:

Im Falle des zentralen Stoßes tauschen die beiden Schwebekörper (mit gleicher Masse) ihre Geschwindigkeiten und damit ihre kinetischen Energien aus. Verläuft der Stoß nicht zentral, wird nur ein Teil der Energie übertragen.



Deutung:

Mittels des Luftkissenprinzips und der Nutzung der magnetischen Abstoßungskräfte zwischen keramischen Magneten ist es möglich, voll-elastische Stöße zu realisieren.

Hinweis:

Stöße von Körpern unterschiedlicher Masse lassen sich dadurch erzielen, daß ein Stoßpartner aus zwei übereinandergestellten orange Schwebekörpern besteht und als zweiter ein einfacher Verwendung findet.

2.6.3 Veränderung der Bewegungsrichtung eines Körpers durch eine Kraft

Geräte:

- Luftkissentisch mit Gebläse
- Tageslichtprojektor
- Haltevorrichtung
- Piacrylplatte
- Manipulierstab
- Schwebekörper, orange

6 Stück

Modellierung:	
Realobjekt	Modell
Fläche, auf der sich der Körper bewegt	Experimentierfläche des Luftkissentisches
Körper, der einer Kraft unterliegt	orange Schwebekörper
Kraftzentrum	übereinandergestellte Schwebekörper

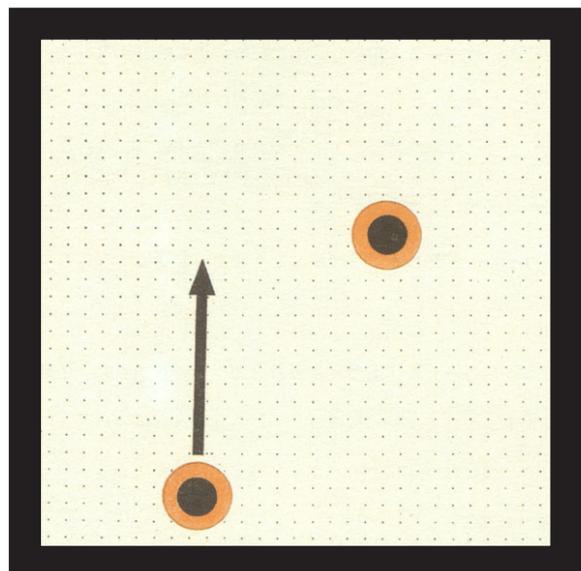
Durchführung:

Der Luftkissentisch wird horizontal ausgerichtet, die Haltevorrichtung befestigt und die Piacrylplatte eingehängt. In der Mitte der Experimentierfläche werden auf die Piacrylplatte 4 Schwebekörper übereinandergelegt.

Das Gebläse wird auf mittlere Leistung gestellt. Zwei übereinandergesetzte Schwebekörper versetzt man vom Rande der Experimentierfläche aus in langsame Bewegung. Die Richtung wird so gewählt, daß er wenige Zentimeter neben den übereinandergestellten Schwebekörpern vorbeigleitet. Das Experiment wird mehrmals wiederholt, wobei der kürzeste Abstand zwischen den beweglichen und den übereinandergestellten Schwebekörpern schrittweise verringert wird. Die Bewegung der Schwebekörper wird beobachtet.

Ergebnis:

Der Schwebekörper bewegt sich so lange geradlinig und gleichförmig, so lange keine Kraft auf ihn einwirkt. In der Nähe der übereinandergestellten Schwebekörper ändert sich seine Bewegungsrichtung. Je geringer der Abstand zu den übereinandergestellten Schwebekörpern ist, um so größer ist die Richtungsänderung.



Deutung:

Unterliegt ein beweglicher Körper einer Kraft, so erfährt er eine Beschleunigung. Ist die Kraft senkrecht zur Bewegung gerichtet, so bleibt der Betrag der Geschwindigkeit unverändert, es ändert sich jedoch die Richtung. Je größer die Kraft ist, um so stärker ist die Richtungsänderung.

ABSCHLIEßENDE BEMERKUNGEN

In den vorangehenden Kapiteln wurde ein Einblick in den Aufbau, die Wirkungsweise und die Einsatzmöglichkeiten des Luftkissentisches gegeben. Es wurden ca. 50 Experimente mit einigen fachlichphysikalischen, laborpraktisch-experimentellen und didaktisch-methodischen Anmerkungen beschrieben.

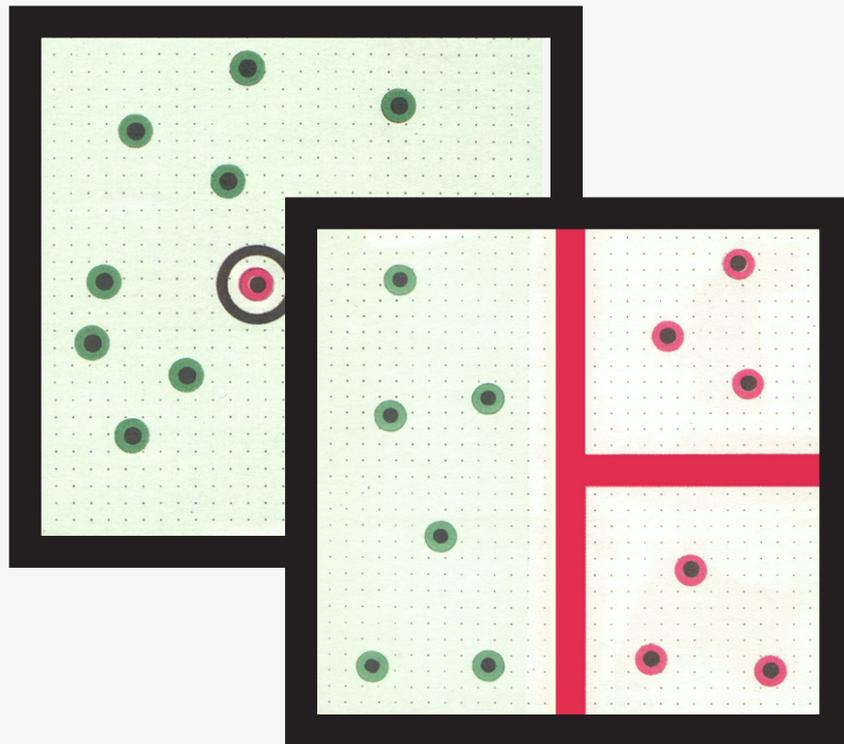
Folgende Hinweise sollen die Experimentieranleitung ergänzen und abschließen:

- Die Anleitung gibt einen Überblick über wesentliche Einsatzmöglichkeiten des Luftkissentisches. Die Auswahl und Anordnung der Experimente für den Unterricht bleibt dem Lehrer vorbehalten.
- Die bei jedem Experiment angegebene physikalische Interpretation erfolgt auf niedrigem

Niveau, ausgehend von der in der Regel groben Modellierung.

- Der Einsatzbereich des Luftkissentisches reicht von der Oberschule bis zur Hochschule. Die beschriebenen Experimente stellen dabei in der Auswahl und der Art der Durchführung nur Muster dar.
- Obwohl der Luftkissentisch für Demonstrationsexperimente geschaffen wurde, ist er auch für die Durchführung von – vor allem quantitativen – Praktikumsexperimenten geeignet.
- Alle beschriebenen Experimente können in einer überzeugenden Form demonstriert werden. Dazu ist eine Optimierung, ausgehend von der Anleitung, erforderlich. Eine formale Berücksichtigung der Hinweise muß noch nicht zu überzeugenden Effekten führen.
- Der Luftkissentisch ist ein hochwertiges Gerät, das eine sorgsame Behandlung erfordert. Sauberkeit, Wissen und Können sind Voraussetzungen für den Erfolg.

Bei Berücksichtigung all dieser Hinweise wird der Luftkissentisch zu einem hochwirksamen Unterrichtsmittel, das einen wesentlichen Beitrag zum tieferen Verständnis physikalischer Erscheinungen, Prozesse, Begriffe und Gesetze leistet.



**PHYSICAL EXPERIMENTS
ON THE
AIR-CUSHION TABLE
U15420**

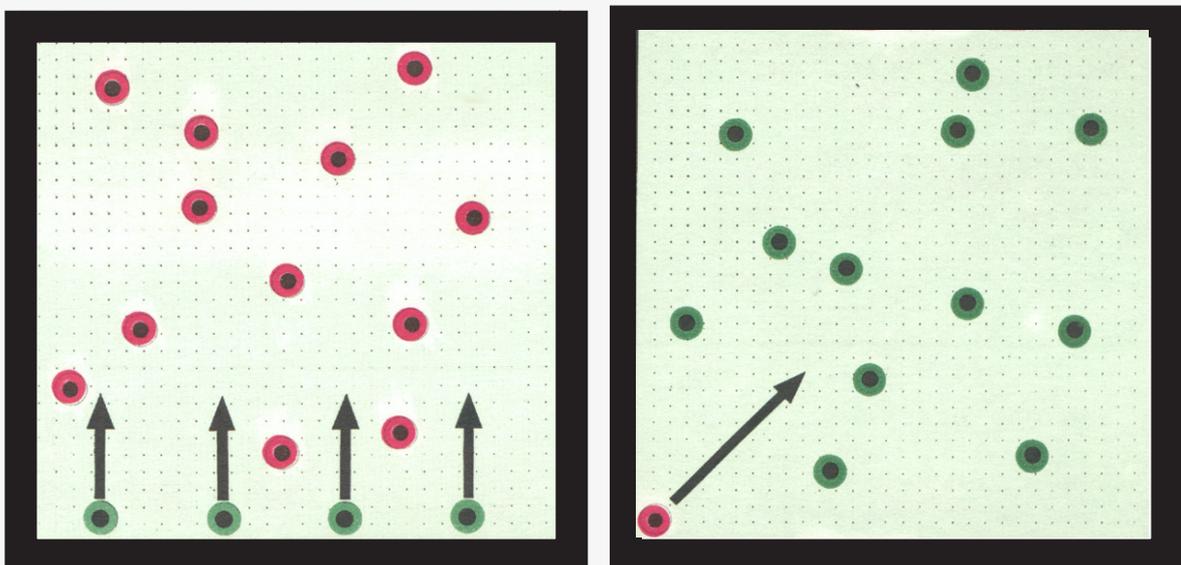


Table of Contents

Introduction	5
1. Setup and Possible Uses of the Air-Cushion Table	6
1.1 Components of the experimenting apparatus	6
1.2 Principle Uses of the Air-Cushion Table	11
1.3 Setup of the Air-Cushion Table	11
1.4 Instructions for Usage	12
1.5 Maintenance and Care	13
2 Description of the Experiments	14
2.1 Structure and Properties of Gases	14
2.1.1 Motion of a Molecule in High Vacuum	14
2.1.2 Motion of the Molecules in a Gas	14
2.1.3 Dependence of the Number of Impacts with the Vessel Wall on the Velocity of the Molecules	15
2.1.4 Dependence of the Number of Impacts with the Vessel Wall on the Volume	15
2.1.5 Mean Velocity of the Molecules – Temperature of a Gas	16
2.1.6 Mean Velocity of the Molecules – Influence on Foreign Molecules	17
2.1.7 Velocity of Molecules in a Gas Compound	17
2.1.8 Mixing Temperature of Gases	18
2.1.9 Increase of Temperature in Gases when Supplying Energy	19
2.1.10 Form and Volume Properties of Gases	20
2.1.11 Adiabatic Compression and Expansion of Gases	21
2.1.12 Dependence of the Pressure on the Temperature	22
2.1.13 Dependence of the Pressure on the Number of Molecules	22
2.1.14 Diffusion of Gases	23
2.1.15 Diffusion of a Gas through a Porous Partition	24
2.1.16 Brownian Motion in a Gas	25
2.1.17 Density Distribution in a Gas in the Gravitational Field	26
2.1.18 Local Distribution of the Molecules in a Gas	27
2.2 Structure and Properties of the Liquids	29
2.2.1 Configuration and Motion of Molecules in a Liquid	29
2.2.2 Increase of Temperature in Liquids when Supplying Energy	29
2.2.3 Diffusion of Liquids	30
2.2.4 Brownian Motion in a Liquid	31
2.2.5 Evaporation of a Liquid	31
2.2.6 Liquefaction of a Gas through Pressure	32
2.2.7 Solidification of a Liquid	32

2.3	<i>Structure and Properties of Solids</i>	34
2.3.1	Configuration and Motions of the Lattice Elements in a Solid	34
2.3.2	Melting a Solid	34
2.3.3	Change of the Aggregation State of a Gas through Compression and Cooling	35
2.3.4	Heat Conduction in Solids	36
2.4	<i>Processes of Electric Conduction</i>	37
2.4.1	Motion of an Electron in a Vacuum Under the Influence of an Electric Field (Demonstrated By Means of Mechanical Forces).....	37
2.4.2	Deflection of an Electron Radiation in the Electric Field	37
2.4.3	Motion of Electrons in a Vacuum Under the Influence of an Electric Field	38
2.4.4	Principle of Electric Conduction	39
2.4.5	Influence of Lattice Elements on the Motions of Electrons in an Electric Field	39
2.4.6	Motion of an Electron in a Metal Lattice Under the Influence of the Electric Field – Ohmic Resistance (Demonstrated By Means of Mechanical Forces).....	40
2.4.7	Motion of the Free Electrons in a Metal	41
2.4.8	Thermal Emission	41
2.4.9	Bound Charge Carriers in an Insulator	42
2.4.10	Behavior of a Free Charge Carrier in an Insulator	43
2.4.11	Electric Conduction in a Semiconductor – Intrinsic Conduction (Demonstrated By Means of Mechanical Forces).....	43
2.4.12	Electric Conduction in a Semiconductor – N-Type Conduction (Demonstrated By Means of Mechanical Forces).....	44
2.4.13	Electric Conduction in a Semiconductor – P-Type Conduction (Demonstrated By Means of Mechanical Forces).....	45
2.5	<i>Nuclear Physics</i>	47
2.5.1	Scattering of Positively Charged Particles Near an Atomic Nucleus	47
2.5.2	Scattering of Alpha Particles When Passing Through a Metal Foil	47
2.5.3	The Rutherford Atomic Model	48
2.6	<i>Mechanical Motions</i>	49
2.6.1	Vertical, Horizontal and Diagonal Projection	49
2.6.2	Elastic Collision	49
2.6.3	Change in the Direction of Motion of an Object with a Force	50

Introduction

Air cushions are produced and sustained by means of air continuously emitted from jets in one of the objects as they move against one another. This prevents any contact between the two objects. As a “lubricant”, there is a thin gas cushion between them, similar to the oil film frequently used. Due to the much lower viscosity of the air, friction is reduced to negligible levels.

Using the air cushion makes it possible to conduct many experiments in a much better quality. A large number of experiments, however, are only possible by making use of the air cushion.

A disadvantage of the common two-dimensional air-cushion arrangement is limited visibility. To observe the motions in two dimensions, it is necessary to step up closely to the setup. Such systems are furthermore very difficult to handle because of complicated stabilization and adjustment procedures. The use of projection offers new opportunities. It allows both an expedient reduction in the size of all parts of the experiment setup and a considerable improvement in visibility.

Finally, mechanical collisions proved to be too inefficient. Since in this case only part of the energy is transmitted, it would have been necessary to take additional measures to compensate for the loss of kinetic energy. Making use of the forces between ceramic magnets allows the production of virtually fully elastic collisions. The fact that an immediate contact between the colliding partners does not occur is no disadvantage in most cases. This method is highly suited for model demonstrations, e.g. of the force relations on a microphysical level.

The gas cushion principle, use of projection and use of magnetic forces make the air-cushion table a high-quality teaching aid, characterized by simple operation, high reliability, universal usage and excellent methodological qualities. Some of the experiments basically cannot be carried out better with other currently known methods.

The air-cushion table is used mainly in model demonstrations of microphysical procedures. The characteristic vividness of models and the excel-

lent visibility make this demonstration a kind of “window into the microcosm”. However, it is necessary to mind the shortcomings and limits of modeling. Not only are the procedures highly simplified and represented in a purely mechanical way, also the motions of the real objects are in many cases determined by other forces. Furthermore, all procedures occur on one level. Finally, models contain additional misrepresentations, which become visible e.g. in the shape and color of the hover discs.

Due to the relatively high throughput of air and the small size of the hover discs additional driving mechanisms occur. The effect of these is that the motion of the small, hover discs will not stop as long as the airflow continues. This has the great didactic benefit that many processes can be observed for any required duration, without any need of intervention.

On the other hand, the limited force effect between the hover discs and between them and the magnetic barriers determines a specific maximum speed, which, in the case of very quick hover discs, has practically been reached already after one collision.

With the help of these mechanisms, optimal, well-visible motions usually begin by themselves. The driving mechanism increases the velocity; the not fully elastic collisions limit it.

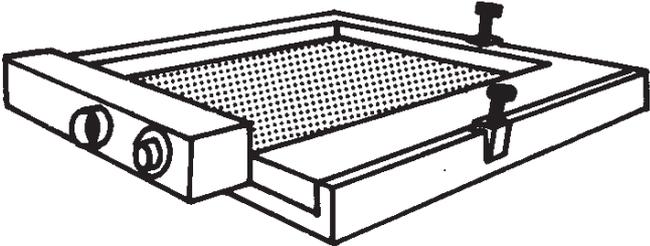
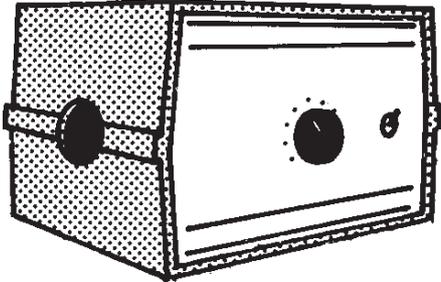
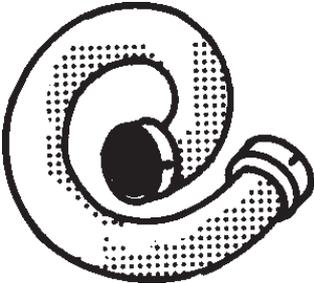
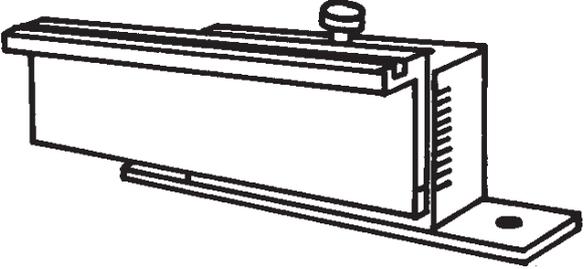
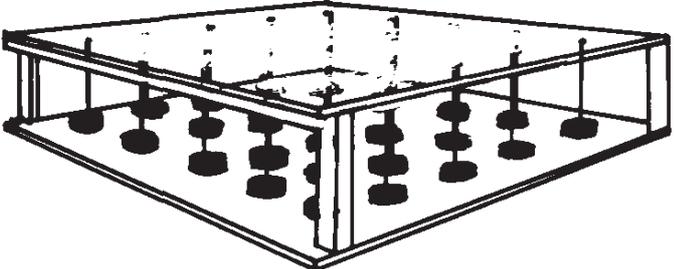
However, both mechanisms can also have an adverse effect by misrepresenting the motions of interest. Only the knowledge of these processes and their well directed usage or inclusion by the experimenter allow full utilization of the great potential of this valuable teaching aid.

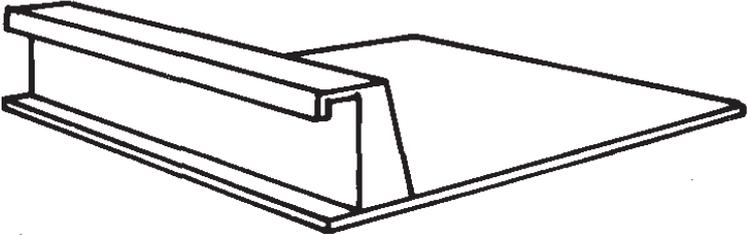
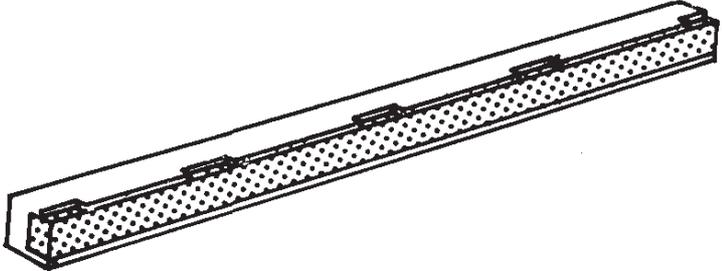
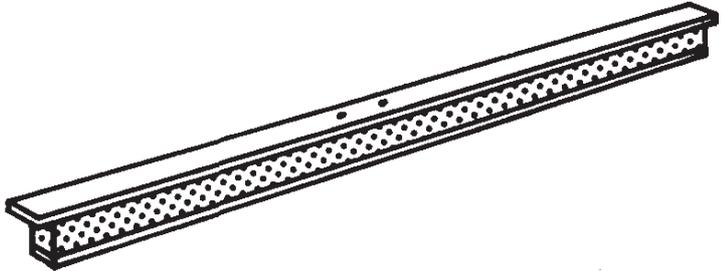
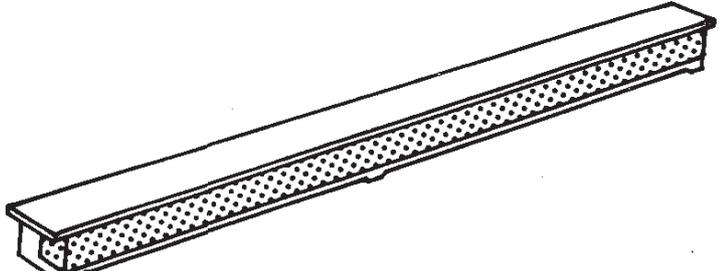
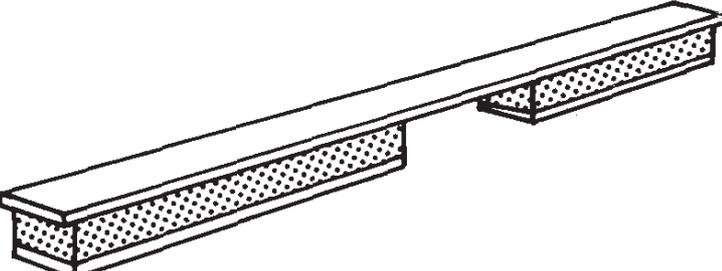
On the following pages you will find a description of the setup and possible uses of the air-cushion table. Then you will find instructions for conducting important experiments.

The illustrations are meant to assist you in your work. They are taken from the perspective from which the teacher views the experiment setup on the air-cushion table.

1. Setup and Possible Uses of the Air-Cushion Table

1.1 Components of the experimenting apparatus

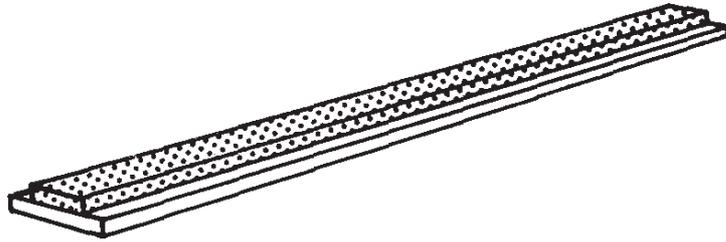
<i>Item</i>	<i>Quantity</i>	<i>Drawing</i>
Air-cushion table	1	
Air source	1	
Tube	1	
Holding device	1	
Lattice model	1	

<i>Item</i>	<i>Quantity</i>	<i>Drawing</i>
Plexiglas plate	1	
Magnetic barrier 253 mm (no. 3 and no. 4)	2	
Magnetic barrier 233 mm (no. 2)	1	
Magnetic barrier 233 mm with slit for airflow from the side (no. 1)	1	
Magnetic barrier 233 mm with opening	1	

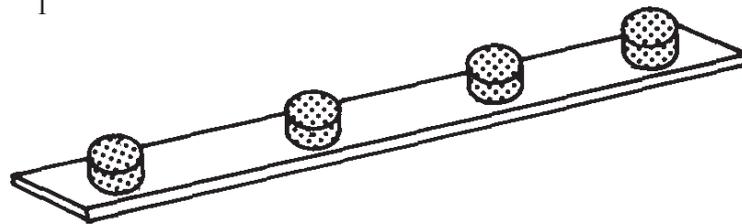
Physical Experiments on the Air-Cushion Table

<i>Item</i>	<i>Quantity</i>	<i>Drawing</i>
-------------	-----------------	----------------

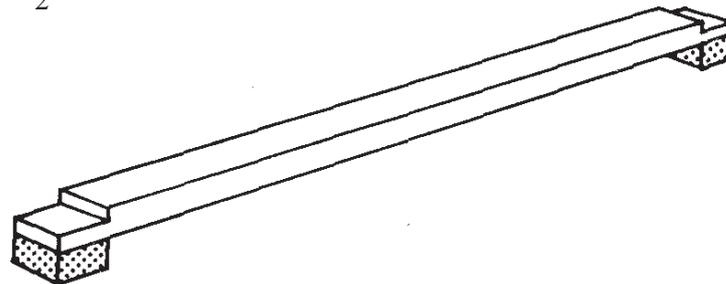
Flat magnetic barrier	1	
-----------------------	---	--



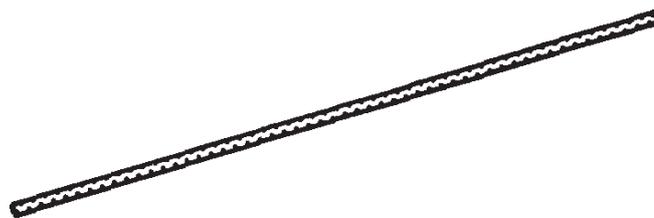
Magnetic barrier made of 4 magnets	1	
------------------------------------	---	--



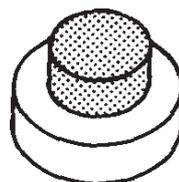
Electrodes	2	
------------	---	--

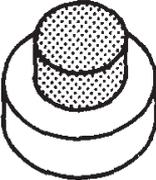
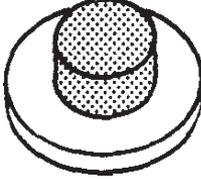
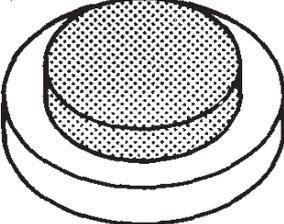
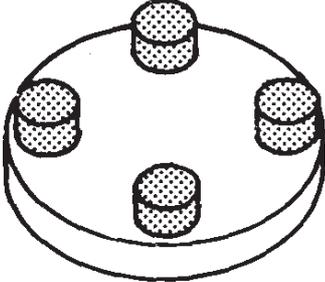
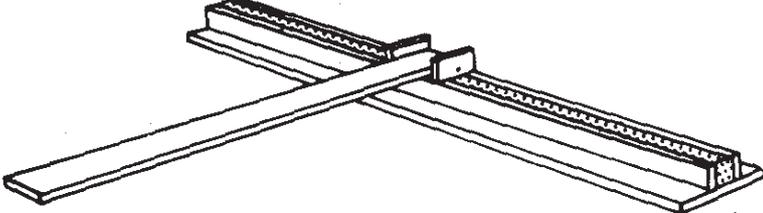


Manipulating rod	1	
------------------	---	--

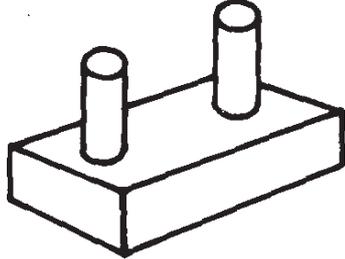
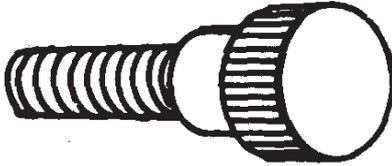
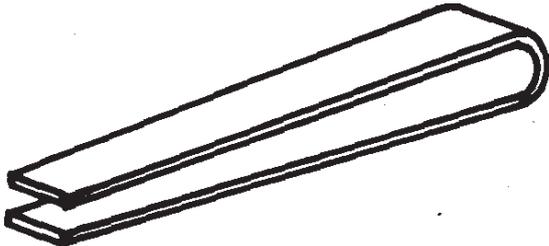
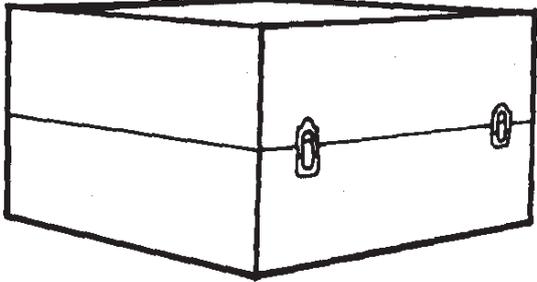


Magnetic hover disc Ø 16 mm, red	30	
-------------------------------------	----	--



Item	Quantity	Drawing
Magnetic hover disc Ø 16 mm, green	25	
Magnetic aluminum hover disc, Ø 21 mm	5	
Magnetic hover disc Ø 28 mm, orange	25	
Magnetic hover disc Ø 48 mm, blue	2	
Magnetic piston	1	

Physical Experiments on the Air-Cushion Table

<i>Item</i>	<i>Quantity</i>	<i>Drawing</i>
Guide piece for the magnetic piston	1	
Fastening screws for the holding device	2	
Plastic tweezers	1	
Aufbewahrungskasten	1	

1.2. Principle Uses of the Air-Cushion Table

The system kit allows for

- nearly frictionless movement of the hover discs
 - through the air cushion
- modeling the interactions between the microobjects and the field
 - through magnetic forces
 - through electrical forces
 - by tilting the experiment surface
- excellent visibility of all experiments
 - due to projection with the overhead projector
- little preparation work
 - due to clear and simple system setup
 - since only few adjustments required

The experimenter can continually adjust the influence factors and directly intervene in the experimental procedure.

All of this ensures a large variety of uses, preferably to demonstrate the behavior of individual microobjects or microobject systems. Therefore it becomes possible to create moving, vivid and highly simplified models of complicated physical objects and phenomena, which one cannot observe directly.

Some of the forces taking effect in model experiments vary considerably from those occurring between the real objects. In many cases, however, the force-distance relations are very similar, so that special attention only needs to be paid to them in quantitative experiments.

Despite this limitation, the air-cushion table is a versatile, effective and appealing teaching aid when handled by a qualified and methodologically skilled experimenter. When teachers have fully understood the operation of the system and follow the operating instructions for the system described below, they can demonstrate experiments with physically convincing and effective results.

1.3. Setup of the Air-Cushion Table

The air-cushion table is made up of a frame and a pressure chamber. The cover plate of the pressure chamber has 1089 holes (\varnothing 0.8 mm). This is the experiment surface. The side of the pressure

chamber where the impulse valve is located is connected to the fan using the tube. The experiment surface can be set to the horizontal or inclined position by means of two adjusting screws.

Five different types of hover discs are supplied with the air-cushion table. They are made of colored, transparent plastic or aluminum discs, onto which cylindrical, ceramic magnets are attached. Carried by the air cushion, these hover discs simulate the moving objects.

The experiment surface is delimited by a flat plastic frame. It is also possible to attach magnetic barriers allowing for almost fully elastic collisions of the hover discs. Therefore it becomes possible to demonstrate interactions with the vessel walls.

To create an electric field, two rod-type electrodes can be placed on the experiment surface. A model effect of an electric field can also be attained by inclining the air-cushion table to the desired degree.

The impulse valve can be used to create an air-flow parallel to the experiment surface influencing the motion of the hover discs. This can be used to increase the speed of the hover discs.

The fan ensures a sufficient air cushion over the experiment surface. Its performance is continuously adjustable and can be adapted to the conditions of the experiment. The fan is equipped with a delivery connection and a suction connection. While experimenting with the air-cushion table, the delivery connection is used, the suction connection can be used for other physical experiments (e.g. with the transparency panel apparatus).

The lattice model is made up of 25 ceramic magnets, which are suspended by thin steel wires. This system oscillates with little absorption. It is used to demonstrate e.g. the interaction of a metal lattice with the moving charge carriers as a model. It is inserted into the holding device in the same way as the Plexiglas plate. The height in which these components are located above the experiment surface can be adjusted as individually suited for each experiment by means of the setscrew. The settings can be easily reproduced using the scale marks.

1.4. Instructions for Usage

The air-cushion table is placed onto the overhead projector so that the arrow on the pressure chamber points to the projection screen. The magnetic barriers (fig. 1) are placed onto the air-cushion table so that their numbers (no. 1 to no. 4) match the markings at the edges of the experiment surface. The magnetic barrier with the slit at the bottom is arranged at the side of the table where the tube of the fan connects. The air flows through the slit and over the experiment surface when activating the impulse valve.

The pressure chamber and the fan are connected by the tube (fig. 2). The tube should run as straight as possible. Only one position is possible when connecting it to each of the devices. This is why both ends of the tube and the connectors of the devices are marked with a line. The tube is connected to the device so that both lines meet. Then it is turned slightly to the right or to the left.

Next, the experiment surface is aligned horizontally by means of the adjusting screws at sides 2 and 4 by means of the spirit levels.

When needed, the impulse valve is pressed several times for approx. 1 second. The fan has to be set to a sufficient performance level, since otherwise the pressure of the air cushion is too low and the hover discs will sink onto the experiment surface.

To install the lattice model, the holding device is screwed onto the frame of the air-cushion table. The lattice model is then inserted into the groove of the holding device (fig. 3) The influence of the lattice model on the motion of the hover discs

strongly depends on the height of the lattice over the experiment surface. The holding device, which is marked with a scale (fig. 4) can be infinitely adjusted to the appropriate height using a setscrew.

This allows for demonstrations of the behavior of conductors, semi-conductors and insulators.

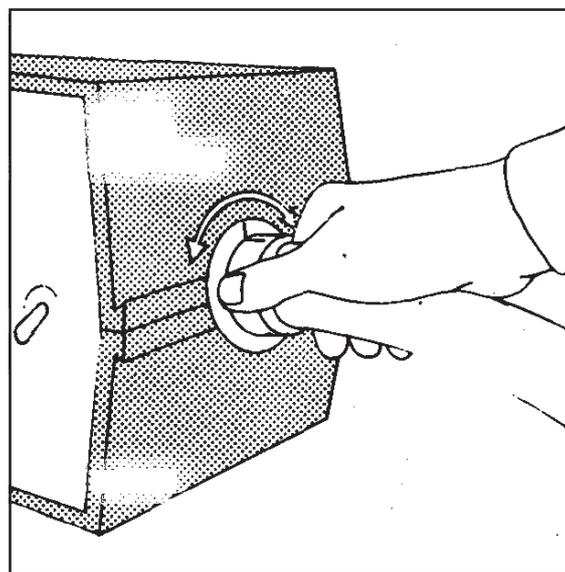
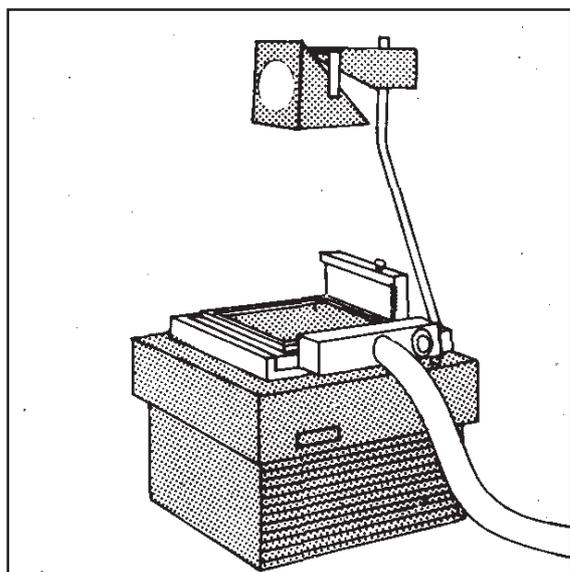
The electrodes are used to create an electric field. They can be applied in two positions. Placing them onto their base will create a gap between the experiment surface and the electrodes. This gap is large enough for the aluminum hover discs to fit through. These are then charged in accordance with the polarity of the respective electrode. The electrodes can also be turned around so that their bases point upwards. Then the aluminum parts touch the experiment surface and the hover discs contact the electrodes.

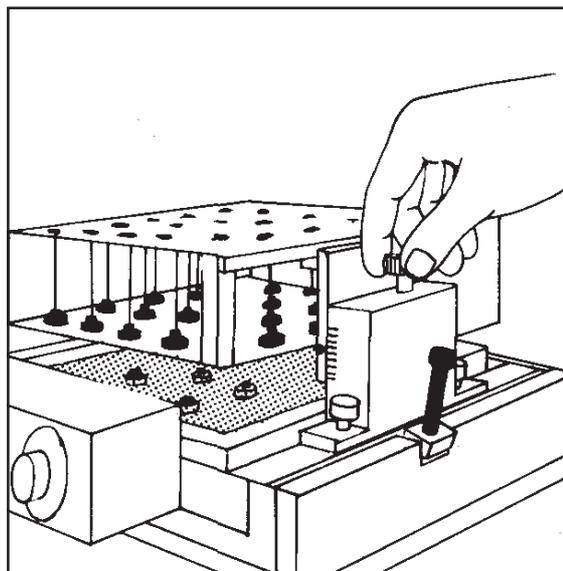
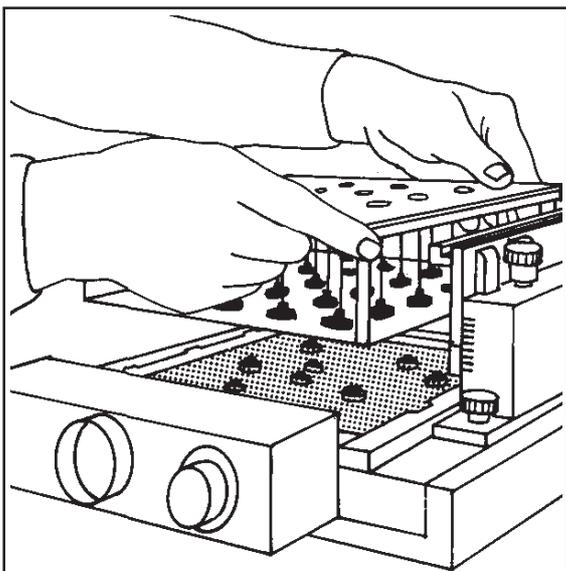
The voltage applied should be over 20 000 V. When the voltage is lower, the electrodes have to be arranged closer to each other.

An especially well-suited voltage source is the electrostatic generator.

The influence of the electric field on the motion of the hover discs can also be demonstrated by slightly tilting the experiment surface. The degree of inclination then corresponds to the strength of the electric field.

The strength of the fan is adjusted until the hover discs just begin to move freely. This ensures a relatively low level of noise. When the airflow is stronger, disturbance caused by the noise of the fan cannot be avoided. For this reason, it should





be positioned behind the experimenting table or inside it. This will reduce the noise level reaching the classroom. Further noise reduction can be reached by wrapping sponge rubber around the fan or lining it with Piatherm or the like. Special care should be taken, though, to ensure that the air can enter the suction nozzle unimpeded.

1.5. Maintenance and Care

The air-cushion table is a high-quality apparatus, which requires special care. Its stability has certain limits because of the consistency of the necessarily transparent material.

- Avoid damage caused by dropping, hitting, bumping, dragging or sliding.
- Keep all parts clean and free from dust.
- Remove dust with an anti-static cloth. Strong rubbing of the table surface causes electrostatic charging which may considerably affect the experiments.
- To keep the pressure chamber clean, do not place the airflow generator near dust accumulations.
- Keep the bottom sides of the hover discs clean at all times. They can be easily cleaned using ethyl alcohol.

2 Description of the Experiments

2.1 Structure and Properties of Gases

2.1.1 Motion of a Molecule in High Vacuum

Components:

Air-cushion table with fan	
Overhead projector	
Magnetic barrier, long	2 Pieces
Magnetic barrier, short	2 Pieces
Hover discs	1 Piece

Model simulation	
Real Object	Model
Vessel containing the gas	Experiment surface of the air-cushion table
Walls of the vessel	Magnetic barriers
Gas molecules	Hover discs

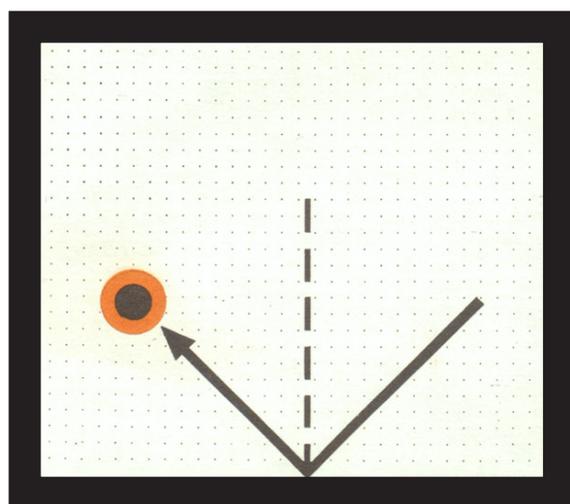
How to proceed:

Align the air-cushion table horizontally and attach the magnetic barriers.

Turn the fan to a medium setting. Place the hover disc onto the experiment surface and give it an impact so that it hits a magnetic barrier in the middle at an angle of 45° .

Result:

The motion of the hover disc is straight and uniform. When it hits a barrier, the direction of its motion changes. The speed is unchanged. The hover disc rebounds at the same angle at which it hits the barrier. The law of reflection applies.



Interpretation:

The gas molecule moves in accordance with the laws of classical mechanics.

2.1.2 Motion of the Molecules in a Gas

Components:

Air-cushion table with fan	
Overhead projector	
Magnetic barrier, long	2 Pieces
Magnetic barrier, short	2 Pieces
Hover disc, red	16 Pieces

Model simulation	
Real Object	Model
Vessel containing the gas	Experiment surface of the air-cushion table
Walls of the vessel	Magnetic barriers
Gas molecules	Hover discs

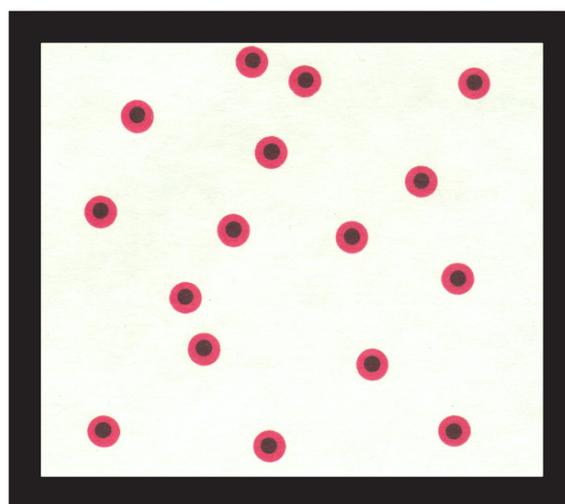
How to proceed:

Align the air-cushion table horizontally and attach the magnetic barriers.

Place the 16 red hover discs anywhere on the experiment surface so that the spaces between them are approximately 1 cm. Then turn the fan to a setting in which all hover discs are sure to lift off.

Result:

Each hover disc moves in a straight and uniform way as long as it does not hit any other hover disc or a magnetic barrier. When two hover discs collide, their speed and direction of velocity usually changes. These collisions cause a transmission of kinetic energy. When hitting the magnetic barrier, only the direction of velocity changes.



Interpretation:

Elastic collisions occur between the molecules of a gas and when molecules hit the vessel wall. Along the distance covered between two collisions, the "free length of path", the motion of the molecules is straight and uniform.

Note:

This experiment can be developed from the one described above in 2.1.1. by placing three additional orange hover discs onto the experiment surface one after the other while keeping the fan turned on. The collisions between the discs and the transfer of kinetic energy caused by them can be especially well observed when using a low number of discs.

2.1.3 Dependence of the Number of Impacts with the Vessel Wall on the Velocity of the Molecules

Components:

- Air-cushion table with fan
- Overhead projector
- Magnetic barrier, long 2 Pieces
- Magnetic barrier, short 2 Pieces
- Hover discs 2 Pieces
- Stop watch or master clock 1 Piece

Model simulation	
Real Object	Model
Vessel containing the gas	Experiment surface of the air-cushion table
Walls of the vessel	Magnetic barriers
Gas molecules	Hover discs

How to proceed:

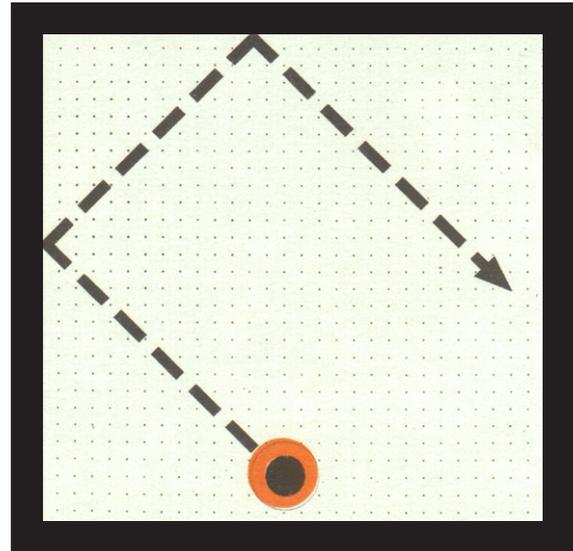
After aligning the air-cushion table horizontally, attach the magnetic barriers. Turn the fan to a setting in which two hover discs placed above each other are sure to lift off. Give this doubled hover disc an impact so that it hits one of the barriers in the middle at an angle of 45°. Count the impacts with the wall occurring within a given period of time (10 seconds). Then repeat the experiment with only one of the hover discs at a higher velocity.

Result:

The higher the velocity of the hover disc is, the more often it will hit the magnetic barrier within a specific period of time.

Interpretation:

The higher the velocity of the molecules is, the more impacts of the gas molecules will occur with the vessel wall. Since these impacts cause the pressure, higher molecule velocities cause higher pressure.



Note:

The hover disc can also be set into motion so that it hits the barriers at a perpendicular angle.

2.1.4 Dependence of the Number of Impacts with the Vessel Wall on the Volume

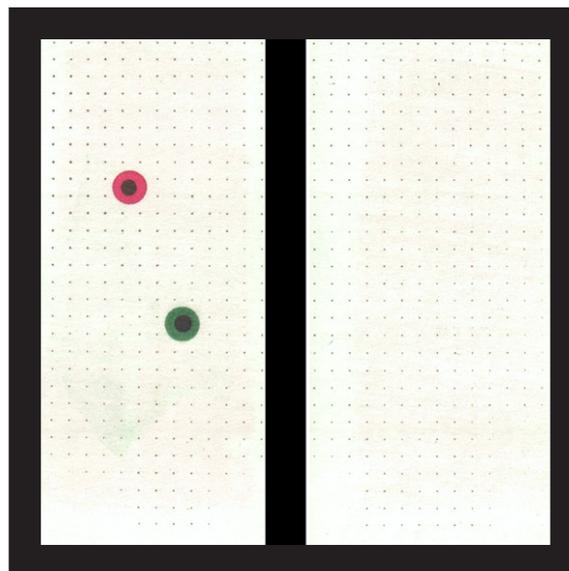
Components:

- Air-cushion table with fan
- Overhead projector
- Magnetic barrier, long 2 Pieces
- Magnetic barrier, short 2 Pieces
- Hover disc, red 1 Piece
- Hover disc, grün 1 Piece
- Stop watch or master clock

Model simulation	
Real Object	Model
Vessel containing the gas	Experiment surface of the air-cushion table surrounded by magnetic barriers
Walls of the vessel	Magnetic barriers
Gas molecules	Hover discs

How to proceed:

Align the air-cushion table horizontally and attach the magnetic barriers. Turn the fan to a setting in which the hover discs are sure to lift off. Then place both hover discs into one corner of the experiment surface, first holding them with two fingers and then quickly releasing them. Count the number of impacts one of the discs performs with the vessel walls within a specific period of time (5 seconds).



Then reduce the area available for the hover discs to half its size. To do this, lift up magnetic barrier no. 2 and reattach it so that it separates the experiment surface into two halves, with its ends snapping into the recesses provided in barriers no. 3 and no. 4. Now set both hover discs into motion in the same way. Count the number of impacts one of the hover discs performs with the magnetic barriers within the same period of time as in the previous experiment.

Result:

In the first experiment, the number of impacts with the barriers is lower than in the second. By reducing the area to half its size, the number of impacts increases to approximately the double amount.

Interpretation:

Reducing the volume of a vessel containing a gas causes an increase in the number of impacts of the gas molecules with the vessel walls within a specific period of time. Since the number of impacts occurring in a specific period of time with a specific wall is an indicator of pressure, the conclusion is that reducing the volume increases the pressure.

Note:

Evaluation is easier when counting only the impacts with magnetic barrier no. 2 in each of the experiments. This, however, requires longer times of measurement.

It is also possible to ascertain the total amount of impacts of both discs. In this case it is recommended that one student counts the impacts of the red disc while another student counts those

of the green. The results are then added up.

2.1.5 Mean Velocity of the Molecules – Temperature of a Gas

Components:

- Air-cushion table with fan
- Overhead projector
- Magnetic barrier, long 2 Pieces
- Magnetic barrier, short 2 Pieces
- Hover discs, red 16 Pieces

Model simulation	
Real Object	Model
Vessel containing the gas	Experiment surface of the air-cushion table
Walls of the vessel	Magnetic barriers
Gas molecules	Hover discs

How to proceed:

Align the air-cushion table horizontally and attach the magnetic barriers.

Position all hover discs in one corner of the experiment surface so that the spaces between them are approximately 1 cm.

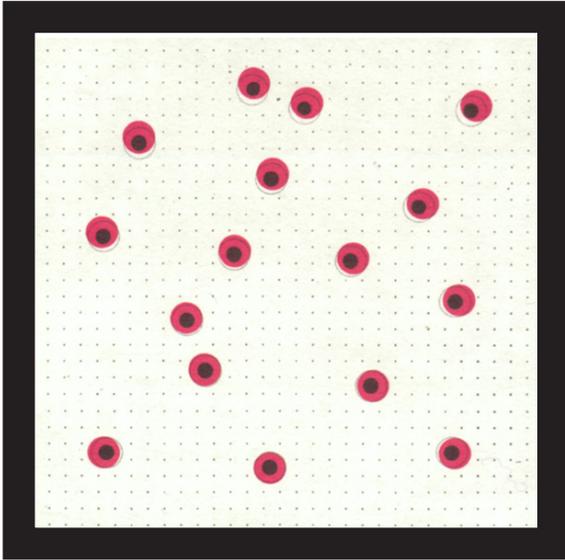
The fan is turned to a medium setting. Sequentially observe the motions of each of the hover discs. Draw attention to the velocity of each disc in relation to the velocity of all other discs. Gradually turn down the fan so that all hover discs come to a stop and then turn it up again so that they are sure to lift off. The same observations are repeated at a lower velocity.

Result:

The velocity of each hover disc changes with each impact. While an impact with the vessel wall

causes only a change in direction, a collision of two hover discs usually causes a change in speed as well.

At any given point in time, the majority of the hover discs move at a mean velocity. Only few hover discs have a high and few a very low velocity.



Interpretation:

The molecules in a gas have different velocities. The velocity of each gas molecule changes with each impact. Many molecules move at a velocity that is close to the mean velocity. Only few molecules have a very low or high velocity. The distribution of velocity is constant over time in a large number of molecules. The mean kinetic energy of the molecules characterizes the temperature of the gas. A low mean kinetic energy corresponds to a low temperature, a large mean kinetic energy to a high temperature. In each case there are molecules whose velocity is very low and others which are especially fast.

Note:

To ensure better visibility of the motions of a specific hover disc, use 15 red hover discs and 1 green one rather than 16 red ones.

2.1.6 Mean Velocity of the Molecules – Influence on Foreign Molecules

Components:

Air-cushion table with fan	
Overhead projector	
Magnetic barrier, long	2 Pieces
Magnetic barrier, short	2 Pieces
Hover disc, green	12 Pieces
Hover disc, red	1 Piece

Model simulation	
Real Object	Model
Vessel containing the gas	Experiment surface of the air-cushion table
Walls of the vessel	Magnetic barriers
Gas molecules	Green hover disc
Foreign gas molecule	Red hover disc

How to proceed:

Align the air-cushion table horizontally and attach the magnetic barriers. Closely arrange the green hover discs in one corner of the experiment surface so that the spaces between them are approximately 1 cm.

Turn up the fan so that all hover discs are sure to lift off.

Place the red hover disc in the middle of the experiment surface, holding it with the finger and then releasing it so that it is not in motion at first. Observe the motion it subsequently performs.

Then place the red hover disc directly into one corner of the experiment surface, holding it with the pointer and then quickly releasing it so that it moves in the direction of the center at high velocity.

Result:

In the first experiment, the red hover disc repeatedly receives impacts from the green discs. Its motion then no longer differs from that of the others. In the second experiment, the velocity of the red hover disc is reduced by collisions with the green ones, so that its motion then also corresponds to theirs.

Interpretation:

If a foreign gas molecule penetrates into a gas it cannot continue in its state of motion. The interaction with the other gas molecules adapts its motion to theirs after a short time.

2.1.7 Velocity of Molecules in a Gas Compound

Components:

Air-cushion table with fan	
Overhead projector	
Magnetic barrier, long	2 Pieces
Magnetic barrier, short	2 Pieces
Hover disc, red	12 Pieces
Hover disc, orange	2 Pieces

Model simulation	
Real Object	Model
Vessel containing the gas	Experiment surface of the air-cushion
Walls of the vessel	Magnetic barriers
Partition	Magnetic piston
Gas molecules	Hover discs

How to proceed:

Align the air-cushion table horizontally and attach the magnetic barriers. Divide the experiment surface in half using the magnetic piston, parallel to the barriers nos. 1 and 2. For guidance of the piston rod, place the guide piece for the magnetic piston onto barrier no. 2.

Place two hover discs into each half.

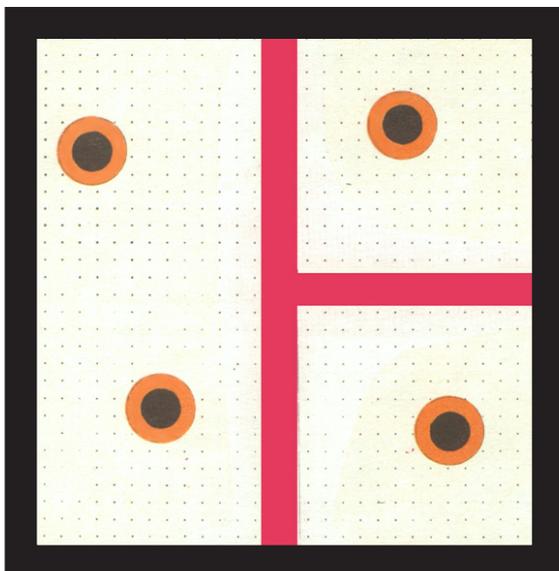
Increase the fan setting so that both hover discs are sure to float even when the impulse valve is opened. Open the impulse valve repeatedly in order to set the hover discs in the adjacent half of the experiment surface into strong motion, while ensuring lesser motion of the other two discs, if necessary by slowing them down manually. Now quickly remove the magnetic piston from the experiment surface and observe the motion of all hover discs.

Result:

The fast discs partially transfer their energy onto the slow ones. The mean velocity of all four hover discs is lower after the removal of the piston than the velocity of the two fast discs in the one half and higher than that of the two slow ones in the other half.

Interpretation:

When mixing two gases of different temperatures,



the resulting temperature is between the two initial temperatures. The reason for this is that the molecules of the gas with the higher temperature transfer part of their kinetic energy to the molecules of the gas with the lower temperature.

Note:

The experiment can also be carried out with 8 green and 8 red hover discs. This is a better demonstration of the conditions in a gas due to the larger number of hover discs. However, it is more difficult to maintain the difference in velocity. For this reason, it is necessary to (manually) accelerate the hover discs in one half and to slow them down in the other.

2.1.9 Increase of Temperature in Gases when Supplying Energy

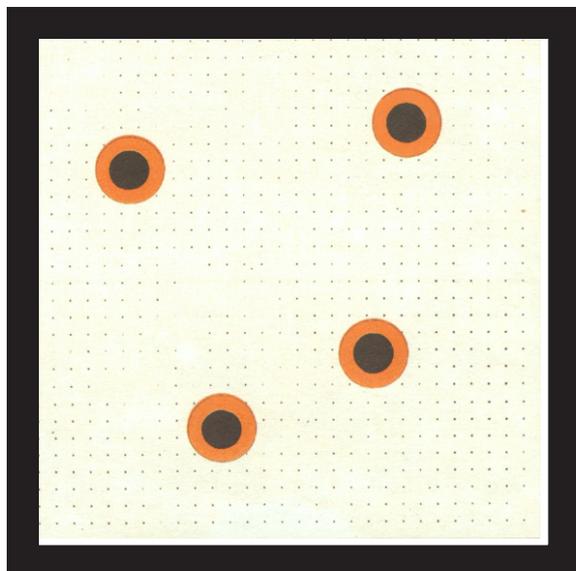
Components:

- Air-cushion table with fan
- Overhead projector
- Magnetic barrier, long 2 Pieces
- Magnetic barrier, short 2 Pieces
- Hover disc, red 12 Pieces
- Hover disc, green 4 Pieces

Model simulation	
Real Object	Model
Vessel containing the gas	Experiment surface of the air-cushion
Walls of the vessel	Magnetic barriers
Gas molecules	Red hover disc
Molecules with higher energy	Green hover disc

How to proceed:

After aligning the air-cushion table horizontally,

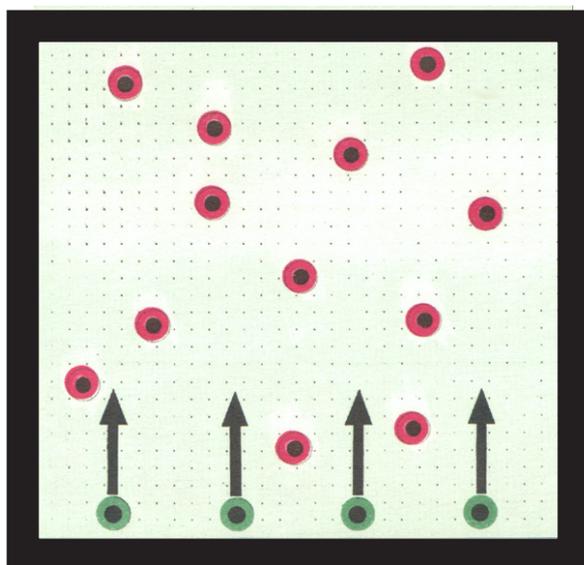


attach the magnetic barriers and spread the red hover discs evenly on the experiment surface. Provide an airflow just ensuring that all hover discs lift off. This keeps the mean velocity of the red discs low. Shortly afterwards, make the 4 green hover discs shoot between the red ones at the highest possible speed. This can be done in quick succession from one corner, using the pointer to hold each hover disc directly in the corner and then quickly releasing it.

It is also possible to press all 4 hover discs against a barrier at the same time, holding them with the fingers and then releasing them so that they hit the red hover discs at high speed.

Result:

The green hover discs shooting in at high speed cause a noticeable increase of the mean velocity of the red hover discs.



Interpretation:

When supplying energy to a gas, its temperature will rise. The energy supply can be interpreted as shooting in of particles with high velocity, mixing with a gas of higher temperature or heating.

Note:

Energy can also be supplied by repeatedly opening the impulse valve for a short time. To ensure that the hover discs will float safely even when the valve is opened, a stronger airflow will be necessary.

To repeat the experiment, slowly reduce the airflow until the motions stop and then return to the original setting.

2.1.10 Form and Volume Properties of Gases

Components:

- Air-cushion table with fan
- Overhead projector
- Magnetic barrier, long 2 Pieces
- Magnetic barrier, short 2 Pieces
- Magnetic piston 1 Piece
- Hover disc, green 12 Pieces

Model simulation	
Real Object	Model
Vessel containing the gas	Experiment surface of the air-cushion table surrounded by the magnetic barriers and the magnetic piston
Walls of the vessel	Magnetic barriers
Piston to change the form and volume of the area available for the gas	Magnetic piston
Gas molecules	Hover disc

How to proceed:

Align the air-cushion table horizontally and attach the magnetic barriers. Attach the magnetic piston to divide the experiment surface in two halves. Closely arrange the hover discs in one half so that the spaces between them are not much more than 1 cm.

The fan is turned up to a setting in which all hover discs are sure to lift off. The area available for the hover discs is increased by quickly removing the piston.

The piston is placed back onto the experiment surface near a barrier and its rod is moved back and forth to the right and left so that the shape of the experiment surface available for the hover discs changes.

Observe the reaction of the hover discs to the change in area in both cases.

Result:

In both experiments, the hover discs completely fill out the available area. They are quickly dispersed across the entire area.

Interpretation:

In beiden Experimenten füllen die Hover disc die zur Verfügung stehende Fläche voll aus. Sie verteilen sich dabei schnell auf die ganze Fläche.

velocity of the molecules and the number of impacts. The temperature and pressure of the gas increase. When expanding a gas adiabatically, the mean velocity of the molecules decreases and there is a drop in pressure and temperature.

2.1.12 Dependence of the Pressure on the Temperature

Components:

Air-cushion table with fan	
Overhead projector	
Magnetic barrier, long	2 Pieces
Magnetic barrier, short	2 Pieces
Magnetic piston	1 Piece
Guide piece for magnetic piston	1 Piece
Hover discs	8 Pieces

Model simulation	
Real Object	Model
Vessel containing the gas	Experiment surface of the air-cushion table surrounded by the magnetic barriers and the magnetic piston
Walls of the vessel	Magnetic barriers
Piston limiting the volume of the gas	Magnetic piston
Gas molecules	Hover disc

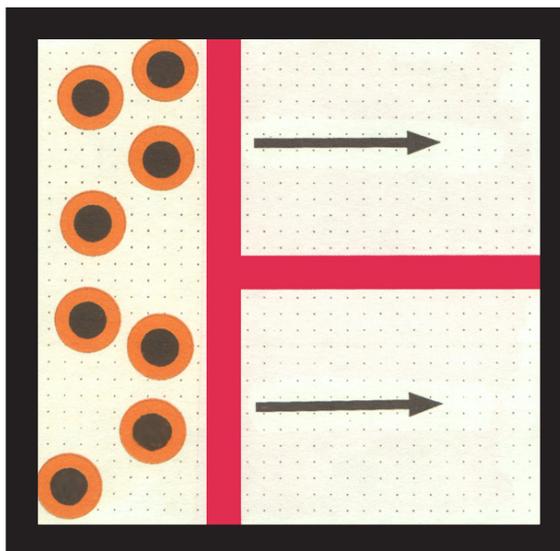
How to proceed:

Align the air-cushion table horizontally and attach the magnetic barriers. Place the piston on the experiment surface parallel to magnetic barrier no. 2. To provide a lateral boundary for the piston rod and to ensure its successful guidance, place the guide piece for the magnetic piston onto barrier no. 2. Place the hover discs onto the experiment surface near barrier no. 1 with the slit for the airflow entering the experiment surface from the side. Move the piston towards this barrier as far as possible.

Turn the fan to a setting that provides a strong airflow. Increase the mean velocity of the hover discs by repeatedly opening the impulse valve for a short period. Observe the motions of the hover discs and the piston.

Result:

The piston shifts through the impacts of the hover discs at the rate at which the mean velocity of the hover discs rises. This causes an enlargement of the area available to the hover discs.



Interpretation:

Increasing the temperature of a gas causes a rise in pressure when the volume is constant. If the vessel containing the gas is equipped with a moving piston, a rise in temperature will increase the volume of the gas.

Note:

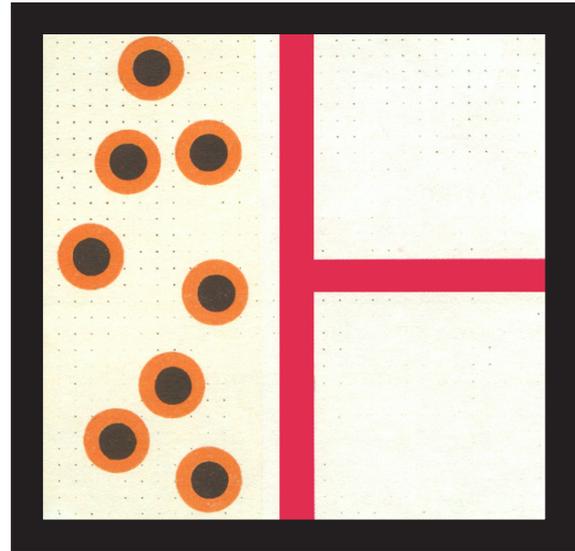
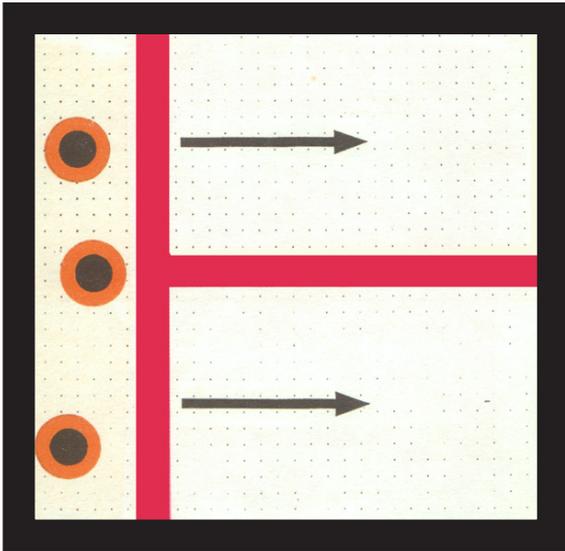
The force acting on the piston from the outside due to air pressure can also be demonstrated in this experiment by slightly tilting the experiment surface so that the hover discs have to push the piston up a slope.

2.1.13 Dependence of the Pressure on the Number of Molecules

Components:

Air-cushion table with fan	
Overhead projector	
Magnetic barrier, long	2 Pieces
Magnetic barrier, short	2 Pieces
Magnetic piston	1 Piece
Guide piece for the magnetic piston	1 Piece
Hover discs	8 Pieces

Model simulation	
Real Object	Model
Vessel containing the gas	Experiment surface of the air-cushion table surrounded by the magnetic barriers and the magnetic piston
Walls of the vessel	Magnetic barriers
Piston limiting the volume of the gas	Magnetic piston
Gas molecules	Hover disc



How to proceed:

Align the air-cushion table horizontally and attach the magnetic barriers around the experiment surface. Arrange the piston parallel to magnetic barrier no. 2. The piston rod rests on the guide piece for the magnetic piston, which has been attached onto magnetic barrier no. 2 and ensures its guidance. Arrange three of the hover discs near barrier no. 1, the barrier with the slit for air entering from the impulse valve. Move the piston as far as possible towards this barrier.

Turn the fan to a setting providing a strong airflow. Now bring one of the remaining discs after the other onto the experiment surface, making each shoot in at the highest possible speed starting from barrier no. 1. Observe the motions of the hover discs and the piston.

Result:

The piston shifts through the impacts of the hover discs at the rate at which the number of discs increases. This causes an enlargement of the area available to the hover discs.

Interpretation:

Increasing the number of molecules in a specific gas volume causes a rise in pressure. If the vessel containing the gas is equipped with a moving piston, the volume of the gas will increase when the number of molecules rises.

Note:

It is also possible to demonstrate the force acting on the piston from the outside due to air pressure. This is done by slightly tilting the experiment surface so that the hover discs have to push the piston up a slope to increase the area in size.

2.1.14 Diffusion of Gases

Components:

- Air-cushion table with fan
- Overhead projector
- Magnetic barrier, long 2 Pieces
- Magnetic barrier, short 2 Pieces
- Magnetic piston 1 Piece
- Hover disc, red 6 Pieces
- Hover disc, green 6 Pieces

Model simulation	
Real Object	Model
Vessel containing the gas	Experiment surface of the air-cushion table
Walls of the vessel	Magnetic barriers
Partition	Magnetic piston
Molecules of one gas	Green hover disc
Molecules of the other gas	Red hover disc

How to proceed:

Align the air-cushion table horizontally and insert the magnetic barriers. Place the red discs in one half of the experiment surface, near magnetic barrier no. 1, and the green discs in the other half, near barrier no. 2. Place the magnetic piston in the center as a partition running parallel to barriers no. 1 and 2.

Turn the fan to a low setting so that the hover discs just lift off. Then quickly remove the piston and observe the motions of the red and green discs. Repeat the experiment using a stronger airflow after placing the red discs close to barrier no. 1 and the green ones close to barrier no. 2.

2.1.18 Local Distribution of the Molecules in a Gas

Components:

Air-cushion table with fan	
Overhead projector	
Magnetic barrier, long	2 Pieces
Magnetic barrier, short	2 Pieces
Manipulating rod	1 Piece
Hover disc, red	4 Pieces
Stop watch or master clock	

Model simulation	
Real Object	Model
Vessel containing the gas	Experiment surface of the air-cushion
Walls of the vessel	Magnetic barriers
Halves of the vessel	Halves of the experiment surface
Gas molecules	Hover discs

How to proceed:

After aligning the air-cushion table horizontally, attach the magnetic barriers at the edges of the experiment surface. The experiment surface is divided in half by placing the manipulating rod onto the middle of barriers nos. 3 and 4. Spread the discs anywhere across the experiment surface and turn the fan to a medium setting.

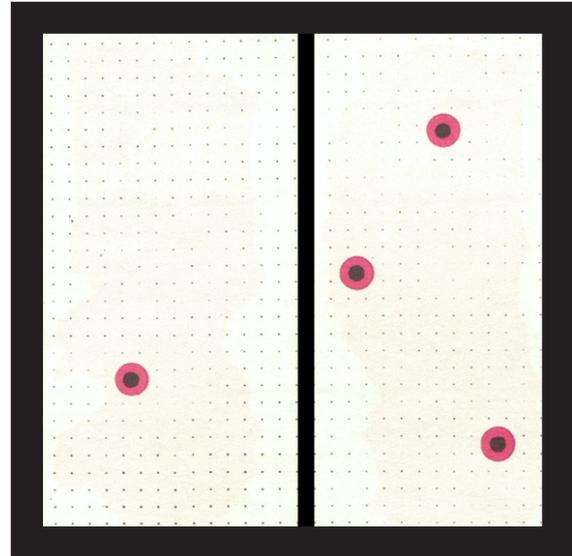
Increase the motion of the hover discs to a high mean velocity by repeatedly opening the impulse valve for a short time. When a specified period of time has elapsed, examine the distribution of the 4 hover discs in both spaces. This is done by covering the connector opening of the fan with the hand. Record the calculated distribution in table 1. Then release the opening again and open the impulse valve several times. Cover the opening again after the specified period of time, record the distribution, etc.

Depict the relative frequency of each possible distribution in a bar chart after 20 experiments, 40 experiments, etc. (Fig. 5)

Result:

Although the hover discs move in a completely disorderly fashion, the result obtained from a large number of experiments is that the distribution across both halves is subject to certain rules. The distribution occurring most frequently is 2:2, followed by the 3:1 and 1:3 distributions

and finally, considerably less often, the 4:0 and 0:4 distributions. The frequencies of the 3:1 and 1:3 distributions are approximately equal, as are the 4:0 and 0:4 distributions.



Interpretation:

The distribution of the molecules in a gas is governed by the laws of statistics. In the case of 4 molecules distributed onto 2 half spaces, the 0:4, 1:3, 2:2, 3:1 and 4:0 distributions occur at a ratio of 1 : 4 : 6 : 4 : 1. This corresponds to the relative frequencies of 6.25 % : 25 % : 37.5 % : 25% : 6.25%.

Note:

An easier method to determine the individual distributions is to calculate and record the distribution after a specified period of time (e.g. 5 seconds). It is sufficient to observe only one half of the experiment surface and to determine how many hover discs it contains at the specified points in time.

The number of hover discs contained in the other half is obtained by deduction from 4.

The ratio of distributions given above is applicable under the assumption that the molecules have a very low volume and that the repulsive forces are effective only in the immediate proximity of the molecules. These conditions are not given in the case of the hover discs used for demonstration. This is why the 2:2 distribution is overrepresented in the experiment, while the other distributions occur less often than expected.

Table 1					
Distribution	0 : 4	1 : 3	2 : 2	3 : 1	4 : 0
Relative frequency in %	5	20	49	21	5

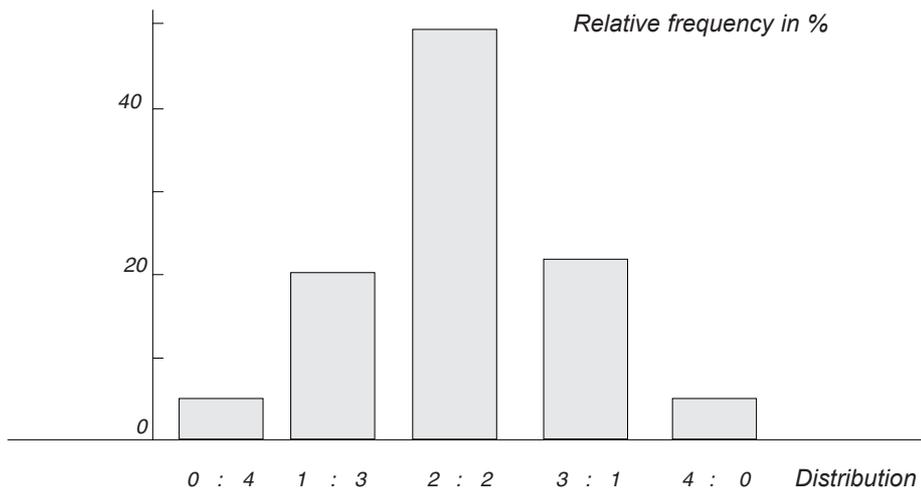


Fig. 5: Relative frequency of the distributions in 100 experiments

2.2 Structure and Properties of the Liquids

2.2.1 Configuration and Motion of Molecules in a Liquid

Components:

Air-cushion table with fan	
Overhead projector	
Magnetic barrier, long	2 Pieces
Magnetic barrier, short	2 Pieces
Hover disc, orange	25 Pieces

Model simulation	
Real Object	Model
Vessel containing the liquid	Experiment surface of the air-cushion table
Walls of the vessel	Magnetic barriers
Molecules of the liquid	Hover discs

How to proceed:

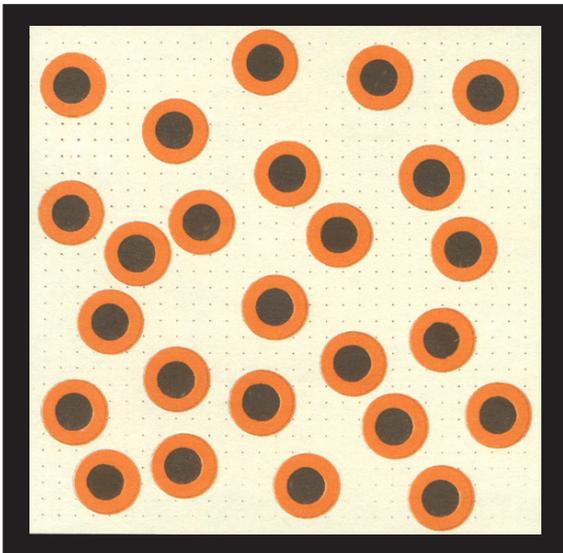
Align the air-cushion table horizontally. First place the magnetic barriers on the experiment surface and next the hover discs.

Turn the fan to a setting in which the hover discs are sure to float even when the impulse valve is opened. Briefly open the impulse valve several times so that the mean velocity of the discs is as high as possible.

Observe the arrangement and motion of the hover discs.

Result:

The hover discs are irregularly arranged at short distances. Each hover disc performs oscillating and circular motions around its location. However, it is not bound to any specific location, rather changing it at irregular intervals or moving



on between the other discs.

The kinetic energy differs from disc to disc and changes from time to time in each disc.

The hover discs are irregularly arranged at short distances. Each hover disc performs oscillating and circular motions around its location. However, it is not bound to any specific location, rather changing it at irregular intervals or moving on between the other discs.

The kinetic energy differs from disc to disc and changes from time to time in each disc.

Interpretation:

The molecules of a liquid are in permanent, irregular motion, with prevailing oscillating and circular motions around the respective location. In almost every molecule these motions are temporarily superimposed by irregular translational movements. The kinetic energy of the individual molecules varies and is constantly changing.

2.2.2 Increase of Temperature in Liquids when Supplying Energy

Components:

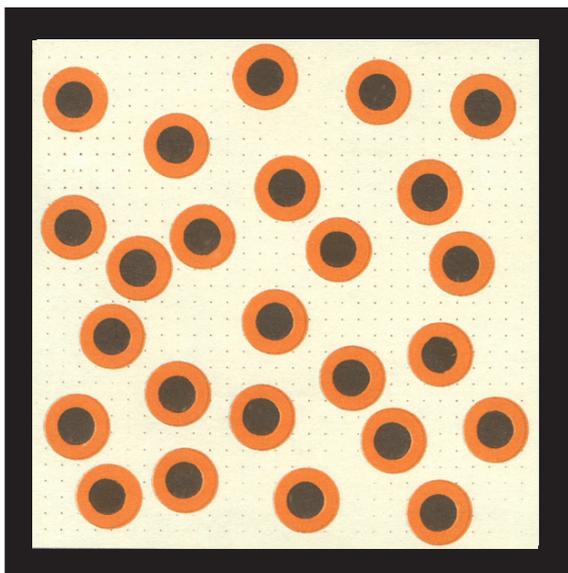
Air-cushion table with fan	
Overhead projector	
Magnetic barrier, long	2 Pieces
Magnetic barrier, short	2 Pieces
Hover disc, orange	25 Pieces

Model simulation	
Real Object	Model
Vessel containing the liquid	Experiment surface of the air-cushion table
Walls of the vessel	Magnetic barriers
Molecules of the liquid	Hover discs

How to proceed:

Align the air-cushion table horizontally and attach the magnetic barriers. Place the hover discs on the experiment surface.

Turn the fan to setting in which the hover discs are sure to lift off. Initially, the velocity of the hover discs has to be kept low by briefly opening the impulse valve at rather long intervals. Gradually increase the velocity by opening the valve at shorter intervals. Observe the motion of the hover discs.



Result:

As an increased amount of energy is supplied, the motion of the hover discs becomes stronger. They perform their oscillating motions at higher amplitudes, exchange their locations more frequently and move from one place to another at higher speed.

Interpretation:

When supplying energy to a liquid, the mean kinetic energy of the molecules increases. The temperature rises.

2.2.3 Diffusion von Flüssigkeiten

Components:

- Air-cushion table with fan
- Overhead projector
- Magnetic barrier, long 2 Pieces
- Magnetic barrier, short 2 Pieces
- Hover disc, red 20 Pieces
- Hover disc, green 20 Pieces

Model simulation	
Real Object	Model
Vessel containing the liquid	Experiment surface of the air-cushion table
Walls of the vessel	Magnetic barriers
Molecules of one liquid	Red hover discs
Molecules of the other liquid	Green hover discs

How to proceed:

Align the air-cushion table horizontally and place the magnetic barriers on the experiment surface. Spread the hover discs evenly across the entire experiment surface so that all green discs are arranged in one half and all red ones in the other half and the line dividing them runs parallel to barriers nos. 1 and 2.

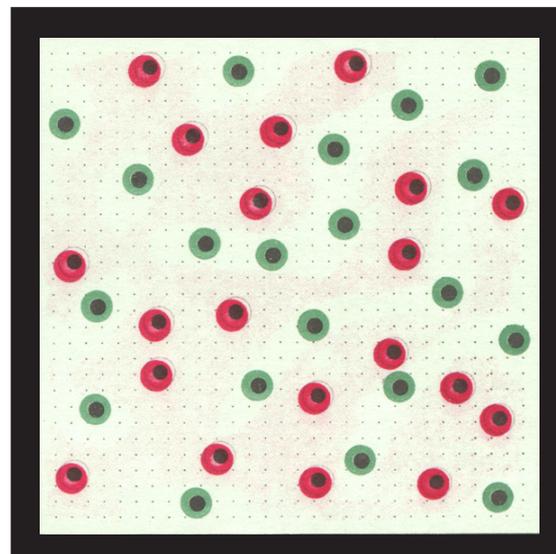
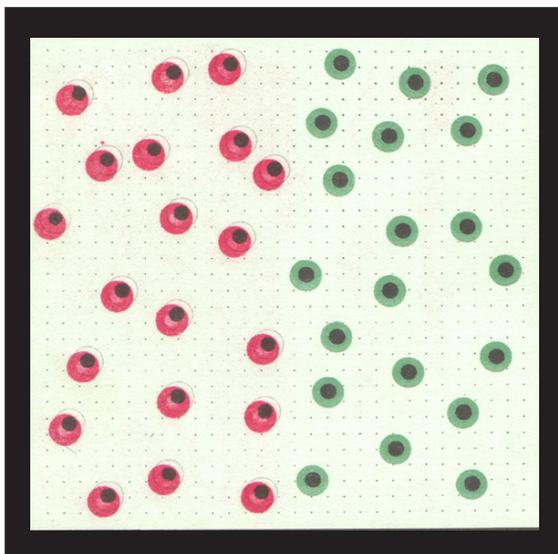
Turn the fan to a setting in which the hover discs are sure to float even when opening the impulse valve. Observe the motions of the hover discs, especially in the area around the borderline.

Result:

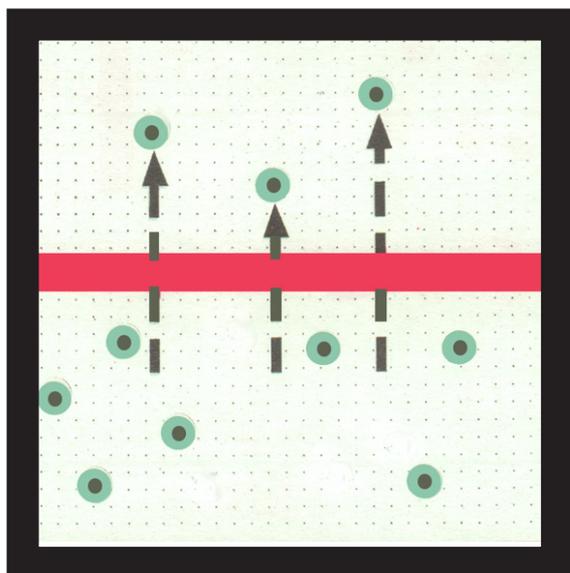
The hover discs gradually mix in the area of the borderline as a result of the occasional translational motions. With time, more and more red discs move into the area of the green ones and vice versa. After some time, the discs have mixed completely.

Interpretation:

The disordered motions of the molecules causes the liquids to mix by themselves. Due to the low translation speed the diffusion in liquids occurs much slower than in gases.



The larger the mean velocity of the hover discs is, the faster individual discs will leave the original section.



Interpretation:

A liquid contains molecules of different velocities at all times. The fastest among these molecules succeed in leaving the liquid. This process of evaporation also occurs beneath the boiling temperature of the liquid. Since molecules from the gas atmosphere also return into the liquid, a dynamic equilibrium state is soon reached. The speed of evaporation increases as the temperature rises.

Note:

The inclination of the experiment surface simulates the gravitational field. This makes more particles return from the gas phase into the liquid phase.

2.2.6 Liquefaction of a Gas through Pressure

Components:

- Air-cushion table with fan
- Overhead projector
- Magnetic barrier, long 2 Pieces
- Magnetic barrier, short 2 Pieces
- Magnetic piston 1 Piece
- Guide piece for the magnetic piston 1 Piece
- Hover disc, red 20 Pieces

Model simulation	
Real Object	Model
Vessel containing the liquid	Experiment surface of the air-cushion table
Walls of the vessel	Magnetic barriers
Piston for the compression of the gas	Magnetic piston
Gas molecules	Hover discs

How to proceed:

Align the air-cushion table horizontally and attach the magnetic barriers. Place the piston on the experiment surface right next to barrier no. 2. The guide piece for the magnetic piston placed onto magnetic barrier no. 2 ensures excellent guidance of the piston rod. Arrange the magnetic hover discs near barrier no.1.

Turn the fan to a medium setting. Slowly move the piston towards barrier no.1 until the available area for the hover discs is less than half of the experiment surface. Observe the configuration and motions of the hover discs.

Result:

Reducing the area in size changes the behavior of the hover discs. The number of impacts increases. The distances in which the hover discs can move in a straight line become shorter and shorter. Oscillating and circular motions prevail. Permanent changes in location mostly occur as a mutual exchange of positions.

Interpretation:

Under certain conditions, the compression of a gas can result in liquefaction. The configuration of the molecules and their type of motion change in this process. While in the gaseous aggregation state only translational movements occur, the motion prevailing in the liquid state is oscillation around the respective location.

2.2.7 Solidification of a Liquid

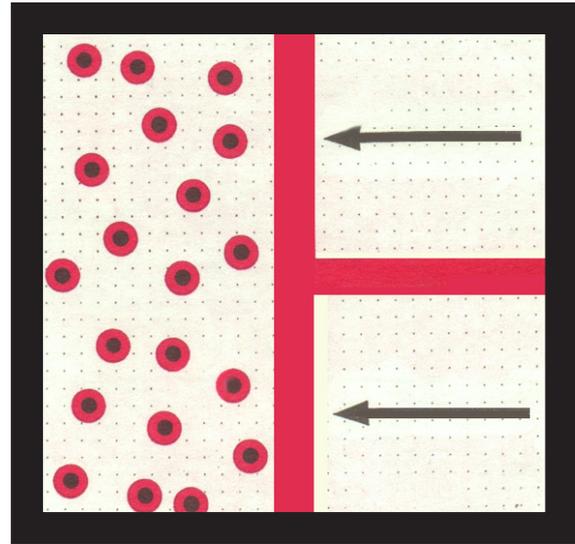
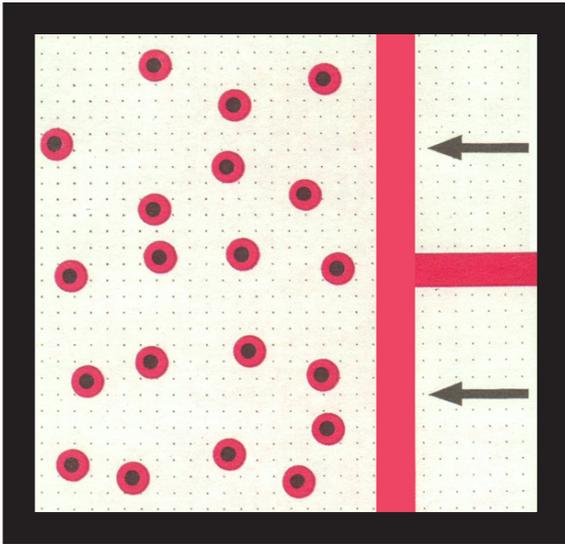
Components:

- Air-cushion table with fan
- Overhead projector
- Magnetic barrier, long 2 Pieces
- Magnetic barrier, short 2 Pieces
- Air-cushion table with fan
- Overhead projector
- Magnetic barrier, long 2 Pieces
- Magnetic barrier, short 2 Pieces
- Hover disc, orange 25 Pieces

Model simulation	
Real Object	Model
Vessel containing the liquid	Experiment surface of the air-cushion table
Walls of the vessel	Magnetic barriers
Molecules of the liquid	Hover discs

How to proceed:

Align the air-cushion table horizontally and attach



the magnetic barriers. Spread the hover discs evenly across the experiment surface.

Adjust the airflow strong enough to ensure that the hover discs lift off even when the impulse valve is opened. Briefly open the impulse valve several times so that the hover discs have a high mean kinetic energy. Observe the motions of the hover discs.

Result:

At first, the hover discs perform oscillating and circular motions superimposed on their translational movements. Their mean kinetic energy gradually drops. The amplitudes of the oscillations decrease, translational movements occur less often. After a while there still are

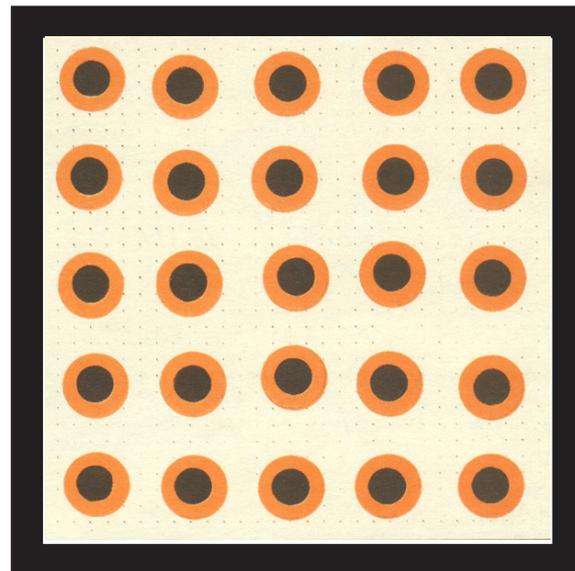
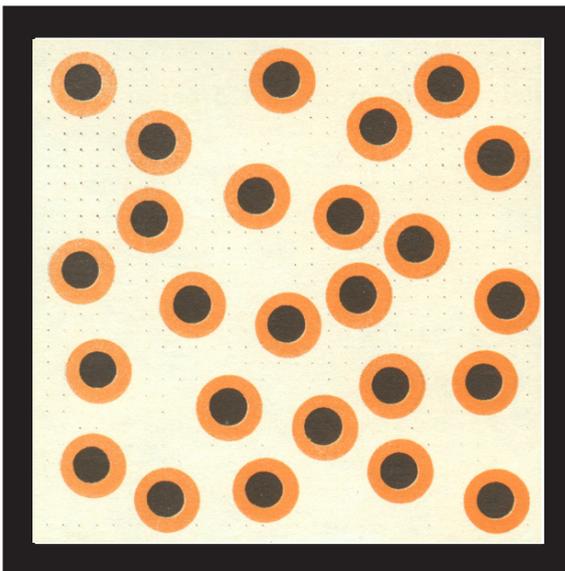
occasional exchanges of position. Finally, each hover disc only moves around its own equilibrium position.

Interpretation:

Reducing the temperature of a liquid leads to its solidification. The drop in temperature causes a drop in the mean kinetic energy of the molecules of the liquid. In the process of solidification, each molecule occupies a specific location, around which it performs irregular oscillating motions.

Note:

The mean velocity of the hover discs will drop faster when the fan is turned to a lower setting.



2.3 Structure and Properties of Solids

2.3.1 Configuration and Motions of the Lattice Elements in a Solid

Components:

- Air-cushion table with fan
- Overhead projector
- Magnetic barrier, long 2 Pieces
- Magnetic barrier, short 2 Pieces
- Hover disc, orange 25 Pieces

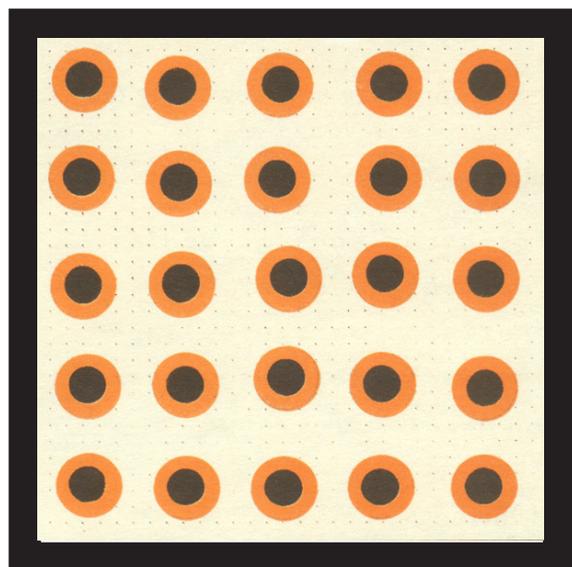
Model simulation	
Real object	Model
Space in which the behavior of the solid is observed	Experiment surface of the air-cushion table
Adjacent lattice elements	Magnetic barriers
Lattice elements of the solid	Hover discs

How to proceed:

Align the air-cushion table horizontally, attach the magnetic barriers and spread the hover discs evenly across the experiment surface. Adjust the airflow strong enough so that the hover discs are sure to float even when the impulse valve is opened. Observe the motion of the hover discs after opening the impulse valve once.

Result:

Each hover disc is bound to a specific location. It performs oscillating and circular motions around its equilibrium position. The amplitudes vary and are constantly changing. The mean kinetic energy of the hover discs gradually decreases.



Interpretation:

The lattice elements in a solid are arranged in a regular configuration. They perform irregular oscillations around their equilibrium position. The amplitudes vary from location to location and change with time. A drop in temperature makes the mean kinetic energy of the oscillating lattice elements decrease.

Note:

To provide a proper demonstration of the drop in temperature it is recommended to turn the fan down as far as possible during the experiment. This experiment can also be demonstrated using red or green discs. It will be necessary, however, to reduce the effective experiment surface by shifting barrier no. 2 to the middle of the air-cushion table.

2.3.2 Melting a Solid

Components:

- Air-cushion table with fan
- Overhead projector
- Magnetic barrier, long 2 Pieces
- Magnetic barrier, short 2 Pieces
- Hover disc, orange 25 Pieces

Model simulation	
Real object	Model
Space in which the behavior of the solid is observed	Experiment surface of the air-cushion table
Adjacent lattice elements	Magnetic barriers
Lattice elements of the solid	Hover discs

How to proceed:

Align the air-cushion table horizontally and attach the magnetic barriers. Spread the hover discs evenly across the experiment surface. Adjust the airflow strong enough so that all hover discs are sure to float even when the impulse valve is opened. Open the impulse valve several times at an interval of several seconds and observe the motion of the hover discs.

2.4. Processes of Electric Conduction

2.4.1 Motion of an Electron in a Vacuum Under the Influence of an Electric Field (Demonstrated By Means of Mechanical Forces)

Components:

Air-cushion table with fan	
Overhead projector	
Magnetic barrier, short	1 Piece
Hover disc, orange	1 Piece

Model simulation	
Real Object	Model
Space containing an electric field	Experiment surface of the air-cushion table
Strength of the electric field	Inclination of the experiment surface
Electron	Hover disc

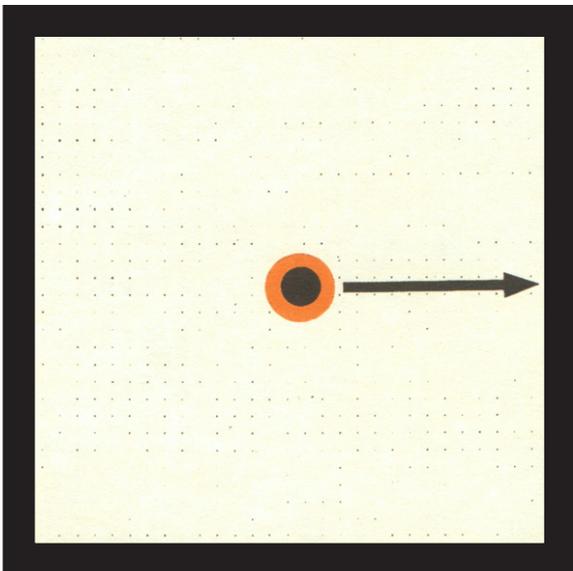
How to proceed:

Align the air-cushion table horizontally. Attach magnetic barrier no. 2 in a reversed position with the number facing downwards, in order to hold the hover disc. Use the adjusting screw at barrier no. 2 to lower the experiment surface on that side, selecting a slight inclination.

Turn the fan to a medium setting. Place the hover disc on the opposite side of the experiment surface, holding it with the finger. Then release it and observe its motion. Repeat the experiment selecting a stronger inclination of the experiment surface.

Result:

The motion of the hover disc accelerates. The acceleration increases with the degree of inclination.



Interpretation:

The motion of electrons in an electric field is accelerated, provided that no other forces act on the electrons. The acceleration increases with the intensity of the electric field.

2.4.2 Deflection of an Electron Radiation in the Electric Field

Components:

Air-cushion table with fan	
Overhead projector	
Magnetic barrier, short	1 Piece
Electrode	2 Pieces
Manipulating rod	1 Piece
Hover disc, green	2 Pieces
Aluminum hover disc	5 Pieces
High-voltage source	

Model simulation	
Real Object	Model
Vacuum containing an electric field	Experiment surface of the air-cushion table
Electrodes	Electrodes
Electrons	Aluminum hover discs

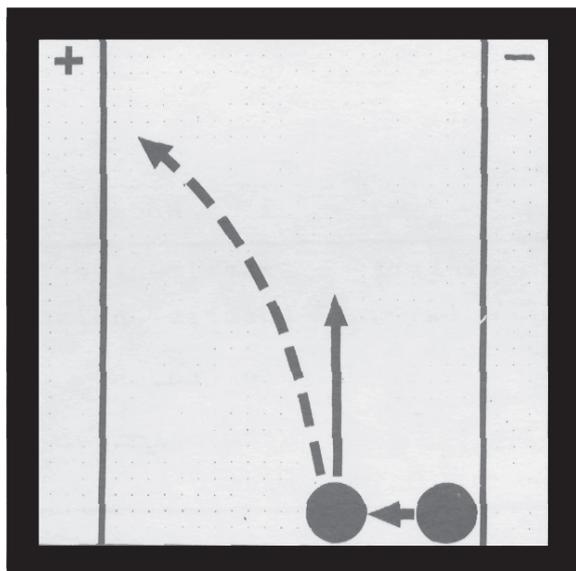
How to proceed:

Carefully align the air-cushion table in a horizontal position using the spirit levels. Place the electrodes onto the experiment surface parallel to sides nos. 1 and 2, so that the electrode on side no. 2 rests on its bases, while the bases of the other electrode point upwards. Position barrier no. 2 outside of the experiment surface on side no. 2, running parallel to the electrode on side no. 2. It is turned by 180° so that the hover discs cling to it because of the magnetic attraction.

Arrange 2 green hover discs closely to each other on side no. 3. They are meant to give the aluminum disc a certain initial velocity. Feed the direct current of the high-voltage source to the electrodes. Use the manipulating rod to move an aluminum disc towards the electrode on side no. 1, so that it is charged. Then move it to the edge of the experiment surface on side no. 3, between the two green discs. Turn the fan to a medium setting and observe the motion of the hover disc. Repeat the experiment with the other aluminum discs, varying the distance of the green discs from the experiment surface.

Result:

The hover discs move towards the opposite electrode on a parabolic path.



Interpretation:

Electrons are subject to a force in the electric field. When the electrons in a vacuum enter an electric field at a perpendicular angle to the field lines, they are forced onto parabolic paths. Their velocity increases in this process.

Note:

It is recommended to conduct this experiment without an electric field at first, in order to demonstrate the straight, uniform movement of the electrons.

2.4.3 Motion of Electrons in a Vacuum Under the Influence of an Electric Field

Components:

- Air-cushion table with fan
- Overhead projector
- Electrode 2 Pieces
- Magnetic barrier, short 1 Piece
- Aluminum hover disc 5 Pieces
- Plastic tweezers 1 Piece
- High-voltage source

Model simulation	
<i>Real Object</i>	<i>Model</i>
Vacuum containing an electric field	Experiment surface of the air-cushion table
Electrodes	Electrodes
Electrons	Hover discs made of aluminum

How to proceed:

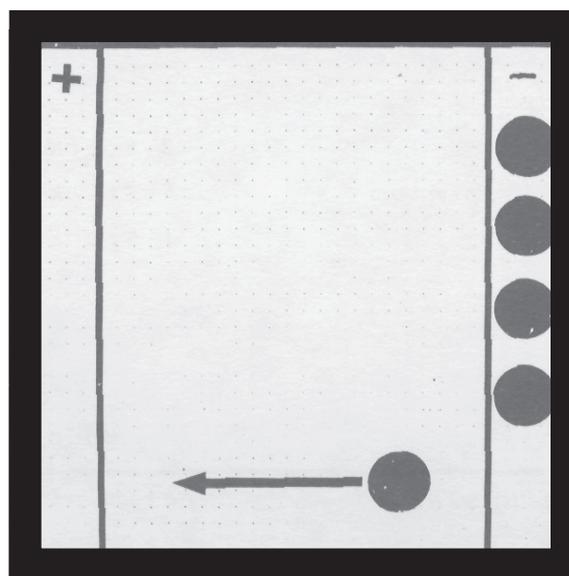
Carefully align the air-cushion table in a hori-

zontal position using the spirit levels. Arrange the electrodes at the edges of the experiment surface parallel to each other. The electrode on side no. 2 is set on its bases, whereas the bases of the other electrode point upwards. Place the magnetic barrier, turned by 180°, closely to the experiment surface parallel to the electrode on side no. 2, so that the hover discs cling to it due to the magnetic attraction. Connect the electrodes to the high-voltage source in such way that the anode is located next to the magnetic barrier. Then place the hover discs onto the cathode.

Feed d.c. voltage to the electrodes and turn the fan to a medium setting. Then lift the hover discs off the cathode using the tweezers and place them onto the experiment surface one by one, positioning them directly in front of the cathode. Observe their motions between the electrodes.

Result:

The hover discs move from one electrode to the other in an accelerated way.



Interpretation:

The electrons in a vacuum will move in an accelerated way from the cathode to the anode under the influence of an electric field.

2.4.4 Principle of Electric Conduction

Components:

- Air-cushion table with fan
- Overhead projector
- Electrode 2 Pieces
- Hover disc made of aluminum 5 Pieces
- Plastic tweezers 1 Piece
- High-voltage source

Model simulation	
Real Object	Model
Space containing an electric field	Experiment surface of the air-cushion table
Electrodes	Electrodes
Charge carriers	Aluminum hover discs

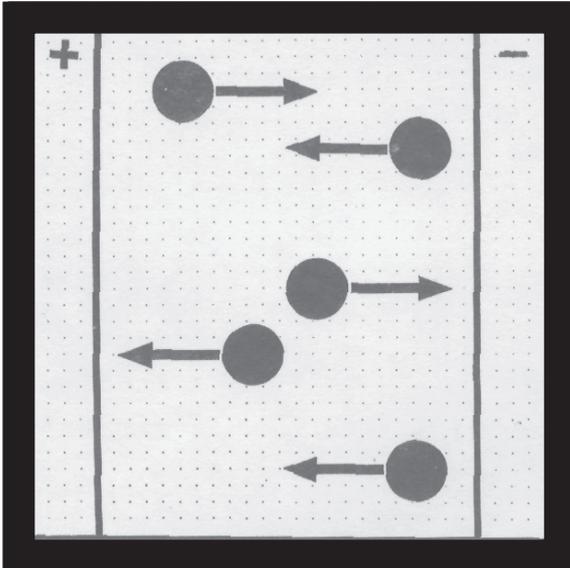
How to proceed:

Align the air-cushion table horizontally. Arrange the two electrodes on two sides opposite each other, so that they rest directly on the experiment surface with their bases pointing upwards. Connect them to the high-voltage source. Place a hover disc directly next to an electrode.

Feed d.c. voltage to the electrodes. Turn the fan to a setting in which the hover disc is sure to lift off. Then place the remaining discs onto the experiment surface one after the other, using the tweezers and placing them directly next to an electrode. Observe the motions of the hover discs.

Result:

The hover discs move back and forth between the electrodes under the influence of the electric field.



Interpretation:

When slightly moving particles (charge carriers) are located in an electric field, they will pick up charges at one electrode and transport them to the opposing one. There they will discharge these and pick up charges of the opposite polarity. Then they will return to the first electrode, etc. This directed movement of the charge carriers represents a current.

Notes:

This experiment offers a clear demonstration of the conditions existing for example when grains or aluminum flakes move back and forth between the plates of a plate capacitor through the influence of the electric field.

This setup is also suited to simulate the process of conduction with bipolar charge carriers. To do this, place an approx. 8-cm wide cardboard strip on each electrode. It should protrude from the electrodes approx. 3 cm into the space between the electrodes. When repeating the experiment under these conditions, the charge carrier seems to disappear in the respective electrode. Later it will leave the electrode as a “different” charge carrier (of the opposite polarity).

2.4.5 Influence of Lattice Elements on the Motions of Electrons in an Electric Field

Components:

- Air-cushion table with fan
- Overhead projector
- Holding device
- Plexiglas plate
- Electrode 2 Pieces
- Manipulating rod 1 Piece
- Hover disc, orange 1 Piece
- Hover disc made of aluminum 4 Pieces
- High-voltage source

Model simulation	
Real Object	Model
Part of a metallic conductor	Experiment surface of the air-cushion table
Lattice element of the metal	Orange disc
Electrodes	Electrodes
Conduction electrons	Aluminum hover discs

How to proceed:

Align the air-cushion table horizontally. Arrange the two electrodes on two opposing sides of the experiment surface, so that they rest directly on its surface with their bases pointing upwards. Attach the holding device to the air-cushion table and insert the Plexiglas plate. Place the four aluminum discs on the experiment surface and shift them towards one of the electrodes. Connect the electrodes to the high-voltage source.

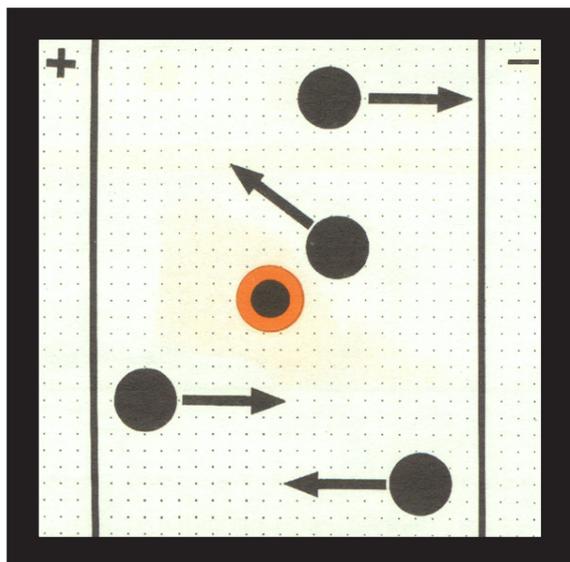
Feed d.c. voltage to the electrodes. Turn up the fan so that all hover discs lift off. Observe their

motions. Then place the orange disc onto the Plexiglas plate above the center of the experiment surface. Its magnet should face downwards so that the aluminum discs are repelled. Set the Plexiglas plate to different heights to vary the influence of the orange disc on the aluminum ones. Observe their motions.

Result:

At first, the hover discs move from one electrode to the other and back. With the exception of few mutual interferences, these motions are mostly straight.

The influence of the orange disc is a major impediment to these motions. The aluminum discs can often only succeed in reaching the opposite side after taking major detours. The lower the Plexiglas plate is set, the stronger the interference by the orange disc will be.



Interpretation:

Conduction electrons move practically unimpeded between the lattice elements of a metal. However, near the lattice element there is strong interference.

Notes:

The fact that the directed movement of the electrons only occurs from the cathode to the anode is neglected intentionally.

2.4.6 Motion of an Electron in a Metal Lattice Under the Influence of the Electric Field – Ohmic Resistance (Demonstrated By Means of Mechanical Forces)

Components:

- Air-cushion table with fan
- Overhead projector
- Magnetic barrier, short 1 Piece
- Holding device 1 Piece
- Lattice model 1 Piece
- Manipulating rod 1 Piece
- Hover disc, orange 1 Piece

Model simulation	
<i>Real Object</i>	<i>Model</i>
Part of a metallic conductor	Experiment surface of the air-cushion table
Metal lattice	Lattice model
Strength of the electric field	Inclination of the experiment surface
Electron	Hover disc

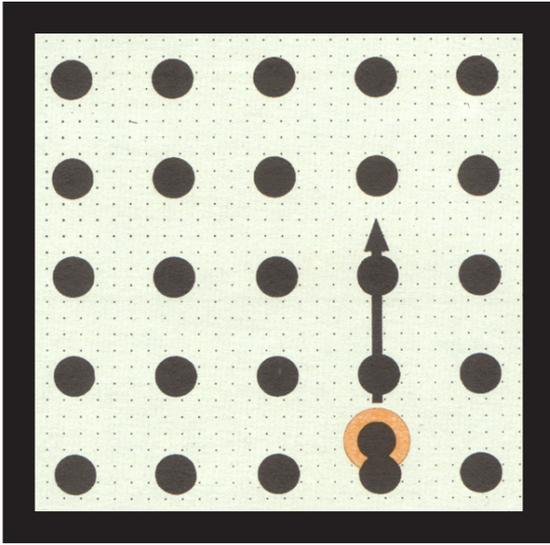
How to proceed:

Align the air-cushion table horizontally. Turn magnetic barrier no. 2 by 180° and place it onto its position on the experiment surface. Attach the holding device to the air-cushion table and insert the lattice model. Slide it along the groove of the holding device until its edge at barrier no. 2 is positioned above the last row of holes in the air jet plate. This is to produce an approx. 3-cm wide strip between the lattice model and the pressure chamber through which the hover discs can be placed onto the experiment surface. Set the lattice model to the lowest position. Use the adjusting screw at barrier no. 2 to select a slight inclination of the table by lowering the table part at this side. Place the hover disc onto the experiment surface next to the pressure chamber. Turn up the fan to make the hover disc float. Observe its motions and those of the hanging magnets. Repeat the experiment selecting different degrees of inclination for the experiment surface.

Result:

The lattice model influences the motions of the

hover disc in such way that the mean drift velocity is constant. The hover disc is slowed down by the interactions with the oscillating magnets. It transfers part of its energy to the magnets so that the amplitude of their oscillations increases. Both the velocity of the hover disc and the amplitude of the lattice oscillations increase as the degree of inclination of the air-cushion table is increased



Interpretation:

The electrons in a metallic conductor move at a constant mean velocity under the influence of an electric field. In the course of interacting with the lattice elements they transfer part of their energy onto these, causing an increase in the lattice oscillations and therefore also a rise in the temperature of the conductor.

2.4.7 Motion of the Free Electrons in a Metal Components:

- Air-cushion table with fan
- Overhead projector
- Magnetic barrier, long 2 Pieces
- Magnetic barrier, short 2 Pieces
- Holding device 1 Piece
- Lattice model 1 Piece
- Hover disc, red 25 Pieces

Model simulation	
Real Object	Model
Part of a metallic conductor	Experiment surface of the air-cushion table
Metal lattice	Lattice model
Electrons	Hover discs

How to proceed:

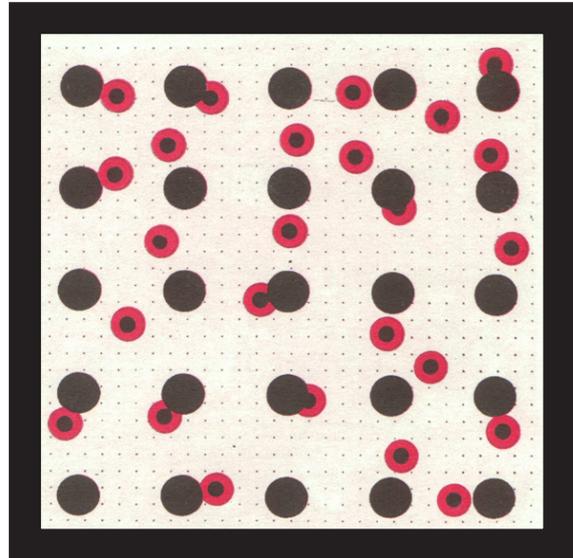
Align the air-cushion table horizontally and ar-

range the magnetic barriers around the experiment surface. Attach the holding device to the air-cushion table and insert the lattice model. Set it to its highest position. Place the hover discs onto the experiment surface.

Turn up the fan so that all hover discs move freely on the air-cushion table. Observe their motions and interactions with the magnets of the lattice model.

Result:

The motions of the hover discs are similar to those of the molecules of a gas. Interactions occur when they approach a magnet of the lattice model. A hover disc with a high velocity can make a hanging magnet oscillate at a higher amplitude. A hanging magnet with higher oscillations can cause the velocity of a hover disc to rise.



Interpretation:

The motions of conduction electrons in a metal are similar to the motions of the molecules in a gas. They interact with the lattice elements. A rise in the temperature of the metal causes an increase in the mean velocity of the electrons. An increased velocity of the electrons causes a rise in the temperature of the metal.

2.4.8 Thermal Emission Components:

- Air-cushion table with fan
- Overhead projector
- Magnetic barrier, long 2 Pieces
- Magnetic barrier, short 2 Pieces
- Holding device 1 Piece
- Lattice model 1 Piece
- Hover disc, red 15 Pieces
- Hover disc, green 11 Pieces

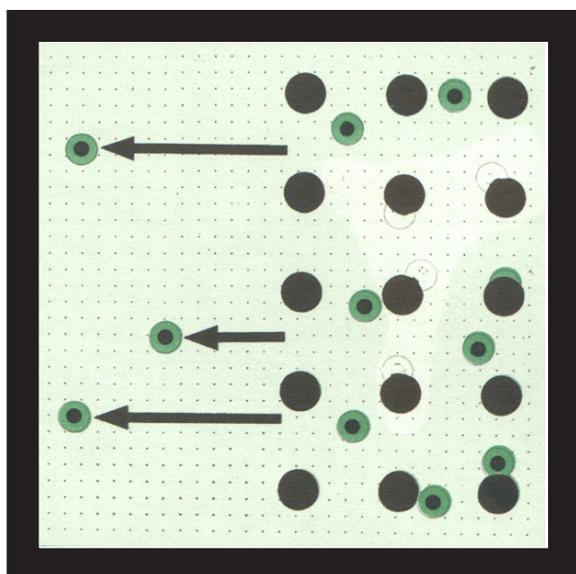
Model simulation	
Real Object	Model
Part of a metal	Part of the experiment surface under the dynamic lattice
Vacuum	Part of the experiment surface not situated under the dynamic lattice
Metal lattice	Lattice model
Electrons	Hover discs

How to proceed:

Align the air-cushion table horizontally and arrange the magnetic barriers. Attach the holding device and insert the lattice model. Set it to a medium height. Slide it outwards in the groove until 2 rows of the hanging magnets are located above the impulse valve. Attach one red disc to each hanging magnet of the remaining 3 rows. These cling to the magnets due to the magnetic attraction. Place the green discs on the experiment surface and slide them under the lattice model. Turn up the fan to a setting in which all discs are sure to lift off. Briefly open the impulse valve several times to increase the mean velocity of the hover discs and the amplitude of the hanging magnets. Observe the behavior of the hover discs.

Result:

Some of the hover discs overcome the forces of the lattice magnets and return to the vacant area of the air-cushion table. Some discs return to the space underneath the lattice model. The stronger the motions of the hover discs or lattice magnets, the more hover discs escape the space under the lattice model.



Interpretation:

To enable the electrons to escape the surface, they have to possess a specific minimum energy. This corresponds to the work of escape. Some of the electrons possess this kinetic energy at high temperatures of the metal. The higher this temperature is, the more electrons can escape it in a specific period of time.

2.4.9 Bound Charge Carriers in an Insulator

Components:

- Air-cushion table with fan
- Overhead projector
- Magnetic barrier, long 2 Pieces
- Magnetic barrier, short 2 Pieces
- Holding device 1 Piece
- Lattice model 1 Piece
- Manipulating rod 1 Piece
- Hover disc, red 25 Pieces

Model simulation	
Real Object	Model
Part of an insulator	Experiment surface of the air-cushion table
Crystal lattice of the insulator	Lattice model
Strength of the electric field	Inclination of the experiment surface
Electrons	Hover discs

How to proceed:

Align the air-cushion table horizontally and attach the magnetic barriers. Spread the 25 hover discs evenly across the experiment surface. Then attach the holding device and insert the lattice model. Set it to the lowest possible height, taking care, however, that the hover discs are not attracted by the hanging magnets. Turn the fan to a setting in which all hover discs lift off. Observe their motions and interactions with the lattice model. Then gradually increase the degree of inclination of the experiment surface and observe the behavior of the hover discs.

Result:

All hover discs are tightly bound to their location and oscillate around their equilibrium position at low amplitudes. Even when the experiment surface is inclined to a higher degree, they will not escape their positions.



Interpretation:

In an insulator, the electrons are bound tightly to the atomic nuclei. They cannot escape their positions even under the influence of an electric field.

2.4.10 Behavior of a Free Charge Carrier in an Insulator

Components:

- Air-cushion table with fan
- Overhead projector
- Magnetic barrier, long 2 Pieces
- Magnetic barrier, short 2 Pieces
- Holding device 1 Piece
- Lattice model 1 Piece
- Manipulating rod 1 Piece
- Hover disc, red 25 Pieces
- Hover disc, orange 1 Piece

Model simulation	
Real Object	Model
Part of an insulator the air-cushion table	Experiment surface of
Crystal lattice of the insulator	Lattice model
Bound electrons	Hover discs, red
Bombarding charge carrier	Hover disc, orange

How to proceed:

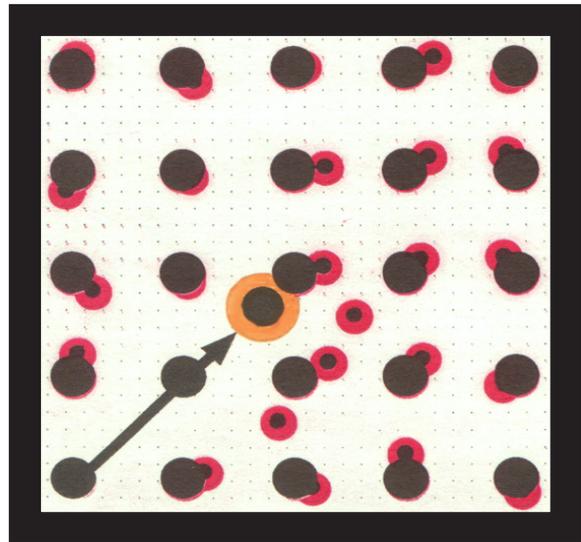
Align the air-cushion table horizontally and attach the magnetic barriers. Spread the red discs evenly across the experiment surface. Attach the holding device to the air-cushion table and insert the lattice model. It should be positioned closely above the experiment surface.

Turn up the fan to a setting in which all discs are sure to lift off. One red disc should be positioned under each hanging magnet. If necessary, use the manipulating rod to ensure this arrangement.

Position the orange disc in a corner of the experiment surface and hold it with the finger at first. Then release it and observe the changes caused by this hover disc.

Result:

The orange disc moves across the experiment surface in a disorderly fashion, driving some of the red discs from their positions. These discs then move between the other bound discs as well, but return to fixed positions after a certain period of time.



Interpretation:

Bombarding an insulator with a fast charge carrier causes the release of some electrons under its influence. These can migrate for a certain period of time, allowing a current to flow in an insulator. This is the case e.g. when specific non-conductors are exposed to high-energy radiation.

Note:

The effect can be enhanced by removing the red disc, which would be first hit by the orange disc.

2.4.11 Electric Conduction in a Semiconductor – Intrinsic Conduction (Demonstrated By Means of Mechanical Forces)

Components:

- Air-cushion table with fan
- Overhead projector
- Magnetic barrier, long 2 Pieces
- Magnetic barrier, short 2 Pieces
- Holding device 1 Piece
- Lattice model 1 Piece
- Manipulating rod 1 Piece
- Hover disc, red 25 Pieces

Model simulation	
Real Object	Model
Part of a semiconductor	Experiment surface of the air-cushion table
Crystal lattice of the semiconductor	Lattice model
Positive ions of the crystal lattice	Lattice magnets
Electrons	Hover discs

How to proceed:

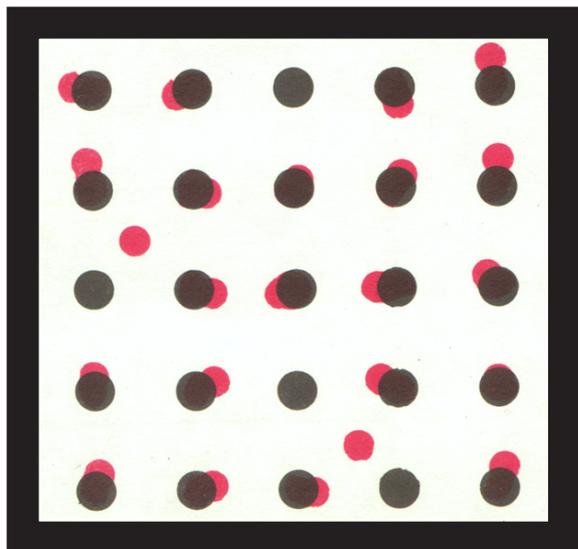
Align the air-cushion table horizontally and attach the magnetic barriers. Spread the discs evenly across the experiment surface. Attach the holding device to the air-cushion table and insert the lattice model. Set it to a medium height.

Turn the fan to a setting in which all discs are sure to lift off. If necessary, use the manipulating rod to ensure that there is a disc under each hanging magnet. Repeatedly open the impulse valve to increase the velocity of the hover discs. Observe their configuration and motions.

Finally, gradually increase the degree of inclination of the table using the adjusting screw at barrier no. 2 and observe the influence of the degree of inclination on the hover discs.

Result:

At low velocities, all hover discs are positioned under the magnets of the lattice model. At higher velocities, some of the hover discs leave their positions. The effect of inclining the experiment surface is that the disordered motions of the hover discs receive a preferential direction.



Interpretation:

In an intrinsic semiconductor, some electrons are released from the lattice under the influence of a

rise in temperature, so that they move throughout the semiconductor. The released electrons leave behind positive “holes”. The number of migrating electrons and the number of holes are equal. Feeding voltage causes an electric current to flow. The preferential motion of the electrons is towards the positive electrode, that of the “holes”, as it seems, in the opposite direction.

2.4.12 Electric Conduction in a Semiconductor – N-Type Conduction (Demonstrated By Means of Mechanical Forces)

Components:

- Air-cushion table with fan
- Overhead projector
- Magnetic barrier, long 2 Pieces
- Magnetic barrier, short 2 Pieces
- Holding device 1 Piece
- Lattice model 1 Piece
- Manipulating rod 1 Piece
- Hover disc, red 28 Pieces

Model simulation	
Real Object	Model
Part of a semiconductor	Experiment surface of the air-cushion table
Crystal lattice of the semiconductor	Lattice model
Positive ions of the crystal lattice	Lattice magnets
Electrons	Hover discs
Strength of the electric field	Inclination of the experiment surface

How to proceed:

Align the air-cushion table horizontally and attach the magnetic barriers around the experiment surface. Spread the discs evenly across the experiment surface. Attach the holding device and insert the lattice model. Set it to a medium height. Turn the fan to a setting in which all hover discs float freely. Observe the configuration and motions of the hover discs. Then tilt the experiment surface of the air-cushion table.

Open the impulse valve several times and repeat the experiment at an increased velocity of the hover discs.

Result:

At the lower velocity, 25 hover discs are bound rather closely to the magnets of the lattice model. The other three move in the gaps between them in disorderly fashion. The effect of inclining the

experiment surface is that the disordered motions of the hover discs are superimposed by directional movements. An increase in velocity also causes some of the bound discs to leave their positions.



Interpretation:

In a semiconductor with N-type conduction, migrating electrons are found even at low temperatures. Feeding voltage causes a current to flow, this current being produced by these electrons. At higher temperatures, further electrons are released for the charge transport.

2.4.13 Electric Conduction in a Semiconductor – P-Type Conduction (Demonstrated By Means of Mechanical Forces)

Components:

- Air-cushion table with fan
- Overhead projector
- Magnetic barrier, long 2 Pieces
- Magnetic barrier, short 2 Pieces
- Holding device 1 Piece
- Lattice model 1 Piece
- Manipulating rod 1 Piece
- Hover disc, red 22 Pieces

Model simulation	
<i>Real Object</i>	<i>Model</i>
Part of a semiconductor	Experiment surface of the air-cushion table
Crystal lattice of the semiconductor	Lattice model
Positive ions of the semiconductor	Lattice magnets
Electrons	Hover discs
Strength of the electric field	Inclination of the experiment surface

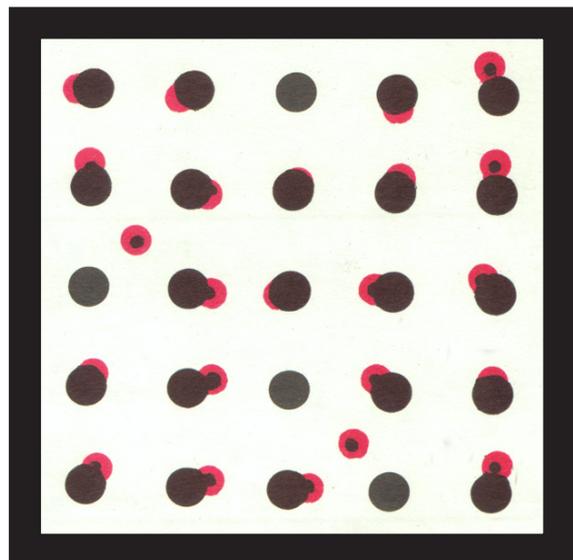
How to proceed:

Align the air-cushion table horizontally and attach the magnetic barriers. Spread the 22 discs evenly across the experiment surface, attach the holding device and insert the lattice model. Set it to a medium height.

Turn the fan to a setting in which the discs are sure to lift off. Then tilt the experiment surface. Observe the configuration and motions of the hover discs. Repeat the experiment at an increased velocity of the hover discs.

Result:

The hover discs are bound to the magnets of the lattice model. Some positions, however, remain vacant. As adjacent discs change over into vacant positions, the “holes” move. The inclination of the experiment surface causes a superimposition of a directional movement.



Interpretation:

In a semiconductor with p-type conduction some locations within the lattice are not occupied by electrons. These “holes” are often filled up by adjacent electrons, creating new “holes.” When feeding a voltage, the positive “holes” move in the direction of the negative electrode. At higher temperatures, additional “holes” are created.

2.5 Nuclear Physics

2.5.1 Scattering of Positively Charged Particles Near an Atomic Nucleus

Components:

- Air-cushion table with fan
- Overhead projector
- Holding device
- Plexiglas plate
- Hover disc, orange 5 Pieces

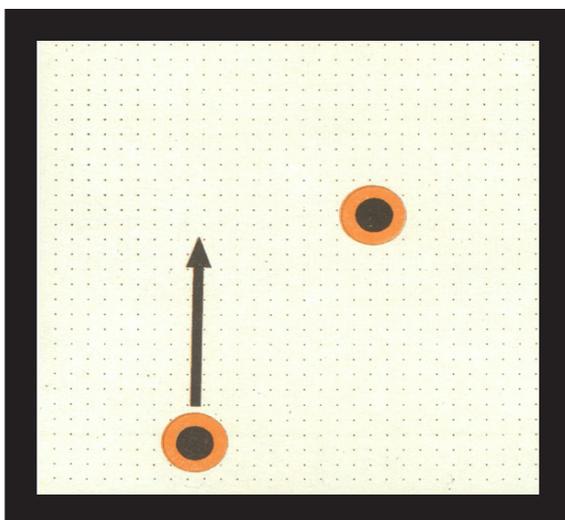
Model simulation:	
<i>Real Object</i>	<i>Model</i>
Space in which the positively charged particles move	Experiment surface of the air-cushion table
Atomic nucleus	Stacked hover discs
Positively charged particle	Hover disc

How to proceed:

Carefully align the air-cushion table to a horizontal setting using the spirit levels. Attach the holding device to the air-cushion device and insert the Plexiglas plate.

Place the 4 stacked discs in the middle of the Plexiglas plate with their magnets facing downwards. This is to ensure repulsion of the hover disc on the experiment surface. Set this disc into motion at the lowest possible velocity from the edge of the experiment surface towards the stacked magnets.

Repeat this experiment at various speeds. Then vary the direction of motion, making the hover disc float along the stacked magnets at gradually increasing distances from experiment to experiment.



Result:

The hover disc changes its direction of motion near the stacked magnets. This change in the direction of motion is stronger the lower the velocity of the hover disc is and the closer the path runs along the stacked discs.

Interpretation:

Charged particles are scattered near the atomic nucleus. The scattering angle depends on the velocity and the initial direction of the particles.

2.5.2 Scattering of Alpha Particles When Passing Through a Metal Foil

Components:

- Air-cushion table with fan
- Overhead projector
- Magnetic barrier, long 2 Pieces
- Magnetic barrier, short 2 Pieces
- Magnetic barrier consisting of 4 magnets 1 Piece
- Hover disc, red 1 Piece

Model simulation:	
<i>Real Object</i>	<i>Model</i>
Space in which the alpha particles move	Experiment surface of the air-cushion table
Metal foil	Magnetic barrier made of 4 magnets
Atomic nuclei	Ceramic magnets of the barrier
Alpha particles	Hover discs

How to proceed:

Carefully align the air-cushion table to a horizontal setting using the spirit levels. Attach the magnetic barriers, turning barrier no. 2 by 180° so that it holds the approaching hover disc. Place the ends of the magnetic barrier consisting of 4 magnets into the recesses provided in barriers no. 3 and 4 which are located near barrier no. 2.

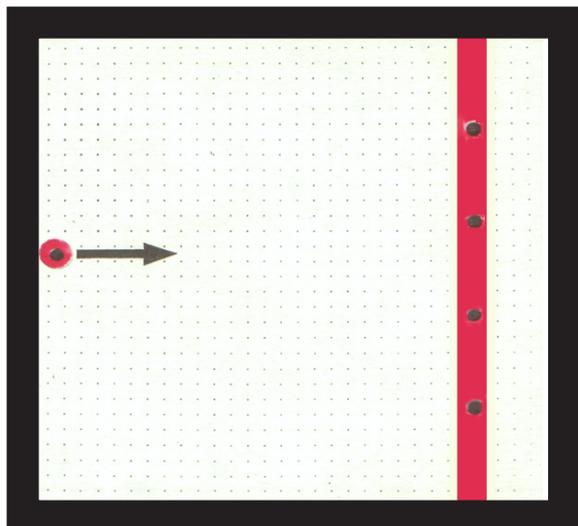
Turn the fan to a setting in which the hover disc floats freely. Move it closely to barrier no. 1. Hold it with the finger at first, then suddenly release it so that it hits the barrier of 4 magnets at high velocity.

Repeat the experiment with slight variations of the starting position. Observe the motion of the hover disc through the magnetic barrier.

Result:

In most cases, the hover disc will pass through

the magnetic barrier with the ceramic magnets without any noticeable deflection. In various cases it will change its direction of motion. It will rebound only in very rare cases.



Interpretation:

In Rutherford’s scattering experiment almost all alpha particles traverse the metal foil. Only a few of them are deflected from their original direction. Strong dispersion occurs only in very rare cases.

Note:

The influence of the magnetic barrier on the motion of the hover discs can be varied by placing the barrier on the Plexiglas plate and setting the plate to the desired height. The effect of the barrier is enhanced by placing orange discs on the ceramic magnets.

2.5.3 The Rutherford Atomic Model

Components:

- Air-cushion table with fan
- Overhead projector
- Magnetic barrier, long 2 Pieces
- Magnetic barrier, short 2 Pieces
- Holding device 1 Piece
- Plexiglas plate 1 Piece
- Manipulating rod 1 Piece
- Hover disc, orange 1 Piece
- Hover disc, red 1 Piece

Model simulation:	
Real Object	Model
Atom	Experiment surface of the air-cushion table
Atomic nucleus	Hover disc, orange
Electron	Hover disc, red

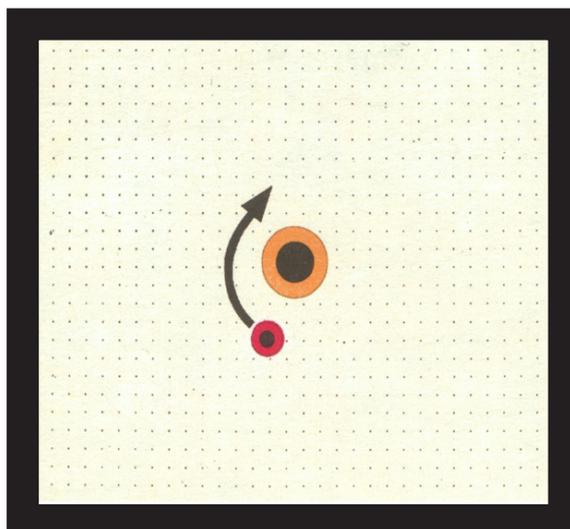
How to proceed:

Align the air-cushion table horizontally. Attach the magnetic barriers and the holding device to the air-cushion table. Insert the Plexiglas plate and position it closely above the experiment surface. Place the orange disc in the middle of the Plexiglas plate.

Turn the fan to a setting in which the red disc is sure to lift off. Use the manipulating rod to move it under the orange disc on the experiment surface. Observe its motions. Then increase its velocity by hitting it with the manipulating rod and observe it again.

Result:

The red disc moves around the orange one on varying paths. The parameters of the paths depend greatly on the speed.



Interpretation:

These experiments provide simply illustrated concept of the structure of an atom. They offer a vivid demonstration of the Rutherford atomic model, which was developed based on the results of the scattering experiments.

Note:

The experiment can be varied by stacking several orange discs and adjusting the height of the Plexiglas plate accordingly.

2.6 Mechanical Motions

2.6.1 Vertical, Horizontal and Diagonal Projection

Components:

- Air-cushion table with fan
- Overhead projector
- Hover disc, orange 2 Pieces

Model simulation:	
Real Object	Model
Space in which the projection takes place	Experiment surface of the air-cushion table
Influence of the gravitational field	Force resulting from slight inclination of the experiment surface
Projectile	Hover disc

How to proceed:

Align the air-cushion table horizontally, place the disc in the middle of the surface and turn up the fan until the disc is sure to float. Then tilt the experiment surface slightly using the adjusting screw on side no. 4. Hold the disc at the upper edge with the pointer and then release it without providing an initial motion. The projected image should clearly show the acceleration of its motion. The motion should not be too fast (by selecting an appropriate degree of inclination!). After this preliminary experiment (model experiment on the free fall), it is possible to demonstrate the various trajectories of projection. It will be necessary to select suitable starting points and an appropriate starting speed adapted to the “fall time” determined in the preliminary experiment.

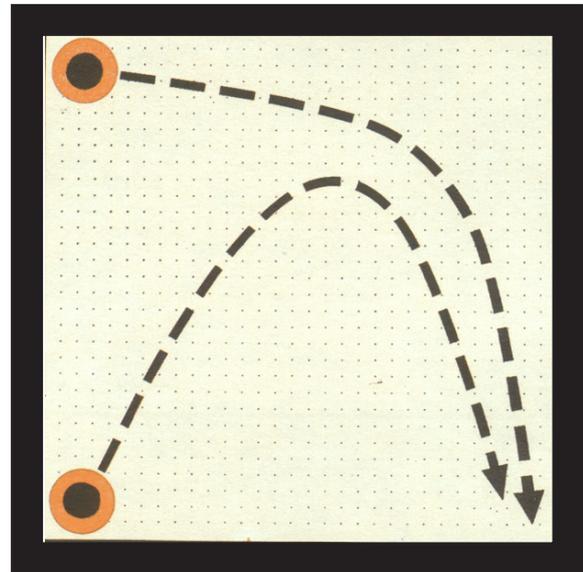
Type of projection	Starting point
vertically upwards	middle of side no. 3
horizontal	top of side no. 2
diagonal	bottom of side no. 2

Result:

The paths correspond to the flight paths in the vertical, horizontal and angular projection of an object.

Interpretation:

Since the experiment surface is tilted, uniform motions and motions with regular acceleration are superimposed, producing motions which correspond to those occurring in projections. The slight inclination of the experimenting surface causes only slight acceleration, making it possi-



able to demonstrate motions at very low speed.

2.6.2 Elastic Collision

Components:

- Air-cushion table with fan
- Overhead projector
- Magnetic barrier, long 2 Pieces
- Magnetic barrier, short 2 Pieces
- Hover disc, orange 4 Pieces

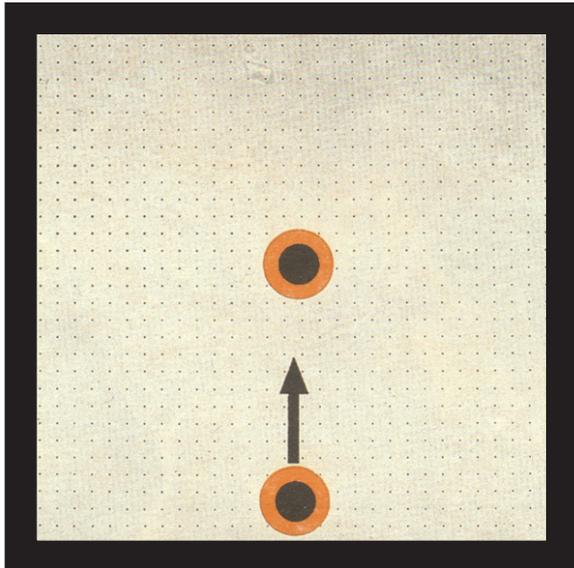
Model simulation:	
Real Object	Model
Surface on which the colliding objects move	Experiment surface of the air-cushion table
Objects participating in the elastic collision	Hover discs

How to proceed:

Carefully align the air-cushion table horizontally using the spirit levels and attach the magnetic barriers. Place two stacked hover discs in the middle of the experiment surface. Place the other doubled disc in a corner of the experiment surface, holding it with the finger and then releasing it so that it approaches the first. Repeat this process several times, with stronger or lesser deviations from a central collision. Observe the motion of both discs before and after the collision.

Result:

In case of a central collision both discs (with equal mass) exchange their velocity and therefore their kinetic energy. If the collision is not central, only part of the energy will be transferred.



Interpretation:

The air-cushion principle and utilization of the magnetic repulsive forces between ceramic magnets allow for demonstrations of fully elastic collisions.

Note:

Collisions of objects with different masses can be demonstrated by using a doubled orange disc as one collision partner and a single disc as the other.

2.6.3 Change in the Direction of Motion of an Object with a Force

Components:

- Air-cushion table with fan
- Overhead projector
- Holding device
- Plexiglas plate
- Manipulating rod
- Hover disc, orange 6 Pieces

Model simulation:	
<i>Real Object</i>	<i>Model</i>
Surface on which the object moves	Experiment surface of the air-cushion table
Object subject to a force	Orange disc
Center of force	Stacked discs

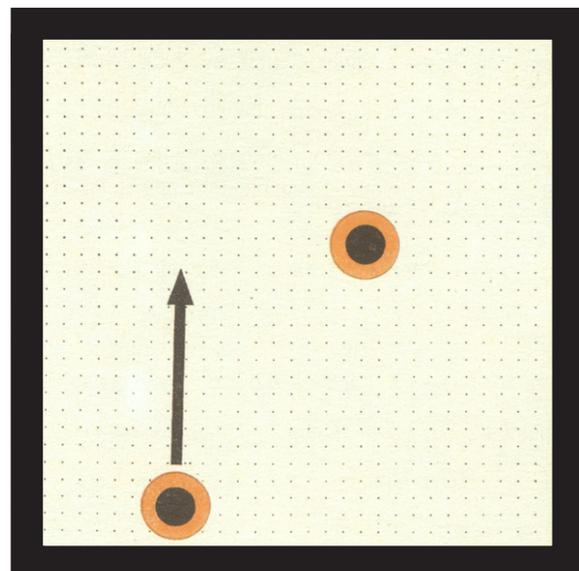
How to proceed:

Align the air-cushion table horizontally, attach the holding device and insert the Plexiglas plate. Stack four discs on the Plexiglas plate in the middle of the experiment surface.

Turn the fan to a medium setting. Set two stacked discs into slow motion starting from the edge of the experiment surface. Select a direction ensuring that it will float along the stacked discs at a distance of a few centimeters. Repeat the experiment several times, gradually reducing the shortest distance between the moving and the stacked discs. Observe the motion of the hover discs.

Result:

The hover disc will move in a straight and uniform way as long as there is no force acting on it. Its direction of movement changes near the stacked discs. The shorter the distance to the stacked discs, the stronger the change in direction.



Interpretation:

When a moving object is subjected to a force, it will be accelerated. If the direction of the force is perpendicular to the motion, the speed remains unchanged, but the direction of motion changes. The greater the force, the stronger the change in direction.

CONCLUDING REMARKS

The preceding chapters provide an overview of the setup, operating mode and possible uses of the air-cushion table. Approximately 50 experiments are described, including specific physical annotations, as well as notes on the laboratory practice of the experiments and their didactic methodology.

The following remarks are intended to complete and conclude the instructions for conducting the experiments:

- The instructions provide an overview of the main uses of the air-cushion table. The selection and configuration of the experiments used for teaching purposes shall be determined by the instructor.
- The physical interpretation of each experiment is given on a simple level, in accordance with the usually rough model illustration.
- The air-cushion table is a suitable teaching aid from the high school to the university level. The selection of the described experiments and the way of conducting them is meant to be exemplary.
- Although the air-cushion table was created for demonstration experiments, it is also suited for lab experiments, especially of the quantitative type.
- All described experiments can be demonstrated in a convincing way if they are optimized on the basis of these instructions. Following the instructions literally does not guarantee convincing effects.
- The air-cushion table is a high-quality product, which should be handled with care. Cleanliness, knowledge and skill are necessary for its successful usage.

Taking all of these remarks into consideration, the air-cushion table is highly effective teaching aid which will make a major contribution to a more profound understanding of physical phenomena , processes, terms and laws.