

KULTUSMINISTERIUM DES LANDES SACHSEN-ANHALT



Abitur
Januar/Februar 2002

Physik
(Leistungskurs)

Einlesezeit: 30 Minuten
Bearbeitungszeit: 300 Minuten

Thema 1

Gasgesetze – theoretische Grundlagen,
experimentelle Untersuchungen und
technische Anwendungen

Thema 2

Wirkungen elektromagnetischer Felder

Thema 3

Makro- und Mikroobjekte

Thema 1: Gasgesetze – theoretische Grundlagen, experimentelle Untersuchungen und technische Anwendungen

Auf der Suche nach effektiver Energienutzung, nach Möglichkeiten zur Schonung der Energievorräte und nach Wegen zum verbesserten Umweltschutz gelangen sowohl alternative Energien als auch alternative Antriebsmöglichkeiten immer mehr in den Blickpunkt physikalischen Interesses.

1 Experimentelle Untersuchungen eines Gases – die Zustandsgleichung

Zur Bestätigung der Gasgesetze und somit zur Untersuchung von quantitativen Zusammenhängen zwischen den Zustandsgrößen Druck, Volumen und Temperatur einer Luftmenge, die bei 0 °C und Normdruck ein Volumen von 414 ml einnimmt, wurde die in Bild 1 dargestellte Versuchsanordnung verwendet.

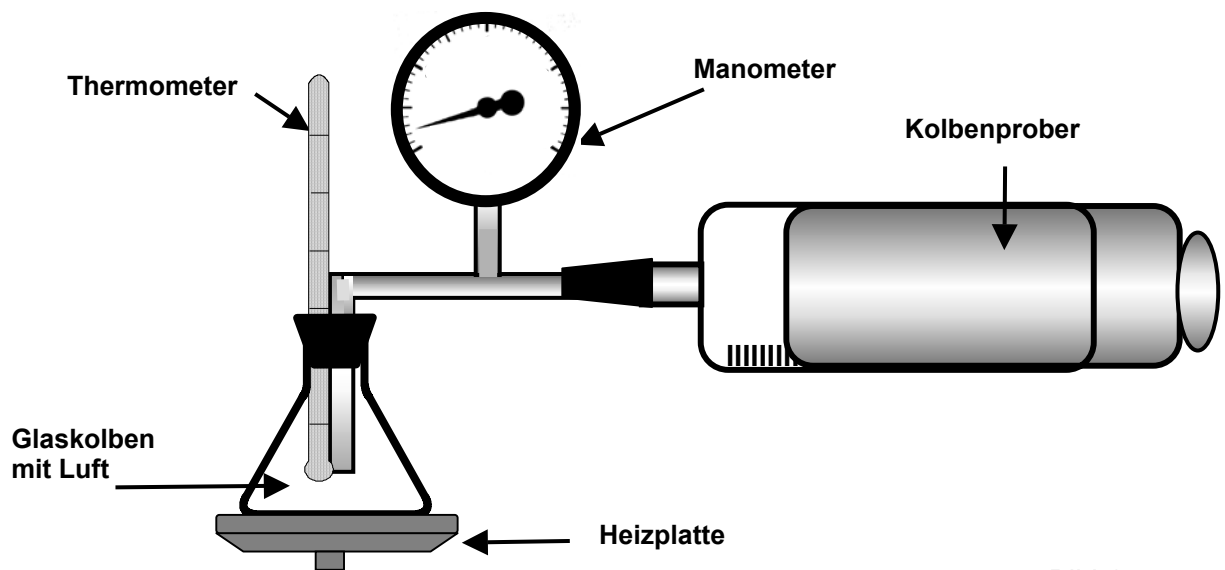


Bild 1

Bei drei Teilexperimenten ergaben sich folgende Messwerte:

Teilexperiment 1

$T = 296 \text{ K} = \text{konstant}$

Nr.	p in hPa	V in ml
1	1010	450
2	1095	415
3	1196	380
4	1317	345
5	1466	310
6	1653	275
7	1894	240
8	2217	205

Teilexperiment 2

$p = 1515 \text{ hPa} = \text{konstant}$

Nr.	V in ml	T in K
1	300	296
2	310	306
3	320	316
4	330	326
5	340	335
6	350	345
7	360	355
8	370	365

Teilexperiment 3

$V = 450 \text{ ml} = \text{konstant}$

Nr.	p in hPa	T in K
1	1010	296
2	1058	310
3	1092	320
4	1126	330
5	1160	340
6	1194	350
7	1228	360
8	1263	370

1.1 Beschreiben Sie die Durchführung jedes dieser Teilexperimente anhand Bild 1.

- 1.2 Leiten Sie aus dem 1. Hauptsatz der Thermodynamik die allgemeine Gaskonstante R als Differenz der molaren Wärmekapazitäten bei konstantem Druck bzw. bei konstantem Volumen her. Zeigen Sie ausgehend von $\overline{E_{\text{kin}}} = \frac{1}{2} \cdot f \cdot k \cdot T$, dass für die molare Wärmekapazität bei konstantem Volumen $C_{m,V}$ zweiatomiger idealer Gase gilt:

$$C_{m,V} = \frac{5}{2} R \text{ (f – Anzahl der Freiheitsgrade).}$$
- 1.3 Bestätigen Sie für jedes Teilexperiment die Gültigkeit des zugehörigen Gasgesetzes. Bestimmen Sie aus zwei Messwertpaaren eines geeigneten Teilexperimentes mithilfe des 1. Hauptsatzes der Thermodynamik die molare spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck $C_{m,p}$ für Luft.
 Hinweis: Betrachten Sie Luft als zweiatomiges ideales Gas.

2 Der Stirlingmotor als eine Anwendung der Gasgesetze

- 2.1 Skizzieren Sie ein p-V-Diagramm des idealen Stirlingprozesses. Nennen Sie die dabei auftretenden Zustandsänderungen.
- 2.2 Ein idealer Stirlingmotor arbeitet mit dem als ideales Gas betrachteten Arbeitsstoff Luft zwischen den konstanten Temperaturen $\vartheta_1 = 18 \text{ °C}$ und $\vartheta_2 = 95 \text{ °C}$. Während des Betriebes drückt der Arbeitskolben das Gas von 62 ml auf 50 ml zusammen. Der kleinste dabei auftretende Druck beträgt 101 kPa.

Berechnen Sie alle notwendigen Zustandsgrößen, den thermischen Wirkungsgrad und die Nutzarbeit pro Umlauf für diesen Kreisprozess.
 (Ergebnis zur Kontrolle: größter Druck = 158 kPa)

- 2.3 Der in Teilaufgabe 2.2 betrachtete Motor wird nun unter realen Bedingungen zum Einsatz gebracht. Dabei wurde mit einem x-y-Schreiber das in Bild 2 dargestellte Diagramm aufgenommen.

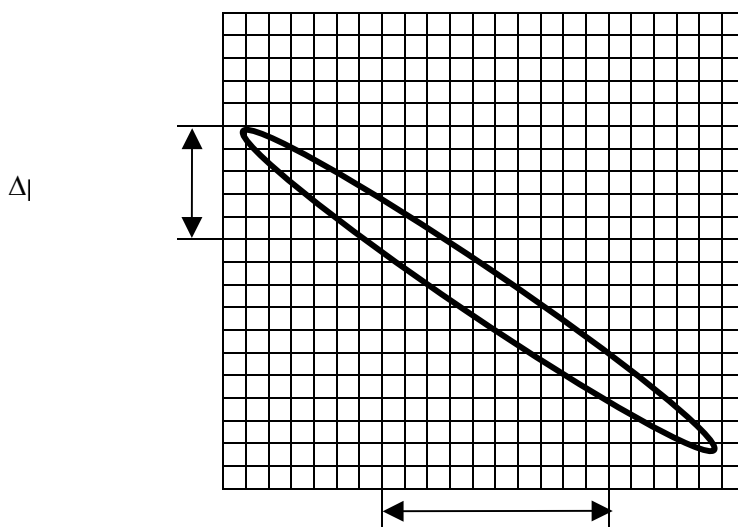


Bild 2

Ermitteln Sie hieraus näherungsweise die pro Umlauf erzielte Nutzarbeit. Vergleichen Sie diese mit der in Teilaufgabe 2.2 berechneten im Idealfall erreichbaren nutzbaren Arbeit. Zeigen Sie Möglichkeiten auf, wie unter diesen Bedingungen der reale Wirkungsgrad dem idealen angenähert werden könnte.

3 Die kinetische Energie des Windes als eine alternativ nutzbare Energieform

In Windkraftanlagen wird die kinetische Energie strömender Luft genutzt. Im Bild 3 sind ein zu betrachtender Ausschnitt als zylinderförmiger Windkanal mit einer Querschnittsfläche $A = 100 \text{ m}^2$ und einer Länge $\ell = 10 \text{ m}$ und die Rotorblätter der Turbine dargestellt.

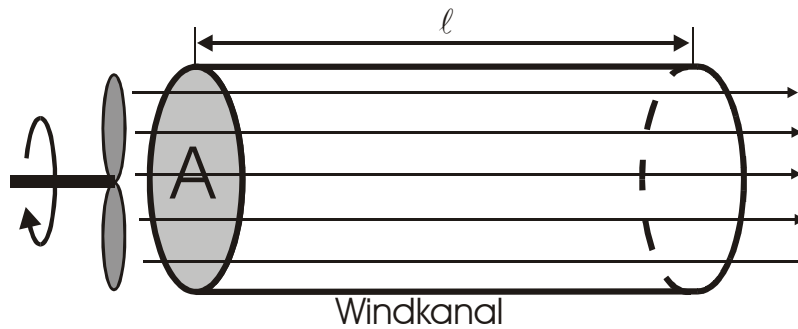


Bild 3

Zeigen Sie, dass für diesen Fall die Windleistung P_w bei konstanter Windgeschwindigkeit v dem Gesetz $P_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$ genügt.

Interpretieren Sie diese Gleichung.

Berechnen Sie die Windleistung P_w für eine Windgeschwindigkeit von $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Thema 2: Wirkungen elektromagnetischer Felder

1 Kräfte im elektrischen Feld

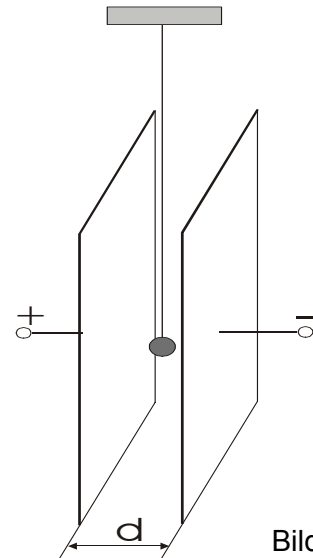
Zwischen den quadratischen Platten eines luftgefüllten Kondensators hängt ein leitendes Kügelchen an einem isolierenden Faden mit vernachlässigbarer Masse (Bild 1).

Folgende Größen sind gegeben:

Plattenabstand:	$d = 7,6 \text{ cm}$
Fadenlänge:	$\ell = 1,85 \text{ m}$
Masse des Kügelchens:	$m = 5,5 \text{ g}$
Fläche der Kondensatorplatte:	$A = 0,25 \text{ m}^2$

Der Durchmesser des Kügelchens ist vernachlässigbar klein gegenüber der Fadenlänge.

- 1.1 An den Kondensator wird die Spannung $U_1 = 13,8 \text{ kV}$ angelegt, und das Kügelchen wird positiv aufgeladen, wodurch es um die horizontale Strecke $s_1 = 2,0 \text{ cm}$ aus seiner ursprünglichen Gleichgewichtslage ausgelenkt wird.
Fertigen Sie eine Skizze für das ausgelenkte Kügelchen mit den angreifenden Kräften an.



Leiten Sie eine allgemeine Beziehung zwischen dem Auslenkwinkel α und der Kondensatorspannung U_1 her. (Ergebnis zur Kontrolle: $\tan \alpha = \frac{U_1 \cdot q}{d_1 \cdot m \cdot g}$)

Wie viele Elektronen wurden beim Aufladevorgang dem Kügelchen entzogen?
(Ergebnis zur Kontrolle: $n \approx 2 \cdot 10^{10}$)

- 1.2 Nun wird der Plattenabstand d verdoppelt und dann die Kondensatorspannung auf den neuen Wert $U_2 = 19,0 \text{ kV}$ eingestellt. Die Ladung des Kügelchens bleibt konstant.

Berechnen Sie die neue Auslenkung s_2 und den Betrag der Ladung ΔQ , die dem Kondensator zuvor entzogen wurde.

- 1.3 An den ursprünglichen Kondensator (Bild 1) werden nacheinander zwei harmonische Wechselspannungen mit jeweils $U_3 = 23,5 \text{ kV}$ und den Frequenzen $f_1 = 50 \text{ Hz}$ bzw. $f_2 = 0,4 \text{ Hz}$ angelegt.

Berechnen Sie die zugehörigen Stromstärken, die jeweils im Wechselstromkreis auftreten. Erläutern und begründen Sie das Verhalten des geladenen Kügelchens nach Einwirkung des jeweiligen Wechselfeldes.

2 Elektromagnetische Schwingungen und Wellen (Themaufgabe)

Erläutern Sie ausführlich und in einer geschlossenen sprachlichen Darstellung die Entstehung, Ausbreitung und Anwendung elektromagnetischer Schwingungen und Wellen.

Berücksichtigen Sie dabei:

- Aufbau und Funktionsweise eines geschlossenen Schwingkreises
- Erweiterung zum offenen Schwingkreis
- Entstehung, Abstrahlung und Ausbreitung elektromagnetischer Wellen

3 Resonanzkurve eines Schwingkreises (Schülerexperiment)

Der zu untersuchende Schwingkreis soll induktiv an den Netzwechselstrom angekoppelt werden. Die Abstimmung auf den Resonanzfall ist durch schrittweise Veränderung der Kapazität (Hinzuschalten von geeigneten Kondensatoren) des Schwingkreiskondensators zu realisieren.

Zur Untersuchung werden Ihnen von der Lehrkraft folgende Geräte zur Verfügung gestellt:

- 1 Stromversorgungsgerät (ca. 5 V Wechselspannung, 50 Hz)
- 1 Strommessgerät,
- 1 Kopplungsspule,
- 1 Schwingkreisspule,
- 1 Eisenkern (U- und I-Kern),
- Kondensatoren verschiedener Kapazitäten,
- Verbindungsleiter.

Zeichnen Sie einen Schaltplan, und bauen Sie das Experiment auf. Verwenden Sie für die Kopplung der Spulen einen geschlossenen Eisenkern. Messen Sie die Stromstärke im Schwingkreis in Abhängigkeit von der Kapazität des jeweiligen Schwingkreiskondensators.

Stellen Sie die gemessene Stromstärke in Abhängigkeit von der Kapazität grafisch dar.

Berechnen Sie aus den Werten für den Resonanzfall die Induktivität der Schwingkreisspule.

Fertigen Sie ein vollständiges Protokoll an.

Thema 3: Makro- und Mikroobjekte

1 Experimente mit klassischen Makroobjekten

Bild 1 zeigt das Schema einer Experimentieranordnung, in der Schrotkörnchen durch einen Einfach- bzw. Doppelspalt gelangen und dabei entweder eine geringfügige Ablenkung erfahren oder sich geradlinig hindurch bewegen. Die Körnchen werden hinter dem Spalt in kleinen Kammern eingefangen. Durch Auszählen lässt sich die örtliche Verteilung der klassischen Teilchen auf einfache Weise ermitteln.

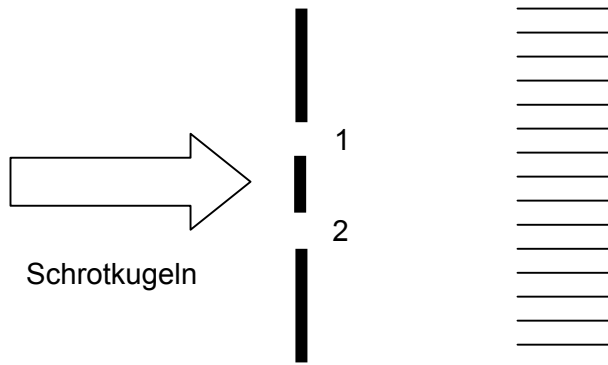


Bild 1

Skizzieren Sie je eine Ankunftsverteilungskurve als Ergebnis von drei verschiedenen Experimenten:

- Nur Spalt 1 ist geöffnet.
- Nur Spalt 2 ist geöffnet.
- Beide Spalte sind gleichzeitig geöffnet.

Beschreiben und erklären Sie das jeweilige Beobachtungsergebnis mithilfe der klassischen Teilchenvorstellung.

2 Experimente mit Elektronen

Im Jahr 1924 stellte Louis de Broglie die Hypothese auf, dass sich frei bewegende Teilchen mit einer Materiewelle verknüpft sind.

Die Wellenlänge beträgt $\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$.

- 2.1 Leiten Sie unter Nutzung der obigen Gleichung eine Beziehung für die De-Broglie-Wellenlänge eines Elektrons in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung U_B her. Berechnen Sie die Wellenlänge, die einem Elektronenstrahl der Energie $E_{\text{kin}} = 20 \text{ eV}$ zugeordnet werden kann. Relativistische Effekte werden hierbei ausgeschlossen.

(Ergebnis zur Kontrolle: $\lambda = 0,275 \text{ nm}$)

Dieser Elektronenstrahl trifft im Vakuum senkrecht auf eine Fotoplatte. Ein Einfachspalt der Breite $\Delta x = 10^{-4}$ m wird im Abstand $y = 0,20$ m von der Fotoplatte senkrecht in den Strahlengang gebracht (Bild 2).

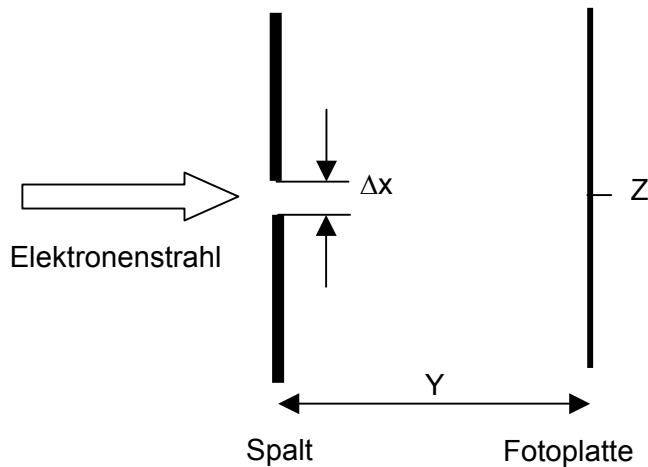


Bild 2

Welche Entfernung $d_{1,\min}$ vom Zentrum Z hat die erste Stelle seitlich von Z , an der ein Intensitätsminimum registrierbar ist?

- 2.2 Das vom Licht bekannte Doppelspaltexperiment lässt sich mit Elektronen im Vakuum nur mit hohem experimentellen Aufwand realisieren. C. Jönsson hat dieses Experiment im Jahr 1961 mit einer Beschleunigungsspannung von 50 kV durchgeführt.

Zeigen Sie, dass die nichtrelativistische Berechnung der De-Broglie-Wellenlänge der Elektronen den Wert $\lambda = 5,49$ pm ergibt.

Experimentell ergab sich jedoch der Wert von $\lambda = 5,36$ pm. Bestätigen Sie diesen experimentell ermittelten Wert mithilfe einer relativistischen Berechnung der Geschwindigkeit und der Masse der Elektronen.

- 2.3 Vergleichen Sie die De-Broglie-Wellenlänge von Schrotkugeln mit der De-Broglie-Wellenlänge der Elektronen aus Aufgabe 2.2. Eine Schrotkugel besitzt die Masse $m = 1$ g und bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von $600 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Begründen Sie, warum bei Makroobjekten keine Interferenz nachweisbar ist.

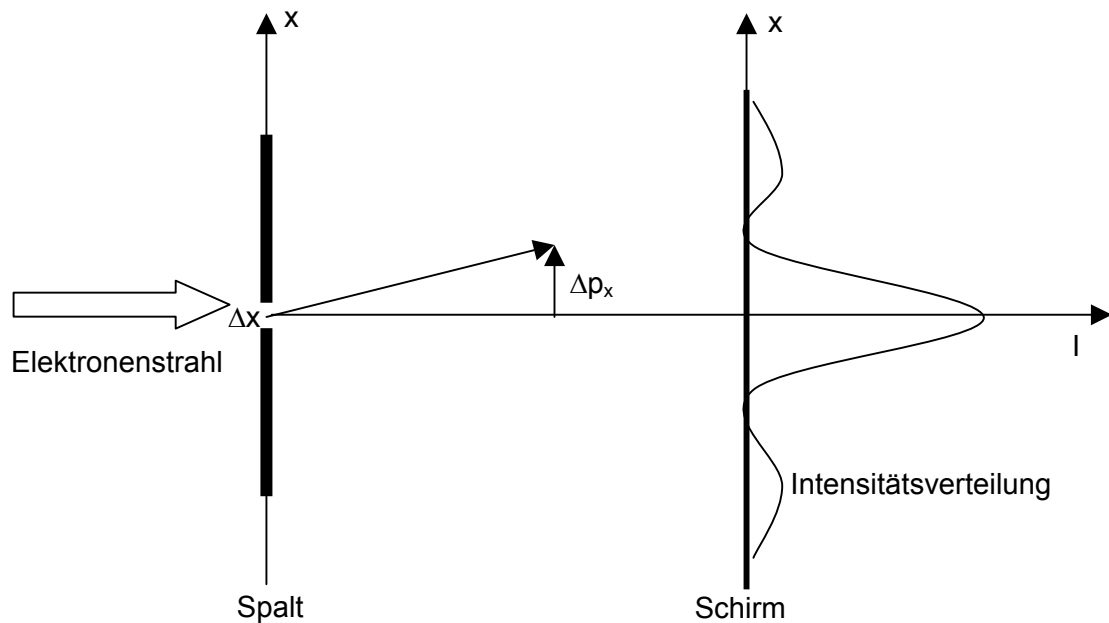
- 2.4 Mithilfe von Elektronenmikroskopen kann man heute Strukturen zwischen $1 \text{ } \mu\text{m}$ und $0,2 \text{ nm}$ auflösen. Zum Beispiel werden direkte Abbilder von Zellstrukturen, Makromolekülen und sogar des atomaren Aufbaus von Kristallen möglich.

Diskutieren Sie den Zusammenhang zwischen dem Auflösungsvermögen eines Elektronenmikroskops und der De-Broglie-Beziehung.

Nennen Sie die prinzipiellen Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen der Elektronenmikroskopie und der Lichtmikroskopie.

3 Unschärferelation

- 3.1 Zur Messung von Impuls- und Ortskoordinaten wird ein Elektronenstrahl durch einen Einfachspalt der veränderlichen Spaltbreite Δx geschickt. Hinter dem Spalt entsteht eine Beugungsfigur (Bild 4).



B

Bild 4

Nennen und erläutern Sie die Grundaussage der Heisenberg'schen Unschärferelation am Beispiel dieses Versuchsergebnisses.

- 3.2 Nach dem Bohr'schen Atommodell umkreist das Elektron im Wasserstoffatom den Atomkern auf diskreten Bahnen mit diskreten Energiewerten. Äußern Sie sich insbesondere zur Notwendigkeit der Aufgabe des klassischen Bahn-begriffs für Mikroobjekte.

Wie groß müsste die Unschärfe der Bahngeschwindigkeit des Elektrons im Wasserstoffatom mindestens gewählt werden, damit die Ortsunschärfe unter der Größenordnung des Atomdurchmessers von 10^{-10} m bleibt?