



## STORMARNSCHULE AHRENSBURG

## Stunden - Materialien

Fach:	Ph	Klasse:	12	Tag/Stunde:	21.12.11
Thema der Einheit:	<b>Elektrische Felder</b>				
Thema der Stunde:	<b>Der Millikan-Versuch</b>				
Inhalte im Buch:	S. 34-35				
Nicht vergessen:	Prinzip des Millikan-Versuchs Größe der Elementarladung $e$ , Energieeinheit 1 eV,				
Hausaufgaben:					
Wiederholung:	Wiederholung des Themas, Applets: <a href="http://ne.lo-net2.de/selbstlernmaterial/p/e/mi/miindex.html">http://ne.lo-net2.de/selbstlernmaterial/p/e/mi/miindex.html</a> <a href="http://www.youtube.com/watch?v=62CDDZo9t48">http://www.youtube.com/watch?v=62CDDZo9t48</a> (Deutsch, ohne Ton) <a href="http://www.youtube.com/watch?v=16Kzvgu3aa0">http://www.youtube.com/watch?v=16Kzvgu3aa0</a> (ohne Ton) <a href="http://www.youtube.com/watch?v=XMfYHag7Liw">http://www.youtube.com/watch?v=XMfYHag7Liw</a> (englisch, mit Ton) <a href="http://www.leifiphysik.de/web_ph12/versuche/01millikan/millikan.htm">http://www.leifiphysik.de/web_ph12/versuche/01millikan/millikan.htm</a>				
Vertiefung:	S. 35 Kasten				
Erweiterung:	Klasse 11 (vgl. Anhang)				

**Applet zum Millikan-Versuch**

[http://ne.lo-net2.de/selbstlernmaterial/p/e/mi/java1/mi\\_java1.html](http://ne.lo-net2.de/selbstlernmaterial/p/e/mi/java1/mi_java1.html)

The applet interface includes the following elements:

- Timer:** 00:00.00
- Buttons:** Start (cyan), Reset (yellow), Stoppen (red), Pumpe (yellow)
- Triggerung:**  keine,  Spannung aus
- Zähler:** 0
- Spannung  $U_c$ :** Polaritaet (aus), + 98V
- Spannungswahl:** A horizontal slider control.

V1.11 ©CG

## STORMARNSCHULE AHRENSBURG



Das Applet stellt im linken oberen Teil den Blick durch das Mikroskop dar. Durch diese optische Anordnung wirkt die Schwerkraft auf dem Bild nach oben. Die Skala dient dazu, die Strecken zu messen, die die Tröpfchen zurücklegen.

Rechts daneben befindet sich die Anordnung mit den **Timern**, mit deren Hilfe die Zeiten gemessen werden können, die die Tröpfchen benötigen, um die Strecken zurückzulegen. Darunter befinden sich drei Auswahlmöglichkeiten für die **Triggerung** der beiden Timer:

In der Stellung **'keine'** startet bzw. stoppt der obere Timer beim Betätigen des Buttons **[Start/Stop]**.

In der Stellung **'Spannung aus'** startet der obere Timer beim Ausschalten der Spannung (Kondensatorspannung - Button **[aus/an]**) und stoppt beim Betätigen des Buttons **[Stopp]**.

In der Stellung **'Umpolen'** startet der obere Timer beim Umpolen der Spannung (Kondensatorspannung - Button **[Polarität]**), nach erneutem Umpolen stoppt der obere Timer und der untere Timer startet, nach erneutem Umpolen stoppt der untere Timer und der obere Timer zählt weiter und so fort. Der Zähler zählt dabei die Anzahl der Umpolungen.

Der Button **[Reset]** setzt beide Timer zurück.

Der Button **[Stoppen/Starten]** dient dazu, das gesamte **Applet** anzuhalten und wieder zu starten, falls Sie den Computer für andere Zwecke brauchen.

Darunter befindet sich der Button **[Pumpe]**. Wenn Sie diesen bedienen, wird eine kleine Anzahl Tröpfchen 'zerstäubt' und in den Kondensator gebracht. Sie erscheinen kurz darauf am unteren Bildschirmrand.

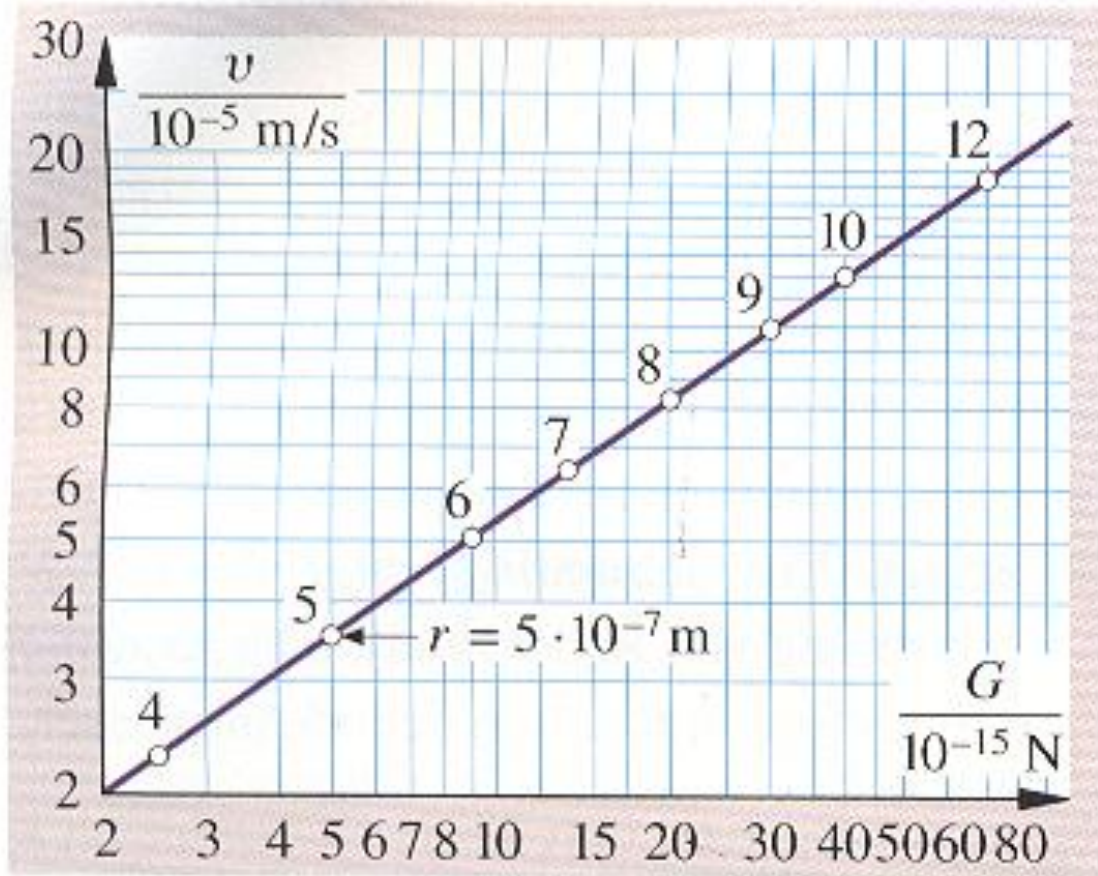
Im unteren Teil des Applets befindet sich die Steuerung für die Kondensator**Spannung**  $U_c$ . Mit dem Button **[Polarität]** wird die Polarität der mit dem Schieberegler im Teil **Spannungswahl** eingestellten Spannung und damit die Richtung des elektrischen Feldvektors (parallel oder antiparallel zur Gewichtskraft) gewählt. Der Button **[aus/an]** setzt die Spannung auf 0V und stellt bei erneutem Drücken die eingestellte Spannung wieder her.

### Die Simulation arbeitet mit folgenden Werten für die relevanten Größen:

Kondensator-Plattenabstand	$d = 6 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
Viskosität der Luft	$\eta = 7,25 \cdot 10^{-6} \text{ Ns/m}^2$
Dichte des Öls	$\rho_{\text{Öl}} = 875,3 \text{ kg/m}^3$
Dichte der Luft	$\rho_{\text{Luft}} = 1,29 \text{ kg/m}^3$
Abstand zweier hellgrauer Skalenstriche	$s = 5,333 \cdot 10^{-5} \text{ m}$

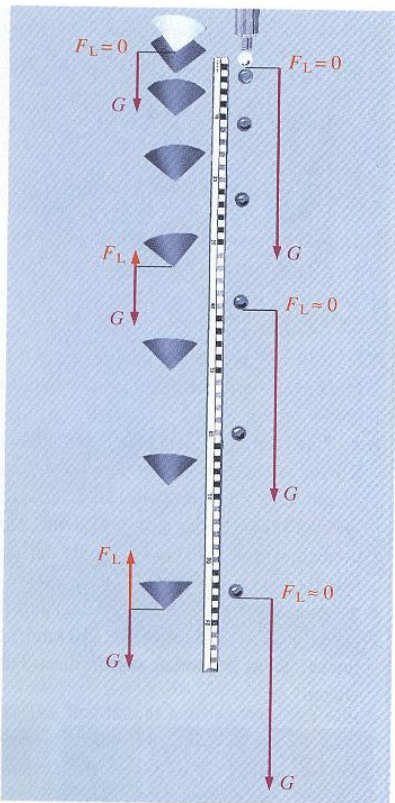


**Hinweis:** Zur Umrechnung Sinkgeschwindigkeit  $v$  in Gewichtskraft  $G$  kann die Tabelle B2 von Seite 28 verwendet werden.

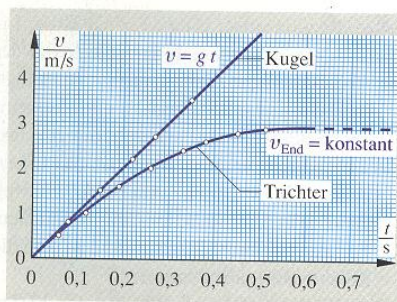




Anhang: Physikbuch Klasse 11, Seiten 48 und 49:



**V1:** Eine Kugel und ein Papiertrichter fallen bei stroboskopischer Beleuchtung ( $\Delta t = 0,067$  s) entlang dem nach unten gerichteten Maßstab. Sie werden gleichzeitig – beim Blitz Nummer null – losgelassen. Unterwegs ändert sich die Kräftebilanz.



**B1:** Auswertung des  $\Rightarrow$  Versuchs 1: Zeit-Geschwindigkeit-Diagramm für Kugel und Papiertrichter. Die berechneten Geschwindigkeiten wurden jeweils dem Zeitpunkt in der Mitte zwischen zwei Blitzen zugeordnet.

Fall mit Luftwiderstand

1. Wenn die Luft mitmischt

Wenn Körper während ihres Falls stroboskopisch beleuchtet werden, dann erhält man in sehr anschaulicher Form Informationen über die Geschwindigkeiten unterwegs ( $\Rightarrow$  Versuch 1). Man kann dem Foto die Wege zwischen zwei Blitzen entnehmen, daraus Durchschnittsgeschwindigkeiten berechnen und in einem Zeit-Geschwindigkeit-Diagramm darstellen ( $\Rightarrow$  Bild 1). Kugel und Papiertrichter als Fallkörper liefern sehr unterschiedliche Ergebnisse:

Für die **Kugel** ist das Zeit-Geschwindigkeit-Diagramm eine Gerade; die Geschwindigkeit wächst proportional mit der Zeit. Die Bewegung ist gleichmäßig beschleunigt und es gilt  $v = gt$ .

Für den **Papiertrichter** wächst die Geschwindigkeit nur in den ersten hundertstel Sekunden nach  $v = gt$ . Dann bleibt er gegenüber der Kugel zurück. Die von Blitz zu Blitz zurückgelegten Wege wachsen immer weniger, die Beschleunigung nimmt also ab. Gegen Ende des Beobachtungszeitraums bewegt sich der Papiertrichter gleichförmig; die Punkte im  $t$ - $v$ -Diagramm liegen auf einer Parallelen zur  $t$ -Achse.

Es liegt am Luftwiderstand, dass der Papiertrichter keine gleichmäßig beschleunigte Bewegung ausführt und nach einem beschleunigten „Anlauf“ gleichförmig fällt.

2. Konstante Endgeschwindigkeit durch Luftwiderstand

Wir wissen, dass die Beschleunigung nach NEWTONS Grundgesetz strikt mit der resultierenden Kraft  $F_{Res}$  verbunden ist:  $a = F_{Res}/m$ . Die Masse ändert sich weder bei der Kugel noch beim Papiertrichter. Die Konstanz der Beschleunigung bei der Kugel bedeutet demnach konstante resultierende Kraft. Die Abnahme der Beschleunigung beim Papiertrichter bedeutet dagegen abnehmende resultierende Kraft.

Wir zeichnen für verschiedene Zeitpunkte die uns bekannten Kräfte in das Bild zu  $\Rightarrow$  Versuch 1 ein. Die Gewichtskräfte auf Papiertrichter und Kugel wirken ständig, sie werden jeweils durch rote Pfeile  $G$  dargestellt. Die hellroten Pfeile  $F_L$  repräsentieren die Luftwiderstandskraft; sie zeigen nach oben (entgegen der Bewegungsrichtung). Ihre Längen wachsen mit der Geschwindigkeit  $v$ .

Wir betrachten zunächst den Papiertrichter: Der Luftwiderstand wächst mit zunehmender Geschwindigkeit. Beim Start ganz oben im Bild bestimmt allein die Gewichtskraft die resultierende Kraft, der Papiertrichter bewegt sich beschleunigt. Mit wachsender Geschwindigkeit wird der Luftwiderstand größer. Schließlich ist die Luftwiderstandskraft der Gewichtskraft gegengleich. Dann ergeben beide zusammen die resultierende Kraft  $F_{Res} = 0$ . Mit ihr ist die Beschleunigung  $a = 0$ . – Der Papiertrichter bleibt aber nicht stehen, sondern fällt mit konstanter Geschwindigkeit weiter.



## STORMARNSCHULE AHRENSBURG

Auch die fallende Kugel erfährt Luftwiderstand, der ebenfalls mit zunehmender Fallgeschwindigkeit größer wird. Kräftegleichgewicht und Endgeschwindigkeit stellen sich aber erst bei etwa 60 m/s ein. Die kleinere Fläche der Kugel erfährt nämlich eine kleinere Luftwiderstandskraft, die sich gegenüber der größeren Gewichtskraft erst bei sehr viel größeren Geschwindigkeiten bemerkbar macht. In unserem Versuch ist davon noch nichts festzustellen.

### Merksatz

Bei Fallbewegungen mit Luftwiderstand stellt sich nach hinreichend langer Zeit eine konstante Geschwindigkeit ein. Die Resultierende aus Gewichtskraft und Luftwiderstandskraft ist dann null.

### 3. Ein Kraftgesetz für den Luftwiderstand

Wir erhöhen die Gewichtskraft des Papierkegels, indem wir mehrere gleiche Exemplare ineinander stecken (Bild 2). Form und Fläche, die den Luftwiderstand beeinflussen, ändern sich dabei nicht. Erst bei vier ineinander gesteckten Trichtern verdoppelt sich die Endgeschwindigkeit. Dann ist die Gewichtskraft vierfach, also auch die mit ihr ins Gleichgewicht gekommene Luftwiderstandskraft. Daraus folgt: Bei Verdopplung der Geschwindigkeit  $v$  vervierfacht sich die Luftwiderstandskraft  $F_L$ . Sie ist dann der Gewichtskraft von vier Trichtern gegengleich. Also ist  $F_L \sim v^2$ .

Die Proportionalität  $F_L \sim v^2$  für den Betrag der Luftwiderstandskraft gilt allgemein. Mit dem Proportionalitätsfaktor  $C$  kann man schreiben  $F_L = C \cdot v^2$ . Die Größe  $C$  wird u. a. von der Fläche  $A$  bestimmt, die der Körper der Luft anbietet. Es gilt ein einfacher Zusammenhang:  $C$  ist proportional zu  $A$ , d. h. doppelte Fläche ergibt doppeltes  $C$ . Mit dem Widerstandsbeiwert  $c_w$  und der Dichte  $\rho$  der Luft schreibt man:  $C = \frac{1}{2} c_w \cdot \rho \cdot A$ . Die komplette Formel für die Luftwiderstandskraft heißt dann

$$F_L = \frac{1}{2} c_w \rho A v^2.$$

Daraus folgt für das Kräftegleichgewicht bei der Endgeschwindigkeit  $v_{\text{End}}$  die Betragsgleichung  $G = \frac{1}{2} c_w \rho A v_{\text{End}}^2$ .

### Merksatz

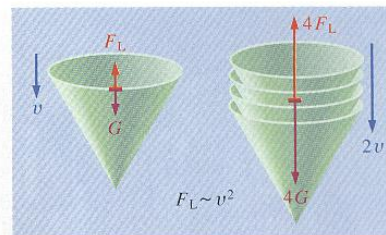
Für den Betrag der Luftwiderstandskraft gilt:

$$F_L = \frac{1}{2} c_w \rho A v^2. \quad (1)$$

Für die Endgeschwindigkeit  $v_{\text{End}}$  des Falls mit Luftwiderstand gilt:

$$G = \frac{1}{2} c_w \rho A v_{\text{End}}^2. \quad (2)$$

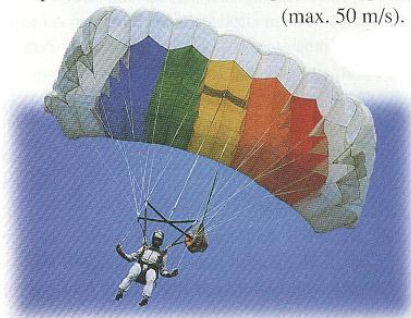
Bei einer Kugel mit Radius  $r$  ist das Volumen und damit auch  $G$  proportional zu  $r^3$ ; dagegen ist die Fläche  $A$  proportional zu  $r^2$ . Nach Gl. 2 gilt dann für die Endgeschwindigkeit  $v_{\text{End}}^2 \sim r$ . – Aus diesem Grund fallen große Regentropfen schnell (bis zu 8 m/s), während kleine Nebeltröpfchen mit weniger als 0,08 m/s zu Boden sinken.



**B 2:** Vier Trichter erfahren zusammen vierfache Gewichtskraft. Schon bei doppelter Geschwindigkeit ist die Luftwiderstandskraft ebenfalls vervierfacht. Die Resultierende ist wieder null.



**B 3:** Die Sportler haben die Fallschirme noch nicht geöffnet. Sie werden so lange beschleunigt, bis Gewichts- und Luftwiderstandskraft gegengleich sind. Dann fallen sie gleichförmig mit der durch ihre Körperfläche bestimmten Endgeschwindigkeit (max. 50 m/s).



**B 4:** Bei geöffnetem Fallschirm sorgt das große Tuch für sehr großen Luftwiderstand. Die Sinkgeschwindigkeit beträgt dann etwa 5 m/s.

Scheibe	1,12	Pkw	0,15–0,7
Kugel	0,45	Stromlinien-	
Lkw	0,8–1	form	0,056

**T 1:** Einige Widerstandsbeiwerte  $c_w$