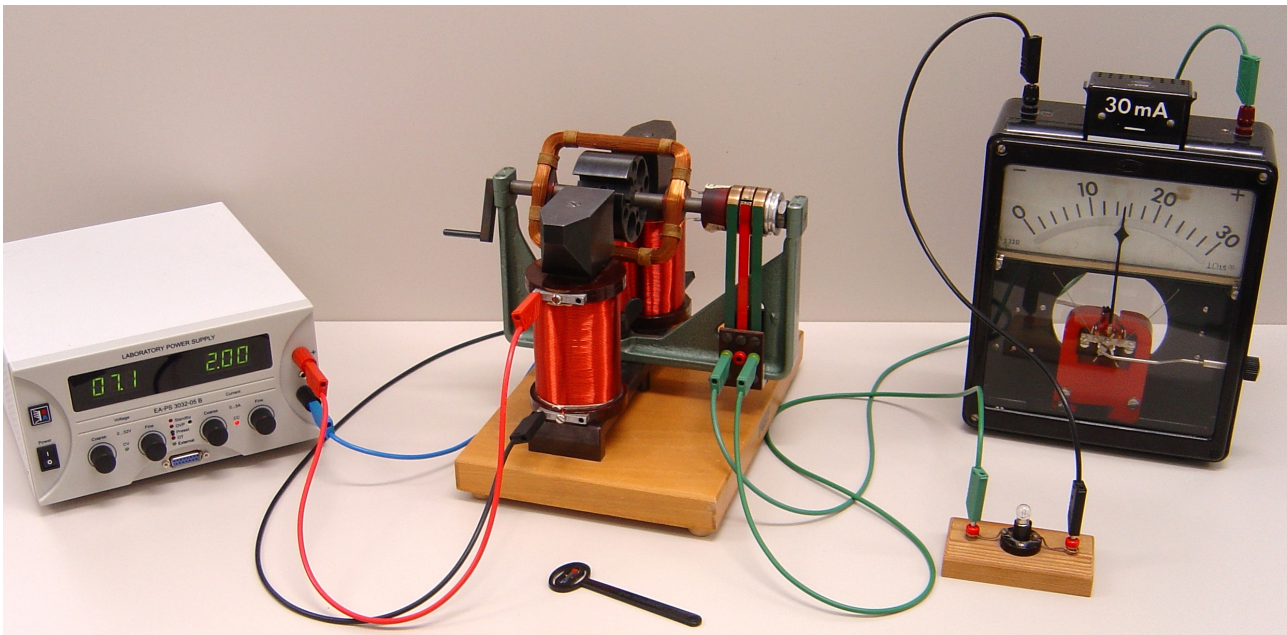


Versuche zum Elektromagnetismus

Versuch O: Der Drehspulgenerator

Dauer: 25 Minuten



1. Vor euch habt ihr die Apparatur, die bisher unser Prototyp des **Elektromotors** war. In diesem Versuch werdet ihr nachvollziehen, dass dies ebenso der Prototyp des **Drehspulgenerators** ist. Das selbe Gerät, das aus Strom (elektrische Energie) Bewegung (kinetische Energie) macht, kann also auch in die Gegenrichtung verwendet werden! Das ist ganz typisch und gar nichts Aussergewöhnliches.

2. Das "Unschöne" an unserem Generatorprototypen ist allerdings, dass wir zur Erzeugung des **äusseren Magnetfeldes** Strom verwenden. Es wäre sinngemässer hierfür einen guten Permanent- anstelle des Elektro-Hufeisenmagneten zu benutzen. Das müssen wir uns halt so vorstellen.

Gleichzeitig ist es auch gar nicht schlecht so, denn das äussere Magnetfeld per Knopfdruck ein- und auszuschalten bietet die Möglichkeit für weitere Versuche (siehe letzter Programmpunkt).

3. Schaltet das Netzgerät ein und etabliert eine Stromstärke von ca. 3 A im Spulenpaar, welches das äussere Magnetfeld erzeugt. In diesem Magnetfeld wird nachher die Drehspule gedreht.

Bestimmt zuerst mit der RHR die Richtung des äusseren Magnetfeldes zwischen den beiden Polschuhen. Welcher Polschuh wird zum Nord-, welcher zum Südpol (Markierungen auf den Spulenenden beachten)? Überprüft euer Resultat mit der Magnaprobe.

4. Betrachtet jetzt den **Drehspulstromkreis**: Er fliesst durch das **Amperemeter** und das **Glühlämpchen**. Dabei sind die **Spuleneingänge** fix mit den beiden grünen **Schleifkontakten** verkabelt. Die Kleber bei den Spuleneingängen zeigen an, welcher der beiden Eingänge mit welchem Schleifkontakt verbunden ist.

Wenn ihr die Spule dreht, seht ihr sofort den Ausschlag des Amperemeters. Bringt ihr das Lämpchen zum leuchten?

5. Beim Amperemeter bedeutet **ein Ausschlag nach rechts**, dass der (technische) Strom beim rechten Amperemeteranschluss hinein und beim linken hinaus fließt. Beim Ausschlag nach links ist es genau umgekehrt.

Wie ihr nun schon beobachtet habt, erzeugt der Drehspulgenerator einen Wechselstrom, also ein Strom, dessen Richtung sich andauernd ändert.

Überzeugt euch durch langsames Drehen davon, dass der Strom einmal pro Runde in die eine und einmal in die andere Richtung fließt.

6. Es wird im Folgenden darum gehen, dass ihr diese Richtungen in jedem Moment der Drehung gut versteht. Nehmt dazu die **Aufgabe 3 aus Übungsserie 11** hervor.

Bearbeitet diese Aufgabe Schritt für Schritt. Die Drehspule habt ihr ja direkt vor euch, sodass ihr die dortigen Überlegungen direkt am realen Modell nachvollziehen könnt!

Hinterher solltet ihr in der Lage sein zu erläutern, wann der Ausschlag des Amperemeters nach rechts und nach links maximal ist und wann kurzzeitig kein Strom fließt.

7. Schliesslich noch ein Versuch, den ihr nicht zu erklären braucht. Es geht nur darum, dass ihr zu sehen bekommt, dass wir mit unseren bisherigen Gesetzen zum Elektromagnetismus noch nicht alle Induktionsphänomene abzudecken vermögen.

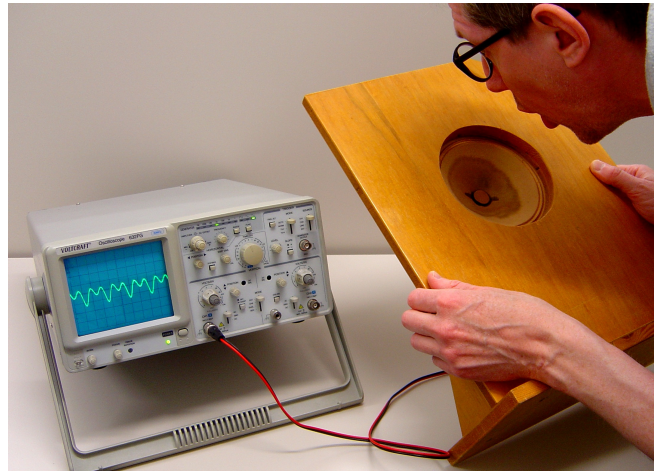
- i. Schaltet zuerst den Strom im Spulenpaar via Knopfdruck aus. D.h., ihr dreht nicht die Stromregler runter, sondern drückt stattdessen direkt den On/Off-Knopf des Netzgerätes.
- ii. Nun stellt ihr die Drehspule senkrecht.
- iii. Achtet jetzt auf das Amperemeter, wenn ihr den Strom via Knopfdruck wieder einschaltet. Was bemerkt ihr?
- iv. Auch beim Ausschalten ist der Effekt zu beobachten, allerdings in die Gegenrichtung.

Es fließt also kurzzeitig ein Induktionsstrom, wenn das Magnetfeld ein- und ausgeschaltet wird. Dieser Effekt lässt sich nicht mit der Lorentzkraft auf Leitungselektronen erklären und mit dem jetzigen Wissensstand auch nur bedingt mit der Lenz'schen Regel. Es ist aber offensichtlich eine Tatsache, dass **in einer Spule Strom induziert wird, wenn sich das Magnetfeld, in dem sie sich befindet, verändert wird**.

Dieser Zusammenhang wird in den Kapiteln 13 und 14 des Skripts näher beleuchtet.

Versuch P: Das dynamische Mikrophon

Dauer: 25 Minuten



1. In diesem Versuch geht es darum, dass ihr die Funktionsweise eines sogenannten **dynamischen Mikrophons** nachvollzieht und genau versteht, wie ein akustisches Signal aufgezeichnet wird. In **Aufgabe 2 in Übungsserie 11** seht ihr den schematischen Aufbau eines solchen Mikrophons. Nehmt sie am besten gleich hervor.

2. Die Bauweise entspricht im Prinzip einem **dynamischen Lautsprecher**, nur dass jetzt eben umgekehrt eine Schallwelle Strom resp. ein Spannungssignal erzeugen soll. Dass dies tatsächlich funktioniert, könnt ihr euch gerade mit einem Lautsprecher vor Augen führen.

Schaltet das **Kathodenstrahloszilloskop (KO)** ein. Dessen Funktionsweise kennt ihr ja bereits. Ein **Elektronenstrahl** wird andauernd von links nach rechts über den **Leuchtschirm** geführt, wobei die vertikale Auslenkung durch ein eingehendes **Spannungssignal** bestimmt wird. Wir schliessen den Lautsprecher an diesen Eingang an (Kanal 1 (CH 1)).

Stellt sicher, dass der Regler VOLTS/DIV auf die Position 10 mV und der Regler TIME/DIV auf 0.5ms eingestellt sind.

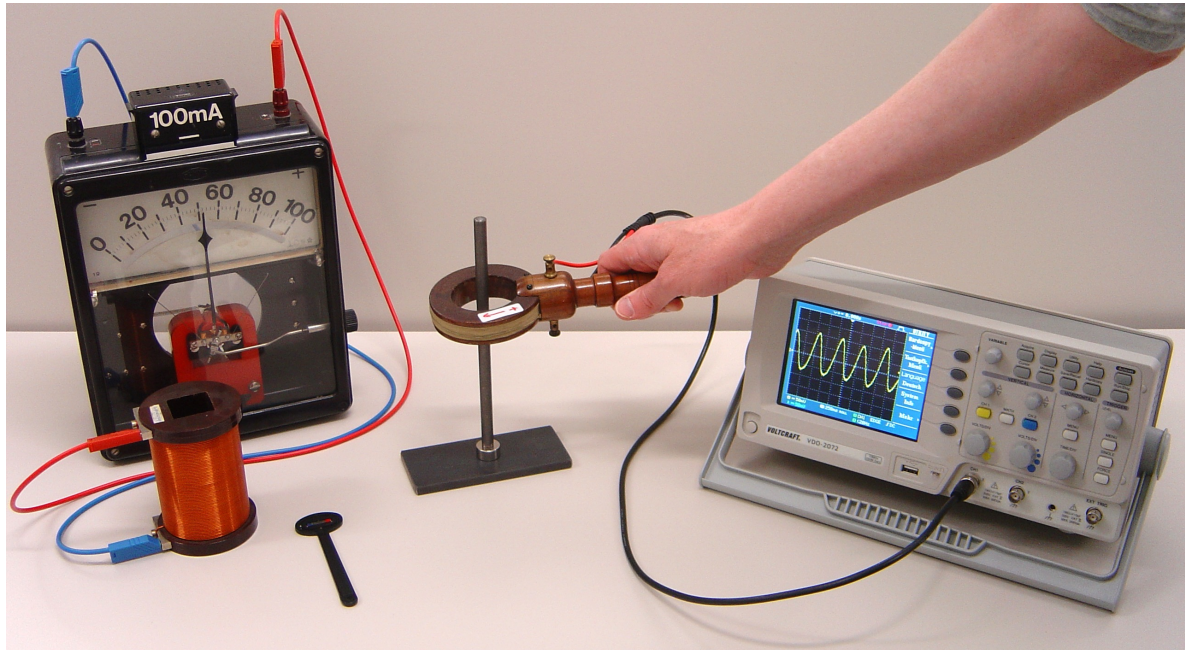
Nun könnt ihr, wie ich im Bild oben, kräftig in den Lautsprecher hinein **singen** (ein lauter Vokal auf für euch angenehmer Tonhöhe) und das periodische Spannungssignal beobachten, das dadurch offenbar vom Lautsprecher ans KO gegeben wird.

Sollte das nicht nach Wunsch klappen, ruft ihr mich rasch zur Unterstützung.

3. **Zur Erinnerung:** Im dynamischen Lautsprecher gibt es eine **Schwingspule** im Feld eines Permanentmagneten (vgl. Übungsserie 9, Aufgabe 2). Fließt in ihr ein **Wechselstrom**, so wird sie durch die Lorentzkräfte einmal in die eine und dann wieder in die andere Richtung gedrückt, wodurch die **Membran** bewegt wird und eine **Schallwelle** aussendet.

Neu: Beim Mikrophon ist es gerade umgekehrt: Die Schallwelle bewegt eine Schwingspule und aufgrund der Lorentzkräfte auf die im Spulendraht enthaltenen **Leitungselektronen** wird eine **wechselnde Spannung** über der Spule **induziert**.

4. Oben auf der nächsten Seite seht ihr in der Bildmitte den **Permanentmagneten**: Auf einer **Stahlplatte** liegt ein **starker Magnet** und auf diesem ist ein **Stahlstab** angebracht. Untersucht zuerst mit der **Magnaprobe** das Magnetfeld dieser Anordnung. Überzeugt euch davon, dass der **Stab ein verschmierter Nordpol** ist, entlang dem die **Feldlinien** überall fast horizontal austreten.



5. Nehmt die **Spule mit dem Griff** zur Hand. Schaltet das digitale Oszilloskop – ein sogenanntes **Speicheroszilloskop** – ein. Auch dort gibt es die Regler VOLTS/DIV und TIME/DIV, deren Werte ihr **auf dem Display** angezeigt findet. Wir verwenden den gelben Kanal 1 (CH1). Passend sind etwa die Einstellungen 50 mV und 250 ms.

Geht der Stab unseres Permanentmagneten durch die Spule hindurch und bewegt ihr diese auf und ab, so ergibt sich ein entsprechendes **Oszillationsmuster** auf dem Display. Überzeugt euch davon, dass sich bei der Abwärtsbewegung ein Ausschlag nach unten ergibt, wenn der Aufkleber auf der Spule mit dem roten Plus und dem Pfeil nach oben schauen.

6. Diese Ausschläge sollt ihr nun verstehen. Ermittelt mit der **3FR**, in welche Richtung die Lorentzkräfte auf die Leitungselektronen zeigen, wenn die Spule abwärts bewegt wird.

Schaut euch dazu auch die **Lösungen zu Aufgabe 2 in Übungserie 11** an.

Resultat: Die Elektronen erfahren von oben her gesehen Kräfte im Gegenuhrzeigersinn um den Stab herum. Das bedeutet gemäss der Spulenbeschriftung, dass sie gegen den roten Anschluss der Spule gedrückt werden. Im roten Kabel entsteht somit ein **Elektronenüberschuss**, also ein **negativer Pol** und beim schwarzen Kabel ein **positiver Pol**. Eine derartige Polung registriert das Speicheroszilloskop als **negative Spannung** und zeigt einen **Ausschlag nach unten** an.

7. **Intermezzo:** Haltet die Spule mit dem Griff mal weg vom Permanentmagneten und dreht am Speicheroszilloskop die Empfindlichkeit hoch – d.h., ihr dreht am VOLTS/DIV-Regler, sodass die Spannungsangabe im Display (bisher 50 mV) zu kleineren Werten geht. Nun seht ihr, dass da auch bereits ein oszillierender Ausschlag gemessen wird, allerdings mit relativ hoher Frequenz. Zoomt mit dem TIME/DIV-Regler nun zeitlich auf, um euch diese Schwingung anzuschauen.

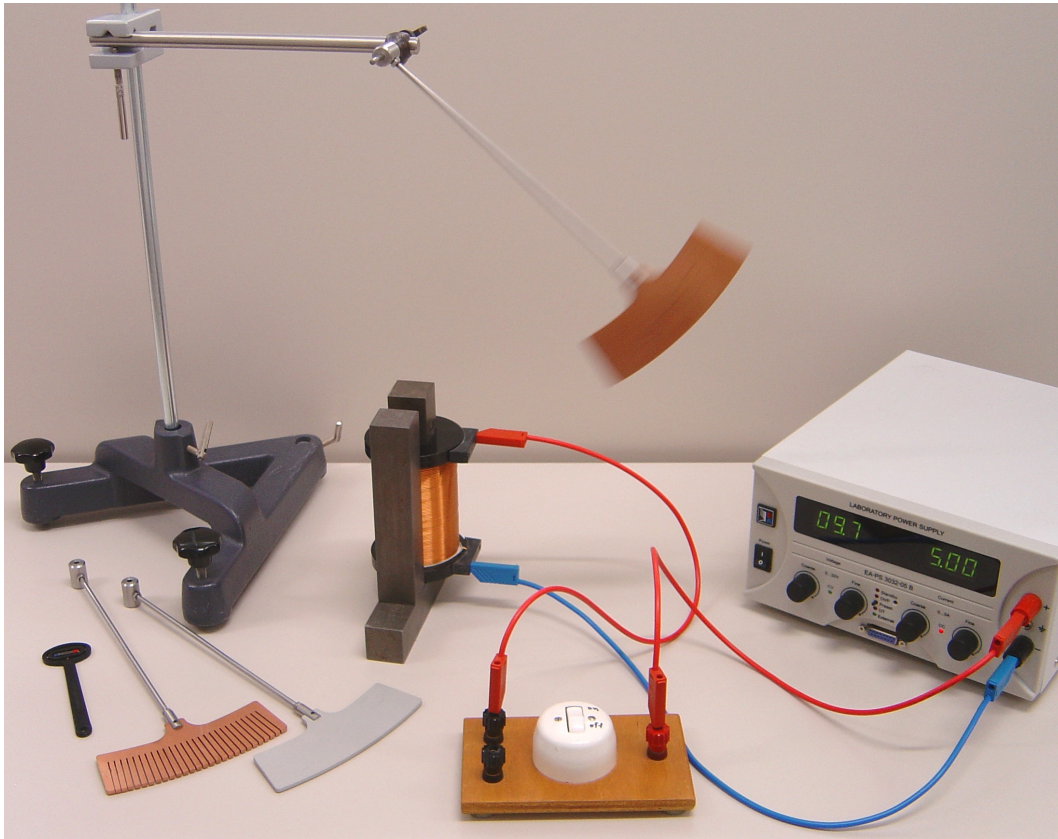
Mit wie vielen Hertz schwingt sie und womit könnte die Sache folglich zu tun haben? Wenn ihr eine These habt, ruft mich doch rasch zu euch!

8. Nehmt schliesslich noch die **grosse Spule**, die mit dem **Demonstrationsamperemeter** verbunden ist, und stülpt sie über den Stab des Permanentmagneten. Bewegt auch diese Spule auf und ab und erklärt danach die Ausschläge des Amperemeters.

Zum Amperemeter: Dieses schlägt nach rechts aus, wenn der (technische) Strom auf beim rechten Anschluss ins Gerät hinein fließt.

Versuch Q: Das Waltenhofen'sche Pendel

Dauer: 25 Minuten



1. Hier geht es um einen ganz klassischen Demonstrationsversuch zur **Wirbelstrombremse**, nämlich um das sogenannte **Waltenhofen'sche Pendel**. Aufgaben zu diesem Versuch sind ganz direkt die **Nummer 6**, vorbereitend aber auch die **Nummer 1 in Übungsserie 11**. Am besten habt ihr diese Übungsserie griffbereit.
2. **Der Elektromagnet:** Ihr seht auf dem Bild oben und real vor euch, wie einfach der Aufbau des **Elektromagneten** ist: **Drei Stahlklötze** werden zu einer Art U zusammengestellt und auf den einen vertikal gestellten Stahlklotz wird eine **Spule** gestülpt. Die Spule wird ans **Netzgerät** angeschlossen, wobei zusätzlich ein **Schalter** in den Stromkreis eingebaut wird.
Öffnet den Schalter und dreht dann den Strom maximal auf, sodass er ca. 5 A stark ist.
Achtung! 5 A erhitzen die Spule nicht wahnsinnig schnell, aber nach einer gewissen Laufzeit kann sie doch recht heiss werden, was man vermeiden sollte.
Schaltet daher den Strom immer wieder aus, sobald der Elektromagnet nicht mehr gebraucht wird.
3. Bemerkt zunächst, was beim Einschalten des Spulenstromes passiert: Die drei Stahlklötze werden **magnetisiert** und haften in der Folge so stark aneinander, dass man sie von Hand fast nicht mehr trennen kann. Probiert es aus!
Aufgrund dieser Magnetisierung werden die beiden oberen Enden der senkrecht stehenden Klötze zu **magnetischen Polen**. Mittels **RHR** und Einbeziehung der **Beschriftungen an den Spulenenden** könnt ihr voraussagen, welches der **Nord-** und welches der **Südpol** ist.
Eure Voraussage solltet ihr mit der **Magnaprobe** überprüfen.

4. Macht euch klar, in welche Richtung das **Magnetfeld B zwischen den beiden oberen Klotzenden** aufgrund der eben ermittelten Polungen zeigt, sobald einmal Strom fließt.

Durch diesen Zwischenraum soll das Pendel schwingen. Schaltet den Elektromagneten aus und richtet das Pendel entsprechend aus. Seine **tiefste Lage** sollte genau zwischen den beiden Stahlklötzen sein. Es sollte etwa **einen halben Zentimeter über dem oberen Spulenende** vorbeikommen.

Crashes zwischen dem Pendel und den Stahlklötzen sind zu vermeiden! Das gibt nur hässliche Dellen. Gebt euch daher beim Ausrichten des Pendels Mühe – ist nicht so schwierig!

5. Lasst jetzt das Pendel schwingen – zunächst noch ohne Strom. Dazu könnt ihr es aus einer Position, in welcher der Stahlstift des Pendels horizontal liegt, loslassen.

Beobachtet zuerst, dass es effektiv lange dauert, bis die Pendelschwingung ohne weitere Massnahmen deutlich schwächer wird. Es ist eben ein fast reibungsfreier Vorgang, dem kaum Energie entzogen wird.

6. Schaltet jetzt kurz nach einem neuerlichen Start den Strom ein. Dadurch wird der Elektromagnet aktiviert und es ist eine **deutliche Bremswirkung** zu sehen.

Bemerke! Diese Bremswirkung kann nicht daher rühren, dass das Metallplättchen des Pendels direkt von den Magnetpolen des Elektromagneten magnetisiert wird. Schliesslich handelt es sich um ein Kupferplättchen und **Kupfer ist nicht-magnetisierbar**.

Wir müssen uns schon eine andere Erklärung für diese Bremswirkung zurechtlegen...

7. Nachdem ihr das Waltenhofen'sche Pendel real in Betrieb gesehen habt, solltet ihr **Aufgabe 6 in Übungsserie 11** gut bearbeiten können. Tut dies, allenfalls unter Zuhilfenahme der Lösungen.

Es geht darum komplett zu verstehen, welche Wirbelströme im Metallplättchen wann auftreten und wie diese erklärt werden können. Zudem soll verstanden werden, wie diese Wirbelströme für die Bremswirkung mit verantwortlich sind.

Bei allfälligen Verständnisschwierigkeiten ruft ihr mich, sodass wir die Sache miteinander besprechen können.

8. Wenn soweit alles klar ist und ihr verstanden habt, welche Wirbelströme fließen und wie die Bremswirkung funktioniert, so könnt ihr dieses Wissen auf zwei veränderte Fälle anwenden:

- i. Neben dem vollkupfrigen Pendel gibt es auch ein **rechenartig unterbrochenes Pendel** – ebenfalls aus **Kupfer**. Probiert die Wirbelstrombremse damit aus.

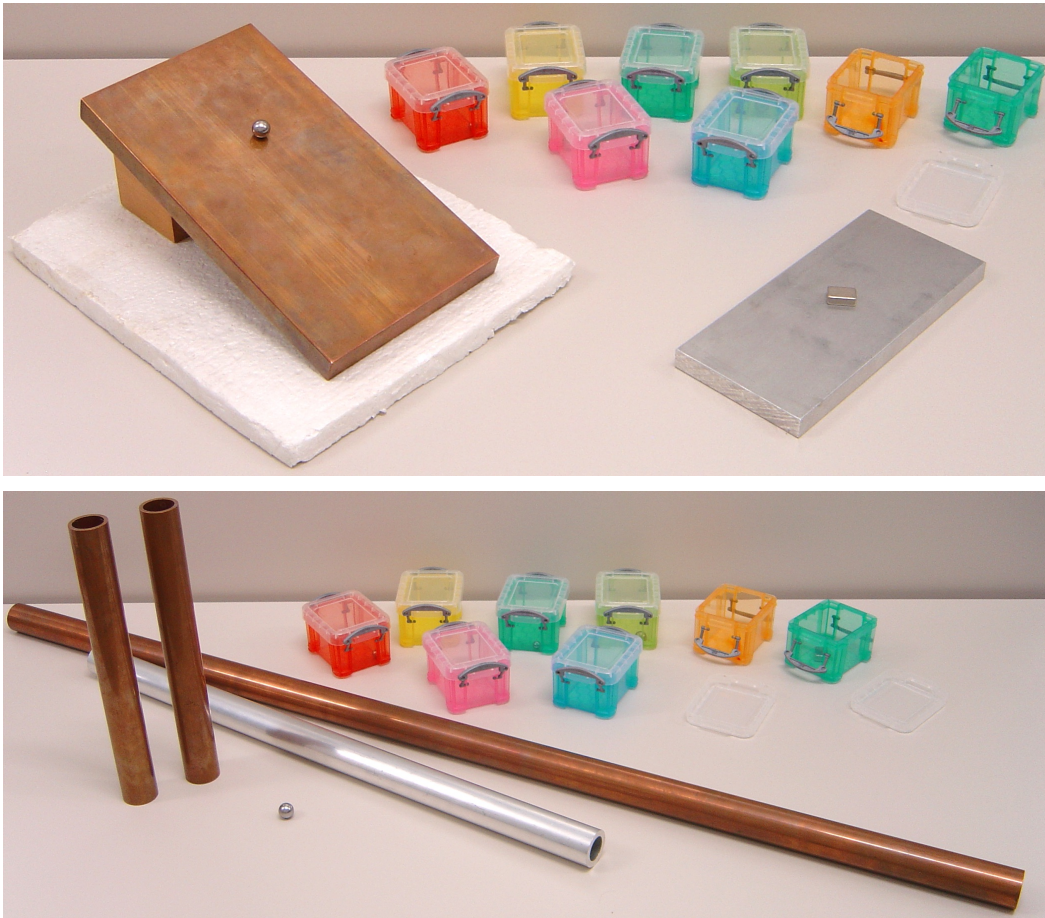
Was beobachtet ihr und wie erklärt ihr den Befund?

- ii. Schliesslich gibt es ein Pendel aus **Aluminium**. Wie wird dieses Pendel im Vergleich zum vollkupfrigen Pendel gebremst? Vielleicht stellt ihr zuerst Vermutungen an, bevor ihr es ausprobiert!

Was beobachtet ihr und was folgert ihr daraus für den Vergleich von Kupfer und Aluminium? In welchen hier entscheidenden Eigenschaften unterscheiden sich die beiden Metalle voneinander? Wie?

Versuch R: Wirbelstrombremsen mit Permanentmagneten

Dauer: 25 Minuten



In diesem Versuch geht es nur darum das Anschauungsmaterial zu den **Aufgaben 8 und 9 der Übungsserie 11** direkt vor sich zu haben und mit dieser Veranschaulichung vor der Nase diese beiden Aufgaben zu lösen.

Es handelt sich um zwei faszinierende schöne Beispiele von Wirbelstrombremsen. Ihre Funktionsweise genau zu verstehen ist das Ziel. Lest dazu die beiden Aufgaben und versucht sie zu lösen, allenfalls auch unter Verwendung der zugehörigen **Lösungen**.

Nutzt aber auch die Gelegenheit mit diesem Material zu spielen. Dazu ein paar wichtige Hinweise:

Alle vorliegenden Magnete sind relativ stark! Bitte seid im Umgang damit vorsichtig – zum Schutz des Material, aber auch zu eurem eigenen!

Insbesondere sollten die Magnete nicht gegeneinander oder gegen magnetisierbare Gegenstände knallen, denn ihre Oberflächen sind nicht sonderlich stabil und brechen leicht.

Genau aus diesem Grund sind die Magnete einzeln in farbige Böxli versorgt. Nehmt immer nur denjenigen Magneten heraus, den ihr gerade verwenden wollt, und versorgt ihn auch gleich wieder, wenn ihr damit fertig seid.

Viel Spass!

