Problemstellung 1:

Ein kleiner Permanentmagnet der Masse m wird frei durch ein senkrecht stehendes, fixiertes Rohr fallen gelassen. Das Rohr besteht aus einem isolierenden Material wie z.B. Plexiglas. Man beobachtet, dass der Magnet mit derselben Beschleunigung g fällt wie im Vakuum.

Wenn derselbe Magnet nun durch ein Kupferrohr mit gleichen Maßen fallen gelassen wird, so beobachtet man, dass die Geschwindigkeit geringer als beim freien Fall ist: Der Magnet bewegt sich viel langsamer, so als würde er von einem unsichtbaren Fallschirm gehalten werden. Dies wird in Abb.1 für zwei Stabmagnete dargestellt, die gleichzeitig vom höchsten Punkt der zwei Rohre fallen gelassen werden.

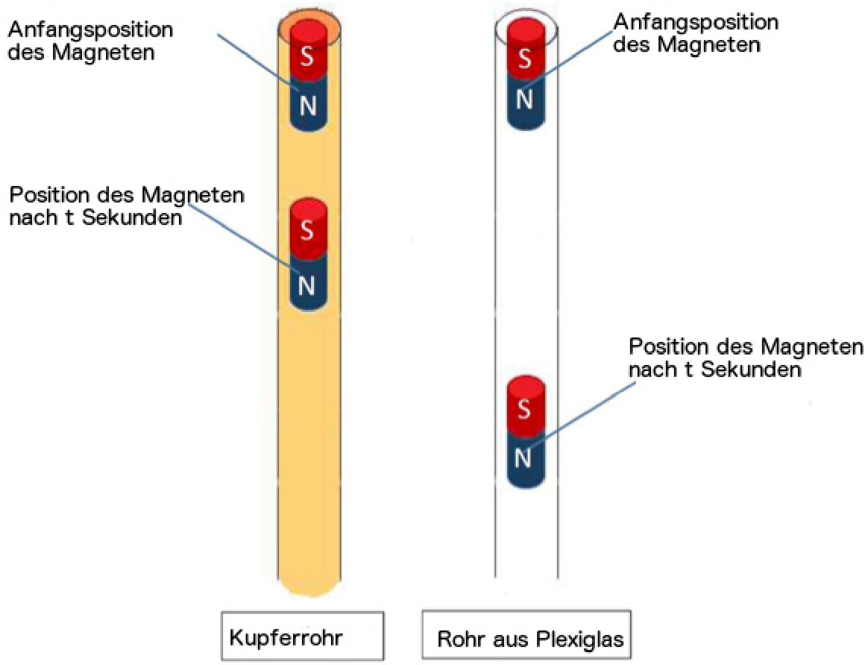

Abbildung 1

Es wirkt nämlich auf den Stabmagenten zusätzlich zur Gewichtskraft eine Kraft, die zur Bewegung entgegengesetzt gerichtet ist und von seiner Geschwindigkeit abhängt.

Um zu verstehen, was passiert, nimmst du Folgendes an: Zu einem bestimmten Zeitpunkt ersetzt du das Metallrohr durch ein Rohr aus Plexiglas und bringst zwei geschlossene Leiterschleifen mit einem Ohm'schen Widerstand R von $1,0 \cdot 10^{-3}\Omega$ an, eine über und eine unter dem Stabmagneten, wie in Abbildung 2 gezeigt wird.

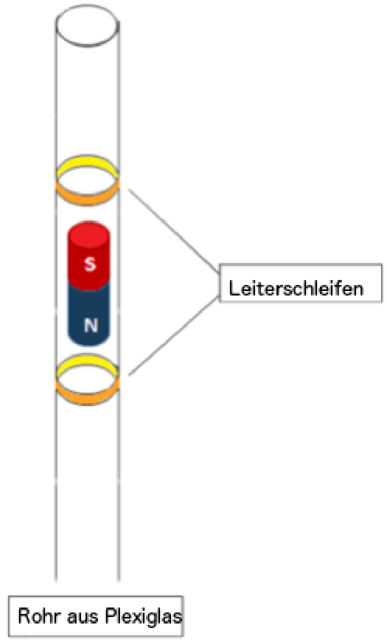

Abbildung 2

1. Zeige, dass auch in diesem Fall die Bewegung des Stabmagenten von einer Bremskraft beeinflusst wird, wie beim Fall durch das Kupferrohr. Erkläre qualitativ die Ursache dieser Bremskraft und begründe, wieso diese von der Geschwindigkeit abhängt. Bestimme und veranschauliche anhand einer Skizze die Richtung der induzierten Ströme in den Leiterschleifen. Erkläre außerdem, wie sich diese Ströme aufgrund der Bewegung des Magneten mit der Zeit verändern. Besprich die Änderungen, die auftreten, wenn der Magnet umgedreht und dann fallen gelassen wird, wenn also Nord- und Südpol vertauscht werden.

   Im Labor untersuchst du die Fallgeschwindigkeit des Stabmagneten der Masse $m = (2,35 \pm 0,01)g$ im Kupferrohr, indem du mit einer Stoppuhr die Fallzeit aus unterschiedlichen Höhen misst.

   Die Messwerte werden in Tabelle 1 angegeben, in der h die Fallhöhe und Δt die Fallzeit darstellen. Die Messgenaugkeit für die Strecken beträgt $0,1\,cm$, für die Zeitmessungen $0,1s$.

h [cm]	Δt [s]
80,0	5,7
70,0	5,0
60,0	4,3
50,0	3,6
40,0	2,9
30,0	2,2
20,0	1,5
10,0	0,9
5,0	0,5

Tabelle 1

2. Leite aus den Messwerten in Tabelle 1 die Werte für die Durchschnittsgeschwindigkeiten der Fallbewegung aus den verschiedenen Anfangshöhen ab. Zeichne unter Verwendung dieser Werte ein Diagramm der Durchschnittsgeschwindigkeit in Funktion von der Höhe. Besprich qualitativ den Verlauf und bestimme die Grenzgeschwindigkeit. Nimm hierfür an, dass die Bremskraft F_R als Kraft angenähert werden kann, die direkt proportional zur Geschwindigkeit ist, also $F_R = -kv$. Erkläre durch die gesamte, auf den Magneten wirkende Kraft, wieso während der Bewegung die Geschwindigkeit steigt, bis sie eine Grenzgeschwindigkeit erreicht. Bestimme schließlich den Zahlenwert von k. Verwende hierfür den Wert der Grenzgeschwindigkeit, den du aus dem Diagramm abgeleitet hast.

3. Beschreibe die Energiebilanz in der angegebenen Problemstellung und zwar sowohl in der Beschleunigungsphase als auch beim Erreichen der Grenzgeschwindigkeit. Berechne, wie viel mechanische Energie am Ende der Fallbewegung in andere Energieformen umgewandelt wurde und gib diese Energieformen an.

4. Betrachte nun die vereinfachte Situation, die zuvor im Punkt 1 vorgestellt wurde, bei der das Kupferrohr mit einem Rohr aus Plexiglas und zwei Leiterschleifen mit Widerstand $R = 1,0 \cdot 10^{-3}\Omega$ ausgetauscht wird.

   Bestimme ausgehend von Betrachtungen zur Leistungsabgabe den Wert des Stromes, der in den Leiterschleifen fließen würde, wenn der Magnet die Grenzgeschwindigkeit im Kupferrohr erreichen würde und wenn dabei der Strom in den zwei Leiterschleifen gleich groß wäre. Verwende diesen Wert um die Änderung des magnetischen Flusses pro Zeiteinheit zu bestimmen, die die Bewegung des Magneten in den Leiterschleifen induzieren würde.

   Erkläre außerdem, wieso der Magnet eine höhere Grenzgeschwindigkeit erreicht, wenn das Kupferrohrs (spezifischer Widerstand $\rho_{Cu} = 1,68 \cdot 10^{-8}\Omega m$) durch ein Aluminiumrohr (spezifischer Widerstand $\rho_{Al} = 2,75 \cdot 10^{-8}\Omega m$) ersetzt wird.

Problemstellung 2

Im Jahr 1896 hat der Astronom Edward Charles Pickering das Emissionsspektrum des Sterns Zeta Puppis untersucht. Er hat hierbei einige Emissionslinien entdeckt, deren Wellenlängen denen der Balmerserie entsprechen, woraus er auf die Anwesenheit von Wasserstoff im Stern schloss. Er hat weitere drei Spektrallinien entdeckt - genannt Pickering Linien - deren Wellenlängen gemessen wurden zu

$$455,1\text{nm}; \quad 541,1\text{nm} \quad \text{und} \quad 1012,3\text{nm}.$$

1. Beschreibe im Bezug auf das Bohrsche Atommodell den Ursprung der Spektrallininen des Wasserstoffes. Formuliere in Analogie hierzu eine mögliche Erklärung für die Pickering-Linien, die im Emissionsspektrum von Zeta Puppis enthalten sind. Gib an, welche physikalischen Informationen man aus deren numerischen Wert gewinnen kann.

Pickering stellte fest, dass die Wellenlängen der nach ihm benannten Linien mit der Balmer-Formel

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (n = 3, 4, 5, \ldots)$$

berechnet werden können, welche für das Wasserstoffatom gilt. Allerdings erhielt er hierbei halbzahlige Werte für n.

2. Benutze die in folgender Tabelle gegebenen numerischen Werte für das Spektrum des Wasserstoffatoms, um graphisch oder rechnerisch den Wert der Rydbergkonstante R_H zu bestimmen. Berechne dann die halbzahligen Werte für n, die den Pickering-Linien entsprechen.

n	$\lambda\,[nm]$
3	656,3
4	486,1
5	434,1
6	410,2
7	397,0

Tabelle 1: Die Balmerserie für das Wasserstoffatom

Die Pickering-Linien können auch mit einer modifizierten Form der Balmer-Formel berechnet werden, wenn man einen anderen Wert für den Parameter R_H benutzt, den wir mit R'_H bezeichnen:

$$\frac{1}{\lambda} = R'_H \left(\frac{1}{(n_1)^2} - \frac{1}{(n_2)^2} \right),$$

wobei die Zahlen $n_1\,(= 1, 2, 3, \ldots)$ und $n_2\,(= 1, 2, 3, \ldots)$ jetzt ganze Zahlen sind mit der Einschränkung

$$n_2 > n_1.$$

3. Zeige, dass man für $n_1 = 4$ und $R'_H = 4 \cdot R_H$ ganze Zahlen als Werte von n_2 erhält, welche alle beobachteten Linien beschreibt, d.h. die der Balmer-Linien für das Wasserstoffatom und der Pickering-Linien.

In der folgenden Zeit wurde gezeigt, dass das gesamte Emissionsspektrum von Zeta Puppis nicht von Wasserstoffatomen kommen kann, sondern der Gegenwart von Wasserstoffähnlichen Ionen geschuldet ist (das sind Ionen, die nur ein Elektron besitzen, deren Kern aber Z Protonen enthält), welche ebenfalls durch das Bohrsche Atommodell beschrieben werden können.

4. Das Bohrsche Atommodell für das Wasserstoffatom liefert als Wert für die Rybergkonstante den Ausdruck:

$$R_H = \frac{m_e e^4}{8h^3 \varepsilon_0^2 c}.$$

Bestimme den Wert von R'_H indem Du angibst, welche Änderungen am Bohrschen Atommodell für ein Wasserstoffähnliches Ion vorzunehmen sind. Indem man dieses Resultat mit dem experimentellen Wert von R'_H vergleichst, kann auf den Wert von Z geschlossen werden. Bestimme diesen Wert und schliesse hieraus, auf welches Ion das Emissionsspektrum von Zeta Puppis zurückzuführen ist.

Frage 1

Zeige: Zur Speicherung einer Energie E in einer idealen langen Magnetspule mit dem Volumen V muss im Inneren der Spule ein magnetisches Feld B der Stärke

$$B = \sqrt{\frac{2 \cdot \mu_0 \cdot E}{V}}$$

erzeugt werden. Dabei ist μ_0 die magnetische Permeabilität im Vakuum (Anmerkung zur Übersetzung: *magnetische Feldkonstante*). Berechne auch den elektrischen Strom, welcher durch eine lange Spule mit $N = 500$, der Länge $l = 5\,cm$ und dem Volumen $V = 20\,cm^3$ fließen muss, damit die gespeicherte Energie $E = 1{,}5\,mJ$ beträgt.

Frage 2

Eine ideale lange Magnetspule L_1 befindet sich im Inneren einer zweite idealen Spule L_2. Diese wird von einem Strom I versorgt, der im Zeitintervall $0\,\mu s - 30\,\mu s$ linear mit der Zeit entsprechend der Gleichung

$$I = k \cdot t$$

mit $k = 0{,}5\,\frac{A}{s}$ zunimmt. An den Kontakten der Spule L_1 wird für das Zeitintervall der Stromänderung eine Spannung gemessen.

a) Erkläre den Ursprung der induzierten Spannung und zeige, dass sie konstant ist.

b) Berechne den Wert dieser Spannung für den Fall, dass die Spule L_1 und L_2 eine gleiche Windungsanzahl $N = 500$ haben, gleichen Länge von $5\,cm$ und die Querschnittsflächen $A_1 = 1\,cm^2$ und $A_2 = 4\,cm^2$ haben.

Frage 3

Um spektrometrische Analysen von einigen speziellen Substanzen durchzuführen werden Argon-Laser verwendet, welche einen grünen Lichtstrahl der Wellenlänge $514{,}5\,nm$ mit der Leistung von $1\,W$ und einem Querschnitt von $2\,mm^2$ aussenden. Bestimme unter der Annahme, dass der Strahl zylinderförmig ist:

a) die Energie, die in einem Meter des Strahls enthalten ist,

b) den maximalen Wert des elektrischen Feldes und des magnetischen Feldes des Laserstrahls,

c) wie viele Photonen vom Laser in einer Sekunde ausgesendet werden.

Frage 4

In einer Fotozelle wird unter Verwendung des fotoelektrischen Effekts ein Sättigungsstrom von $15\,\mu A$ generiert. Als Kathode wird ein metallisches Material mit der Austrittsarbeit $5{,}15\,eV$ verwendet.

a) Bestimme die maximale Wellenlänge der auf die Kathode einfallenden Strahlung, die noch Elektronen aus dieser auslösen kann;

b) Berechne die Mindestanzahl von Photonen, die pro Sekunde auf die Kathode treffen müssen, unter der Annahme, dass nur 75% von ihnen ein Elektron auslösen können.

Frage 5

Das Raumschiff *Millenium Falcon* aus der Triologie *"Krieg der Sterne"* hat eine Ruhelänge von $34{,}5\,m$. Das Raumschiff bewegt sich mit der Geschwindigkeit von $0{,}9\,c$ bezüglich einem Inertialsystem und kreuzt ein zweites identisches Raumschiff, welches sich mit der Geschwindigkeit von $0{,}75\,c$ bezüglich dem gleichen Inertialsystem in entgegengesetzte Richtung bewegt. Was ist die von einem Passagier des ersten Raumschiffs gemessene Länge des zweiten Raumschiffs?

Frage 6

Zeige, dass mit einem nicht-relativistischen Elektron, welches von einer Potentialdifferenz U (gemessen in *Volt*) aus der Ruhe beschleunigt wird, eine de-Broglie-Wellenlänge verknüpft ist, die durch folgende Formel ausgedrückt werden kann:

$$\lambda = \sqrt{\frac{1{,}504}{U}}\,nm$$

Berechne diese Länge für $U = 50{,}0\,V$.