

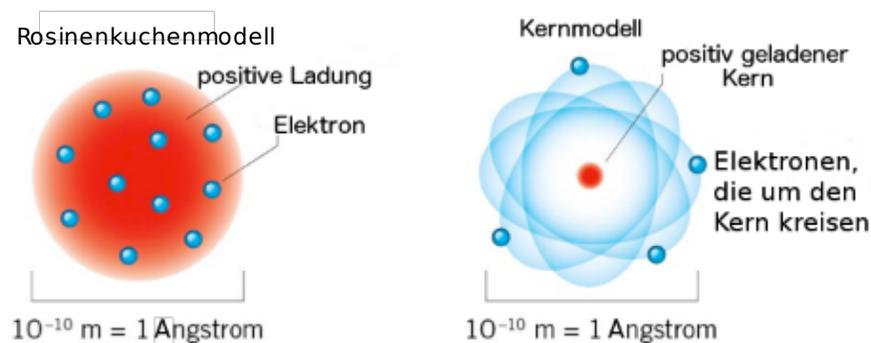
ausgearbeitet von Carlo Bertoni, Gianni Melegari und Claudio Romeni

Wähle ein Problem und drei Fragen. Zeit: 5 Stunden

Problemstellung 1: Rutherfords Entdeckung

Zu Beginn des XX. Jahrhunderts wusste man, dass sich im Inneren der Atome Elektronen negativer Ladung befinden, dass Atome insgesamt neutral sind und daher irgendwo positive Ladung enthalten müssen.

Man wusste aber nicht, wie diese positive Ladung im Atomkern verteilt ist. Nach dem Modell von Thomson (1902) ist die positive Ladung gleichmäßig verteilt, die Elektronen sind wie Rosinen in einem Kuchen angeordnet. Rutherford meinte hingegen, dass sich die positive Ladung in einem kleinen Raum im Zentrum des Atoms (Atomkern) befinden und die Elektronen um den Atomkern kreisen, wie die Planeten um die Sonne.



In einer Reihe von Versuchen begann Rutherford zusammen mit seinen Mitarbeitern H. W. Geiger und W. Marsden im Jahre 1908 die Struktur des Atoms zu untersuchen. Sie beschossen eine dünne Goldfolie mit α -Teilchen (ein α -Teilchen ist ein ${}^4_2\text{He}$ -Kern) und beobachteten dabei die Ablenkung der Teilchen.

Man kann das Verhalten eines α -Teilchens sowohl für eine gleichmäßig auf das ganze Atomvolumen verteilte positive Ladung als auch für die in einem Kern konzentrierte Ladung berechnen. Die unterschiedlichen Voraussagen der beiden Theorie-Modelle kann man dann mit den experimentellen Ergebnissen vergleichen und eines der Modelle ausschließen.

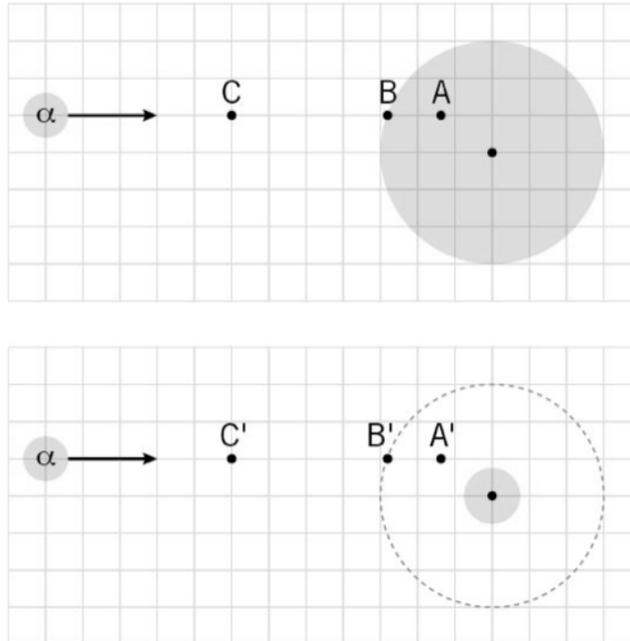
Wir treffen die folgenden vereinfachenden Annahmen:

- Wir untersuchen die Wechselwirkung eines α -Teilchens mit einem einzelnen Goldatom.
- Wir vernachlässigen Effekte durch die Wechselwirkung mit den Elektronen.

Nimm an, dass ein α -Teilchen auf ein Goldatom geschossen wird, wie es die nicht maßstabsgetreue Abbildung zeigt. Der graue Bereich stellt die positive Ladungsverteilung dar. Das α -Teilchen kann in

diesen Bereich vordringen. Der obere Teil bildet das Thomson-Modell ab, während im unteren das Modell von Rutherford dargestellt wird.

Der Atomradius von Gold beträgt $R = 10^{-10} \text{ m}$; die Größenordnung des Atomkerns ist bei Rutherford 10^{-15} m .



1. Erläutere die Art der Kraft, über die die positive Ladung des Atoms mit dem α -Teilchen in den zwei verschiedenen Modellen wechselwirkt! Nenne die wichtigsten Eigenschaften dieser Kraft in Bezug auf die Modelle von Thomson und Rutherford.
2. (a) Berechne den Betrag der Kraft unter Annahme des Thomson-Modells in den folgenden Punkten: A (Abstand $R/2$ vom Mittelpunkt), B (Abstand R vom Mittelpunkt) und C (Abstand $2R$ vom Mittelpunkt). Skizziere zusätzlich die Richtung der Kraft in den drei Punkten!
 (b) Berechne den Betrag der Kraft unter Annahme des Rutherford-Modells in den folgenden Punkten: A' (Abstand $R/2$ vom Mittelpunkt), B' (Abstand R vom Mittelpunkt) und C' (Abstand $2R$ vom Mittelpunkt). Skizziere zusätzlich die Richtung der Kraft in den drei Punkten.
3. In welchem Punkt im Inneren des Goldatoms (oder in seiner Nähe) ist die Kraft auf das α -Teilchen am größten, wenn wir das Thomson-Modell verwenden?
 Wo wäre die Kraft beim Rutherford-Modell am größten?
 In welchem der zwei Fälle ist der Betrag dieser Kraft größer?
 Begründe deine Antwort, indem du den Verlauf von $E = E(r)$ (Betrag des elektrischen Feldes in Funktion des Abstandes r zum Mittelpunkt) für beide Fälle skizzierst!
4. Untersuche nun im Rahmen des Rutherford'schen Atommodells den Fall, in dem ein α -Teilchen auf eine Goldfolie geschossen wird und genau auf einen Atomkern zufliegt. Unter der Annahme,

dass das Teilchen mit einer kinetischen Energie von $1,11 \cdot 10^{-12} \text{ J}$ genau am Rande des Atomkerns ankommt (also genau $1,00000 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ vom Zentrum entfernt):

- (a) Welche Strecke könnte das Teilchen noch zurücklegen, bevor es zum Stillstand käme?
- (b) Welche Bahn ergibt sich im Rahmen des Rutherford'schen Atommodells für Teilchen mit dieser Anfangsenergie und dieser Startrichtung?
- (c) Was würde sich deiner Meinung nach für Teilchen gleicher Energie und Richtung im Thomson'schen Modell ändern?

Berechne hierfür die kinetische Energie, die das Teilchen im Mittelpunkt des Atoms haben würde, indem du die Bremsarbeit der elektrischen Kraft entlang des Radius berechnest!

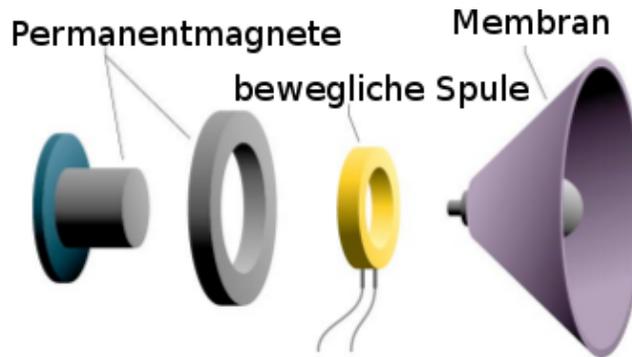
Eigenschaften des Goldatoms:

79	2
	8
Au	18
	32
Oro	18
	1
196,96...	

Problemstellung 2: Wir zerlegen einen Lautsprecher

Ein Lautsprecher ist ein Schallwandler, der ein elektrisches Signal in eine mechanische Welle (Schall) umwandelt.

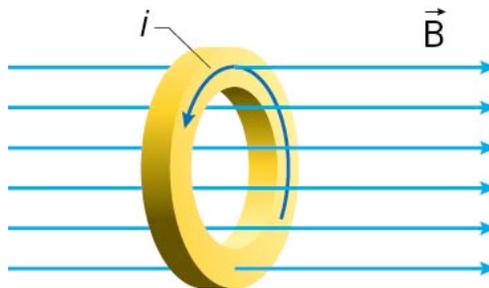
Bei einigen Lautsprechermodellen ist das elektrische Signal ein elektrischer Strom, der durch eine bewegliche Spule fließt und in Schall umgewandelt wird.



Der Lautsprecher besteht im Wesentlichen aus einem oder mehreren Permanentmagneten, einer beweglichen Spule und einer Membran.

Die bewegliche Spule ist an der Membran befestigt, wodurch die Bewegung der Spule die Membran schwingen lässt.

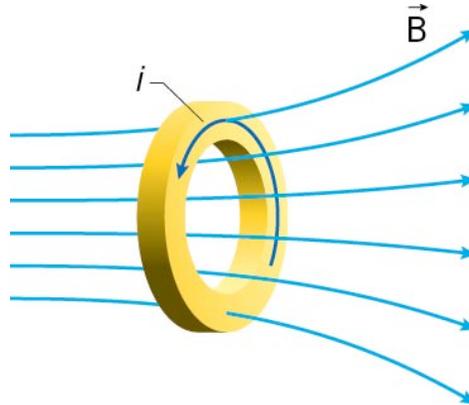
1. Untersuche den folgenden vereinfachten Zusammenhang: Der Strom i in der Spule ist konstant und das Magnetfeld \vec{B} der Magnete ist homogen und parallel zur Spulenchse (die Richtung von Strom und Magnetfeld sind in der folgenden Abbildung dargestellt)!



Welche Art von Kraft wirkt auf die Spule?

Berechne die resultierende Kraft, die auf die Spule wirkt. Du kannst sie als Resultierende der Kräfte berechnen, die auf kleine Abschnitte wirken, in die man die Spule gedanklich teilen kann.

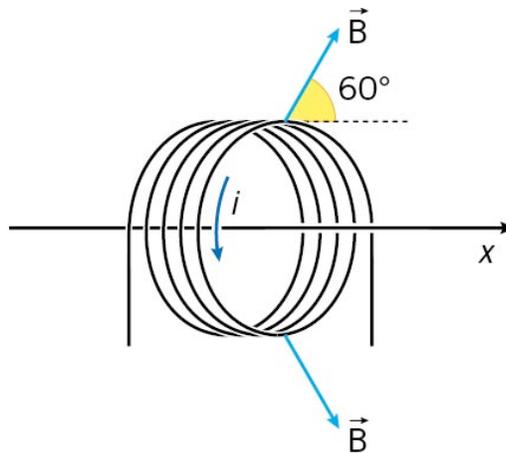
Nimm anschließend die etwas realistischere Situation an, bei der das Magnetfeld nicht homogen ist, sondern durch die Feldlinien beschrieben wird, die in der Abbildung gezeigt werden.



Zeichne den Kraftvektor auf einen Spulenabschnitt und erkläre, wieso die resultierende Kraft auf die gesamte Spule nicht gleich Null ist!

- Nehmen wir an, die bewegliche Spule habe einen Durchmesser von 1,80 cm und bestehe aus 40 Windungen, durch die ein Strom von 0,80 A fließt. Nimm zusätzlich an, dass das Magnetfeld in jedem Punkt der Spule einen konstanten Wert von 0,2 T und einen Winkel von 60° bezüglich des Lots zur Spulenebene annimmt. Verwende hierbei ein Koordinatensystem, bei dem die x -Achse die Symmetrieachse der Spule ist! Zeigt die x -Achse auf uns, so rotiert der Strom im Gegenuhrzeigersinn (siehe Abbildung).

Berechne Betrag und Richtung der resultierenden magnetischen Kraft auf die Spule!



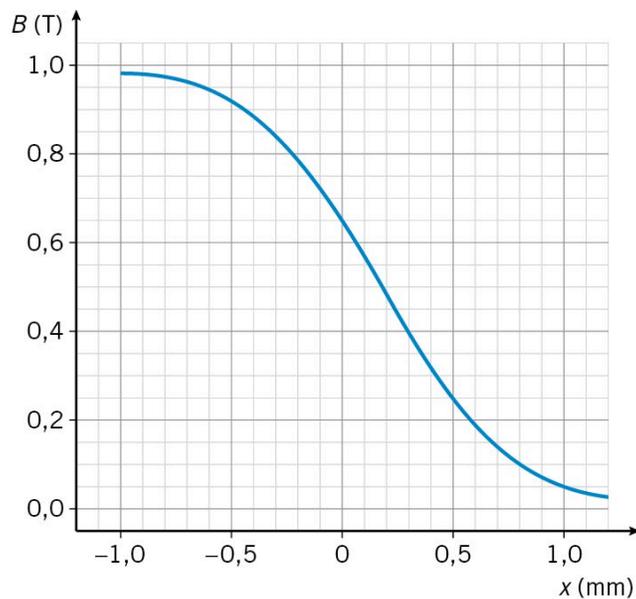
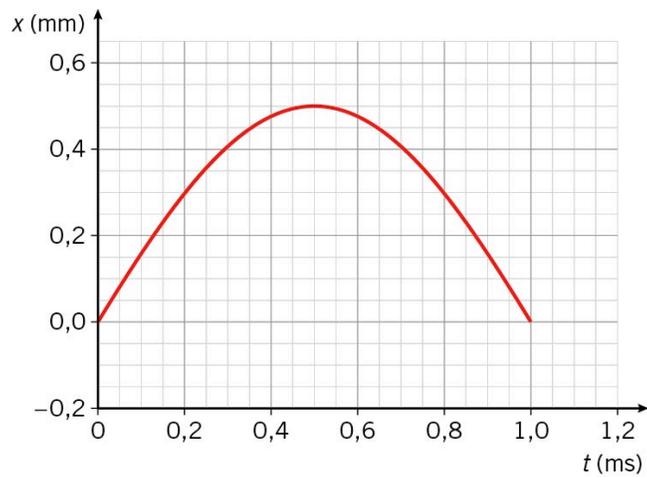
- Das gleiche Gerät kann auch umgekehrt als Mikrofon verwendet werden, bei dem der Schall, der auf die Membran fällt, in ein elektrisches Signal in der Spule umgewandelt wird.

Erkläre, wieso die Bewegung der Membran und damit die Bewegung der Spule im nicht homogenen Magnetfeld, das von den Permanentmagneten erzeugt wird, einen Strom in der Spule hervorrufen kann!

- Betrachte die folgenden Diagramme!
Das erste stellt die Bewegung der Spule entlang der x -Achse in Funktion der Zeit während eines

Zeitintervalles dar.

Das zweite Diagramm gibt das mittlere Magnetfeld $\overline{B_x}$ in Richtung der x -Achse in Funktion des Abstandes der Spule zum Permanentmagneten an, der das Feld erzeugt.



Unter Berücksichtigung des Widerstands der Spule von $8\ \Omega$ und unter Vernachlässigung der Selbstinduktion ist der mittlere Strom zu berechnen, der in der beweglichen Spule während folgender Zeitabschnitte fließt:

- (a) von $t = 0,10\ \text{ms}$ bis $t = 0,20\ \text{ms}$
- (b) von $t = 0,45\ \text{ms}$ bis $t = 0,55\ \text{ms}$
- (c) von $t = 0,80\ \text{ms}$ bis $t = 0,90\ \text{ms}$

Fragen

Frage 1

Ein Techniker misst die Abstrahlung einer Mobilfunkantenne. Die Sendefrequenzen sind 954,6 MHz und 958,2 MHz. In einer Entfernung von 40 m Abstand von der Antenne werden die folgenden Werte für das elektrische Feld gemessen:

Frequenz in MHz	Effektivwerte der elektrischen Feldstärke in V/m
954,6	0,0800
958,2	1,21

1. Bestimme die Intensität (oder Bestrahlungsstärke) der beiden Wellen im Messpunkt!
2. Bestimme die Gesamtleistung der Antenne (gib an, welche Annahmen du dazu triffst!)
3. Bestimme die Intensität der beiden Wellen und die Stärke des Magnetfeldes in 60 m Abstand zur Antenne.

Frage 2

Ein Wasserkraftwerk liefert eine elektrische Leistung von 1200 MW. Ein Staudamm macht es möglich, die potentielle Energie des Wassers eines Bergsees in elektrische Energie umzuwandeln. Diese wird durch ein Industriezentrum in der Nähe genutzt. Das Wasser fällt 180 m und hält dabei Turbinen von 15 Generatoren in Bewegung, die am Fuße des Hangs angebracht sind.

Vernachlässigen wir nun die Verluste durch Reibung, die das Wasser entlang des Gefälles vom See bis zum Kraftwerk erfährt.

1. Welche Menge an Wasser muss pro Sekunde fließen um einen einzelnen Generator zu versorgen?
Ein Generator besteht aus einer sich drehenden Spule, die 150 Windungen hat und 2,00 m im Durchmesser misst. Die Spulen drehen sich mit einer Frequenz von 60,0 Hz in einem Magnetfeld mit 0,100 T.
2. Bestimme die Effektivwerte der Spannung am Generator.
3. Die Spannung muss für die Hochspannungsleitungen auf einen Effektivwert von 100000 V erhöht werden. Schätze ab, wie viele Windungen im Primär- und Sekundärstromkreis dafür benötigt werden um die notwendige Spannungserhöhung zu erreichen.

Frage 3

Mit einem Solenoid wird ein Ortssensor gebaut. Ein Ende des Solenoids wird festgehalten, während das andere an einer frei beweglichen Platte befestigt wird, die das Solenoid streckt und staucht. Die zu bestimmende Messgröße ist die Verschiebung der Platte. Diese Verschiebung steht mit der Induktivität der Spule in Zusammenhang.

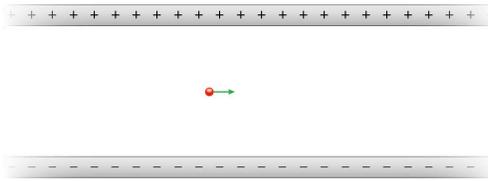
Die Spule ist im Ruhezustand 12,00 cm lang und besteht aus 100 Windungen mit einem Radius von 0,500 cm.

1. Berechne die Induktivität in der Ruhelage sowie bei einer Verlängerung um 0,5 mm und einer Verkürzung um 0,5 mm. Nimm an, dass die Fläche der Spule sich dabei nicht verändert.
2. Bestimme den allgemeinen Ausdruck für die Auslenkung in Funktion der Induktivität und zeichne einen qualitativen Graphen der Auslenkung in Funktion der Induktivität L .

Frage 4

Ein Ionenstrahl aus He^+ ($m = 6,64 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$) wird auf eine Geschwindigkeit von $2,5 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ beschleunigt. Die Ionen treten dann in einen Plattenkondensator ein und bewegen sich parallel zu den Platten. An den Platten, die 4,00 cm lang sind und einen Abstand von 0,500 cm zueinander haben, wird eine Spannung von 800 V angelegt.

1. Welches Magnetfeld muss angelegt werden, damit die Bahn geradlinig bleibt? Gib Betrag und Richtung des Feldes an!
2. Berechne, um wie viel die Bahn am Ende des Kondensators verschoben ist, wenn zum Zeitpunkt, an dem das Teilchen die Mitte des Kondensators erreicht hat, das Magnetfeld abgeschaltet wird!



Frage 5

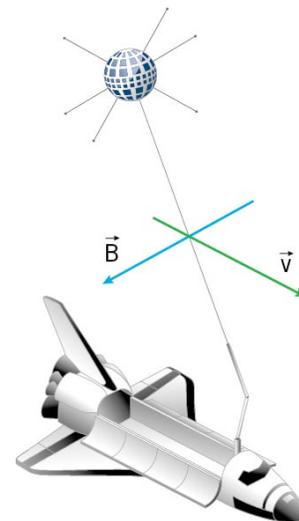
Vor einigen Jahren hat die NASA versucht elektrische Energie für das Space Shuttle Columbia zu erzeugen. Dazu hat man einen leitenden Draht ausgerollt, der am Space Shuttle befestigt war, und durch einen kleinen Satelliten gespannt wurde. Dieser Draht bewegte sich im Magnetfeld der Erde um zwischen den Enden eine elektrische Spannung zu erzeugen.

1. Nimm an, dass:
 - das Magnetfeld mit Betrag B homogen ist.
 - das System Shuttle-Satellit sich mit konstanter Geschwindigkeit vom Betrag v senkrecht zu \vec{B} bewegt.
 - der Draht senkrecht zu \vec{B} ist und eine Länge L hat.

Drücke die Spannung zwischen den Drahtenden in Funktion dieser Variablen aus!

2. In der Höhe des Space Shuttles beträgt das Magnetfeld etwa 0,30 Gauß ($1 \text{ Gauß} = 10^{-4} \text{ T}$) und die Geschwindigkeit des Shuttles ist 7,5 km/s. Der Draht hat eine Länge von 20 km.

Welche Potentialdifferenz in Volt stellt sich ein?



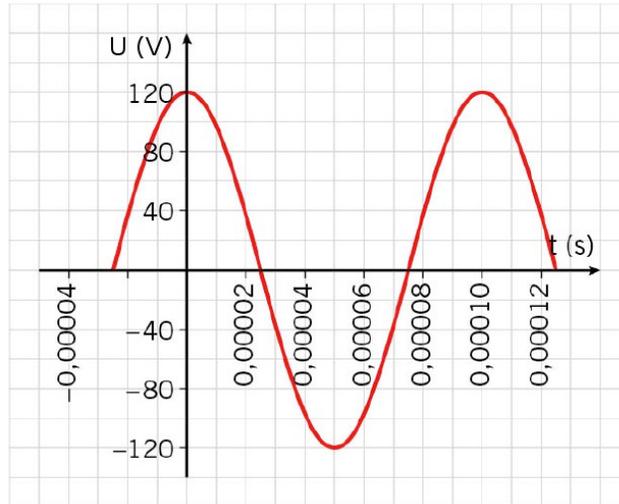
3. In der Höhe des Space Shuttles (380 km), ist die dünne Atmosphäre leicht ionisiert, sodass ein geschlossener Stromkreis entsteht (bestehend aus dem Draht und der Atmosphäre), in dem Strom fließen kann.

In welche Richtung fließt der Strom?

Der Widerstand des Drahtes entspricht ungefähr 100Ω . Wenn der Strom ca. 0,50 A beträgt, wie groß ist dann der Widerstand von 20 km ionisierter Luft?

Frage 6

Ein Kondensator besteht aus zwei kreisrunden, parallelen Platten, die jeweils einen Radius von 10 cm und einen Abstand zueinander von $d = 1,50 \text{ mm}$ haben. An die Platten wird eine Wechselspannung angelegt, deren zeitlicher Verlauf in der Abbildung dargestellt ist. Die Spannung ist in Volt angegeben, die Zeit in Sekunden.



Gegeben ist ein Punkt der Ebene, die in der Mitte zwischen den Platten liegt. Außerdem soll der Punkt von der Symmetrieachse der Platten einen Abstand von $r_1 = 4,0 \text{ cm}$ besitzen. Bestimme das induzierte magnetische Feld (Richtung, Vorzeichen und Stärke) in diesem Punkt zu den Zeiten $t_1 = 0,000025 \text{ s}$ und $t_2 = 0,000050 \text{ s}$!

Bestimme das induzierte magnetische Feld (Richtung, Vorzeichen und Stärke) zu den Zeiten $t_1 = 0,000025 \text{ s}$ und $t_2 = 0,000050 \text{ s}$, wenn der Abstand des Punktes von der Symmetrieachse $r_2 = 12,0 \text{ cm}$ beträgt!

Konstanten

Elektronenmasse	$9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
Protonenmasse	$1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Elektronenladung	$1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Coulomb-Konstante k im Vakuum	$8,988 \cdot 10^9 \text{ N(m/C)}^2$
Lichtgeschwindigkeit	$2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
Elektrische Feldkonstante im Vakuum ϵ_0	$8,854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{N m}^2)$
Magnetische Feldkonstante im Vakuum μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$