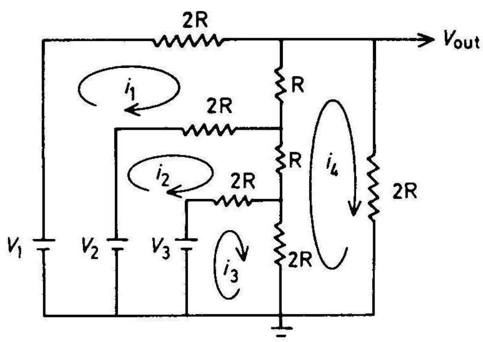
Semestralklausur zur Experimentalphysik 2

Besprechung ab dem 16. Juli 2007

Aufgabe 1 (7 Punkte) Im folgenden soll der Carnot-Zyklus diskutiert werden. (a) Zeichnen Sie das p-V Diagramm. (b) Benennen Sie die einzelnen Zustandsänderungen und berechnen Sie jeweils (i) die Änderung der inneren Energie ΔU, (ii) die dem System zugeführte Wärme ΔQ, und (iii) die am System geleistete Arbeit ΔW (c) Berechnen Sie den Wirkungsgrad. In welchem Zahlenbereich liegt er? Welche physikalische Bedeutung hat dieses Ergebnis in Bezug auf die Umwandelbarkeit von Wärme in Arbeit?

Aufgabe 2 (6 Punkte) (a) Schätzen Sie die Temperatur der Sonnenoberfläche unter der Annahme ab, dass die Temperatur der Erdoberfläche T_0 durch Sonneneinstrahlung erzeugt wird. Nehmen Sie an, die Sonne sei ein schwarzer Strahler, die Erde habe eine Reflektivität ϵ und T_0 sei auf der Erde überall konstant. Im Gleichgewicht entspricht die Wärmestrahlung der Sonne die die Erde erreicht, der Wärmestrahlung, die die Erde abstrahlt. (b) Begründen Sie warum in einem ungeheizten Glashaus auf der Erdoberfläche die Temperatur immer größer ist als T_0 und berechnen Sie wie hoch die Temperatur im Glashaus maximal werden kann?

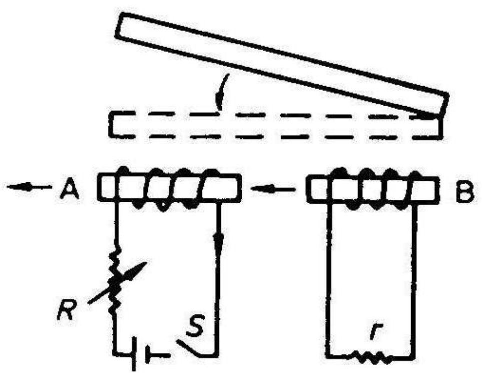
Aufgabe 3 (6 Punkte) (a) Geben Sie für das unten gezeigte Widerstandsnetzwerk die Ausgangsspannung V_{out} als Funktion von den Eingangsspannungen V_1, V_2, V_3 und R an. (b) Nehmen Sie dann an, dass V_1, V_2 und V_3 jeweils entweder die Spannung 0 oder 1V (gegenüber dem Erdpotential) annehmen können. Berechnen Sie die Ausgangsspannung für jede der 8 Kombinationen. (c) Wozu könnte dieses Netzwerk dienen?



Aufgabe 4 (5 Punkte) Ein Teilchen mit Ladung q bewegt sich aus dem Unendlichen kommend durch ein kleines Loch in den Mittelpunkt einer ungeladenen Kugelschale aus Metall. Die Kugelschale habe Radius R und Wandstärke t. Welche Arbeit wird verrichtet?

Aufgabe 5 (5 Punkte) Gegeben sei eine kreisförmige Leiterschleife in der xy-Ebene (Radius r, Mittelpunkt im Koordinatenursprung), die von einem Strom I durchflossen wird. (a) Berechnen Sie explizit das Magnetfeld $B(0,0,z)$ in einem Punkt auf der z-Achse. (b) Nehmen Sie nun an, dass das magnetische Feld der Erde durch solch eine Stromschleife im Erdmittelpunkt erzeugt wird, die in der Äquatorialebene liegt. Das magnetische Feld am Nordpol sei $0.8 \cdot 10^{-4}$ T und der Erdradius $R = 6 \cdot 10^6$m. Berechnen Sie die Stärke des elektrischen Kreisstroms wenn $\pi r^2 = 1\,\mathrm{m}^2$. ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\,\mathrm{H/m}$)

Aufgabe 6 (4 Punkte) Die Spulen in der unten gezeigten Anordnung seien gleichsinnig um Eisenkerne gewickelt. Bei geschlossenem Schalter S und im Gleichgewicht fliesst der Strom wie im Kreis A angedeutet. Geben Sie für die folgenden Fälle an, ob der elektrische Strom im Kreis B im Uhrzeigersinn oder entgegen dem Uhrzeigersinn fließt und begründen Sie Ihre Antwort: (a) Schalter S wird geöffnet, (b) Schalter S ist geschlossen und Widerstand R wird reduziert, (c) Schalter S ist geschlossen und ein Eisenstab wird wie in der Abbildung gezeigt neben die Spulen gelegt, (d) Schalter S ist geschlossen und die Spule A wird in Richtung des Pfeils von Spule B entfernt.

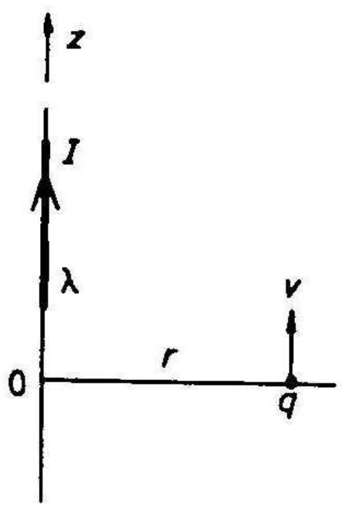


Aufgabe 7 (7 Punkte) Gegeben sei ein langer dünner Draht mit Längenladungsdichte λ. Im Draht fließe ein Strom der Stärke I. (a) Zeigen Sie, dass für die Abhängigkeit vom Abstand r für das Magnetfeld B und elektrische Feld E gilt

$$\vec{B}(r) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}\hat{e}_\theta \tag{1}$$

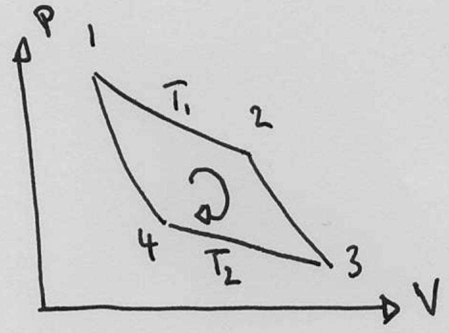
$$\vec{E}(r) = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}\hat{e}_r \tag{2}$$

(b) Mit welcher Geschwindigkeit v muss ein Teilchen mit Ladung q wie unten gezeigt entlang des dünnen Drahts fliegen, damit der Abstand r zwischen Ladung und Draht konstant ist.



Aufgabe 1

(a) Carnot Zyklus



besteht aus: ① Isotherme Expansion

② Adiabatische Expansion

③ Isotherme Kompression

④ Adiabatische Kompression

(b) Isotherme Expansion $V_1 \to V_2$

dabei $T_1 =$ konst : $-\Delta Q_{12} = \Delta W_{12} = -\int_{V_1}^{V_2} p\, dV$

vom System abgegebene Arbeit: $\Delta W_{12} = -RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$

vom Wärmebad aufgenommene Wärme: $\Delta Q_{12} = RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$

Adiabatische Expansion : $V_2 \to V_3$

$\Delta Q_{23} = 0$ daraus folgt $\Delta U_{23} = \Delta W_{23} = -\int_{V_2}^{V_3} p\, dV$

vom System abgegebene Arbeit $\Delta W_{23} = -C_V(T_1 - T_2)$

Isotherme Kompression : $V_3 \to V_4$

dabei $T_2 =$ konst : $\Delta W_{34} = -\Delta Q_{34}$

Aufgabe 1

am System geleistete Arbeit $\Delta W_{34} = RT_2 \ln \frac{V_3}{V_4}$

aus Wärmebad abgegebene Wärme $\Delta Q_{34} = -RT_2 \ln \frac{V_3}{V_4}$

<u>Adiabatische</u> <u>Kompression</u>

$\Delta Q_{41} = 0$ daraus folgt $\Delta U_{34} = \Delta W_{34} = \int_{V_4}^{V_1} p\, dV$

am System geleisteten Arbeit $\Delta W_{41} = C_V (T_1 - T_2)$

Gesamtbilanz des Kreisprozess

Adiabatengleichung $T_1 V_2^{\gamma-1} = T_2 V_3^{\gamma-1}$

$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_4^{\gamma-1}$

daraus folgt $\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$ $\ln \frac{V_3}{V_4} = \ln \frac{V_2}{V_1}$

Nettoarbeit $\Delta W_{23} + \Delta W_{41} = 0$

dann $\Delta W = \Delta W_{12} + \Delta W_{34} = -RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} + RT_2 \ln \frac{V_2}{V_1}$

$= -R(T_1 - T_2) \ln \frac{V_2}{V_1}$

hier $\Delta W < 0$ (System leistet Arbeit)

Aufgabe 1

nun für $\Delta Q = \Delta Q_{12} + \Delta Q_{34} = R(T_1 - T_2) \ln \frac{V_2}{V_1}$

($\Delta W = -\Delta Q$ $\rightarrow$ erster Hauptsatz der TD)

(c) Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{\text{gewonnene Arbeit}}{\text{zugeführte Wärme}}$$

für Carnot : $\eta_c = \frac{|\Delta W|}{\Delta Q_{12}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$

Bedeutung: Es gibt keine periodisch arbeitende Maschine, deren Wirkungsgrade höher ist als η_c

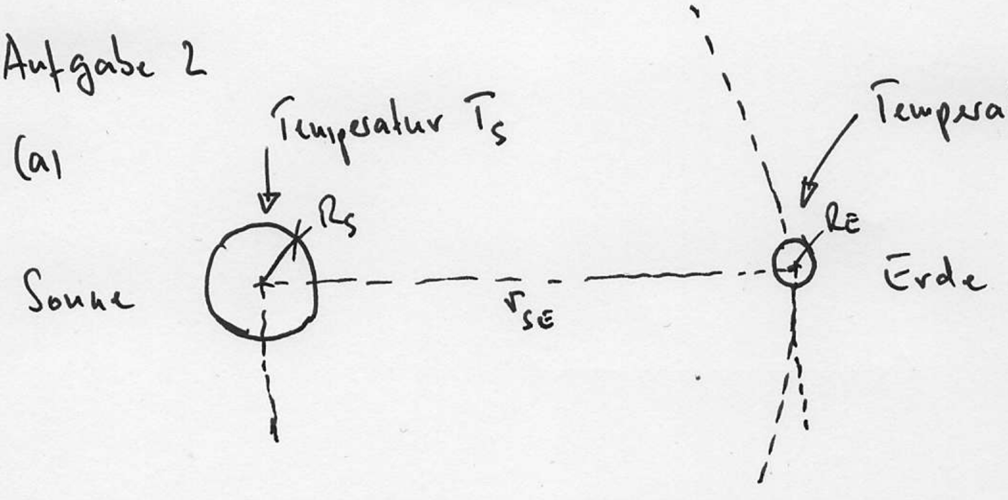
Beweis: schalte Wundermaschine mit Carnot-Maschine zusammen. CM leistet Arbeit ΔW um ΔQ_1 am Wärmebad T_1 abzugeben, bei Aufnahme von ΔQ_2 aus T_2

$|\Delta Q_1| = |\Delta Q_2| + |\Delta W|$

Für WM mit $\eta_{WM} > \eta_{CM}$ würde WM weniger Wärme aus T_1 entziehen um gleiche Arbeit zu leisten. Dann würde Wärme ohne äußeren Einfluß von kalt nach warm fl. ↯

Aufgabe 2

(a)



[war nicht gegeben:
$r_{SE} = 1.49 \times 10^{11}$ m
$R_S = 7 \times 10^8$ m

Oberfläche der Sonne : $4\pi R_S^2$

Oberfläche der Erde : $4\pi R_E^2$

Querschnittsfläche der Erde : πR_E^2

Wärmestrom von Sonne der auf Erde eintrifft :

$$J_S \, 4\pi R_S^2 \, \frac{\pi R_E^2}{4\pi r_{SE}^2}$$

davon absorbiert die Erde einen Anteil : $1-\varepsilon$

Wärmestrom von Erde ins All

$$J_E \cdot 4\pi R_E^2$$

im Gleichgewicht : $(1-\varepsilon) J_S 4\pi R_S^2 \frac{\pi R_E^2}{4\pi r_{SE}^2} = J_E 4\pi R_E^2$

Zhg von J_S, J_E mit T_S, T_E via Stefan-Boltzmann

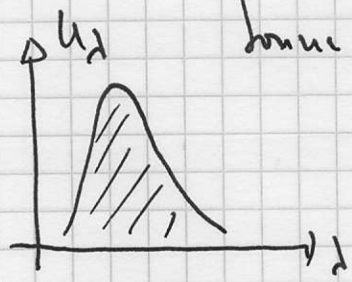
$$J_S = \sigma T_S^4 \qquad J_E = (1-\varepsilon)\sigma T_E^4$$

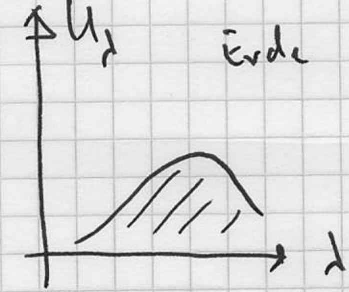
einsetzen liefert : $T_S = T_E \sqrt{\frac{r_{SE}}{R_S} \cancel{4}\, 2}$

[war nicht gefordert:
$T_S \approx \cancel{8700}$ K !
6189.5

Aufgabe 2 (b)

- betrachte Wärmestrom u der Sonne der Erde aufheizt, dann muss unter Berücksichtigung des Raumwinkel





mit $u = \int_0^\infty u_\lambda \, d\lambda$ ~~Ist $u_{Son} = u_{Erde}$~~

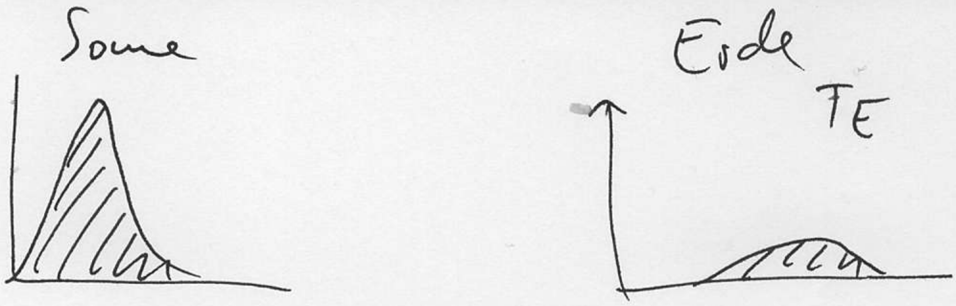
der integrierte Strom von Sonne $u_{Sonne} = u_{Erde}$ sein

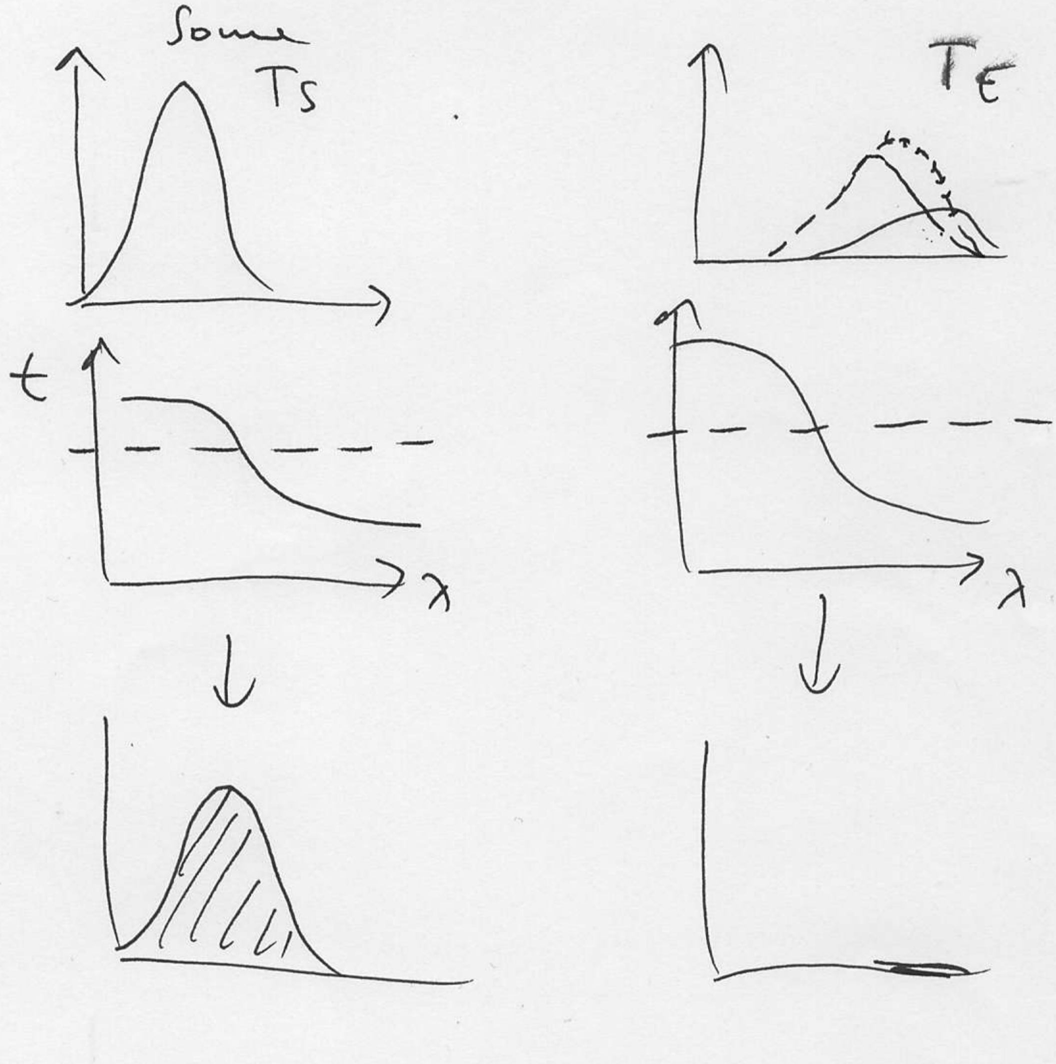
- mit dem Glas (also Glashaus) ist Emissivität ε Wellenlängenabhängig, d.h. Glas transmittiert gut für ~~kleinst~~ kleine λ, nicht gut für gr. λ

- dadurch Aufwärmung der Erde bis Gesamtbilanz $u_{Sonne} = u_{Erde}$ wieder stimmt

d.h. Aufwärmung bedeutet spektrales Gewicht wird zu kleinen λ verschoben bis genügend Wärme transmittiert wird.

- maximal mögliches T ist T_{Sonne}


Sonne
Erde
T_E


Sonne
T_S
T_E
t
λ
λ

Aufgabe 3

(a) Die Zeichnung trägt die Ströme in den verschiedenen Maschen. Nun Kirchhoffsche Maschenregel:

$$\left.\begin{aligned} V_3 &= \left[2(i_3-i_2)+2(i_3-i_4)\right]R \\ V_2-V_3 &= \left[2(i_2-i_1)+(i_2-i_4)+2(i_2-i_3)\right]R \\ V_1-V_2 &= \left[2i_1+(i_1-i_4)+2(i_1-i_2)\right]R \\ 0 &= 2(i_4-i_3)+(i_4-i_2)+(i_4-i_1)+2i_4 \end{aligned}\right\} (*)$$

$$V_{out} = 2i_4R \quad (**)$$

auflösen von $(*)$ nach i_4 und einsetzen in $(**)$ liefert

$$V_{out} = \frac{V_1}{3} + \frac{V_2}{6} + \frac{V_3}{12}$$

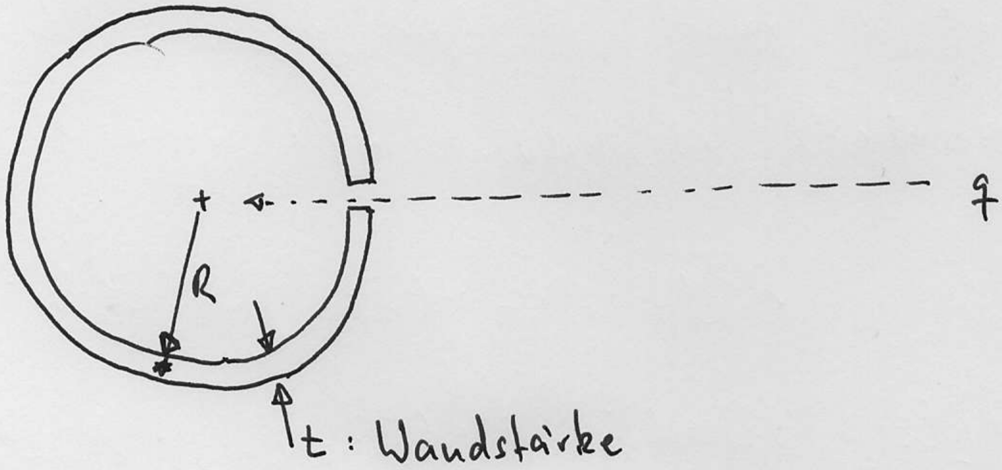
(b)

V_1	0	0	0	0	1	1	1	1
V_2	0	0	1	1	0	0	1	1
V_3	0	1	0	1	0	1	0	1
V_{out}	0	$1/12$	$1/6$	$1/4$	$1/3$	$5/12$	$1/2$	$7/12$

(c)

~~[illegible]~~ digital - analog Wandler

Aufgabe 4



elektrisches Feld einer Punktldg: $E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \frac{1}{r^2}$

mit Energie $W = \int_\infty \frac{\varepsilon_0}{2} E^2 \, dV$

Verschieben der Ladung führt zu Ladungsverschiebung auf Metallkugel - Bereich im Inneren der Schale ist Feldfrei !

Dies reduziert die Feldenergie der Ladung, wobei die Differenz der verrichteten Arbeit entspricht:

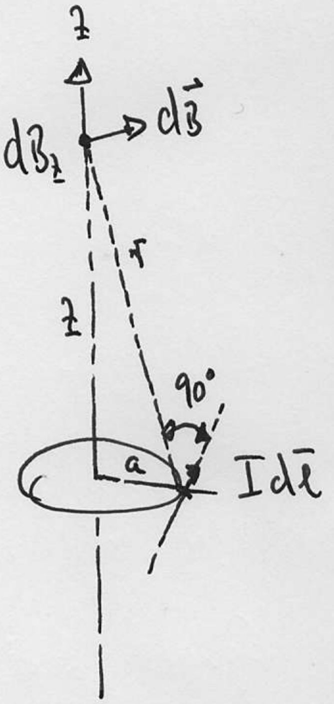
$$-\Delta W = \int_R^{R+t} \frac{\varepsilon_0}{2} \left(\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \right)^2 4\pi r^2 \, dr$$

Integration in Kugelkoordinaten

$$= \frac{q^2}{8\pi\varepsilon_0} \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R+t} \right)$$

Aufgabe 5

(a)



z - Achse der Schleife falle mit

z - Achse der Erde zusammen

Stromelement $Id\vec{l}$ trägt zu $\vec{B}$ bei

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3} \quad \text{Biot - Savart}$$

für den Kreisstrom liegt $d\vec{B}$ in

der Ebene die $\vec{r}$ und $I d\vec{l}$

Aufspannen

bei Integration entlang Kreis bleibt nur

z - Komponente übrig

$\bar{B} = B_z e_z$ oder $dB_z = dB \frac{a}{r}$

Am Nordpol der Erde $z = R$ $(R \gg a)$

$r = \sqrt{R^2 + a^2} \approx R$

$$B_z = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Ia}{R^3} \oint dl = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Ia}{R^3} 2\pi a = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I \cdot S}{R^3}$$

$\pi a^2 = S$: Fläche die Kreisstrom umschließt

Aufgabe 5

(b) magnetisches Moment $\vec{m} = I\, S\, \hat{e}_z$

bzw $m = \dfrac{2\pi R^3}{\mu_0} B_z$

mit den Zahlenwerten aus Aufgabe

$R = 6 \times 10^6\ m \qquad B_z = 8 \times 10^{-5}\ T$

folgt $m = \dfrac{2\pi R^3}{\mu_0} B_z = 8.6 \times 10^{21}\ Am^2$

oder $\underline{I = 8.6 \times 10^{21}\ A}$

<u>Bemerkung</u>: würde der Strom entlang Äquatorialebene am Äquator fließen bekäme man

$S = \pi R^2 = \pi \times 36 \times 10^{12}\ m^2 = 1.08 \times 10^{14}\ m^2$

dann wäre $\underline{I \approx 8.6 \times 10^7\ A}$!!!

Aufgabe 6 wichtig: A und B gleichsinnig

(a) Schalter S wird geöffnet:

bei geschlossenem S fließt Strom wie gezeigt

dann B-Feld in Spule A von rechts nach links

öffnen von S reduziert B-Feld

Spule B erzeugt Strom der versucht B-Feld aufrecht zu erhalten

Strom in B fließt in gleicher Rtg wie zuvor in A $\Rightarrow$ im Uhrzeigersinn

(b) S ist geschlossen, R wird reduziert

Strom in Spule A steigt an.

Spule B versucht das zu verhindern

Strom in B fließt entgegengesetzt wie in Spule A $\Rightarrow$ entgegen Uhrzeigersinn

Aufgabe 6

(c) S ist geschlossen

Fe - Stab wird neben Spule A gelegt

dadurch wird Feld in Spule A erhöht

Spule B versucht das zu verhindern

Strom in B fließt entgegengesetzt wie in Spule A

=) entgegen Uhrzeigersinn

(d) S ist geschlossen, Spule A wird entfernt

dadurch wird Feld in B reduziert

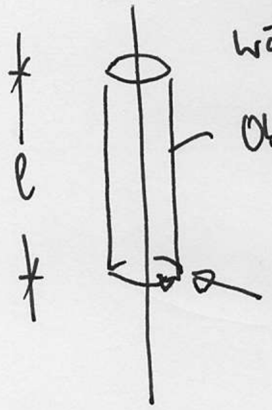
Strom in B fließt so um das zu verhindern

d.h. Strom fließt in gl. Rtg wie in A

=) im Uhrzeigersinn

Aufgabe 7

(a) Leiter



wähle:

Oberfläche pro Länge: S

Kreisförmige Linie die Leiter umgibt: C

aus: $\oint \bar{E} \cdot d\bar{S} = \frac{\lambda \cdot l}{\varepsilon_0}$

$ = E(r)\, 2\pi r l$

$\Rightarrow E(r) = \frac{\lambda}{2\pi \varepsilon_0 r} \hat{e}_r$

aus $\oint \bar{B} \cdot d\bar{r} = B(r)\, 2\pi r = \mu_0 I_0$

$$\Rightarrow B(r) = \frac{\mu_0 I_0}{2\pi r} \hat{e}_\theta$$

für Zylinderkoordinaten (r, θ, z) und

dem Ursprung im Draht

(b) Gesamtkraft auf Ladung q mit

Geschwindigkeit $\bar{v} = v \vec{e}_z$

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\bar{v} \times \vec{B} = \frac{q\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r} \hat{e}_r + \frac{q\mu_0 I}{2\pi r} v(-\hat{e}_r)$$

Es entsteht aufgrund der Lorentzkraft

eine "radiale" Kraft $\bar{F}$.

Damit Flugbahn unverändert bleibt muss

$\bar{F}$ verschwinden, d.h.

$$\frac{q\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r} - \frac{q\mu_0 I}{2\pi r} v = 0$$

umwandeln liefert $\underline{v = \frac{\lambda}{\varepsilon_0\mu_0 I} = \frac{\lambda c^2}{I}}$