

**Maturitätsprüfungen 2022 – Physik schriftlich****Klassen:** 4A (DaU)

Prüfungsdauer: 4 Stunden

Erlaubte Hilfsmittel: Taschenrechner TI N'Spire CAS inkl. «solve» oder einfacheres Modell,  
DPK Formelsammlung

**Lösungen**

Beginnen Sie jede Aufgabe auf einem neuen Blatt.  
Der Weg zum Resultat muss nachvollziehbar sein.  
In allen numerischen Daten und Resultaten sind die korrekten Einheiten mit anzugeben und sinnvoll zu runden.  
Endresultate bitte doppelt unterstreichen.

**Bewertung**

Die maximale Punktzahl beträgt  $p_{\max}=48.5$  Punkte. Die Benotung erfolgt gemäss der Formel:  
 $\text{Note} = \text{Punktesumme} / (0.93 \cdot p_{\max}) - 5 + 1$ , wobei auf halbe Noten gerundet und keine Note über 6 gesetzt wird, d.h. für 93% der Punkte gibt es die Note 6.0.

Name: .....

Mögliche Punktzahl

Erreichte Punktzahl: .....

Note: .....

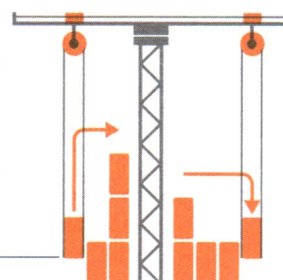
**1. Energiespeicher** (Abbildungen und Text rechts aus BASF, Creating Chemistry 10.2021)  
(11 Punkte)

Für eine CO<sub>2</sub> arme oder freie Energiezukunft braucht es neben erneuerbaren Energiequellen auch Speicher.

- a. Wir schätzen zunächst den Bedarf, als die Energiemenge  $E$  ab, die ein grosses Kraftwerk (1GW) während 8 Wochen an elektrischer Energie erzeugt. Hiermit käme die Schweiz knapp «über den Winter». Berechnen Sie  $E$ . (1P)
- b. Bei der Schwerkraftanlage (siehe rechts) gehen wir von Betonblöcken (3 Tonnen) aus, die 60m in die Höhe gezogen werden. Wie viele solcher Blöcke braucht es, für die Speicherung von  $E$ ? Beachten Sie, dass nur etwa die halbe Höhe nutzbar ist, da ja nicht alle Klötze ganz nach oben gezogen werden. (1P)
- c. Wenn die Blöcke mit 3m/s herabgelassen werden, wie viele müssen dann gleichzeitig in Bewegung sein, um die 1GW zu erzeugen? (1P)
- d. Beton hat eine ziemlich grosse graue Energie. Machen Sie zwei Vorschlägen, was man sonst als stapelbare Gewichte verwenden könnte. (1P)

**Schwerkraft-Speicheranlage**

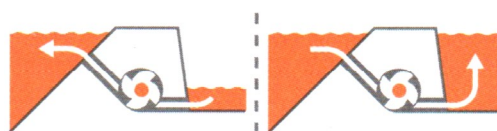
Die Schwerkraft hält uns am Boden – und macht eine futuristische Speicher-idee des Schweizer Start-ups Energy Vault möglich: Ein automatischer Kran hebt mit überschüssiger Energie aus Wind- und Solarstrom große Blöcke aus Beton. Der riesige Energiespeicher des Prototyps wird angezapft, indem die Gewichte wieder auf den Boden abgesenkt werden und einen Generator antreiben.



- e. Die künstlichen «Inseln» (siehe rechts, eigentlich eher Betonringe im Meer) funktionieren ähnlich wie die Schweizer Speicherseen, nur mit viel weniger Höhenunterschied  $h$ . Gehen wir von  $h=10\text{m}$  aus und beachten wir den Punkt aus Teil b. Das Ostseewasser hat einen sehr geringen Salzgehalt. Welche Fläche (in  $\text{ha}$  und  $\text{km}^2$ ) müsste der See haben, um die Energiemenge  $E$  aus Teil a zu speichern? (1.5P)
- f. Welche praktischen Hindernisse sehen Sie? Nennen Sie zwei wichtige. (1P)

### Künstliche Atolle als Energie-Inseln

Eine künstliche Insel vor der Küste Dänemarks als Stromspeicher – diese Konzeptidee hatte das dänische Architekturbüro Gottlieb Paludan aus Kopenhagen. Ist überschüssige Energie vorhanden, wird Wasser aus der Mitte der Insel herausgepumpt. Wird Energie gebraucht, fließt es zurück und treibt einströmend die Turbinen an.



- g. Nun soll  $E$  mit Hilfe flüssiger Luft gespeichert werden, siehe rechts. Nehmen wir einen Wirkungsgrad von (hohen) 50% an, wir müssen also  $2 \cdot E$  aufwenden, um Luft zu verflüssigen. Wie gross ist die Masse  $m$  und das Volumen  $V$  (in  $\text{m}^3$ ) der flüssigen Luft (=Stickstoff), die in den Tanks gespeichert werden muss? Wir gehen von einer Kompressionsarbeit  $5.58\text{kJ/mol}$  und einer Dichte des flüssigen Stickstoffs von  $0.81\text{g/cm}^3$  aus. (1.5P)
- h. Um einen vernünftigen Wirkungsgrad zu erreichen, muss die Wärme (geschätzt  $0.8 \cdot E$ ), die beim Verflüssigen durch Kompression erzeugt wird, zwischengespeichert werden («hot and cold thermal stores»), z.B. mit Wasser. Welche Wassermenge  $V$  ist dazu nötig, wenn die beiden Reservoirs mit  $20^\circ\text{C}$  bzw.  $90^\circ\text{C}$  arbeiten? (1P)
- i. Welche Vor- und Nachteile könnte das System haben? Nennen Sie je zwei. (2P)

### Flüssige Luft zum Speichern von Energie

Nicht Magie, sondern Physik: Auf minus  $196$  Grad Celsius gekühlte Luft wird flüssig. Bei sogenannten kryogenen Energiespeichern wird überschüssige Energie aus erneuerbaren Quellen in flüssiger Luft zwischengespeichert. Wenn Elektrizität benötigt wird, treibt die zuvor erwärmte und wieder in einen gasförmigen Zustand gebrachte Luft eine Turbine an, die wiederum Strom erzeugt. In England baut Highview Power erstmals eine kryogene Batterie mit einem  $50\text{-Mega-watt-Flüssig-luftspeicher}$  in kommerziellem Maßstab.



**2. Wärmeisolation (1 Punkt)**

Die neuen Raumschiffe (Oberfläche  $20\text{m}^2$ ) von Richard Branson und Jeff Bezos werden beim Eintritt in die Erdatmosphäre aussen ziemlich heiss. Damit der Innenraum nicht zu warm wird, muss die Heizleistung auf  $400\text{W}$  begrenzt werden. Welche Dicke  $d$  müsste ein Isolationsmaterial mit  $\lambda=0.05\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  bei  $1000^\circ\text{C}$  Aussentemperatur (bei  $20^\circ\text{C}$  innen) mindestens haben? Übertrittskoeffizienten müssen für diese Abschätzung hier nicht berücksichtigt werden.

**3. Black Box (7 Punkte)**

- a. Ein «Vierpol» hat die Anschlüsse A, B, C und D. Der Inhalt ist nicht einsehbar, aber man weiss, dass sich im Inneren ein Widerstand  $R_1$ , ein Kondensator C und eine Si-Diode (mit festem Spannungsabfall  $U=0.7\text{V}$  und Vorwiderstand  $R_2$ ) befinden.



Diese sind einfach zwischen den Anschlüssen verbaut. Ein Netzteil mit Strombegrenzung  $I_{\text{max}}=10\text{mA}$  und  $U=5\text{V}$  wird verwendet, um herauszufinden, wie die Bauteile eingebaut sind. Es ergeben sich folgende Stromstärken:  $I_{AB}=I_{BA}=5\text{mA}$ ,  $I_{AC}=8.6\text{mA}$ ,  $I_{CA}=I_{BD}=I_{DB}=I_{CD}=I_{DC}=0\text{mA}$ .

Da die Situation immer noch unklar ist, legt man jetzt  $50\text{Hz}$  Wechselspannung an, ebenfalls  $U=5\text{V}$ . Alle Stromstärken bleiben gleich, nur  $I_{BD}=I_{DB}=78.5\mu\text{A}$ .

Finden Sie die Kennzahlen der Bauelemente und zeichnen Sie ein Schaltbild (4P).

- b. Ein anderer Vierpol enthält vier Widerstände  $R_A$  bis  $R_D$ . Dieses Mal sind alle Bauteile sternförmig mit dem Mittelpunkt M verbunden. Es wird wieder mit  $U=5\text{V}$  aber ohne Strombegrenzung getestet:

$I_{AB}=20\text{mA}$ ,  $I_{AC}=33.3\text{mA}$ ,  $I_{BC}=16.7\text{mA}$  und  $I_{CD}=41.7\text{mA}$ . Zeichnen Sie ein Schaltbild und finden Sie die Widerstandswerte. (3P)

**4. Das neue 5G Netz (3 Punkte)**

Das neue Mobilnetz arbeitet u.a. mit Frequenzen zwischen  $24\text{GHz}$  und  $60\text{GHz}$ . Welche Wellenlängen hat die neue Strahlung und wie gross ist der Energiebereich eines «5G Photons»? Drücken Sie die Energiewerte in der Einheit  $\text{eV}$  aus und vergleichen Sie mit der Stärke eine C-C Bindung ( $350\text{kJ/mol}$ ). Folgerung?

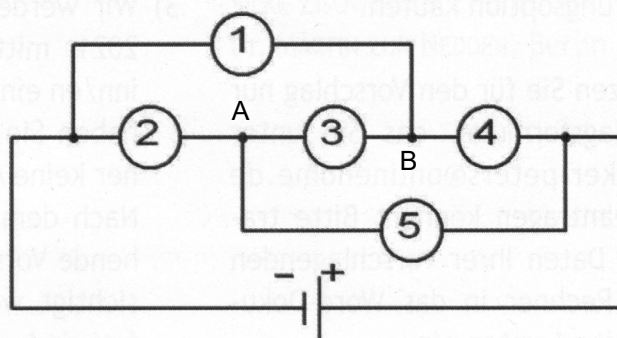
**5. Relativität (2 Punkte)**

Der Stern Sirius aus dem Sternbild grosser Hund befindet sich in  $8.6$  Lichtjahren Entfernung von der Erde. Ein interstellares Raumschiff, welches sich mit  $80\%$  der Lichtgeschwindigkeit bewegt, macht sich auf die weite Reise. Beschleunigungs- und Bremsseffekte werden nicht berücksichtigt. Wie lange dauert die Reise (one way) aus Sicht der Erde bzw. aus Sicht der Astronauten?

**6. Kirchhoff? (6 Punkte)**

In der Schaltung rechts stehen die Zahlen 1-6 für Widerstände  $R_1 - R_6$ .

- a. Warum ist diese Schaltung nur etwas fürs Schwerpunktfach Physik? (1P)
- b. Nehmen wir nun an, alle Widerstände seien gleich gross. Was fällt Ihnen auf, wenn Sie die Schaltung vom Pluspol und vom Minuspol her aus ansehen? Was können Sie deshalb über die Spannung zwischen A und B sagen? Was über den Strom  $I_3$ ? Wie gross ist also der Ersatzwiderstand in diesem Spezialfall? (2.5P)



- c. Nun sind nicht mehr alle Widerstände gleich gross.  $R_1=R_2=R_4=100\Omega$  und  $R_3=R_5=50\Omega$ . Berechnen Sie nach Kirchhoff die Ströme  $I_1$  bis  $I_5$  für  $U=12V$ . (3P)

**7. Leuchtstoffröhren (10.5 Punkte)**

Leuchtstoffröhren erzeugen immer noch den Grossteil allen künstlich erzeugten Lichts, auch wenn LEDs rasch aufholen. Zur eigentlichen Röhre (im Betrieb als ohmscher Widerstand  $R$  zu betrachten) in Serie wird eine «Drosselspule» geschaltet. Diese hat eine Induktivität  $L$  und einen ohmschen Widerstand  $R_{Drossel}$ .

Die Röhre inklusive Drosselspule wird ans CH Stromnetz angeschlossen. Mit einem Multimeter misst man über der Röhre eine Spannung von  $U_{Röhre}=70V$ , über der Drosselspule  $U_{Drossel}=215V$  und  $I=890mA$ .

- a. Skizzieren Sie ein beschriftetes Schaltbild und ein gutes, aber nicht massstäbliches Zeigerdiagramm. (2P)
- b. Finden Sie rechnerisch den Phasenwinkel  $\varphi$ . (Ersatzlösung  $70^\circ$ ), den induktiven Teil der Spannung  $U_L$ , sowie den ohmschen Teil  $U_{R+D}$  der Spannung. (3P)
- c. Berechnen Sie die Wirkleistungen  $P_D$  und  $P_R$  von Drossel und Röhre, sowie die Blindleistung  $Q_D$  der Drossel. (1.5P)
- d. Wie gross muss die Induktivität der Spule sein? (1P)
- e. Die Spule ist aus Kupferdraht (Durchmesser  $d=0.5mm$ ,  $\rho=1.7 \cdot 10^{-8}\Omega m$ ) gewickelt. Wie lang ist der Draht? (2P)

**8. Alternative Kernfusion (8 Punkte)**

Die amerikanische Firma general fusion verfolgt einen interessanten Ansatz zur kontrollierten Kernfusion als Energiequelle. Anstatt wie in der Sonne Wasserstoffatome zu verschmelzen, verwendet man dort Tritium T ( $^3\text{H}$ ) und Deuterium D ( $^2\text{H}$ ). Letzteres findet man in den Meeren, ersteres muss künstlich erzeugt werden.

- a. Tritium entsteht in der Stratosphäre gemäss  $^{14}\text{N} + n \rightarrow X + \text{T}$ . Was ist X? (1P)
- b. In grösserem Massstab wird Tritium in Kernreaktoren aus Lithium erbrütet:  
 $^6\text{Li} + n \rightarrow ^4\text{He} + \text{T} + \text{Energie}$ . Finden Sie die freiwerdende Energie und drücken Sie das Ergebnis in MeV aus. (2P)
- c. Tritium selbst ist ein Betaminusstrahler mit einer Halbwertszeit von 12.3 Jahren. Stellen Sie die Zerfallsgleichung auf und bestimmen Sie die Zeit, nach der nur noch 1 Promille der Anfangsmenge vorhanden ist. (1P)
- d. Das beim Betazerfall freiwerdende Elektron hat eine Energie von 5.7keV. Berechnen Sie seine Geschwindigkeit
  - d<sub>1</sub>. klassisch und (1P)
  - d<sub>2</sub>: relativistisch. (1P)
- e. Der Zerfallskern erhält so einen Rückstoss. Bestimmen Sie auch seine Geschwindigkeit (klassisch). Dieser Geschwindigkeit entspricht nach  $E = 3/2 kT$  eine Temperatur. Berechnen Sie auch diese. (2P)

Viel Erfolg wünscht Ihnen U. Dammer.

Lösungen: Soweit nicht anders erwähnt, jede Teilaufgabe 1P

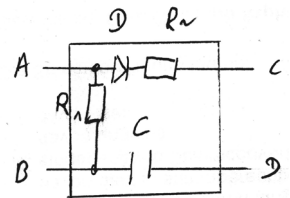
1.

- $E = P t = 4.84 \text{ ee } 15 \text{ J}$
- $E = n_1 \cdot 0.5 \text{ mgh} \rightarrow n_1 = 5.48 \text{ ee } 9$
- $P = W/t = \text{mgvt}/t \cdot n_2 \rightarrow n_2 = 11300$
- Betonkübel mit Dreck/Abraum gefüllt, Stahl mit Wasser...
- $E = \text{mgh}/2 = \rho A h g \rightarrow A = 9.86 \text{ ee } 9 \text{ m}^2 = 9.9 \text{ ee } 5 \text{ ha} \text{ (1P)} = 9.9 \text{ ee } 3 \text{ km}^2 \text{ (0.5P)}$
- Kosten, graue Energie der Mauer, Haltbarkeit der Mauer (muss dicht sein), ...
- Für exakte Rechnungen müsste man den Prozess kennen... alles nur Abschätzungen  
 $2E = L \cdot n \rightarrow n = 1.73 \text{ ee } 12 \text{ mol} \rightarrow m = 4.86 \text{ ee } 10 \text{ kg} \rightarrow V = 6.0 \text{ ee } 7 \text{ m}^3 \text{ 1.5P}$
- $0.8E = cm\Delta\vartheta \rightarrow m = 1.32 \text{ ee } 10 \text{ kg} \rightarrow V = 1.32 \text{ ee } 7 \text{ m}^3$
- Vorteil: kompakt, keine teuren Chemikalien, lange Lebensdauer  
Nachteil: Preis, Effizienz (Wirkungsgrad) (2P)

2.  $P = Q/t = \lambda \cdot \Delta\vartheta \cdot A/d \rightarrow d = 2.45 \text{ cm}$

3.

- $R_1 = U/I_1 = 1 \text{ k}\Omega$  1P  
 $Z = 1/(2\pi f C) = U/I \rightarrow C = 50 \text{ nF}$  1P  
 $R_2 = (U - 0.7V)/I_{AC} = 500\Omega$  1P Bild 1P
- $R_A + R_B = 250\Omega$ ,  $R_A + R_C = 150\Omega$ ,  $R_B + R_C = 300\Omega$ ,  $R_C + R_D = 120\Omega \rightarrow R_A = 50\Omega$ ,  $R_B = 200\Omega$ ,  $R_C = 100\Omega$ ,  $R_D = 20\Omega$  (1.5P aufstellen, 1 P lösen lassen, Bild 0.5P)

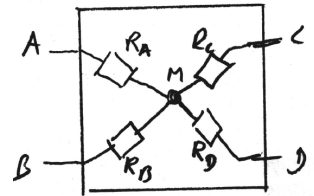


4.  $\lambda = c/f = 1.25 \text{ cm}$  bzw.  $0.5 \text{ cm}$  (0.5P)

$E = hf = 1.59 \text{ ee } -23 \text{ J} = 9.93 \text{ ee } -5 \text{ eV}$  bzw.  $3.97 \text{ ee } -23 \text{ J} = 2.4 \text{ ee } -4 \text{ eV}$  (1.5P)

$E(C-C) = 350 \text{ kJ/mol} = 3.63 \text{ eV}$

Also 5G kann C-C Bindung nicht aufbrechen und auch sonst keine «Chemie» machen. (1P)



5.  $T = s/v = 8.6c \text{ 1Jahr}/0.8c = 10.8 \text{ Jahre}$  (Sicht der Erde) 1P

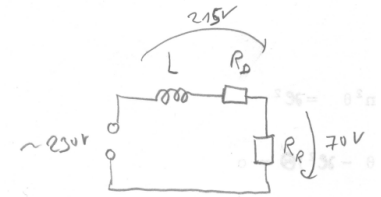
$T' = s'/v = s \cdot k/v = 6.5 \text{ Jahre}$  mit dem relativistischen Faktor k (Lorenzkontraktion) 1P

6.

- Lässt sich nicht in Serie- und Parallelschaltung auflösen
- Symmetrie, 0.5P also ist  $U_{AB} = 0V$  (1P) und  $I_3 = 0mA$  (0.5P),  $R_{ges} = R/2 + R/2 = R$  (1P)
- Drehsinne mathematisch positiv  
 Knoten:  $I_0 = I_4 - I_5$ ,  $I_1 + I_4 = I_3$ ,  $I_3 - I_5 = I_2$ ,  $I_2 = I_1 - I_6$  (1P)  
 Maschen  $U = R_4 I_4 - R_1 I_1$ ,  $R_5 I_5 + R_4 I_4 + R_3 I_3 = 0$ ,  $R_1 I_1 + R_3 I_3 + R_2 I_2 = 0$   
 (7 Gln, 7 Unbekannte) (1P)  
 $\rightarrow$  Solve  $I_0 = I_6 = 142.5mA$ ,  $I_1 = 67.5mA$ ,  $I_2 = 75mA$ ,  $I_3 = -15mA$ ,  $I_4 = 52.5mA$ ,  $I_5 = -90mA$  (1P)

7.

a. je 1P, siehe rechts



b.  $215^2 = 230^2 + 70^2 - 2 \cdot 230 \cdot 70 \cdot \cos\varphi \rightarrow \varphi = 68.9^\circ$  (1P)

$\sin\varphi = U_L / 230V \rightarrow U_L = 214V$  (Ersatz 216V)

$U_{R,D} = \sqrt{\dots} = 82V$  (Ersatz 78.7V) (1P)

$U_D = 82.7V - 70V = 12.7V$  (Ersatz 8.7V) (1P)

c.  $P_D = U_D \cdot I_D = 11.3W$  (0.5P)

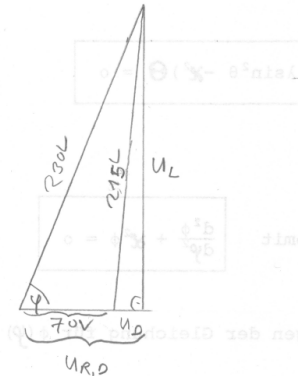
$Q_D = 214V \cdot I = 190W$  (0.5P)

$P_R = U_R \cdot I = 62.3W$  (0.5P)

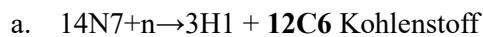
d.  $U_L = Z_L \cdot I = 2\pi f L I \rightarrow L = 765mH$

e.  $R_D = 12.7V / I = 14.3\Omega$  (Ersatz 9.7 $\Omega$ ) (1P)

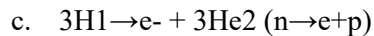
$R_D = \rho L / A \rightarrow L = 165m$  (Ersatz 112m) (1P)



8.



b.  $E = c^2(M_{Li} + m_n - M_{H4} - m_T) = c^2 \cdot 5.13 \cdot 10^{-3} u = 7.67 \cdot 10^{-13} J$  (1.5P) = 4.78MeV (0.5P)



$0.001 = 0.5^{(t/T)} \rightarrow t = 123$  Jahre

d.  $E = 0.5mv^2 \rightarrow v = 4.48 \cdot 10^7$  m/s (nicht relativistisch) 1 P

$E = (m - m_0)c^2 = (k - 1)m_0c^2 \rightarrow v = 4.44 \cdot 10^7$  m/s 1P

e.  $0 = m_1v_1 + m_2v_2 \rightarrow v_2 = -m_1/m_2 v_1 = -8100$  m/s 1P

und  $.5m_1v_1^2 = 3/2 kT \rightarrow T = 7890K$  1P