

NAME: _____

PUNKTE:

NOTE:

PHYSIKMATUR PROMOTION 148

Gymnasium Unterstrass Zürich

- Termin:** Mo 26. August 2019
- Zeit:** 8.00 – 11.00 Uhr (3 Stunden)
- Material:** Taschenrechner TI-30X Pro MultiView, Schreibzeug,
bis zu 2 Übersichtsblätter (A4, vorne und hinten)
persönlich bearbeitete Formelsammlung Physik (A. Gertsch)
- Bewertung:** Bei jeder Aufgabe ist die maximal mögliche Punktzahl angegeben.
Total sind 58 Punkte möglich.
Für die Maximalnote werden nicht alle Punkte benötigt.
Gib alle Resultate mit passenden SI-Vorsätzen und der korrekten Anzahl signifikanter Ziffern an. Diese Aspekte fließen in die Bewertung mit ein.
- Examinator:** Alexander Gertsch
- Experte:** Dr. Rainer Mertens

Löse alle Aufgaben auf den mitverteilten karierten Blättern.

Verwende für jede Aufgabennummer ein neues Blatt.

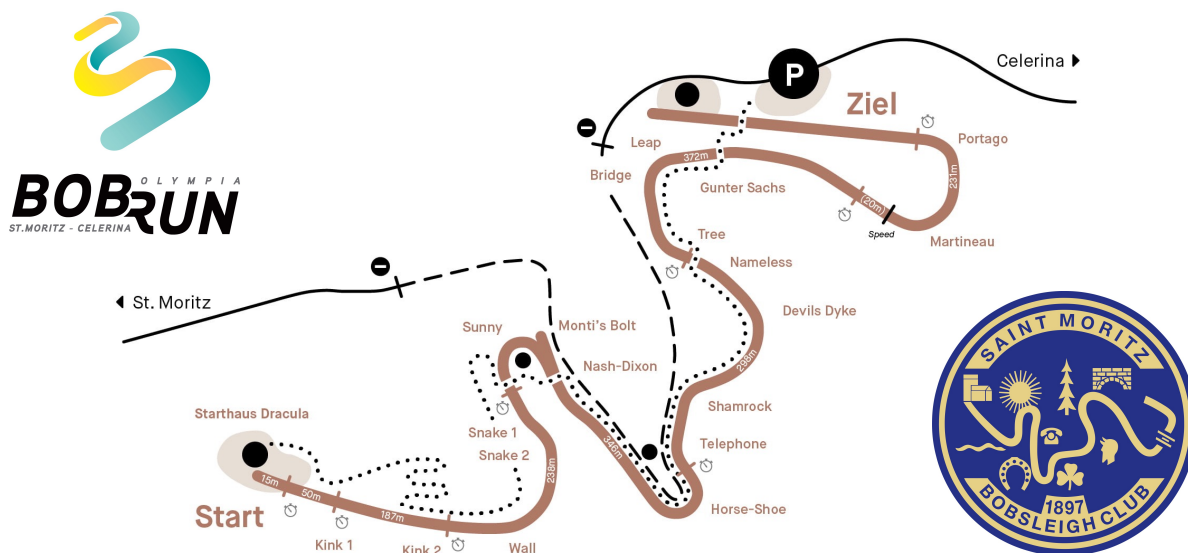
**Bei allen Arten von Bildern oder Skizzen darf nach Wunsch
direkt auf den Aufgabenblättern gearbeitet werden.**

Und nun viel Erfolg bei Ihrer Physikmatur!

1 Der Olympia Bob Run St. Moritz – Celerina (18 Punkte)

Wikipedia: "Der Olympia Bob Run St. Moritz – Celerina wurde 1904 in Betrieb genommen und ist damit die älteste und einzige Natureisbobbahn der Welt. ... Die Streckenführung verläuft noch heute fast unverändert über eine Länge von 1722 Metern. Der Höhenunterschied beträgt 130 Meter bei einem durchschnittlichen Gefälle von 8.14 %."

Hier die Streckenübersicht, das Bahn-Logo und das Logo des Bobclubs St. Moritz:



Teil A: Die Beschleunigung von Kink 1 bis Kink 2

Die **Kufen** eines **Rennbobs** werden von den Teams gehütet wie ein Staatsgeheimnis. Sind sie gut, läuft der Bob. In dieser Aufgabe wollen wir bezüglich **Gleitreibungszahl** von einem sehr guten Wert von 0.0135 zwischen den Kufen und dem Eis ausgehen.

Betrachten wir zunächst einen Abschnitt im oberen Teil der Bahn. Auf der 187 m langen Strecke zwischen den beiden Zeitmessungen bei **Kink 1** und **Kink 2** wird eine Höhendifferenz von 17.4 m zurückgelegt, wobei es sehr gleichmässig bergab geht. Der Bob weist samt Insassen eine **Masse** von 385 kg auf.

- (a) **Berechne die Beschleunigung, die der Bob auf diesem Streckenabschnitt erfährt. (5 Punkte)**

Hinweis: Wir wollen annehmen, dass die Geschwindigkeit bis dahin noch so gering ist, dass der Luftwiderstand vernachlässigt werden darf.

Tipps: Kräfteskizze!

- (b) Für den 187 m langen Abschnitt zwischen Kink 1 und Kink 2 benötigte der schnellste Zweierbob (F. Friedrich, A. Schüller, GER) beim diesjährigen Weltcup-Rennen Ende Januar 12.16 s.

Mit welcher Anfangs- und mit welcher Endgeschwindigkeit ging der deutsche Bob in diesen Abschnitt hinein resp. aus ihm hinaus? (3 Punkte)

Hinweis: Wenn kein vertrauenswürdiger Beschleunigungswert aus Aufgabe (a) vorliegt, so verwende für die Beschleunigung einen Wert von $0.815 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

- (c) **Weshalb dürfen wir bei den Berechnungen unter Aufgabe (b) eigentlich von einer gleichmässig beschleunigten Bewegung ausgehen? (1 Punkt)**

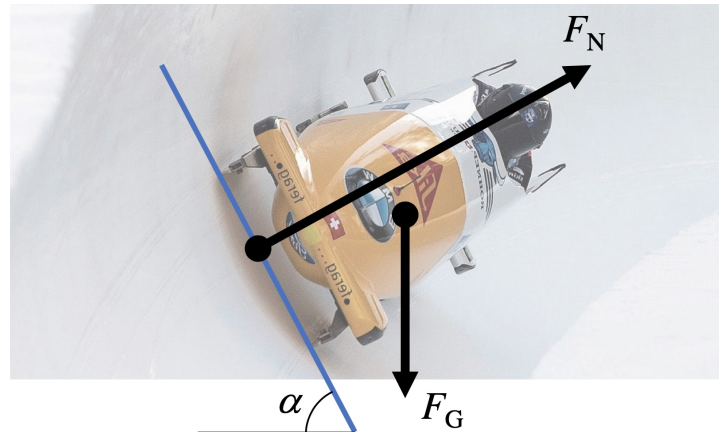
Gesucht ist eine kurze Begründung, die auf die Grundaussagen der Newton'schen Mechanik zurückgreift!

Teil B: Kurvenfahrt im Horse-Shoe

Betrachten wir den Bob nun im **Horse-Shoe** (= Hufeisen). Dies ist eine der engsten Bobbahnkurven weltweit (Kurvenradius $r = 14.8 \text{ m}$). Spitzenbobs durchfahren ihn mit etwa $95 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ Geschwindigkeit, wobei die Bobfahrerinnen und -fahrer sehr hohe künstliche Schwerkräfte erfahren.

(d) **Wie viele g 's spüren die Spitzenfahrer/-innen im Horse-Shoe? (5 Punkte)**

Hier der Bob in der Steilwandkurve. In diesem Moment wirken nur F_G und F_N ! (In der Steilwandkurve braucht es keine Haftreibung, die den Bob vor dem Abrutschen bewahrt.)



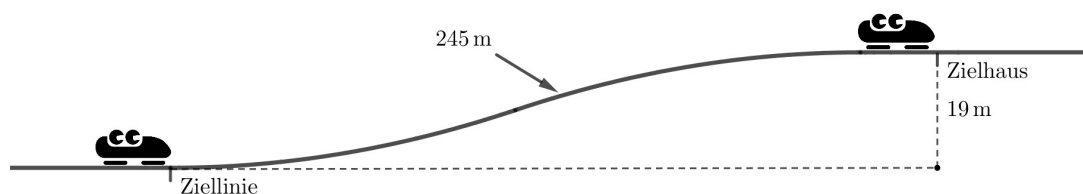
Hilfsfrage 1: Wohin zeigt die resultierende Kraft und wie nennen wir sie in dieser Situation?

Hilfsfrage 2: Welche Kraft gibt uns Menschen das Gefühl schwer zu sein?

Tipp: Zerlege hier nicht die Gewichtskraft, sondern die Normalkraft, sodass sich damit Kraftgleichungen aufstellen lassen.

Teil C: Abbremsen hinter der Ziellinie

Sobald die **Ziellinie** überquert ist, geht es ans Bremsen, denn die bei Spitzenteams am Ende erreichten $145 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ müssen rasch wieder reduziert werden, sodass der Bob nach ca. 245 m beim Zielhaus zum Stehen kommt. Der Bremser zieht dafür an einem Hebel und drückt dadurch eine Art Rechen gegen das Eis. Beim Bremsen hilft zusätzlich, dass die Strecke wieder ansteigt:



(e) **Bestimme die Bremskraft, die der Rechen während diesem Abbremsvorgang ausübt. (4 Punkte)**

Hinweis: Luftwiderstand und Gleitreibung sind zu vernachlässigen!

Tipp: "Goldene Regel der Mechanik"!

2 The iFön (7 Punkte)

Heutzutage hat man in einem **Smartphone** oder einem Tablet alle möglichen technischen Geräte kompakt in einem einzigen portablen Gerät mit dabei: Telefon, MP3-Player resp. Streaming-Dienst, Game-“Konsole”, etc.

Nun könnte man an Regentagen ja auch auf die Idee kommen, einen portablen Föhn, also einen “iFön”¹ mitzuführen. Dabei gäbe es allerdings erhebliche technische Schwierigkeiten. . .

- (a) Ein kleiner Heissluft-Föhn benötigt eine Leistung von etwa 950 W. Was hiesse das für die Leitungseigenschaften des Föhns beim Betrieb an einer 5.0 V-Batterie (= USB- resp. typische Smartphone-Akkuspannung)?

Anders formuliert: Welchen elektrischen Widerstand müsste das iFön-Bauteil im Smartphone oder Tablet aufweisen, um bei einer Spannung von 5.0 V eine Leistung von 950 W zu beziehen? (2 Punkte)

- (b) Die maximale Ladung eines guten 5.0 V-Smartphone-Akkus wird vom Hersteller mit 2500 mAh angegeben. Nehmen wir gleich noch eine Powerbank mit weiteren 18 700 mAh hinzu.

Wie lange könnten Akku und Powerbank zusammen das iFön-Bauteil theoretisch betreiben, wenn beide zuvor voll aufgeladen wurden? (2 Punkte)

- (c) Tatsächlich gäbe es allerdings noch ein anderes Problem beim Betrieb eines solchen iFöns, nämlich dass der Smartphone-Akku selber einen Innenwiderstand aufweist. Typisch ist hier z.B. ein Wert von 4.5 Ω .

Wie viel Leistung würde das iFön-Bauteil aus Aufgabe (a) folglich beim Betrieb am 5.0 V-Akku abbekommen und was würden wir beim realen Betrieb des iFöns am Smartphone effektiv beobachten? (3 Punkte)

Hinweis: Falls aus Aufgabe (a) kein verlässlicher Wert für den Widerstand des iFöhn-Bauteils vorliegt, so verwende dafür bei Bedarf einen Wert von 0.033 Ω .

Tipp: iFön-Bauteil und Innenwiderstand des Akkus bilden zusammen eine Serieschaltung, die an die 5.0 V-Spannung angehängt wird.



¹Die korrekte Schreibweise lautet gemäss neuer deutscher Rechtschreibung *Föhn*. Bis 1996 war aber *Fön* ebenso zulässig.

3 Minimaler Blutdruck (3 Punkte)

Das menschliche Herz pumpt Blut durch unseren **Blutkreislauf**. Dabei hört man oft von chronischen Problemen mit Bluthochdruck, besonders bei älteren Menschen. Davon spricht man beispielsweise, wenn der systolische Wert (= Druck, mit dem das Herz das Blut in den Kreislauf drückt) einen Wert von 150 mmHg übersteigt. Gemessen wird so ein Blutdruckwert stets auf Höhe des Herzens.

Die Druckeinheit mmHg steht für **Millimeter**

Quecksilbersäule: 150 mmHg entsprechen z.B. dem Schweredruck, den eine 150 mm hohe Quecksilbersäule erzeugt (Hg = Quecksilber).

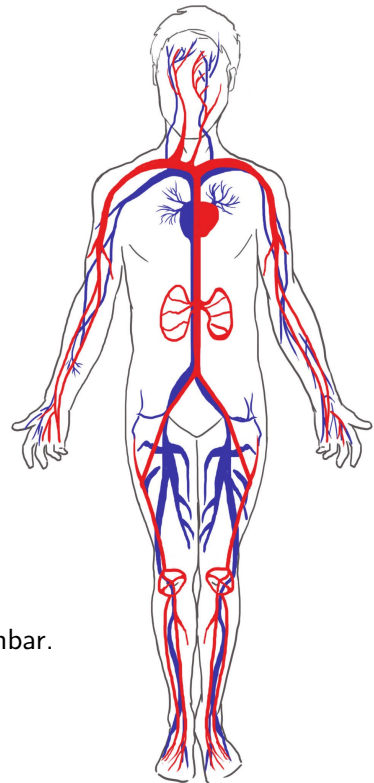
Umgekehrt muss unser Blutdruck allermindestens so gross sein, dass damit das Blut vom Herz ins Hirn hochgedrückt werden kann, sonst würde einem rasch schwarz vor Augen.

Schätze aufgrund dieser Überlegung ab, wie gross der menschliche Blutdruck – angegeben in mmHg – ganz unbedingt ungefähr sein muss.

Hinweis 1: Blut ist bezüglich seiner Dichte gut mit Wasser vergleichbar.

Hinweis 2: Die Dichten von Wasser und von Quecksilber betragen:

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{und} \quad \rho_{\text{Hg}} = 13\,546 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$



4 BYOD & CTouch: Eine aktuelle Unterrichtsthematik (4 Punkte)

Als Physiklehrer muss mich interessieren, wie es um den Energieverbrauch meines Unterrichts steht und was es bedeuten würde, wenn alle Schülerinnen und Schüler in einem elektronischen Klassenzimmer arbeiten würden. Konkret möchte ich wissen:

Wie gross wäre der jährliche Verbrauch an elektrischer Energie, wenn im ganzen Kanton Zürich sämtliche Gymnasiastinnen und Gymnasiasten mit eigenen Tablets resp. Laptops zur Schule kämen und in den Schulzimmern lauter CTouchs-Grossbildschirme anstelle von Wandtafeln stehen würden?

Schätze diesen jährlichen Energieverbrauch ab und vergleiche ihn anschliessend mit dem Jahresenergieverbrauch eines durchschnittlichen Schweizer 4-Personen-Haushaltes, der sich auf etwa 4000 kWh beziffern lässt.

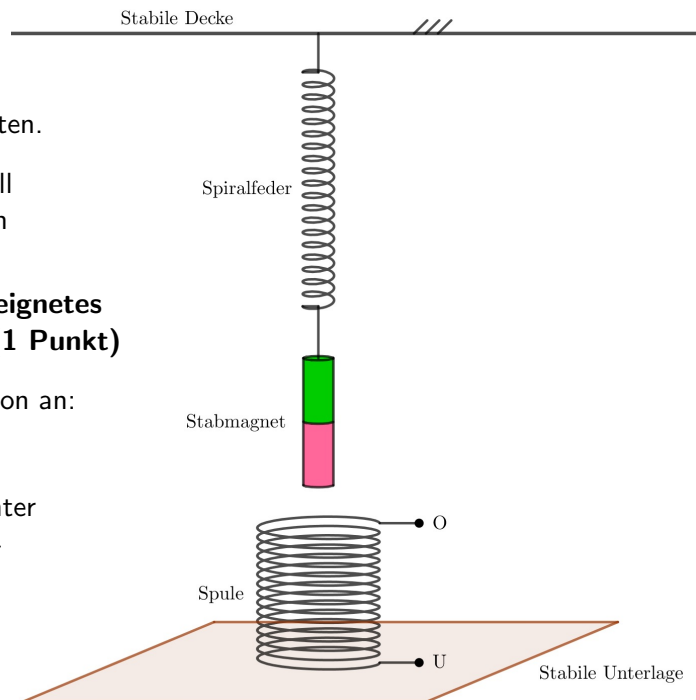
Ein paar nützliche Daten und Überlegungshinweise:

- Die durchschnittliche Bezugsleistung eines Tablets oder Laptops beträgt bei Betrieb etwa 20 W, diejenige eines grossen CTouch-Bildschirms etwa 400 W.
- im Kanton Zürich gibt es derzeit etwa 16 000 Gymnasiastinnen und Gymnasiasten.
- Schätze für deine Berechnung ungefähr ab, wie viele gymnasiale Schulklassen es im Kanton Zürich gibt und wie viele Lektionen pro Woche resp. pro Jahr im Klassenunterricht stattfinden.
- Überlege dir, wie der Vergleich mit den Haushalten am greifbarsten wird.
- **Worterklärung:** BYOD = "Bring your own device" = Konzept, dass alle Schülerinnen und Schüler ihr eigenes Tablet resp. ihren eigenen Laptop in den Unterricht mitbringen.
- **Nebenbemerkung (für die Aufgabe nicht wichtig):** Natürlich beinhaltet diese Abschätzung kein bisschen, dass alle diese technischen Geräte graue Energie zu ihrer Herstellung benötigen. Ebenso nicht berücksichtigt ist die Energie, die aufgrund der permanenten Internetbenutzung bezogen wird und die wir in den Stromrechnungen nirgendwo finden. Tatsächlich dürfte der Stromverbrauch im Schulzimmer einen nicht besonders grossen Anteil am Gesamtenergiebedarf des elektronischen Unterrichts ausmachen.



5 Spielereien mit einem hängenden Magneten (8 Punkte)

Eine Kupferspule steht senkrecht auf einer stabilen Unterlage. Darüber hängt ein Stabmagnet an einer Spiralfeder. Der Nordpol des Magneten zeigt nach unten.



- (a) Die Spiralfeder soll aus einem Metall bestehen, das magnetisch nicht vom Stabmagneten angezogen wird.

Gib ein geeignetes und ein ungeeignetes Material für die Spiralfeder an. (1 Punkt)

- (b) Wir treffen die folgende Startsituation an:

- Der Magnet hängt in Ruhe.
- In der Spule fließt ein konstanter Strom, weil die beiden Spulenausgänge O und U an eine Gleichstromspannungsquelle angeschlossen sind. O sei mit dem Minus- und U mit dem Pluspol der Spannungsquelle verbunden.

Nun wird die Spannungsquelle ausgeschaltet. Die Folge davon ist, dass der Stabmagnet vertikal zu schwingen beginnt.

Erkläre, in welche Richtung diese Schwingbewegung startet. (2 Punkte)

Hinweis: Damit die Antwort voll zählen kann, muss darin mit den **korrekten Fachbegriffen** und mit **passenden Regeln des Elektromagnetismus** gearbeitet werden. Letztere müssen nachvollziehbar auf die Situation angewendet werden. Es sollen keine Gedankenschritte ausgelassen werden.

- (c) Gerne möchte ich diese Anordnung dazu bringen, dass sie als automatische, elektromagnetische Bremse für die Schwingbewegung des Stabmagneten wirkt. Dafür entferne ich die Spannungsquelle ganz und verbinde die beiden Spulenausgänge O und U direkt miteinander.

Erkläre, weshalb die Schwingung des Magneten nun tatsächlich eine Bremswirkung erfährt. Zu dieser Erklärung gehört die Angabe der Richtung des Induktionsstromes in der Spule in einem bestimmten Moment! (5 Punkte)

Hinweis: Wie bei (b).

Tipp 1: Es gibt mehrere Erklärungsmöglichkeiten, wie das so oft der Fall ist bei elektromagnetischen Phänomenen.

Tipp 2: Betrachte exemplarisch einen passenden Moment während dem Auf- und Abspringen des Magneten, um daran die Bremswirkung zu erläutern.

Tipp 3: Wie sieht das Magnetfeld des Stabmagneten aus?

6 Physik-Streifzug im Multiple Choice (6 Punkte)

Kreuze an, ob die jeweilige Aussage richtig oder falsch ist. Im Zweifelsfall erklärst du deine Entscheidung auf einem Zusatzblatt.

A. Für Nicht-Ohm'sche Leiter gilt:

richtig falsch

- (a) Sie dürfen nur an Gleichspannungsquellen betrieben werden. ☐ ☐
- (b) Stromstärke und Spannung sind keine proportionalen Grössen. ☐ ☐
- (c) Die umgesetzte elektrische Leistung bleibt unabhängig von der angeschlossenen Spannungsquelle konstant. ☐ ☐
- (d) Leuchtdioden sind ein gutes Beispiel für solche Leiter. ☐ ☐

B. Die Feldlinien eines Magnetfeldes...

richtig falsch

- (e) treten bei Permanentmagneten stets aus einem Pluspol aus und gehen bei einem Minuspol in ihn hinein. ☐ ☐
- (f) bilden stets geschlossene Kurven. ☐ ☐
- (g) zeigen mit ihrer Richtung an, wohin eine Kompassnadel am jeweiligen Ort mit ihrer Nordspitze zeigt. ☐ ☐

C. Bei der Kernspaltung in Schweizer Kernkraftwerken...

richtig falsch

- (h) entstehen β^- -strahlende radioaktive Abfälle, weil die grossen, sich aufspaltenden Kerne einen Neutronenüberschuss besitzen. ☐ ☐
- (i) erhitzen vor allem die bei den Spaltungen entstehenden heissen Tochterkerne das durch den Reaktor strömende Wasser. ☐ ☐
- (j) wird als Spaltmaterial praktisch ausschliesslich U-235 verwendet. ☐ ☐
- (k) findet im Reaktor zum Teil auch Wasserstoffbrennen statt. ☐ ☐

D. Ein in einem Trinkglas voll Wasser schwimmender Eiswürfel...

richtig falsch

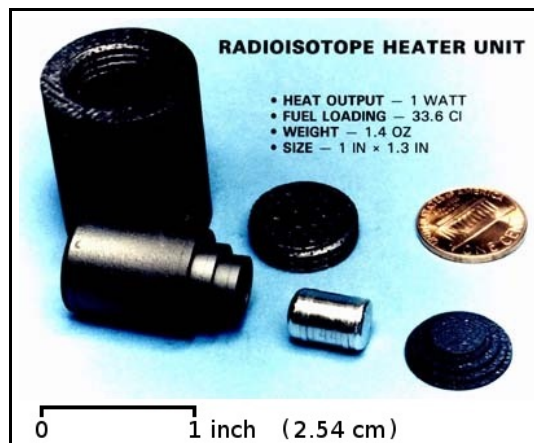
- (l) erfährt eine grössere Auftriebskraft als die eigene Gewichtskraft. ☐ ☐
- (m) würde in einer auf der Mondoberfläche stehenden Raumstation weniger tief im Wasser liegen. ☐ ☐
- (n) erfährt eine grössere Auftriebskraft, wenn ich ihn mit dem Daumen unter Wasser drücke. ☐ ☐
- (o) wird beim Schmelzen dazu führen, dass der Wasserspiegel im Glas ansteigt (vgl. Anstieg des Meeresspiegels als Folge des Abschmelzens der Polkappen). ☐ ☐

7 Das RHU – ein radioaktives Heizelement (12 Punkte)

Wikipedia: **Radionuklid-Heizelemente** werden in der Raumfahrt verwendet und liefern durch den Zerfall einer kleinen Menge eines Radionuklids Wärme zur Beheizung kälteempfindlicher Teile einer Raumsonde, eines Landers oder eines Rovers. (...)

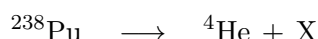
Je nach Missionslänge, Wärmebedarf und anderen Kriterien ist die Verwendung verschiedener Radioisotope möglich. Die von den Vereinigten Staaten hergestellten RHU (**Radioisotope Heater Unit**) enthalten jeweils ein Pellet aus 2.7 Gramm Plutoniumdioxid (PuO_2). Dieser "Brennstoff" ist von einer Hülle aus einer Platin-Rhodium-Legierung umgeben, die sich in einer Isolierung aus Graphit

und diese wiederum in einem Hitzeschild aus demselben Material befindet. Die Gesamtmasse eines einzelnen RHU, einschliesslich Abschirmung, beträgt ungefähr 40 Gramm. Eine RHU ist 3.2 cm lang und hat 2.6 cm Durchmesser, die Wärmeleistung beträgt 1.0 Watt.



Wir wollen uns mit der Kernphysik in diesem interessanten Heizelement auseinandersetzen.

- (a) Die Zerfallsreaktion von Pu-238 lautet:



Benenne die Zerfallsart und bestimme das Tochternuklid X. (1 Punkt)

Nebenbei: Die Tochterkerne X sind selber wieder radioaktiv, aber ihre Halbwertszeit ist dermassen gross, dass sie für die Heizleistung der RHU keine Rolle spielen.

Auszug aus
dem Periodensystem

90 Th [232.038]	91 Pa [231.036]	92 U [238.029]	93 Np [237]	94 Pu [244]	95 Am [243]	96 Cm [247]	97 Bk [247]	98 Cf [251]	99 Es [252]	100 Fm [257]	101 Md [258]	102 No [259]	103 Lr [262]
-----------------------	-----------------------	----------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

- (b) Die Wärmeleistung einer RHU beträgt unmittelbar nach der Herstellung 1.0 W. Sie wird durch die andauernden Zerfälle der Pu-238 -Kerne freigesetzt.

Wie viele Zerfälle müssen folglich pro Sekunde in der RHU stattfinden? (4 Punkte)

Hinweis und Tipp: Die Atommassen der bei der Reaktion beteiligten Teilchen betragen:

$$m_A(^{238}\text{Pu}) = 238.049\,558\,\text{u} \quad m_A(^4\text{He}) = 4.002\,603\,3\,\text{u} \quad m_A(\text{X}) = 234.040\,950\,\text{u}$$

- (c) Mit der unter (b) berechneten Zerfallsrate (= Aktivität) können wir auf die Anzahl im Pellet enthaltener Pu-238 -Kerne schliessen und damit folgende Frage beantworten:

Zu wie vielen Prozenten besteht das Pellet aus Plutoniumdioxid (PuO_2)? (4 Punkte)

Hinweis 1: Das PuO_2 im Pellet soll ausschliesslich Pu-Nuklide der Sorte Pu-238 enthalten.

Hinweis 2: Die Masse eines Sauerstoffatoms des natürlichen Isotopengemischs beträgt 16.0 u.

Hinweis 3: Die Halbwertszeit von Pu-238 beträgt 87.7 a.

Hinweis 4: Verwende einen Wert von $1.29 \cdot 10^{12}$ Zerfälle pro Sekunde, wenn aus (b) kein verlässlicher Wert für die Zerfallsrate vorliegen sollte.

- (d) **Nach welcher Zeit wird die Heizleistung der RHU um 15 % abgenommen haben? (3 Punkte)**