

51. Internationale PhysikOlympiade Vilnius, Litauen 2020



Wettbewerbsleitung

Dr. Stefan Petersen

Tel.: 0431 / 880 - 5120

email: petersen@ipho.info

Dürken Quaas

Tel.: 0431 / 880 - 5387

email: quaas@ipho.info

Anschrift: IPN · Leibniz-Institut für die Pädagogik der
Naturwissenschaften und Mathematik
Olshausenstraße 62
24118 Kiel

web: www.ipho.info

twitter: [@iphogermany](https://twitter.com/iphogermany)

Klausur der 2. Runde im Auswahlwettbewerb zur 51. IPhO 2020

Beachte unbedingt die Regeln und Hinweise für die Klausur!

In der Klausur sind, anders als ursprünglich angekündigt, maximal 94 Punkte zu erreichen;
in den Multiple-Choice Aufgaben 35 Punkte und bei den längeren Aufgaben 59 Punkte.

Ich versichere, die Klausur entsprechend den Regeln und Hinweisen, ohne fremde Hilfe und innerhalb von 180 Minuten geschrieben zu haben.

Name: *Name*

Schülercode: *Code*

Unterschrift: _____

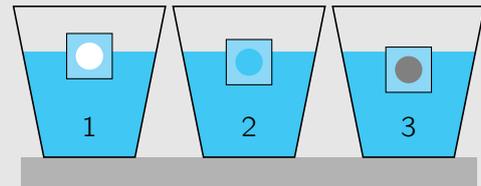
Multiple-Choice Aufgaben

Finde zu jeder der folgenden sieben Fragen den richtigen Lösungsbuchstaben und begründe physikalisch, warum dies die korrekte Lösung ist. Es ist jeweils nur eine Antwortmöglichkeit richtig. Nutze den Platz in der Box für Rechnungen sowie Begründungen und notiere deinen Antwortbuchstaben an der vorgesehenen Stelle am Ende jeder Box.

Aufgabe 1 Eiswürfel im Glas (MC-Aufgabe)

(5 Pkt.)

In drei mit Wasser gefüllten Gläsern schwimmt jeweils ein Eiswürfel. Der Eiswürfel in Glas 1 hat eine Luftblase im Inneren, der Eiswürfel in Glas 2 besitzt einen Kern aus flüssigem Wasser und in Glas 3 schwimmt ein Eiswürfel mit einem Aluminiumkern.



Was lässt sich über die Wasserspiegel in den Gläsern direkt nach dem Schmelzen der Eiswürfel sagen?

Abbildung 1: *Nicht maßstabsgerechte Skizze der schwimmenden Eiswürfel mit Einschlüssen.*

- A Der Wasserspiegel in Glas 1 ist gestiegen, die in den anderen Gläsern sind unverändert.
- B Der Wasserspiegel in Glas 3 ist gesunken, die in den anderen Gläsern sind unverändert.
- C Die Wasserspiegel in Glas 1 und 3 sind gestiegen, der in Glas 2 ist unverändert.
- D Die Wasserspiegel in allen Gläsern sind unverändert.

Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

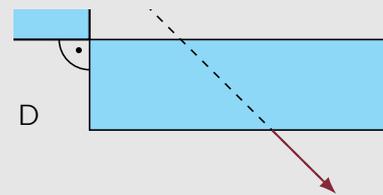
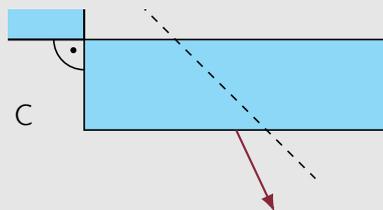
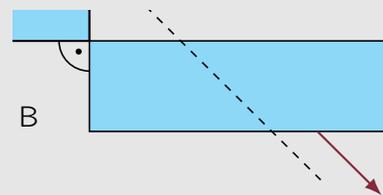
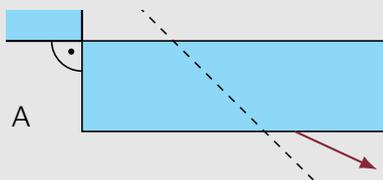
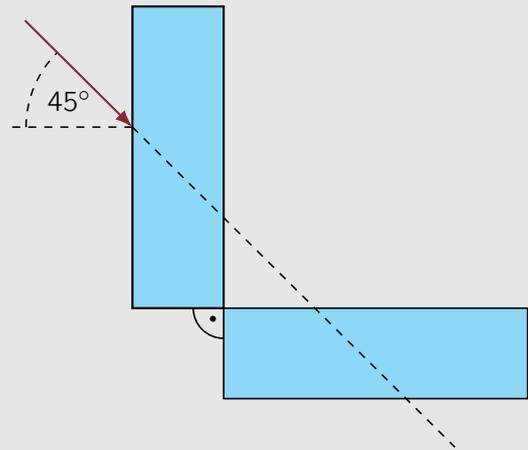
Korrekte Antwort:

Aufgabe 2 Lichtbrechung (MC-Aufgabe)
(5 Pkt.)

Ein Lichtstrahl trifft, wie nebenstehend abgebildet, auf eine Anordnung von zwei gleich großen, senkrecht zueinander aufgebauten Glasquadern und wird beim Eintritt in den ersten Quader gebrochen. Der Brechungsindex des Glases beträgt 1,5. Außerhalb der Quader befindet sich Luft.

Welcher der folgenden Abbildungsausschnitte zeigt den Verlauf des gebrochenen Lichtstrahls nach dem Austritt aus dem zweiten Quader?

Der Verlauf des Lichtstrahls in dem Quader ist dabei nicht dargestellt und die gestrichelte Linie gibt den Verlauf des ungebrochenen Lichtstrahls wieder.


Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

Aufgabe 3 Schwingung mit Hindernis (MC-Aufgabe)
(5 Pkt.)

Eine kleine Metallkugel hängt, wie nebenstehend skizziert, an einem dünnen Faden der Länge L von der Decke. Wenn dieses Fadenpendel leicht zur Seite ausgelenkt und losgelassen wird, schwingt es mit einer Schwingungsperiodendauer $T = 1,0\text{s}$ parallel zur Wand.

Nun wird ein Nagel in einem Abstand von $\frac{3}{4}L$ von der Decke fest in die Wand geschlagen. Das Fadenpendel stößt beim Schwingen nach rechts an den Nagel und wird durch diesen behindert. Die Kugel wird jetzt aus der in Abbildung 2 rechts gezeigten Position losgelassen.

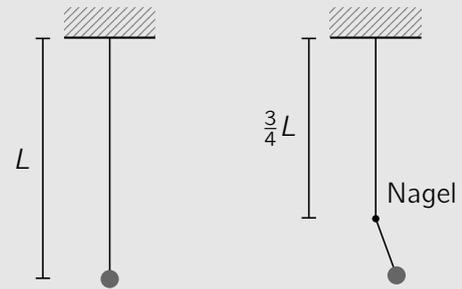
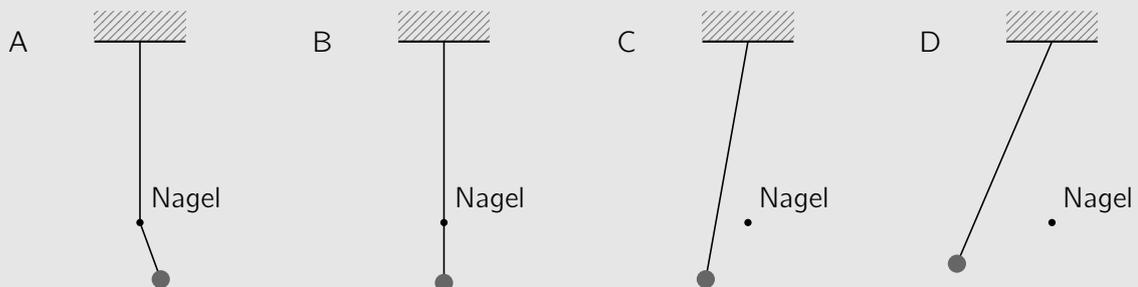


Abbildung 2: Skizze des Pendels ohne (links) und mit Nagel in der Wand (rechts).

Welche der folgenden Abbildungen zeigt die Position der Kugel 1,5s nach dem Loslassen?


Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

Aufgabe 4 Interferenz (MC-Aufgabe)
(5 Pkt.)

In einem Versuch fällt einfarbiges Laserlicht senkrecht auf ein optisches Gitter mit 300 Linien pro mm. Hinter dem Gitter wird das Interferenzmuster auf einem Schirm beobachtet. Der Abstand des Schirms zum Gitter ist dabei sehr groß gegenüber der Ausdehnung des Interferenzmusters.

Die nebenstehenden Graustufenbilder zeigen die bei Verwendung von zwei Lasern mit unterschiedlichen Wellenlängen aber ansonsten gleicher Versuchsanordnung auf dem Schirm entstehenden Interferenzmuster. Die Wellenlänge des vom ersten Laser emittierten Lichts beträgt 650 nm.

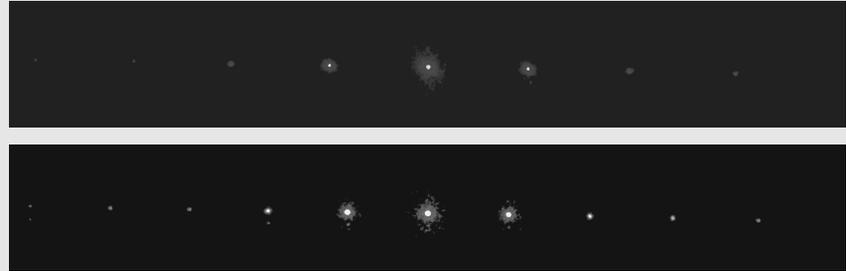


Abbildung 3: Interferenzmuster auf dem Schirm für eine Wellenlänge von 650 nm (oben) und eine zweite unbekannte Wellenlänge (unten). Die Bilder zeigen den gleichen Ausschnitt des Schirms.

Wie groß ist die Wellenlänge des vom zweiten Laser emittierten Laserlichts?

- A etwa 450 nm B etwa 530 nm C etwa 610 nm D etwa 690 nm

Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

Aufgabe 5 Radioaktiver Zerfall (MC-Aufgabe)
(5 Pkt.)

Im Folgenden werden drei radioaktive Präparate betrachtet. Sie bestehen anfänglich zur Zeit $t = 0$ zu 100 % aus einem einzigen radioaktiven Isotop, dem jeweiligen Mutternuklid. Die anfängliche Aktivität der Präparate wird jeweils mit A_0 bezeichnet. Auch die direkten Zerfallsprodukte, die Tochternuklide, sind wieder radioaktiv und zerfallen. Weitere nachfolgende Zerfälle werden nicht mehr betrachtet. Die Mutter- und Tochternuklide der drei Präparate sind:

Präparat ①: ^{226}Ra ($T_{\text{Mutter}} = 1600 \text{ a}$) \rightarrow ^{222}Rn ($T_{\text{Tochter}} = 3,8 \text{ d}$)

Präparat ②: ^{211}Pb ($T_{\text{Mutter}} = 36,1 \text{ min}$) \rightarrow ^{211}Bi ($T_{\text{Tochter}} = 2,14 \text{ min}$)

Präparat ③: ^{214}Pb ($T_{\text{Mutter}} = 26,8 \text{ min}$) \rightarrow ^{214}Bi ($T_{\text{Tochter}} = 19,9 \text{ min}$)

Dabei sind mit T_{Mutter} bzw. T_{Tochter} die Halbwertszeiten der jeweiligen Nuklide angegeben. Die folgenden Graphen stellen die zeitlichen Verläufe der Aktivitäten A sowohl des Mutternuklids als auch des Tochternuklids sowie der Gesamtaktivität für die drei Präparate dar.

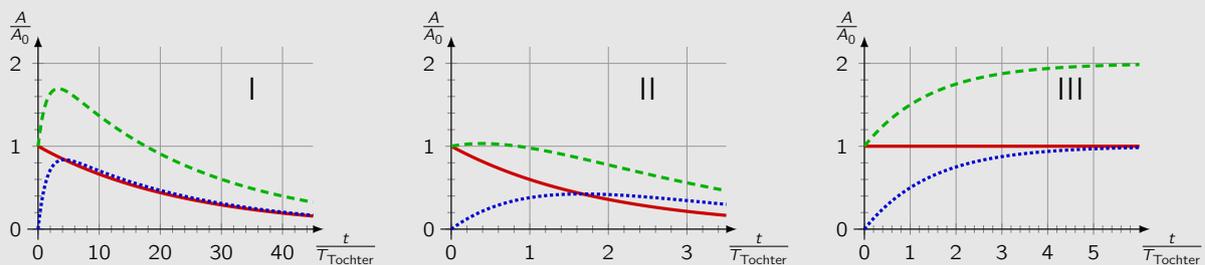


Abbildung 4: Zeitliche Verläufe der Aktivitäten A sowohl des Mutternuklids als auch des Tochternuklids sowie der Gesamtaktivität der Präparate relativ zur Anfangsaktivität des Mutternuklids. Die Zeitachsen sind nach Vielfachen der Halbwertszeiten T_{Tochter} des jeweiligen Tochternuklids skaliert.

Welches der drei Nuklid-Paare gehört zu welchem Diagramm?

- A $\frac{\textcircled{1} \quad \textcircled{2} \quad \textcircled{3}}{\text{I} \quad \text{II} \quad \text{III}} \quad$ B $\frac{\textcircled{1} \quad \textcircled{2} \quad \textcircled{3}}{\text{II} \quad \text{III} \quad \text{I}} \quad$ C $\frac{\textcircled{1} \quad \textcircled{2} \quad \textcircled{3}}{\text{III} \quad \text{II} \quad \text{I}} \quad$ D $\frac{\textcircled{1} \quad \textcircled{2} \quad \textcircled{3}}{\text{III} \quad \text{I} \quad \text{II}}$

Antwortteil

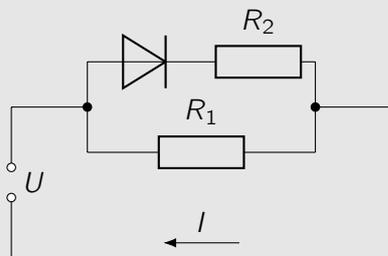
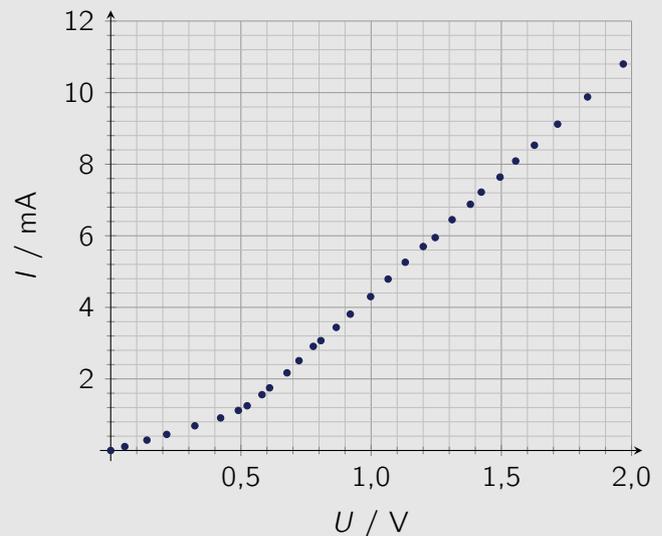
Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

Aufgabe 6 Diode und Widerstände (MC-Aufgabe)
(5 Pkt.)

Eine Diode ist ein elektronisches Bauelement, das vereinfacht in einer Richtung, der Sperrichtung, komplett isolierend wirkt. In umgekehrter Richtung, der Durchlassrichtung, lässt die Diode bis zu einer bestimmten Spannung auch kaum Strom passieren. Ab dieser Spannung verhält sie sich aber näherungsweise wie ein idealer Leiter.

In der nachfolgend abgebildeten Schaltung sind eine Diode (\rightarrow) und zwei Widerstände mit Widerstandswerten R_1 und R_2 verbaut. In dem nebenstehenden Graphen sind Messwerte der Stromstärke I in der Schaltung als Funktion der angelegten Spannung U dargestellt.



Welche Widerstandswerte passen am besten zu den dargestellten Messwerten?

- A $R_1 = 220 \Omega$ und $R_2 = 670 \Omega$
- B $R_1 = 220 \Omega$ und $R_2 = 330 \Omega$
- C $R_1 = 470 \Omega$ und $R_2 = 220 \Omega$
- D $R_1 = 470 \Omega$ und $R_2 = 150 \Omega$

Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

Aufgabe 7 Wärmeleitung (MC-Aufgabe)**(5 Pkt.)**

Die Enden von drei runden Metallstäben aus identischem Material werden jeweils auf konstanten Temperaturen gehalten. Für die Stäbe sind die folgenden Daten bekannt:

Stab I - Durchmesser: 2,0 cm, Länge: 20 cm, Temperaturen der Stabenden: 50 °C und 20 °C

Stab II - Durchmesser: 3,0 cm, Länge: 50 cm, Temperaturen der Stabenden: 60 °C und 30 °C

Stab III - Durchmesser: 4,0 cm, Länge: 80 cm, Temperaturen der Stabenden: 70 °C und 40 °C

Wie verhalten sich die durch die Stäbe aufgrund von Wärmeleitung übertragenen Wärmeleistungen P_I , P_{II} und P_{III} zueinander (Die Leistungen können alle als positiv angenommen werden)?

- A $P_I < P_{II} = P_{III}$ B $P_I = P_{II} < P_{III}$ C $P_{II} < P_I = P_{III}$ D $P_{III} < P_{II} < P_I$

Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

Langaufgaben

Bearbeite die folgenden drei Aufgaben ebenfalls in den dafür vorgesehenen Boxen. Anders als bei den Multiple-Choice Aufgaben sind keine Lösungsmöglichkeiten gegeben. Beschreibe deinen Lösungsweg so, dass er gut nachvollziehbar aber nicht unnötig lang ist. Wenn du also zum Beispiel den Energieerhaltungssatz verwendest, schreibe dies kurz hin.

Aufgabe 8 Beschichtete Linse

(17 Pkt.)

Bei der Herstellung von optischen Linsen werden diese oft mit einer dünnen Schicht versehen, um Reflexionen in bestimmten Wellenlängenbereichen zu verringern.

Betrachte eine Linse aus einem Material mit einem Brechungsindex von 1,40. Diese soll mit einer möglichst dünnen Schicht eines transparenten Materials mit Brechungsindex 1,24 überzogen werden, um Reflexionen bei senkrechtem Einfall von Licht einer Wellenlänge von 500 nm zu minimieren.

8.a) Bestimme, wie dick diese Schicht sein sollte, um die Intensität des reflektierten Lichtes zu minimieren. (5 Pkt.)

Wenn Licht senkrecht auf einen Übergang von einem Medium mit Brechungsindex n_A zu einem mit Brechungsindex n_B einfällt, wird ein Anteil

$$R_{A \rightarrow B} = \left(\frac{n_B - n_A}{n_B + n_A} \right)^2$$

der eintreffenden Lichtintensität reflektiert. Da die reflektierten Anteile bei den vorliegenden Bedingungen sehr klein sind, ist es ausreichend, nur einfache Reflexionen zu betrachten.

8.b) Vergleiche die Intensität des an der beschichteten Linse bei der angegebenen Wellenlänge insgesamt reflektierten Lichtes mit der Intensität des Lichtes, das an einer unbeschichteten Linse reflektiert wird. Berechne dafür das Verhältnis dieser Intensitäten. (7 Pkt.)

Trotz der beschriebenen Beschichtung ist die Intensität des reflektierten Lichtes zwar gering aber nicht Null.

8.c) Gib an und begründe, wie die Beschichtung verändert werden müsste, um eine deutlich bessere Antireflexionswirkung bei der betrachteten Wellenlänge zu erzielen. (5 Pkt.)

Antwortteil

8.a) Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für die notwendige Dicke der Beschichtung:

8.b) Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für das Verhältnis der Intensitäten:

8.c) Rechnungen und Erläuterungen

Aufgabe 9 Schneller als der Wind
(20 Pkt.)

Das Foto rechts zeigt das Versuchsfahrzeug *Blackbird*. Das Fahrzeug besitzt keine eigenen Energiespeicher wie Batterien oder Treibstoffe, sondern wird alleine durch den Wind angetrieben. In dem Fahrzeug befindet sich für den Antrieb lediglich ein Getriebe, das Energie zwischen den Rädern und dem Propeller übertragen kann.



Abbildung 5: Foto des durch Wind angetriebenen *Blackbird*. (Quelle en.wikipedia.org; Stephen Morris; CC BY-SA 3.0).

Mit dem *Blackbird* wurden Testfahrten auf ebenem Grund bei konstanter Windrichtung und -geschwindigkeit durchgeführt - sowohl mit als auch direkt gegen den Wind. Die Geschwindigkeit \vec{v} des Fahrzeugs war dabei also die ganze Zeit parallel bzw. antiparallel zur Windgeschwindigkeit \vec{v}_w . Du kannst annehmen, dass bei den Testfahrten jeweils eine konstante Geschwindigkeit erreicht wurde.

Die Konstrukteure des *Blackbird* behaupteten, dass sie bei Fahrten in Richtung der Windgeschwindigkeit schneller als der Wind, also mit einer konstanten Geschwindigkeit \vec{v} gefahren wären, für die $|\vec{v}| > |\vec{v}_w|$ ist. Dies wurde von einigen Personen als unphysikalisch und damit unmöglich kritisiert. Aber ist es das auch?

- 9.a) Begründe, warum es bei konstanter Windgeschwindigkeit v_w grundsätzlich möglich ist, mit einer konstanten Geschwindigkeit $v > v_w$ in Richtung des Windes zu fahren. Gib an, ob dabei Energie von dem Propeller auf die Räder oder umgekehrt übertragen wird. (8,0 Pkt.)

Nimm für eine Abschätzung der erreichbaren Geschwindigkeit an, dass bei der Übertragung von Energie zwischen der umgebenden Luft zu dem Boden und umgekehrt ein Anteil α der verfügbaren Leistung für die weitere Nutzung verloren geht. Wenn also beispielsweise Energie von der umgebenden Luft über den Propeller, das Getriebe und die Räder auf den Boden übertragen wird, kann von der durch den Wind an das Fahrzeug übertragenen Energie nur ein Anteil $1 - \alpha$ für den Antrieb genutzt werden.

- 9.b) Bestimme die Geschwindigkeit v , die das Fahrzeug bei der Fahrt in Windrichtung erreichen kann. Drücke dein Ergebnis durch v_w und α aus. (6,0 Pkt.)
- 9.c) Bestimme die erreichbare Geschwindigkeit für die Fahrt direkt gegen den Wind. Drücke auch diese durch v_w sowie α aus und begründe, ob es auch in diesem Fall möglich ist, schneller zu sein als der Wind. (6,0 Pkt.)

Antwortteil

- 9.a) Rechnungen und Erläuterungen

Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)

9.b)

Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für die Geschwindigkeit bei Fahrt in Windrichtung:

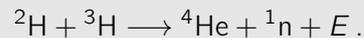
9.c) Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für die Geschwindigkeit bei Fahrt gegen die Windrichtung:

Aufgabe 10 Kernfusion**(22 Pkt.)**

Die kontrollierte Kernfusion könnte in Zukunft einen wichtigen Beitrag zur Energieversorgung leisten und wird daher in der Plasmaphysik intensiv beforscht.

Im Folgenden sollst du die Verschmelzung oder Fusion von Kernen der beiden Wasserstoffisotope Deuterium (${}^2\text{H}$) und Tritium (${}^3\text{H}$) untersuchen. Als Produkt der Fusion entstehen ein Heliumkern ${}^4\text{He}$ und ein Neutron ${}^1\text{n}$. Die Reaktion kann dargestellt werden als



Dabei bezeichnet E die bei der Fusion in Form von kinetischer Energie freigesetzte Energie. Die Ruhemassen der Teilchen und Kerne betragen:

Deuteriumkern:	$m_{\text{D}} = 3,344\,494 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Tritiumkern:	$m_{\text{T}} = 5,008\,268 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Heliumkern:	$m_{\text{He}} = 6,646\,477 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Neutron:	$m_{\text{n}} = 1,674\,927 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

- 10.a) Berechne die bei einer einzelnen Kernfusion durch obige Reaktion freigesetzte Energie E . Bestimme die jeweils auf den Heliumkern und auf das Neutron entfallenden Anteile der Energie E_{He} und E_{n} für den Fall, dass die anfängliche kinetische Energie der Wasserstoffisotope vernachlässigbar ist. Gib deine Ergebnisse in der Einheit MeV mit $1 \text{ MeV} \approx 1,602\,177 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ an. (8,0 Pkt.)

Damit die Fusionsreaktion stattfinden kann, müssen die Wasserstoffkerne nah genug zusammen kommen. Dies kann dadurch erreicht werden, dass ein anfänglich elektrisch neutrales Gas dieser Isotope auf sehr große Temperaturen aufgeheizt wird. Das Gas ist dann vollständig ionisiert und wird Plasma genannt.

- 10.b) Schätze ab, wie groß die Temperatur des Plasmas mindestens sein muss, damit die Wasserstoffkerne auf einen Abstand von unter 10^{-14} m zusammenkommen können und damit eine Fusionsreaktion möglich wird. Nimm dazu an, dass sich alle Kerne eines Isotops mit dem gleichen Geschwindigkeitsbetrag bewegen. (4,0 Pkt.)

Tatsächlich ist der Geschwindigkeitsbetrag der Kerne nicht für alle Kerne identisch. Dadurch, dass einige Kerne mehr kinetische Energie besitzen als andere, kann die Kernfusion auch schon bei geringeren Temperaturen einsetzen. Betrachte im Folgenden ein Plasma, das zu gleichen Teilen aus Deuterium- und Tritiumkernen mit einer Teilchendichte von jeweils $n = 1,0 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3}$ besteht. Die Temperatur des Plasmas betrage $T = 1,0 \cdot 10^8 \text{ K}$.

Um das Plasma auf diesen hohen Temperaturen zu halten und damit die Kernfusion über einen längeren Zeitraum aufrecht zu erhalten, müssen die Energieverluste des Plasmas ausgeglichen werden. Die bei der Fusion freigesetzten, elektrisch neutralen Neutronen verlassen das Plasma sehr schnell und ihre kinetische Energie steht dem Plasma nicht mehr zur Verfügung. Zusätzlich treten Energieverluste durch Strahlung und Transport auf. Die insgesamt resultierende Verlustleistung P_{V} des Plasmas lässt sich mit Hilfe der inneren thermischen Energie des Plasmas U und der so genannten Energieeinschlusszeit τ ausdrücken durch

$$P_{\text{V}} = \frac{U}{\tau}.$$

Du kannst annehmen, dass sich das Plasma in guter Näherung wie ein ideales Gas verhält und für die Energieeinschlusszeit den Wert $\tau = 1,0\text{ s}$ verwenden.

Die bei der Fusion erzeugten Heliumkerne hingegen verbleiben im Plasma und ihre kinetische Energie heizt das Plasma. Die Heizleistung P_{H} ist eine Funktion der Kernreaktionsratendichte r , also der mittleren Anzahl der Fusionsreaktionen pro Zeit- und Volumeneinheit, des Plasmavolumens V sowie der kinetischen Energie E_{He} der Heliumkerne und beträgt

$$P_{\text{H}} = r E_{\text{He}} V.$$

- 10.c) Bestimme die mittlere Kernreaktionsratendichte r für das Plasma bei konstanter Temperatur. Beachte dabei, dass das insgesamt elektrisch neutrale Plasma neben den Ionen auch Elektronen enthält. (4,0 Pkt.)

Für die technische Nutzung der Kernfusion ist es über das Aufrechterhalten der Temperatur hinaus auch erforderlich, das Plasma möglichst lange räumlich einzuschließen. Zur Kompensation des Plasmadruckes und damit zum Einschließen des Plasmas wird ein magnetisches Feld angelegt. Der durch dieses Feld erzeugte Druck lässt sich in einer vereinfachten Abschätzung durch die magnetische Flussdichte B und μ_0 ausdrücken (auftretende numerische Faktoren können zu 1 gesetzt werden).

- 10.d) Schätze ab, wie groß die magnetische Flussdichte B sein muss, um das beschriebene Plasma einzuschließen. (6,0 Pkt.)

Antwortteil

- 10.a) Rechnungen und Erläuterungen

Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)

Ergebnis für die kinetischen Energien:

10.b)

Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für die Temperatur des Plasmas:

10.c) Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)

Ergebnis für die mittlere Kernreaktionsratendichte:

10.d) Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für die magnetische Flussdichte:

Zusätzliches Arbeitspapier

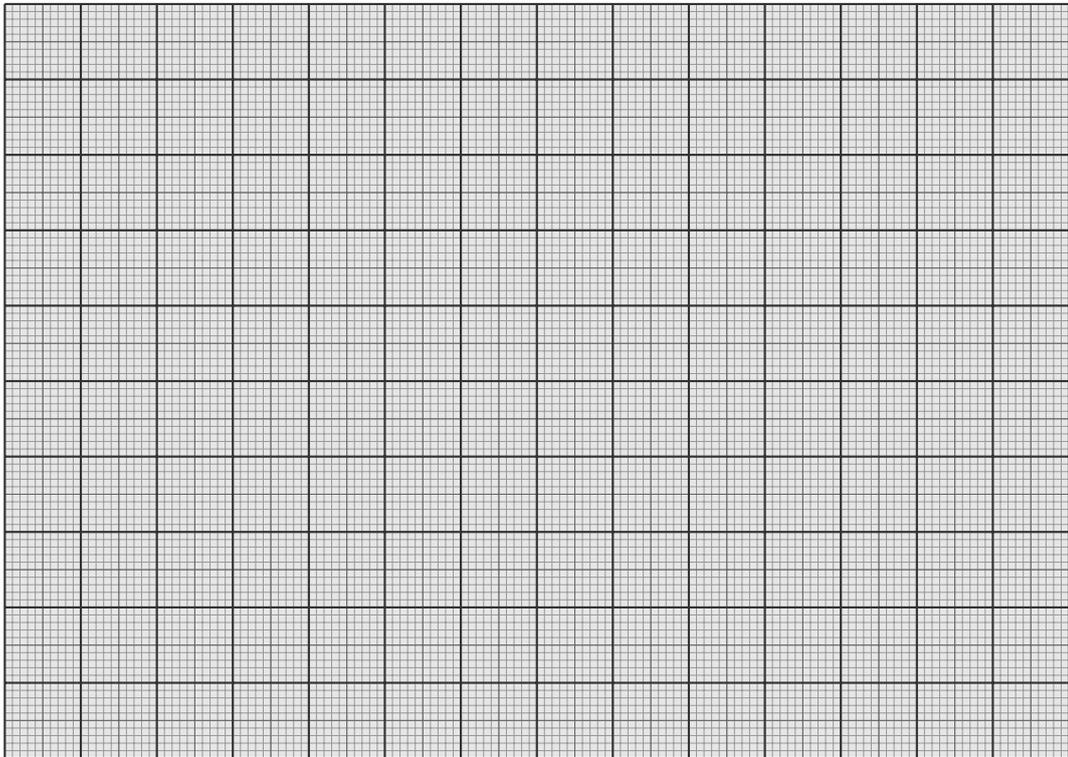
Zusätzliches Arbeitspapier

Zusätzliches Arbeitspapier

Zusätzliches Arbeitspapier

Zusätzliches Arbeitspapier

Graph



Graph

