

Associazione per l'Insegnamento della Fisica

# Olimpiadi di FISICA

  
 36<sup>a</sup> edizione **2022**

Nationaler Wettbewerb  
Theorieteil

Senigallia (AN)  
Freitag 22. April 2022

Anleitung:

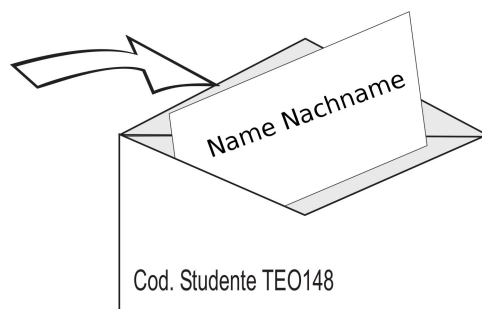
Noch nicht umblättern!  
Warte auf den Start!

Zeit: 4 Stunden

1. Sobald du die Erlaubnis hast, die Arbeit zu beginnen, kontrollierst du, dass der **Schüler-Kenncode (Codice Studente)** auf dem großen Umschlag, auf dem kleinen Umschlag und auf dem Kärtchen gleich sind!

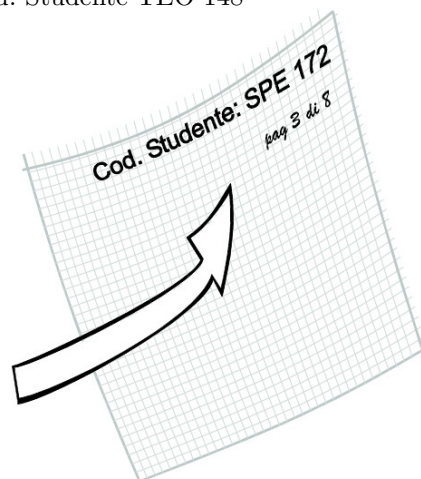
Schreibe klar und deutlich deinen **NAMEN und FAMILIENNAMEN auf das Kärtchen**. Gib das Kärtchen dann in den kleinen Umschlag und verschließe ihn, **ohne ihn zuzukleben!** Lege den kleinen Umschlag sofort in den großen Umschlag, in dem du am Schluss alle Blätter abgibst!

**Anschließend darfst du KEINEN Namen mehr auf die Blätter und die Umschläge schreiben, sondern nur mehr deinen Schüler-Kenncode (Codice Studente).**



Cod. Studente TEO 148

2. Lies den Text der drei Probleme genau durch!
3. Du musst für **jedes Problem ein eigenes Blatt verwenden, um keinen Abzug zu bekommen!**
4. Schreibe auf jeder Seite oben rechts deutlich:
  - deinen **Schüler-Kenncode (Codice Studente)**
  - die **Nummer** des Problems
  - die **Seitenzahl** (beginnend mit 1 für jedes einzelne Problem)
  - die **gesamte Anzahl der verwendeten Seiten** für das betreffende Problem (Beispiel: pag. 3 di 7)



Le Olimpiadi di Fisica  
sono organizzate dall'AIF  
su mandato del



MINISTERO DELL'ISTRUZIONE

La Gara Nazionale ha il sostegno di

Comune di  
Senigallia

Liceo Statale "Medi"  
Senigallia

## Physikalische Konstanten

Naturkonstanten [exakte Werte durch Definition vom 16.11.2018]

Konstante	Symbol	Zahlenwert	Einheit
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	$c$	$2,99792458 \cdot 10^8$	$ms^{-1}$
Elementarladung	$e$	$1,602176634 \cdot 10^{-19}$	$C$
Planck'sches Wirkungsquantum	$h$	$6,62607015 \cdot 10^{-34}$	$Js$
Boltzmann-Konstante	$k$	$1,380649 \cdot 10^{-23}$	$JK^{-1}$
Loschmidt'sche Zahl	$N$	$6,02214076 \cdot 10^{23}$	$mol^{-1}$

weitere physikalische Konstanten:

Diese gerundeten Werte sind als **exakt** anzusehen!

Elektronenmasse	$m_e$	$9,1094 \cdot 10^{-31}$ $= 5,1100 \cdot 10^2$	$kg$ $keVc^{-2}$
Protonenmasse	$m_p$	$1,67262 \cdot 10^{-27}$ $= 9,3827 \cdot 10^2$	$kg$ $MeVc^{-2}$
Neutronenmasse	$m_n$	$1,67493 \cdot 10^{-27}$ $= 9,3955 \cdot 10^2$	$kg$ $MeVc^{-2}$
Magnetische Feldkonstante	$\mu_0$	$4\pi \cdot 10^{-7} = 1,25664 \cdot 10^{-6}$	$Hm^{-1}$
Elektrische Feldkonstante $1/(\mu_0 c^2)$	$\epsilon_0$	$8,8542 \cdot 10^{-12}$	$Fm^{-1}$
Coulomb-Konstante $1/(4\pi\epsilon_0)$	$k_C$	$c^2 \cdot 10^{-7} = 8,9876 \cdot 10^9$	$mF^{-1}$
Universelle Gaskonstante $Nk_C$	$R$	8,3145	$Jmol^{-1}K^{-1}$
Faraday-Konstante $Ne$	$F$	$9,6485 \cdot 10^4$	$Cmol^{-1}$
Stefan-Boltzmann-Strahlungskonstante	$\sigma$	$5,6704 \cdot 10^{-8}$	$Wm^{-2}K^{-4}$
Gravitationskonstante	$G$	$6,674 \cdot 10^{-11}$	$m^3kg^{-1}s^{-2}$
Normaldruck	$p_0$	$1,01325 \cdot 10^5$	$Pa$
Normaltemperatur $0^\circ C$	$T_0$	273,15	$K$
Volumen eines idealen Gases von einem Mol bei Normalbedingungen ( $p_0, T_0$ )	$V_m$	$2,2414 \cdot 10^{-2}$	$m^3mol^{-1}$
Atomare Masseneinheit	$u$	$1,66054 \cdot 10^{-27}$	$kg$

Weitere eventuell notwendige Daten

Diese gerundeten Werte sind ebenfalls als **exakt** anzusehen!

Der Einfachheit halber (außer es wird eigens darauf hingewiesen) können die Daten, die mit \* gekennzeichnet sind und die sich auf eine bestimmte Temperatur beziehen, auch bei anderen Temperaturen verwendet werden, ohne größere Fehler zu machen.

Mittlere Fallbeschleunigung	$g$	9,80665	$ms^{-2}$
Dichte von Wasser (bei $4^\circ C$ )*	$\rho_W$	$1,00000 \cdot 10^3$	$kgm^{-3}$
Spezifische Wärmekapazität von Wasser (bei $20^\circ C$ )*	$c_W$	$4,182 \cdot 10^3$	$Jkg^{-1}K^{-1}$
Dichte von Eis (bei $0^\circ C$ )*	$\rho_{E,0}$	$0,917 \cdot 10^3$	$kgm^{-3}$
spezifische Schmelzwärme von Wassereis	$\sigma_S$	$3,344 \cdot 10^5$	$Jkg^{-1}$
Wasser: spezifische Verdampfungswärme (bei $100^\circ C$ )*	$\sigma_V$	$2,257 \cdot 10^6$	$Jkg^{-1}$

**Lies diesen Text aufmerksam und in aller Ruhe durch!**

MERKE: Auf **keines** der Blätter darfst du deinen Namen schreiben. Nur auf das Kärtchen, das in den kleinen Umschlag kommt, schreibst du deinen Namen!

Schreibe auf alle Blätter NUR den eigenen **Schüler-Kenncode (Codice Studente)**, der auf dem kleinen farbigen Umschlag steht - sowohl auf alle zusammenfassenden Blätter als auch auf alle karierten Blätter, die du verwendest.

Zusammen mit dem Text erhältst du für jedes Problem ein **zusammenfassendes Blatt**, auf dem du zu jedem Problem deine Antworten zusammenfasst. Die numerischen Werte müssen mit der richtigen Anzahl an Ziffern (signifikante Stellen!), abhängig von den vorgegebenen Daten, angegeben werden. Falls notwendig, gib die Einheit an!

ES IST WICHTIG, dass du alle Ergebnisse (formale und numerische) auf das entsprechende zusammenfassende Blatt schreibst, da es die Grundlage für die Bewertung deiner Arbeit ist.

Verwende für jedes Problem ein anderes kariertes Blatt und beginne immer damit, rechts oben deinen Schüler-Kenncode (Codice Studente) einzutragen.

Auf die karierten Blätter müssen die detaillierten Lösungen angegeben sein, wobei du umfangreichen Text eher vermeiden und stattdessen bevorzugt Gleichungen, Symbole, Zahlen und Diagramme verwenden sollst.

Auf jede Seite der karierten Blätter, die eine Lösung enthält, schreibst du rechts oben die Nummer des Problems, die Seitenzahl und die gesamte Zahl der Seiten, die du für die Lösung dieses Problems benötigst, wie es auf dem Deckblatt steht!

Zum Schluss ein nützlicher Hinweis: Nicht immer ist für die Lösung einer Frage die Lösung der vorangegangenen Fragen notwendig!

**Wichtig für numerische Daten:** Der relative Fehler der numerisch angegebenen Daten muss mit 0,1% angenommen werden, egal, wie viele Stellen vorgegeben sind, außer es wird explizit anders angegeben! Bei den in der Tabelle angegebenen Konstanten kann der Fehler hingegen vernachlässigt werden. Die daraus folgenden numerischen Ergebnisse müssen mit der entsprechenden Anzahl an signifikanten Stellen angegeben werden.

Ausarbeitung:

	<p><b>PROGETTO OLIMPIADI</b> <i>Segreteria delle Olimpiadi Italiane di Fisica</i> e-mail: <a href="mailto:segreteria@olifis.it">segreteria@olifis.it</a> WEB: <a href="http://www.olifis.it">www.olifis.it</a></p>	
---	--	---

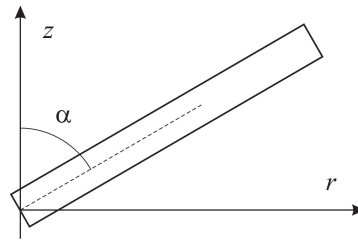
Diese Unterlagen können unter Angabe der Quelle weiterverwendet werden, außer für kommerzielle Zwecke. Übersetzung: Klaus Überbacher, RG Meran

# P 1 Ein Drehzahlmesser

100 Punkte

Eine zylinderförmige Röhre aus Glas, die an ihren Enden verschlossen ist, wird gleichförmig mit der Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  um eine vertikale Achse gedreht, die durch ein Ende der Röhre verläuft. Dabei wird der Neigungswinkel  $\alpha$  zur Vertikalen konstant gehalten.

Verwende das Bezugssystem aus Zylinderkoordinaten, das mit der Röhre mitrotiert. Dabei ist die Rotationsachse gleich der  $z$ -Achse, die  $r$ -Achse ist waagrecht und liegt in der Ebene, die von der  $z$ -Achse und von der Achse der Röhre gebildet wird (siehe Skizze).



In die Röhre wird ein Kügelchen gegeben, dessen Radius viel kleiner als der Rohrradius ist. Unter diesen Bedingungen gibt es einen Gleichgewichtspunkt für das Kügelchen, der nicht an den Rändern der Röhre liegt.

1. Drücke die Koordinate  $r_e$  des Gleichgewichtspunktes des Kügelchens in Funktion von  $\omega$  und  $\alpha$  aus und gib an, ob es sich bei diesem Punkt um ein stabiles oder labiles Gleichgewicht handelt! Begründe deine Antwort!

Nun will man das Gleichgewicht des Kügelchens untersuchen, wenn die Röhre ganz mit einer Flüssigkeit der Dichte  $\rho$  gefüllt wird.

Dazu untersuchen wir zuerst die Änderung des hydrostatischen Druckes in der Röhre.

2. Schreibe die Differenz des Druckes im Inneren der Flüssigkeit auf, und zwar zwischen den sehr nahe beieinander liegenden Punkten, die auf einer senkrechten Geraden liegen, die einen Abstand  $r$  zur Drehachse hat. Die Punkte haben die Höhe  $z$  und  $z + dz$ .
3. Schreibe die Differenz des Druckes im Inneren der Flüssigkeit auf, und zwar zwischen den sehr nahe beieinander liegenden Punkten, die auf einer Geraden senkrecht zur Rotationsachse liegen, in einer Höhe  $z$  sind und einen Abstand zur Drehachse von  $r$  und  $r + dr$  haben.

Sei  $\rho_P$  die Dichte des Kügelchens und  $V$  sein Volumen.

4. Das Kügelchen wird im Abstand  $r$  zur Drehachse in die Röhre gegeben. Bestimme in Funktion der Daten des Problems die Radial- und Vertikalkomponenten der Auftriebskraft!
5. Sei  $\rho < \rho_P$ . Gib die Koordinate  $r_A$  der Gleichgewichtsposition A des Kügelchens an! Handelt es sich dort um ein stabiles oder labiles Gleichgewicht? Begründe deine Antwort!
6. Sei nun  $\rho > \rho_P$ . Gib die Koordinate  $r_B$  der Gleichgewichtsposition B des Kügelchens an! Handelt es sich dort um ein stabiles oder labiles Gleichgewicht? Begründe deine Antwort!
7. Zeichne ins Diagramm des Antwortblatt die beiden Gleichgewichtslagen, die du mit A und B bezeichnest!
8. Ein solches Gerät kann als Drehzahlmesser verwendet werden, wobei die Gleichgewichtslage des Kügelchens von der Rotationsfrequenz abhängt. Gib an, für welchen der beiden Fälle  $\rho < \rho_P$  oder  $\rho > \rho_P$  das Gerät für die Frequenzmessung geeignet ist und bestimme die minimale Rotationsfrequenz  $f$ , die in Funktion der Parameter des Problems und der Länge  $L$  der Röhre gemessen werden kann!



# P2 Elektrostatistisches Pendel

100 Punkte

Eine elektrische Ladung ist homogen auf einem Halbkreis mit Radius  $r$  und Mittelpunkt  $O$  verteilt, die Linienladungsdichte ist  $\lambda > 0$ . Der Halbkreis ist auf einer vertikalen Ebene fixiert (siehe Abbildung).

Sei  $\vec{E}(P)$  das elektrische Feld, das von der Ladungsverteilung im Punkt  $P$  (er befindet sich in der gezeigten vertikalen Ebene) erzeugt wird.  $\vec{E} = \vec{E}_{\parallel} + \vec{E}_{\perp}$  ist die Zerlegung des Feldes in die parallele und die senkrechte Komponente bezüglich der Geraden  $OP$ .

1. Zeige: Falls  $P'$  der Symmetriepunkt von  $P$  bezüglich  $O$  ist, dann gilt  $\vec{E}_{\perp}(P') = \vec{E}_{\perp}(P)$ .

Tipp für die Frage 1: Teile die Ladungsverteilung auf dem Halbkreis in zwei Teile. Ein Teil davon ist symmetrisch bezüglich der Geraden  $PP'$ .

Ein Pendel ist an einem Stift in  $O$  befestigt. Dieser Punkt stimmt mit dem Mittelpunkt des Halbkreises überein. Das Pendel besteht aus einer kleinen Masse  $m$ , die eine Ladung  $q_1$  trägt, und einem nicht dehnbaren, masselosen Faden der Länge  $\ell < r$  (siehe Skizze).

Man kann zeigen, dass in allen Punkten, die auf der Senkrechten durch den Punkt  $O$  liegen, über dem Auflagepunkt des Halbkreises das elektrische Feld nach oben gerichtet ist.

2. Sei  $E_A$  der Betrag des elektrischen Feldes der Ladungsverteilung  $\lambda$  im Punkt  $A$ . Für welche Werte von  $q_1$  (sowohl negative als auch positive) kann das Pendel im Punkt  $A$  im Gleichgewicht sein?

Man möchte die rücktreibende Kraft im Punkt  $P$  bestimmen, wenn das Pendel um einen kleinen Winkel  $\varphi \ll 1$  (ausgedrückt in Radiant) von der Gleichgewichtslage ausgelenkt wird (Bemerkung: in der Skizze ist der Winkel  $\varphi$  viel größer eingetragen als beim Experiment!).

3. Zeige, dass für  $\varphi \ll 1$  im Punkt  $P$  der Betrag der Komponente der elektrischen Feldstärke, die senkrecht zum Faden ist, durch  $E_{\perp} = \alpha\varphi$  ausgedrückt werden kann, wobei  $\alpha$  eine Konstante ist! Berechne diese Konstante!

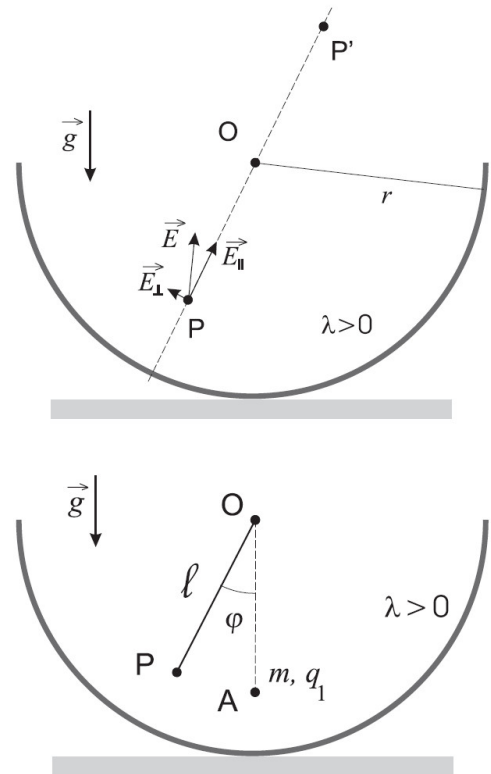
Im Weiteren drückst du das Feld immer mit  $\alpha$  aus, ohne den eben gefundenen Zusammenhang einzusetzen!

4. Schreibe den Ausdruck für die rücktreibende Kraft an, die zu kleinen Schwingungen führt!

Unter diesen Bedingungen misst man die Schwingungsdauer und findet den Wert  $T_1$ .

Danach lädt man das Kügelchen des Pendels mit der Ladung  $q_2$ , deren Betrag doppelt so groß ist wie die vorige Ladung. Nun beobachtet man, dass auch in diesem Fall das Pendel mit einer Periodendauer  $T_1 = T_2$  um eine Ruhelage schwingt.

5. Berechne den Gleichgewichtspunkt in dieser neuen Situation und das Vorzeichen der Ladung  $q_2$ !
6. Schreibe analog zu vorher den Ausdruck der rücktreibenden Kraft an, die zu den kleinen Schwingungen um die neue Ruhelage führt!
7. Bestimme den Wert der Periodendauer  $T$  für die zwei Fälle, wenn  $q_1$  positiv oder negativ ist, wobei die Periodendauer der harmonischen Schwingung des Pendels für den ungeladenen Halbkreis gleich  $T_0 = 1$  s beträgt.



# P3 Thermodynamischer Kreisprozess

100 Punkte

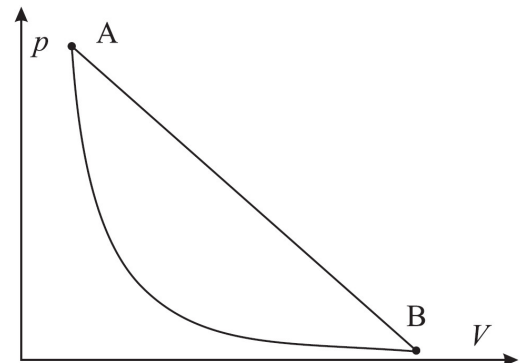
Ein einatomiges, ideales Gas durchläuft einen Kreisprozess (siehe Skizze). Alle Transformationen sind quasistatisch. Anfänglich ist das System im Zustand  $A$  und erfährt eine Expansion, die im  $V$ - $p$ -Diagramm als geradliniger Abschnitt dargestellt wird, bis der Zustand  $B$  erreicht ist.

Von hier kehrt es durch eine adiabatische Kompression in den Ausgangszustand zurück.

Folgende Werte sind gegeben:

$$V_A = 3 \text{ dm}^3; p_A = 3,36 \text{ kPa}; V_B = 24 \text{ dm}^3$$

1. Berechne den Wert von  $p_B$ .
2. Finde die Gleichung der Geraden, welche die lineare Transformation von  $A$  nach  $B$  beschreibt. Schreibe sie in der Form  $p = mV + q$  und berechne die Werte für  $m$  und  $q$ .



Tipp: Für den Rest des Problems ist es leichter, die Parameter  $m$  und  $q$  zu verwenden, ohne sie durch ihre Ausdrücke zu ersetzen!

3. Berechne das Volumen und den Druck, bei denen das System die maximale und die minimale Temperatur erreicht!
4. Bei der Transformation von  $A$  nach  $B$  absorbiert das System zunächst Wärmeenergie bis zu einem Zwischenzustand  $Y$  und dann gibt es bis zum Zustand  $B$  wieder Wärmeenergie ab. Bestimme  $V_Y$  und  $p_Y$ .
5. Bestimme den Wirkungsgrad einer thermischen Maschine, welche diesen Kreisprozess durchläuft!
6. Bestimme den Wirkungsgrad, den das gleiche System erzielen würde, wenn es einen Carnot-Prozess mit gleicher minimaler und maximaler Temperatur durchlaufen würde.

— ■ —