



Associazione per l'Insegnamento della Fisica



Olimpiadi di Fisica 2019



Nationaler Wettbewerb
Theorieteil
Freitag, 12. April 2019

Liceo Statale "Medi"
Senigallia (AN)

1519-2019
Celebrazioni in onore di
Leonardo da Vinci



Anleitungen:

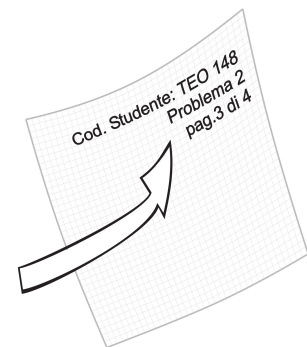
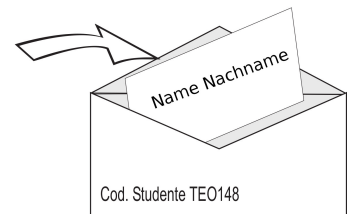
Zeit: 4 Stunden

Bitte noch nicht umblättern!
Warte auf den Start!

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).

2. Lies den Text der vier Probleme genau durch!
3. Du musst für **jedes Problem ein eigenes Blatt verwenden!**
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: Seite 3 von 4

Der Nationale Wettbewerb wird unterstützt von

Comune di
Senigallia

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



MINISTERO DELL'ISTRUZIONE, DELL'UNIVERSITÀ E DELLA RICERCA

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	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7} = 1,25664 \cdot 10^{-6}$	Hm^{-1}
Elektrische Feldkonstante $1/(\mu_0 c^2)$	ϵ_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	σ	$5,6704 \cdot 10^{-8}$	$Wm^{-2}K^{-4}$
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 $4^\circ C$)*	ρ_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	σ_S	$3,344 \cdot 10^5$	Jkg^{-1}
Wasser: spezifische Verdampfungswärme (bei $100^\circ C$)*	σ_V	$2,257 \cdot 10^6$	Jkg^{-1}

Ausarbeitung:



PROGETTO OLIMPIADI
Segreteria delle Olimpiadi Italiane di Fisica
e-mail: segreteria@olifis.it
WEB: www.olifis.it



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

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 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 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 benötigt hast, wie es auf dem Deckblatt steht!

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

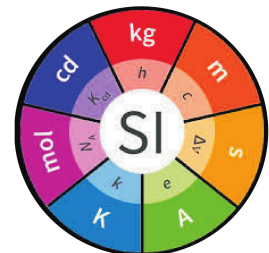
Wichtig für numerische Daten: Der relative Fehler der numerisch angegebenen Daten muss mit 0,1% angenommen werden, egal, wie viele Stellen vorgegeben sind, außer es wird explizit anders angegeben! Bei den in der Tabelle angegebenen Konstanten kann der Fehler hingegen vernachlässigt werden. Die daraus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



Am 2. Mai 1519 - vor 500 Jahren - starb im Schloss von Clos-Lucé in Amboise, Frankreich, eines der größten Universalgenies: Leonardo da Vinci.

Er hat sowohl als Wissenschaftler und Ingenieur als auch als begnadeter Künstler bahnbrechende Leistungen erbracht. Hier wollen wir an seine wichtigen und innovativen Arbeiten zu den "Maschinen" erinnern. Diese waren dazu da, dem Menschen zu helfen, um etwa eine bestimmte Arbeit mit weniger Kraft erledigen zu können. Am kommenden 20. Mai 2019 werden die Physik und die Naturwissenschaften einen epochalen Tag erleben:

Es tritt die Verordnung in Kraft, die am 16. November des Vorjahres anlässlich der 26. internationale Generalkonferenz für Maß und Gewicht in Paris beschlossen wurde.



Alle Einheiten werden durch Werte von fundamentalen physikalischen Naturkonstanten, die durch Definition festgelegt wurden, bestimmt.

Die Zeiteinheit - die Sekunde - ist als ganzzahliges Vielfaches der Periodendauer der elektromagnetischen Strahlung definiert, die beim Übergang zwischen den beiden der Hyperfeinstruktur-Niveaus des Cäsium - 133 - Atoms ausgesandt wird. Genauer gesagt ist die Frequenz $\Delta\nu$ dieser Strahlung als $\Delta\nu = 9192631770 \text{ Hz}$ definiert.

Die Einheit der Länge - das Meter - ist die Strecke, die das Licht im Vakuum in der Zeit $1/299792458 \text{ s}$ mit der Geschwindigkeit c , deren Wert auch festgelegt wurde, zurücklegt.

Diese und auch andere fundamentale Konstanten sind auf Seite 2 im ersten Teil der Tabelle der physikalischen Konstanten angegeben.

P1 Meilenstein 1: ...Leonardo gewidmet

40 Punkte



Der "Schraubenmechanismus", von dem man das Foto eines Modelles auf der linken Seite sieht, wurde auf der Basis von Studien und der Originalzeichnungen von Leonardo da Vinci (Kodex Madrid I fol.17v, siehe Abbildung unten) gebaut, und dient zum Heben einer Masse M mit einer Kraft, die an der Holzkurbel oben rechts wirkt und kleiner als das Gewicht des Gegenstandes ist. In diesem Sinne sprechen wir von einer "nützlichen" Maschine.



Eine schematische und vergrößerte Zeichnung der gleichen Maschine ist auf Seite 9 (gesondertes Blatt), um die im Folgenden gesuchten Größen zu ermitteln.

1. Lies zuerst den gesamten Text des Problems durch! Verwende die Skizze des Apparates um alle notwendigen Größen der Bestandteile zu bestimmen, damit du die gefragten numerischen Antworten geben kannst. Als Längeneinheit wird der Radius r des Zylinders verwendet, um den das Seil gewickelt ist, das den Gegenstand hält.

Zunächst werden alle Arten von Reibung vernachlässigt. Die Arbeit, die verrichtet wird, um die Kurbel um eine infinitesimale Strecke $d\ell$ zu verschieben, hebt den Gegenstand um die Strecke dz . Man nimmt an, dass der Hebevorgang so langsam erfolgt, dass die kinetischen Energien der einzelnen Bestandteile vernachlässigbar klein sind.

2. Bestimme die kleinste Kraft, die an der Kurbel angreifen muss, um den Gegenstand zu heben! Benutze dazu die Größen aus der Skizze. Warum handelt es sich um eine "nützliche" Maschine?
3. Wir nehmen nun an, dass 75% der zugeführten Leistung durch Reibung und Deformation der Teile verloren gehen. Handelt es sich immer noch um eine "nützliche" Maschine?

Nun betrachten wir den Fall, dass die Maschine nicht mehr ganz langsam betrieben wird und dass die Masse mit der konstanten Geschwindigkeit v gehoben wird. Daher haben die Bestandteile der Maschine nun eine gewisse kinetische Energie.

Nimm an, dass alle Holzteile der Maschine aus dem gleichen Holz mit der Dichte ρ bestehen. Der Einfachheit halber sollen die Teile homogen sein, die Dicke des Zahnrades soll $1/12$ seines Durchmessers sein (die Zähne werden nicht zum Durchmesser dazu gezählt). Zur Vereinfachung vernachlässigen wir die Zähne des größeren Rades und modellieren die Schnecke zylinderförmig, ebenso die Kurbel.

4. Schätze ab, welches der folgenden Bestandteile am meisten kinetische Energie aufgenommen hat: das Zahnrad (ohne den Beitrag der Zähne), die Schnecke oder die Kurbel. Zeige dies anhand von Berechnungen!

P2 Meilenstein 2: Das Kilogramm von Planck

60 Punkte

Noch für ungefähr ein Monat ist die Einheit der Masse im SI-System, das Kilogramm, definiert durch den Urkilogramm-Prototyp, also einem Gegenstand, der 1875 aus einer Platin-Iridium-Legierung gefertigt wurde und in Hochvakuum unter drei Glasglocken gelagert ist. Er befindet sich im Internationalen Büro für Maß und Gewicht (BIPM in Sèvres (Frankreich)).

Ab dem 20. Mai dieses Jahres wird dies anders sein. Das Kilogramm wird über drei fundamentale Naturkonstanten definiert werden: die Lichtgeschwindigkeit c , die Frequenz $\Delta\nu$ (dessen Wert in der Einführung auf Seite 3 angegeben ist) und die Planck-Konstante h . Die Konstante von Planck ist eine der Naturkonstanten, deren Wert mit Beschluss der 26. Internationalen Generalkonferenz für Maß und Gewicht in Paris vom 16. November 2018 "definiert" wurde. Diese sind nun mit allen ihren signifikanten Ziffern festgelegt.

1. Zeige, dass man die Einheit "Kilogramm" auch folgendermaßen ausdrücken kann ($\Delta\nu$ ist die Frequenz, f steht für Funktion):

$$1kg = \eta f(h, c, \Delta\nu)$$

Bestimme den numerischen Wert der reinen Zahl η .

Die Planck-Konstante ist sozusagen eine natürliche Maßeinheit der physikalischen Größe der "Wirkung", genau so wie die Elementarladung e eine natürliche Einheit für die elektrische Ladung ist. Wie man aus dem Wert in der Tabelle sieht, hat die Wirkung die Dimension Energie mal Zeit.

2. Zeige, dass die Wirkung auch die Dimension Länge mal Impuls hat, ebenso die Dimension eines Drehimpulses und auch die Dimension einer elektrischen Ladung mal dem magnetischen Fluss!

Die Wirkung ist eine skalare Größe, die jedem möglichen Zeitgesetz eines Körpers (Teilchens) zugeordnet ist. Man betrachtet ein Kügelchen der Masse m , das weder Gravitation noch Reibung erfährt. Es bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit senkrecht zu zwei parallelen Wänden, deren Abstand 2ℓ ist. Das Kügelchen prallt elastisch von den Wänden zurück. Die Bewegung ist periodisch, die Periodendauer ist T . Diese Bewegung kann als Zyklus in der Ebene (x, p) dargestellt werden, wobei x die Position ist, p ist der Impuls. Diese Ebene wird Phasenraum genannt. Im speziellen Fall einer periodischen Bewegung misst die Fläche des Zyklus die Wirkung¹ A des Kügelchens in einer Periode der Bewegung.

3. Man legt eine x -Achse senkrecht zu den Wänden mit dem Ursprung im Mittelpunkt fest. Die Wände sollen die Koordinaten $x = \pm\ell$ haben. Stelle graphisch den geschlossenen Zyklus im Phasenraum dar und ermittle die Wirkung A !

In der Klassischen Mechanik kann die Wirkung jeden beliebigen reellen Wert annehmen und sich kontinuierlich verändern. Max Planck hat herausgefunden, dass das Verhalten von physikalischen Systemen, die periodische Bewegungen ausführen, nur richtig beschrieben werden kann, wenn man annimmt, dass die Wirkung, die einer Periode der Bewegung zugeordnet ist, ein ganzzahliges Vielfaches von h ist: $A = nh$, wobei n eine ganze positive Zahl ist. Man sagt wegen dieser Diskretisierung der Werte von A , die Wirkung A sei eine quantisierte Größe. Wenn es möglich ist, die Quantisierung der Wirkung festzustellen, dann sagt man, das System zeige "Quanteneffekte".

4. Es sei $m = 50\text{ g}$; $\ell = 1\text{ m}$ und $T = 4\text{ s}$. Finde die Größenordnung der ganzen Zahl n und erkläre, warum es nicht möglich ist, Effekte der Quantisierung der Wirkung für dieses System zu messen!
5. Wiederhole die Berechnung für ein Proton, das sich mit einer Geschwindigkeit von $v \approx 270\text{ ms}^{-1}$ bewegt und das auf die Bewegung zwischen den beiden Wänden eingeschränkt ist. Die Wände haben einen Abstand von 2ℓ mit $\ell = 1,1\text{ nm}$. Erkläre, warum in diesem Fall Effekte der Quantisierung messbar sind!
6. Zeige, dass die Quantisierung der Wirkung eine Quantisierung der Energie zur Folge hat, also die Tatsache, dass bei festgelegtem ℓ die Energie des Protons nur diskrete Werte E_n annehmen kann, wobei n eine ganze positive Zahl ist. Ermittle diese Energiewerte in Funktion von n für ein Proton, das auf die Bewegung zwischen zwei Wänden eingeschränkt ist, die die gleiche Distanz wie in der vorigen Aufgabe haben.
7. Ein Proton auf dem Energieniveau $n = 2$ fällt auf das Niveau $n = 1$. Kann das Photon, das dabei emittiert wird, im Bereich des sichtbaren Spektrums gemessen werden?

Man betrachtet nun Stehende Wellen zwischen zwei festen Enden im Raum zwischen den beiden Wänden, deren Abstand 2ℓ ist.

8. Leite die Beziehung zwischen den möglichen Werten der Wellenlänge λ einer Stehenden Welle zwischen den beiden Wänden und den möglichen Werten des Impulses p des Protons zwischen den gleichen Wänden her!

¹genauer die "reduzierte Wirkung"

P3

Dort, wo das Solenoid aufhört

100 Punkte

Eine runde Leiterschleife wird von einem Strom i durchflossen und erzeugt dabei ein Magnetfeld. Die Ebene, die die Leiterschleife enthält, ist eine Symmetrieebene des Systems. Das bedeutet: Wenden wir eine Spiegelung bezüglich dieser Ebene an, dann bleibt die Leiterschleife, die Richtung des Stromes in ihrem Inneren und damit auch das von ihr erzeugte Magnetfeld unverändert.

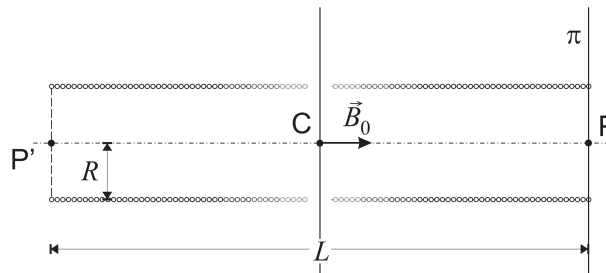
Daraus folgt, dass alle Magnetfeldlinien geometrische Kurven darstellen, die symmetrisch zu dieser Ebene sind; analog ist die Stärke des Magnetfeldes in den beiden Punkten Q und Q' , die symmetrisch zur Ebene der Leiterschleife liegen, gleich.

1. Man betrachtet eine Feldlinie, die nicht mit der Achse der Leiterschleife zusammenfällt und auf ihr zwei Punkte Q und Q' , die symmetrisch zur Ebene der Leiterschleife liegen. Seien \vec{B} und \vec{B}' die Vektoren des Magnetfeldes respektive in Q und Q' . Leite ohne zu rechnen die Beziehung zwischen ihren zur Achse der Leiterschleife senkrechten Komponenten und die Beziehung zwischen ihren Komponenten parallel zur gleichen Achse her! Wiederhole die Überlegungen auch für zwei Punkte P und P' auf der Achse der Leiterschleife!

In allen Systemen, in denen die Verteilung der Ströme eine Symmetrieebene für die Spiegelung darstellt, ist die Beziehung zwischen den Komponenten des Magnetfeldes in Punkten, die symmetrisch zur Symmetrieebene liegen, gleich der Beziehung, die du in diesem speziellen Fall gefunden hast.

Betrachte jetzt ein langes Solenoid mit Radius R und Länge L mit $L \gg R$, das von einem elektrischen Strom durchflossen wird. Die Wicklungen sind sehr kompakt, sodass die Dicke jeder Leiterschleife vernachlässigbar klein ist und jede Leiterschleife senkrecht zur Achse angenommen werden kann. Der Punkt P der Zeichnung ist auf der Achse des Solenoids in der Ebene π , die die Leiterschleife an einem Ende des Solenoids enthält. Beachte aber, dass die Darstellung **keine** maßstabsgerechte Zeichnung des Solenoids ist!

Der Strom, der durch das Solenoid fließt, ist so, dass im Punkt C (Schnittpunkt der Solenoidachse mit der Mittelebene des Solenoids) das Magnetfeld wie in der Zeichnung gerichtet ist und die Magnetfeldstärke B_0 beträgt.



2. Zeige, dass das Magnetfeld, das vom Solenoid in einem Punkt auf der Achse erzeugt wird, parallel zur Achse selbst ist! Verwende für deine Argumentation ausschließlich Überlegungen zur Symmetrie des Systems!
3. Wir bezeichnen mit \vec{B} das Magnetfeld im Punkt P . Bestimme das Magnetfeld \vec{B}' im Punkt P' der Zeichnung!
4. B_0 sei die Stärke des Magnetfeldes im Mittelpunkt C des Solenoids. Bestimme das Magnetfeld \vec{B} im Punkt P !
5. Zeige, dass der Fluss des Magnetfeldes durch Schnittfläche σ des Solenoids mit der Ebene π gleich $\frac{1}{2}\pi R^2 B_0$ ist!
6. Wie groß ist der Fluss des Magnetfeldes durch den Teil der seitlichen Oberfläche des Solenoids, der zwischen der Ebene π und der Mittelebene des Solenoids enthalten ist?

Man betrachtet zwei Feldlinien, die durch die Enden eines Durchmessers der letzten Leiterschleife, die auf der Ebene π liegt, gehen.

7. Wie groß ist der Abstand der beiden Punkte S_1 und S_2 in denen diese Feldlinien die Mittelebene des Solenoids schneiden?
8. Im Antwortblatt ist eine qualitative Skizze der Feldlinien des Magnetfeldes zu skizzieren. Dabei ist auch der Abstand zwischen den beiden Punkten S_1 und S_2 anzugeben.

Tipp: Es ist hilfreich zu wissen, dass die Komponente des Magnetfeldes parallel zur Achse des Solenoids beim Übergang vom Innen- zum Außenbereich des Solenoids einen Sprung von B_0 erfährt (mit Ausnahme der Randpunkte).

P4 Licht vom Eis: ein Lichthof für die Sonne

100 Punkte



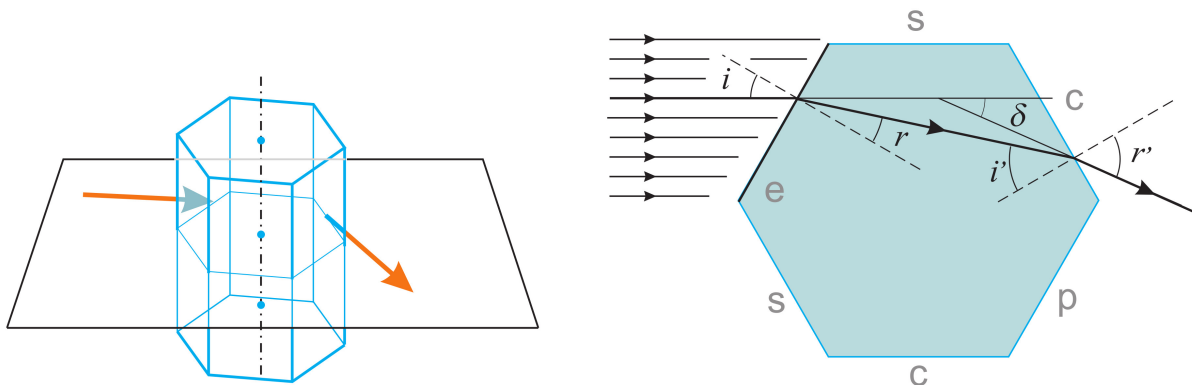
Der Lichthof der Sonne (siehe Foto) ist ein Phänomen, das bei ganz speziellen meteorologischen Verhältnissen auftritt. Es ist ein dünner strahlender Ring, der die Sonne umgibt und bei klarem Himmel sichtbar ist. Im inneren Bereich nahe am Ring scheint der Himmel dunkler, während er im äußeren Bereich eine etwas größere Helligkeit hat, die allmählich in das normale Blau des klaren Himmels übergeht.

Das Phänomen kommt durch eine Wolke von kleinen Eiskristallen zustande, die die Form von hexagonalen Prismen haben. Sonnenstrahlen, die auf die seitlichen Wände einfallen, können teilweise abgelenkt werden.

Ziel des Problems ist es, zu verstehen, wie der Leuchtring bei einem bestimmten Ablenkwinkel zustande kommt und den Wert dieses Winkels zu bestimmen.

Vereinfachend werden nur solche Kristalle untersucht, deren Achse senkrecht zur Ebene ist, die durch den einfallenden und den abgelenkten Strahl, der den Beobachter erreicht, festgelegt wird (siehe linker Teil der Abbildung). Der Ablenkwinkel δ ist im rechten Teil der Abbildung eingetragen, ebenso der Einfallswinkel i und der innere Austrittswinkel r , der innere Einfallswinkel i' und der äußere Austrittswinkel r' .

Es ist klar, dass bei senkrechtem Einfall auf der Seite "e" alle Strahlen auf der gegenüberliegenden Seite p austreten, ohne abgelenkt zu werden. Für Einfallswinkel ungleich null ($0^\circ < i < 90^\circ$) könnten die Strahlen auf der parallelen Gegenseite "p" oder auf den anliegenden Seiten, die mit "c" bezeichnet wurden, austreten, oder auf den Seiten, die mit "s" bezeichnet wurden und an der Seite "e" anliegen.



- Bestimme den kleinsten Wert n_{min} des Brechungsindex, für den jeder auf der Seite "e" einfallende Strahl, der Richtung "s" abgelenkt wird, nicht aus "s" austreten kann!

Die auf die Seite "e" einfallenden Strahlen können Richtung "s", Richtung "c" oder Richtung "p" gebrochen werden. Mit Werten für den Brechungsindex, die größer sind als n_{min} , werden Strahlen, die Richtung "s" gebrochen werden, Richtung "c" reflektiert, wo sie austreten. Die Strahlen, die Richtung "c" gebrochen werden, können entweder austreten oder wieder ins Innere des Prismas reflektiert werden. Die Strahlen, die Richtung "p" gebrochen werden, treten aus dem Prisma aus.

- Man betrachtet ein homogenes Lichtbündel, das auf die Seite "e" in einem Einfallswinkel "i" auftrifft.

Berechne den Anteil η des Lichtes, der direkt Richtung Seite "p" gebrochen wird (also ohne interne Reflexion an anderen Seiten zu erfahren), in Funktion des Einfallswinkels i und des Brechungsindex n !

Um das Phänomen des Lichthofes zu untersuchen werden wir uns von nun an nur mehr mit Strahlen beschäftigen, die in Richtung der Seite "c" gebrochen werden.

ACHTUNG! Von nun an musst du Werte der Winkel mit einer Genauigkeit von 1/100 Altgrad bestimmen!

- Man weiß, dass der Brechungsindex n von Eis für sichtbares Licht der verschiedenen Farben im Mittel 1,310 beträgt. Berechne den kleinsten Wert des Einfallswinkels i , für den einige zur Seite "c" gebrochene Strahlen aus dieser Seite austreten können! Berechne außerdem den zugehörigen Ablenkwinkel δ !

Das Prinzip der Umkehrbarkeit des optischen Lichtweges kann so formuliert werden: Wenn ein Lichtstrahl vom Punkt A zum Punkt B einen bestimmten Weg nimmt, dann kann Licht von B zu A auf dem gleichen Weg gelangen.

- Ohne weitere Berechnungen kannst du unter Verwendung des oben genannten Prinzips die Winkel (i , r' und δ) bestimmen, die zu dem größten Wert des Einfallswinkels gehören, bei dem einige Strahlen aus der Seite "c" austreten können.

Mit der Symmetrie, die mit dem Prinzip der Umkehrbarkeit verknüpft ist, das oben besprochen wurde, ist es leicht zu verstehen, für welchen Einfallswinkel i_0 der Ablenkwinkel δ einen minimalen oder maximalen Wert δ_0 hat, was genau gleich dem Winkel ist, unter dem man den Lichthof sieht!

- Bestimme die Werte von i_0 und δ_0 und erkläre, ob es ein maximaler oder minimaler Wert ist!

Die Funktion $\delta(i)$ ist recht kompliziert. Es gilt

$$\delta(i) = i + \arcsin \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \sqrt{n^2 - \sin^2(i)} - \frac{1}{2} \sin(i) \right) - 60^\circ$$

Daher ist es für die weiteren Untersuchungen in einem recht großen Bereich von δ_0 günstig, die Funktion durch ein Polynom zweiten Grades anzunähern: $y(x) = ax^2 + bx + c$, wobei y der Ablenkwinkel der Ablenkung und x der Einfallswinkel ist; $b = -0,6889$ und $c = 35,93^\circ$.

- Bestimme den Koeffizienten a des gegebenen Polynoms und zeige für mindestens zwei verschiedene Werte von i , dass der relative Fehler der Näherung im Intervall $30^\circ \leq i \leq 55^\circ$ kleiner als 1% ist!

Der Radius des Lichthofes ist mit dem Wert von δ_0 verknüpft, den du in Frage 5 gefunden hast. Um das zu verstehen, nimmst du an, dass die berücksichtigten Kristalle in einer großen Anzahl N vorkommen und dass sie völlig zufällig orientiert sind, sodass die statistische Verteilung der Einfallswinkel i homogen ist.

- Verwende die Polynom-Näherung und bestimme damit das Verhältnis zwischen der Breite des Einfallswinkelintervalls, für das die Ablenkwinkel von δ_0 weniger als $0,01^\circ$ abweichen und der Breite des Intervalles, für die die Abweichung von δ_0 zwischen $1,0^\circ$ und $1,01^\circ$ liegt!
- Erkläre, wie der Radius des Lichthofes mit dem minimalen Wert der Winkelablenkung δ_0 verknüpft ist!

