

# Internationale PhysikOlympiade



Wettbewerbsleitung      Sekretariat  
Dr. Stefan Petersen      Lulu Hoffmeister  
Tel: 0431 / 880-5120      Tel: 0431 / 880-5387  
petersen@ipho.info      sekretariat@ipho.info  
Anschrift:      IPN an der Universität Kiel  
                         Olshausenstraße 62, 24098 Kiel  
Fax:                      0431 / 880-3148  
Webseite:              [www.ipho.info](http://www.ipho.info)

## Stoffkatalog der IPhO

Der Stoffkatalog der Internationalen PhysikOlympiade, der so genannte *IPhO Syllabus*, listet Themen und Fertigkeiten auf, die in den Klausuren des internationalen Wettbewerbs vorausgesetzt werden können. Dieser Stoffkatalog ist für die PhysikOlympiade in Deutschland als obere Messlatte zu verstehen, die vorwiegend in den höheren Wettbewerbsrunden relevant wird. Viele der Teilnehmerinnen und Teilnehmer an dem Wettbewerb besitzen auch nicht alle in dem Stoffkatalog aufgeführten Kenntnisse und insbesondere in den ersten beiden Runden ist das auch nicht erforderlich. Die meisten der Aufgaben der PhysikOlympiade in Deutschland lassen sich mit einem deutlich schulnäheren Wissen lösen.

Viel wichtiger als die Kenntnis jedes Details dieses Stoffkataloges ist in der Regel das Training im Lösen von theoretischen und experimentellen Aufgaben. Erfahrung und Geschick im Herangehen an Probleme können selten durch Wissen ersetzt werden.

Die jeweils aktuelle Version des IPhO Syllabus kann auf [www.ipho.org](http://www.ipho.org) in englischer Sprache eingesehen werden. Die vorliegende Übersetzung basiert auf der 2015 verabschiedeten Fassung.

## 1 Einleitung

### 1.1 Ziel

Dieser Stoffkatalog listet Inhalte auf, die in der IPhO Verwendung finden können. Ein Eindruck über die Schwierigkeit der auf diese Inhalte zugeschnittenen Aufgaben vermitteln vergangene IPhO-Aufgaben.

### 1.2 Art der Aufgaben

Die Aufgabenstellungen sollen die Kreativität und das Verständnis der Physik in den Mittelpunkt stellen. Es soll weniger um mathematische Virtuosität oder die Geschwindigkeit der Aufgabenbewältigung gehen. Das Verhältnis an Punkten, die für die Lösung mathematischer Anforderungen verteilt werden, sollte vergleichsweise geringgehalten werden. In Aufgaben mit schwierigen mathematischen Anteilen, sollte für alternative Lösungen, die das Ergebnis näherungsweise erfassen, ein Teil der Punkte vergeben werden. Die erklärenden Aufgabentexte sollten präzise sein; die theoretischen und experimentellen Aufgabentexte

sollten jeweils weniger als 12.000 Zeichen enthalten (inklusive Leerzeichen, aber ohne Deckblatt und Antwortblatt).

### 1.3 Ausnahmen

Aufgaben dürfen Konzepte und Phänomene, die nicht im Stoffkatalog aufgeführt sind, enthalten, wenn ausreichend Informationen im Aufgabentext gegeben sind, sodass Teilnehmende ohne Vorwissen in diesem Bereich nicht stark benachteiligt sind. Solche neuen Konzepte müssen eng mit den Inhalten dieses Stoffkatalogs verwandt sein und sollten in dessen Terminologie erklärt werden.

### 1.4 Einheiten

Zahlenangaben sind in SI-Einheiten anzugeben, oder in Einheiten die offiziell auf der Basis von SI-Einheiten arbeiten.

Teilnehmende sollten mit den nachfolgend aufgeführten Phänomenen, Konzepten und Methoden vertraut und in der Lage sein, ihr Wissen kreativ anzuwenden.

## 2 Theoretische Fähigkeiten

### 2.1 Allgemein

Die Fähigkeit, bei der Modellierung realer Probleme angemessene Annahmen und Abschätzungen zu machen. Erkennen und Ausnutzen von Symmetrien.

### 2.2 Mechanik

#### 2.2.1 Kinematik

Geschwindigkeit und Beschleunigung einer Punktmasse als Ableitungen des Ortsvektors. Linear-geschwindigkeit, Zentripetal- und Tangentialbeschleunigung. Bewegung einer Punktmasse mit konstanter Beschleunigung. Addition von Geschwindigkeiten und Winkelgeschwindigkeiten; Addition von Beschleunigungen ohne Coriolis-Term; Erkennen der Fälle, bei denen die Coriolis-Beschleunigung gleich null ist. Bewegung eines starren Körpers als Rotation um eine momentane Rotationsachse; Geschwindigkeiten und Beschleunigungen von Punkten in rotierenden starren Körpern.

#### 2.2.2 Statik

Schwerpunktbestimmung durch Summation oder Integration. Gleichgewichtsbedingungen: Kräftegleichgewicht (vektoriell oder in Form von Projektionen), Ausgleich von Drehmomenten (nur für ein- oder zweidimensionale Geometrie). Normalkraft, Spannkraft, (Haft- und Gleit-)reibung; Hookesches Gesetz; Druck; verformende Spannung und Elastizitätsmodul; stabile und instabile Gleichgewichte.

#### 2.2.3 Dynamik

2. Newtonsches Gesetz (in Vektorform und durch Projektion [Komponenten]); kinetische Energie für Translations- und Rotationsbewegungen. Potentielle Energie für einfache Kraftfelder (auch als Linienintegral des Kraftfelds). Impuls, Drehimpuls, Energie und deren Erhaltungssätze. Mechanische Arbeit und Leistung; Entwertung aufgrund von Reibung. Inertialsysteme und Nicht-Inertialsysteme als Bezugssysteme: Trägheitskraft, Zentrifugalkraft, potentielle Energie im rotierenden Bezugssystem. Trägheitsmoment für einfache Körper (Ring, Scheibe, Kugel, Hohlkugel, Stab), Steinerscher Satz; Bestimmen des Trägheitsmomentes durch Integration.

#### 2.2.4 Himmelsmechanik

Gravitationsgesetz, Gravitationspotential, Keplersche Gesetze (keine Herleitung für das erste und dritte Gesetz erforderlich). Energie einer Punktmasse auf einer elliptischen Bahn.

#### 2.2.5 Hydrodynamik

Druck, Auftrieb, Kontinuitätsgleichung, Bernoulli-Gleichung. Oberflächenspannung und die zugehörige Energie; Kapillardruck.

## 2.3 Elektromagnetische Felder

### 2.3.1 Basiskonzepte

Konzepte der Ladung und des Stromes; Ladungserhaltung und Kirchhoffs Stromgesetz (Knotenregel). Coulomb-Kraft; elektrostatisches Feld als ein Potentialfeld; Kirchhoffs Spannungsgesetz (Maschenregel). Magnetisches  $B$ -Feld; Lorentzkraft; Ampèresches Gesetz; Nutzung des Gesetzes von Biot und Savart zur Bestimmung des  $B$ -Feldes auf der Achse eines kreisförmigen stromdurchflossenen Leiters und für einfache symmetrische Systeme wie gerader Draht, kreisförmige Schleife und lange Spule.

### 2.3.2 Integrale Form der Maxwell-Gleichungen

Gaußsches Gesetz (für  $E$ - und  $B$ -Feld); Ampèresches Gesetz; Induktionsgesetz; nutzen dieser Gesetze zur Berechnung bei stückweise konstantem Integranden. Randbedingungen für das elektrische Feld (oder das elektrostatische Potential) an der Oberfläche von Leitern und im Unendlichen; Konzept der geerdeten Leiter. Superpositionsprinzip für elektrische und magnetische Felder; Eindeutigkeit von Lösungen in vollständig bestimmten Systemen; Spiegelladungsmethode.

### 2.3.3 Wechselwirkung von Materie mit elektrischen und magnetischen Feldern

Widerstandswert und Leitfähigkeit; differentielle Form des ohmschen Gesetzes. Dielektrische und magnetische Permeabilität; relative Permittivität und Permeabilität elektrischer und magnetischer Materialien; Energiedichte elektrischer und magnetischer Felder; ferromagnetische Materialien; Hysterese und Entwertung; Wirbelströme; Lenzsche Regel. Ladungen in Magnetfeldern: schraubenförmige Bewegung, Zyklotronfrequenz, Ablenkung in gekreuzten  $E$ - und  $B$ -Feldern. Energie eines magnetischen Dipols in einem Magnetfeld; Dipolmoment eines stromdurchflossenen Leiters.

### 2.3.4 Stromkreise

Linearer Widerstand und ohmsches Gesetz; in Leiter umgesetzte Leistung; geleistete Arbeit durch eine elektromotorische Kraft; ideale und nicht-ideale Batterien, Gleichstromquellen, Amperemeter, Voltmeter und Widerstandsmessgeräte. Nichtlineare Elemente mit gegebenen  $U$ - $I$ -Kennlinien. Kondensator und Kapazität (auch für eine einzelne Elektrode gegenüber unendlich); Selbstinduktion und Induktivität; Energie von Kondensatoren und Spulen; gegenseitige Induktion; Transformatoren mit geschlossenen Eisenkernen; Zeitkonstanten für  $RL$ - und  $RC$ -Kreise. Wechselstromkreise: komplexe Amplitude; Impedanzen von Widerständen, Spulen, Kondensatoren und Kombinationen; Phasendiagramme; Strom- und Spannungsresonanz; Wirkleistung.

## 2.4 Schwingungen und Wellen

### 2.4.1 Einfaches Pendel

Harmonische Schwingungen: Bewegungsgleichung, Frequenz, Kreisfrequenz und Periodendauer. Physikalisches Pendel und dessen reduzierte Länge. Verhalten in der Nähe instabiler Gleichgewichte. Exponentieller Abfall gedämpfter Schwingungen; Resonanz von sinusförmig angeregten Oszillatoren: Amplitude und Phasenverschiebung von eingeschwungenen Schwingern. Freie Schwingung eines  $LC$ -Kreises; mechano-elektrische Analogie; Mitkopplung (positive Rückkopplung) als Quelle von Instabilität; Generierung von Sinuswellen durch Rückkopplung im  $LC$ -Resonator.

### 2.4.2 Wellen

Ausbreitung harmonischer Wellen: Phase als lineare Funktion von Raum und Zeit; Wellenlänge, Wellenvektor, Phasen- und Gruppengeschwindigkeit; exponentieller Abfall für Wellen, die sich in dissipativen Medien ausbreiten; transversale und longitudinale Wellen; der klassische Doppler-Effekt. Wellen in inhomogenen Medien: Fermatsches Prinzip, Snelliussches Brechungsgesetz. Schallwellen: Ausbreitungsgeschwindigkeit als Funktion des Druckes (Young oder Kompressionsmodul) und der Dichte, Machscher Kegel. Energie, die durch Wellen transportiert wird: Proportionalität zum Quadrat der Amplitude, Kontinuität des Energieflusses.

### 2.4.3 Interferenz und Beugung

Überlagerung von Wellen: Kohärenz, Schwebung, stehende Welle, Huygensches Prinzip, Interferenz durch dünne Schichten (nur die Bedingungen für Intensitätsminima und –maxima). Brechung an einem und zwei Spalten, Beugungsgitter, Bragg-Reflexion.

### 2.4.4 Wechselwirkung elektromagnetischer Wellen mit Materie

Abhängigkeit der elektrischen Permittivität von der Frequenz (qualitativ); Brechungsindex; Streuung (Dispersion) und Schwächung (Dissipation) von elektromagnetischen Wellen in transparenten und undurchsichtigen Materialien. Lineare Polarisation; Brewster-Winkel; Polarisatoren; Gesetz von Malus.

### 2.4.5 Geometrische Optik und Photometrie

Näherungen der geometrischen Optik: Strahlen und optische Bilder; Halb- und Vollschaten. Dünne-Linsen-Näherung; Konstruktion von Bildern durch ideal angenommene dünne Linsen; Abbildungsgleichung. Lichtfluss und dessen Kontinuität; Beleuchtungsstärke; Lichtstärke.

### 2.4.6 Optische Geräte

Teleskope und Mikroskope: Vergrößerung und Auflösungsvermögen; Beugungsgitter und dessen Auflösungsvermögen; Interferometer.

## 2.5 Relativitätstheorie

Prinzip der Relativität und Lorentz-Transformation für Zeit- und Raumkoordinaten, und für die Energie und den Impuls; Masse-Energie-Äquivalenz; Invarianz des Raumzeitintervalls und der Ruhemasse. Addition von parallelen Geschwindigkeiten; Zeitdilatation; Längenkontraktion; Relativität der Gleichzeitigkeit; Energie und Impuls von Photonen und relativistischer Doppler-Effekt; relativistische Gleichung der Bewegung; Erhaltung der Energie und des Impulses für elastische und inelastische Wechselwirkungen von Teilchen.

## 2.6 Quantenphysik

### 2.6.1 Wellenfunktion

Teilchen als Wellen: Zusammenhang zwischen Frequenz und Energie, und zwischen dem Wellenvektor und dem Impuls. Energieniveaus von wasserstoffähnlichen Atomen (nur kreisförmige Orbits) und von parabolischen Potentialen; Quantisierung des Drehmomentes. Unschärferelation der konjugierten Paare Zeit und Energie sowie Ort und Impuls (als Theorem und als Werkzeug für Abschätzungen).

### 2.6.2 Struktur der Materie

Emissions- und Absorptionsspektren für wasserstoffähnliche Atome (für andere Atome nur qualitativ), und für Moleküle aufgrund von Molekülschwingungen und -rotationen; spektrale Breite und Lebensdauer eines angeregten Zustandes. Pauli-Prinzip für Fermi-Teilchen. Teilchen (Wissen über Ladung und Spin): Elektron, Elektron-Neutrino, Proton, Neutron, Photon; Compton-Streuung. Protonen und Neutronen als zusammengesetzte Teilchen. Atomkern, Energielevel des Kerns (qualitativ); Alpha-, Beta- und Gammazerfall; Spaltung, Fusion und Neutroneneinfang; Massendefekt; Halbwertszeit und exponentieller Zerfall. Photoelektrischer Effekt.

## 2.7 Thermodynamik und statistische Physik

### 2.7.1 Klassische Thermodynamik

Konzept des thermischen Gleichgewichts und reversible Prozesse; innere Energie, Arbeit und Wärme; Kelvinskala; Entropie; offene, geschlossene und isolierte Systeme; erstes und zweites Gesetz der Thermodynamik. Kinetische Theorie idealer Gase: Avogadro-Konstante, Boltzmann-Faktor und Gaskonstante; Translationsbewegung von Molekülen und Druck; Gesetz des idealen Gases; Freiheitsgrade der Translation, der Rotation und der Schwingung; Gleichverteilungstheorem; innere Energie idealer Gase; quadratischer Mittelwert der Geschwindigkeit der Moleküle. Isotherme, isobare, isochore und adiabatische Prozesse; spezifische Wärme für isobare und isochore Prozesse; normaler und rückläufiger Carnot-Prozess für ideale Gase und dessen Wirkungsgrad; Wirkungsgrad von nicht-idealen Wärmekraftmaschinen.

### 2.7.2 Wärmetransfer und Phasenübergänge

Phasenübergänge (sieden, verdunsten, schmelzen, sublimieren) und latente Wärme; Sättigungsdampfdruck, relative Luftfeuchtigkeit; Sieden; Dalton-Gesetz; Konzept der Wärmeleitfähigkeit; Kontinuität des Wärmeflusses.

### 2.7.3 Statistische Physik

Plancksches Strahlungsgesetz (qualitativ erklärt – muss nicht auswendig gekannt werden); Wien'sches Verschiebungsgesetz; Stefan-Boltzmann-Gesetz.

## 3 Experimentelle Fähigkeiten

### 3.1 Einführung

Das theoretische Wissen zur Durchführung der Experimente ist in Abschnitt 2 aufgeführt.

Die experimentellen Aufgaben sollten zumindest einige Teile enthalten, bei denen die experimentelle Vorgehensweise (Aufbau; Auflistung aller zu messenden Größen; sowie Formeln, die zur Berechnung benötigt werden) nicht in jedem Detail gegeben sind.

Die experimentellen Aufgaben können implizit theoretische Aufgaben enthalten (Ableitung einer Formel, die für die Berechnung notwendig ist); es sollten aber keine expliziten theoretischen Aufgaben enthalten sein, wenn diese nicht das Verständnis der unterliegenden physikalischen Prinzipien des Experimentes oder der zu untersuchenden Phänomene behandeln. Es sollten keine unnötig langen mathematischen Berechnungen enthalten sein.

Die erwartete Anzahl an direkten Messungen und die Anzahl von numerischen Berechnungen sollte nicht so groß sein, dass sie einen Großteil der ausgeschriebenen Zeit in Anspruch nimmt: die Aufgaben sollten experimentelle Kreativität testen und nicht die Geschwindigkeit mit der Teilnehmende technische Aufgaben erfüllen können.

Die Teilnehmenden sollten die folgenden Fähigkeiten besitzen.

### 3.2 Sicherheit

Kenntnis von Sicherheitsrichtlinien im Labor. Sollte der experimentelle Aufbau Gefahrenquellen beinhalten, sollten entsprechende Hinweise und Warnungen im Aufgabentext enthalten sein. Experimente mit größeren Sicherheitsrisiken sollten vermieden werden.

### 3.3 Messtechniken und -apparaturen

Kenntnis der gängigen experimentellen Techniken, um physikalische Größen der im theoretischen Teil genannten Inhalte zu bestimmen.

Kenntnis von herkömmlichen einfachen Laborinstrumenten und digitalen und analogen Versionen von einfachen Geräten, wie zum Beispiel Messschieber, Noniuskalen, Stoppuhren, Thermometer, Multimeter (inklusive Ohmmeter und AC/DC Volt- und Amperemeter), Potentiometer, Dioden, Linsen, Prismen, optische Bank, Kalorimeter etc.

Aufwändige Apparaturen, die Teilnehmenden wahrscheinlich unbekannt ist, sollten nicht im Vordergrund stehen. Bei fortgeschrittenem Experimentiergerät (wie Oszilloskop, Zähler, Durchflussmesser, Signal- und Funktionsgenerator, Lichtschranken etc.) müssen den Teilnehmenden entsprechende Anleitungen gegeben werden.

### 3.4 Genauigkeit

Bewusstsein, dass Messinstrumente den Ausgang von Experimenten beeinflussen können.

Kenntnis grundlegender Prinzipien zur Erhöhung der Genauigkeit von Versuchen (z.B. mehrere Perioden, statt nur einer zu messen; den Einfluss von Rauschen minimieren etc.).

Kenntnis, dass, bei der Untersuchung funktionaler Abhängigkeiten einer physikalischen Größe, die Dichte der Messwerte an charakteristischen Stellen erhöht werden sollte.

Ausdrücken von Messergebnissen und experimentellen Unsicherheiten mit einer angemessenen Anzahl signifikanter Stellen und korrektes Runden.

### **3.5 Experimentelle Fehlerabschätzung**

Identifikation maßgeblicher Fehlerquellen und sinnvolle Abschätzung der Fehlergrößen bei direkten Messungen (mit Hilfe vorgegebener Regeln zur Abschätzungen, wenn angegeben).

Unterscheidung zwischen zufälligen und systematischen Fehlern; Minimierung zufälliger Fehler durch Messwiederholung.

Bestimmung absoluter und relativer Fehler von Größen, die sich aus gemessenen Größen ergeben unter Nutzung gängiger Methoden wie linearer Approximation, Addition der Beträge oder quadratischer Addition.

### **3.6 Datenanalyse**

Transformation einer Abhängigkeit in eine lineare Form durch passende Wahl von Variablen. Fitten einer Ausgleichsgerade und Bestimmung der linearen Regressionsparameter (Steigung, Achsenabschnitt und Fehlerabschätzung) entweder grafisch oder durch Nutzung statistischer Funktionen eines Taschenrechners (beide Methoden sind akzeptabel).

Wahl angemessener Skalen für Graphen und Eintragen von Messpunkten mit Fehlerbalken.

## **4 Mathematik**

### **4.1 Algebra**

Vereinfachung von Formeln durch Faktorisieren und Ausmultiplizieren. Lösung linearer Gleichungssysteme. Lösen von Gleichungen und Gleichungssystemen, die zu quadratischen und biquadratischen Gleichungen führen; Identifikation physikalisch sinnvoller Lösungen. Summierung von arithmetischen und geometrischen Reihen.

### **4.2 Funktionen**

Wesentliche Eigenschaften von trigonometrischen, invers-trigonometrischen, exponentiellen und logarithmischen Funktionen und Polynomen. Dies beinhaltet Formeln von trigonometrischen Funktionen mit Summen von Winkeln. Lösen einfacher Gleichungen, die trigonometrische, logarithmische und exponentielle Funktionen enthalten.

### **4.3 Geometrie und Stereometrie**

Grad und Radiant als alternative Maße für Winkel. Gleichheit von Wechselwinkeln, Gleichheit korrespondierender Winkel. Erkennen ähnlicher Dreiecke. Flächen von Dreiecken, Trapezen, Kreisen und Ellipsen; Oberfläche von Kugeln, Zylindern und Kegeln; Volumen von Kugeln, Kegeln, Zylindern und Prismen. Sinus- und Kosinussatz, Eigenschaften von Umfangs- und Mittelpunktswinkeln; Satz von Thales; Seitenhalbierende und geometrischer Schwerpunkt eines Dreiecks. Eigenschaften von Kegelschnitten: Kreisen, Ellipsen, Parabeln und Hyperbeln.

### **4.4 Vektoren**

Grundeigenschaften von Vektorsummen, Skalar- und Kreuzprodukt. Doppeltes Kreuzprodukt und Spatprodukt. Geometrische Interpretation der Zeitableitung einer Vektorgröße.

#### **4.5 Komplexe Zahlen**

Addition, Multiplikation und Division von komplexen Zahlen; Separation des Imaginär- und Realteils. Umwandlung zwischen algebraischer, trigonometrischer und exponentieller Darstellung komplexer Zahlen. Komplexe Wurzeln quadratischer Gleichungen und deren physikalische Interpretation.

#### **4.6 Statistik**

Berechnung von Wahrscheinlichkeiten als Verhältnis von Fällen oder Häufigkeiten. Berechnung von Mittelwerten, Standardabweichungen sowie Standardabweichung eines Mittelwertes.

#### **4.7 Analysis**

Ableitung elementarer Funktionen sowie von deren Summen, Produkten, Quotienten und von verschachtelten Funktionen. Integration als inverse Operation zur Differentiation. Finden von bestimmten und unbestimmten Integralen in einfachen Fällen: elementare Funktionen, Summen von Funktionen; Substitutionsregel für lineare Argumente. Bestimmte Integrale mittels Substitution dimensionslos machen. Geometrische Interpretation von Ableitungen und Integralen. Bestimmen von Integrationskonstanten mit Hilfe von Anfangsbedingungen. Konzept der Gradientenvektoren (partielle Ableitungs-Formalismus wird nicht benötigt).

#### **4.8 Näherungsmethoden und numerische Methoden**

Nutzung von linearen und polynomischen Näherungen, die auf Taylor-Reihen basieren. Linearisierung von Gleichungen und Ausdrücken. Störungsmethode: Berechnung von Korrekturen, welche auf ungestörten Lösungen basieren. Näherungsweise Lösen von Gleichungen durch numerische Methoden wie z.B. Newton-Verfahren oder Intervallhalbierung. Numerische Integration mit Hilfe der Trapezregel oder der Addition von Rechtecken.