

Olympiades Nationales de Physique



**PROGRAMME DE PHYSIQUE
AUX OLYMPIADES NATIONALES ET INTERNATIONALES**

SYLLABUS IPHO / Source : The International Physics Olympiad (IPHO).

Publication/NPhO (<https://www.npho.info/>)

Table des matières

Table des matières	ii
1 Mécanique du point et des systèmes	1
1.1 Cinématique	1
1.2 Statique	1
1.3 Dynamique	1
1.4 Mécanique céleste	2
1.5 Hydrodynamique	2
1.6 Relativité	2
2 Champs électromagnétiques	3
2.1 Concepts de base	3
2.2 Formes intégrales des équations de MAXWELL	3
2.3 Interaction de la matière avec les champs électriques et magnétiques	3
2.4 Circuits	4
3 Oscillations et ondes	5
3.1 Oscillateur simple	5
3.2 Ondes	5
3.3 Interférences et diffraction	5
3.4 Interaction des ondes électromagnétiques avec la matière	6
3.5 Optique géométrique et photométrie	6
3.6 Dispositifs/Instruments d'optiques	6
4 Physique quantique	7
4.1 Ondes de probabilité	7
4.2 Structure de la matière	7
5 Thermodynamique et physique statistique	8
5.1 Thermodynamique classique	8
5.2 Transfert de chaleur et transitions de phase	8
5.3 Physique statistique	8
6 Compétences expérimentales	9
6.1 Introduction	9
6.2 Sécurité	9
6.3 Techniques et appareils de mesure	9
6.4 Précision	10
6.5 Analyse de l'incertitude expérimentale	10
6.6 Analyse des données	10
7 Mathématiques	12
7.1 Algèbre	12
7.2 Fonctions	12
7.3 Géométrie et stéréométrie	12

7.4	Vecteurs	12
7.5	Nombres complexes	13
7.6	Statistiques	13
7.7	Fonctions	13
7.8	Méthodes approximatives et numériques	13

Mécanique du point et des systèmes

1

1.1 Cinématique

- Vitesse et accélération d'une particule ponctuelle en tant que dérivées de son vecteur déplacement.
- Vitesse linéaire; accélération normales et tangentielle (mouvement curvilinéaire, cas d'un mouvement circulaire).
- Mouvement d'une particule ponctuelle **uniformément** accéléré.
- Addition des vitesses et des vitesses angulaires; addition des accélérations **sans le terme de Coriolis**; reconnaissance des cas où l'accélération de Coriolis est nulle.
- Mouvement de rotation d'un corps rigide autour d'un **centre instantané** (de rotation); vitesses et accélérations des points matériels des corps rigides en rotation.

1.2 Statique

- Recherche du centre de masse d'un système par **sommation** ou par intégration.
- Conditions d'équilibre : équilibre des forces (**vectériellement ou en termes de projections**) et équilibre des moments ou couples (uniquement pour la géométrie unidimensionnelle et bidimensionnelle).
- Force normale (action d'un support), force de tension (fil, corde, câble, ressort,...), force de frottement statique et dynamique; loi de HOOKE, contrainte, déformation et module d'YOUNG.
- Équilibres stables et instables.

1.3 Dynamique

- Deuxième loi de NEWTON (sous forme de vecteur et par projections (**composantes**)); énergie cinétique pour les mouvements de translation et de rotation.
- Énergie potentielle pour les champs de force simples (également sous forme d'intégrale de ligne du champ de force).
- Quantité de mouvement, moment cinétique, énergie et leurs lois de conservation.
- Travail mécanique et puissance mécanique; dissipation due au frottement.
- Référentiel inertiels (**Galiléen**) et non inertiels : force d'inertie, force centrifuge, énergie potentielle dans un référentiel en rotation.

1.1 Cinématique	1
1.2 Statique	1
1.3 Dynamique	1
1.4 Mécanique céleste	2
1.5 Hydrodynamique	2
1.6 Relativité	2

Commentaires/Remarques

Description vectorielle de la position du point masse, vitesse et accélération sous forme de vecteurs

Commentaires/Remarques

Couples, conditions d'équilibre des corps.

Commentaires/Remarques

Loi de HOOKE, coefficient de frottement constant, forces de frottement, statiques et dynamique, choix du zéro de l'énergie potentielle

Commentaires/Remarques

Des problèmes peuvent être posés en cas de masse variable.

Commentaires/Remarques

La connaissance de la formule de la force de **Coriolis** n'est pas nécessaire.

- Moment d'inertie pour les corps simples (anneau, disque, sphère, sphère creuse, tige), théorème des axes parallèles (**Huygens**)(^{*}); détermination d'un moment d'inertie par intégration.

1.4 Mécanique céleste

- Loi de la gravité, potentiel gravitationnel, lois de KEPLER.
- Énergie d'une masse ponctuelle (point matériel) sur une orbite elliptique.

Aucune démonstration n'est nécessaire pour la première et la troisième loi de KEPLER.

1.5 Hydrodynamique

- Pression, flottabilité (poussée d'ARCHIMÈDE), loi de continuité, équation de BERNOULLI.
- Tension superficielle et énergie associée, pression capillaire.

1.6 Relativité

- Principe de relativité et transformations de LORENTZ pour les coordonnées temporelles et spatiales, ainsi que pour l'énergie et la quantité de mouvement; équivalence masse-énergie; invariance de l'intervalle espace-temps et de la masse au repos.
- Addition de vitesses parallèles; dilatation du temps; contraction de la longueur; relativité de la simultanéité; énergie et quantité de mouvement des photons et effet DOPPLER relativiste; équation relativiste du mouvement; conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement pour l'interaction élastique et non élastique des particules.

*. Détermination du moment d'inertie d'un corps par rapport à un axe de rotation *quelconque* à partir du moment d'inertie du corps par rapport à un axe *parallèle* passant par le centre de masse G du corps et de la distance d entre les deux axes

2.1 Concepts de base

- Concepts de charge et de courant; conservation de la charge et loi du courant de KIRCHHOFF (lois des noeuds).
- Force de COULOMB; champ électrostatique E en tant que champ-potentiel; loi de KIRCHHOFF SUR la tension (lois des mailles).
- Champ magnétique B ; force de LORENTZ; force d'AMPÈRE(*); loi de BIOT-SAVART et champ B sur l'axe d'une boucle de courant circulaire et pour des systèmes symétriques simples comme un fil rectiligne, une boucle circulaire et un solénoïde (**très long!**).

2.2 Formes intégrales des équations de MAXWELL

- Loi de GAUSS (pour les champs E et B); loi d'AMPÈRE; loi de FARADAY; utilisation de ces lois pour le calcul des champs électriques lorsque l'intégrande (la fonction qui est intégrée) est presque constante par morceaux.
- Conditions aux limites pour le champ électrique (ou le potentiel électrostatique) à la surface des conducteurs et à l'infini; concept de conducteurs mis à la terre (*potentiel nul*).
- Principe de superposition des champs électriques et magnétiques; unicité de la solution à des problèmes bien posés; méthode des charges image (*parfois appelée méthode des charges ou méthode des charges miroirs*).

2.3 Interaction de la matière avec les champs électriques et magnétiques

- Résistivité et conductivité; la loi d'OHM (forme généralisée et forme locale).
- Permittivité diélectrique ϵ et Perméabilité magnétique μ ; permittivité et perméabilité relatives des matériaux électriques et magnétiques (ϵ_r et μ_r); densité d'énergie des champs électriques et magnétiques; matériaux ferromagnétiques; hystérésis et dissipation; courants de FOUCAULT; loi de LENZ.
- Charges dans un champ magnétique: mouvement hélicoïdal, fréquence cyclotron, dérive dans des champs E et B croisés.

*. force d'attraction ou de répulsion entre deux fils conducteurs parcourus par un courant électrique.

2.1 Concepts de base	3
2.2 Formes intégrales des équations de MAXWELL	3
2.3 Interaction de la matière avec les champs électriques et magnétiques	3
2.4 Circuits	4

Commentaires/Remarques

Cas simples de circuits contenant des dispositifs non ohmiques dont les caractéristiques V-I sont connues. Particules dans un champ magnétique, applications simples comme le cyclotron, le moment dipolaire magnétique.

Commentaires/Remarques

La loi de Gauss se limite aux systèmes symétriques simples tels que la sphère, le cylindre, la plaque, etc. Champ magnétique de systèmes symétriques simples comme un fil droit, une boucle circulaire et un long solénoïde.

- Énergie d'un dipôle magnétique dans un champ magnétique; moment dipolaire d'une boucle de courant.

2.4 Circuits

- Résistances linéaires et loi d'OHM; loi de JOULE; travail effectué par une force électromotrice; piles ou batteries idéales et non idéales, sources de courant constant, ampèremètres, voltmètres et ohmmètres.
- Caractéristique $V - I$ des éléments non linéaires.
- Condensateurs et capacité (également pour une électrode unique par rapport à l'infini); auto-induction et inductance; énergie des condensateurs (capacités) et des bobines (inductances); inductance mutuelle; constantes de temps pour les circuits RL et RC .
- Circuits à courant alternatif : amplitude complexe; impédance des résistances, des inductances, des condensateurs et des circuits combinés (réseaux); diagrammes de phase; résonance du courant et de la tension; puissance active.

Commentaires/Remarques

Des circuits CA simples, des constantes de temps, des formules finales pour les paramètres des circuits de résonance concrets ne sont pas nécessaires.

3.1 Oscillateur simple

- Oscillations harmoniques : équation du mouvement, fréquence, fréquence angulaire (vitesse angulaire ou pulsation) et période.
- Pendule physique (pendule pesant) et sa longueur réduite (*).
- Comportement à proximité d'équilibres instables.
- Décroissance exponentielle des oscillations amorties; résonance des oscillateurs forcés sinusoïdalement : amplitude et déphasage des oscillations en régime permanent.
- Oscillations libres des circuits LC ; analogie mécanique-électrique ; rétroaction positive comme source d'instabilité ; génération d'ondes sinusoïdales par rétroaction dans un résonateur LC .

3.2 Ondes

- Propagation des ondes harmoniques : phase en tant que fonction linéaire de l'espace et du temps ; longueur d'onde, vecteur d'onde, vitesse de phase et vitesse de groupe ; décroissance exponentielle pour les ondes se propageant dans des milieux dissipatifs ; ondes transversales et longitudinales ; l'effet DOPPLER classique.
- Ondes dans les milieux in-homogènes : Principe de FERMAT, lois de SNELL.
- Ondes sonores : vitesse en fonction de la pression (module de YOUNG ou module de masse!) et de la densité, cône de MACH.
- Énergie transportée par les ondes : proportionnalité au carré de l'amplitude, continuité du flux d'énergie.

3.3 Interférences et diffraction

- Superposition d'ondes : cohérence, battements, ondes stationnaires, principe de HUYGENS, interférences dues à des films minces (conditions pour les minima et maxima d'intensité seulement).
- Diffraction par une et deux fentes, réseau de diffraction, réflexion de BRAGG.

*. la longueur réduite d'un pendule physique est la longueur d'un pendule simple ayant la même période d'oscillation.

- 3.1 Oscillateur simple 5
- 3.2 Ondes 5
- 3.3 Interférences et diffraction 5
- 3.4 Interaction des ondes électromagnétiques avec la matière 6
- 3.5 Optique géométrique et photométrie 6
- 3.6 Dispositifs/Instruments d'optiques 6

Commentaires/Remarques
Solution de l'équation du mouvement harmonique, de l'atténuation et de la résonance -qualitativement.

Commentaires/Remarques
Déplacement dans une onde progressive et compréhension de la représentation graphique de l'onde, mesures de la vitesse du son et de la lumière, effet DOPPLER dans une seule dimension, propagation des ondes dans des milieux homogènes et isotropes, réflexion et réfraction, principe de Fermat.

Commentaires/Remarques
Superposition d'ondes polarisées.

Commentaires/Remarques
Réalisation que l'intensité d'une onde est proportionnelle au carré de son amplitude. L'analyse de Fourier n'est pas requise, mais les candidats doivent avoir compris que des ondes complexes peuvent être produites par l'addition d'ondes sinusoïdales simples de différentes fréquences. Interférences dues à des couches minces et à d'autres systèmes simples (les formules finales ne sont pas requises), superposition d'ondes provenant de sources secondaires (diffraction).

3.4 Interaction des ondes électromagnétiques avec la matière

- Dépendance de la permittivité électrique en fonction de la fréquence (qualitativement); indice de réfraction; dispersion et dissipation des ondes électromagnétiques dans les matériaux transparents et opaques.
- Polarisation linéaire; angle de BREWSTER; polariseurs; loi de MALUS.

3.5 Optique géométrique et photométrie

- Approximation de l'optique géométrique : rayons et images optiques; ombre partielle et ombre complète.
- Approximation des lentilles minces; construction d'images créées par des lentilles minces idéales; équation des lentilles minces (relations de conjugaison); flux lumineux et sa continuité; éclairement lumineux; intensité lumineuse.

3.6 Dispositifs/Instruments d'optiques

- Télescopes et microscopes : grossissement et pouvoir de résolution; réseau de diffraction et son pouvoir de résolution; interféromètres.

4.1 Ondes de probabilité

- Particules en tant qu'ondes : relation entre la fréquence et l'énergie, et entre le vecteur d'onde et la quantité de mouvement.
- Niveaux d'énergie des atomes hydrogènoïdes (orbites circulaires uniquement) et des potentiels paraboliques ; quantification du moment angulaire (cas du moment cinétique).
- Principe d'incertitude pour les paires conjuguées de temps et d'énergie, et de coordonnées et de quantité de mouvement (en tant que théorème et outil d'estimation).

4.1 Ondes de probabilité 7

4.2 Structure de la matière 7

4.2 Structure de la matière

- Spectres d'émission et d'absorption pour les atomes hydrogènoïdes (et qualitativement pour d'autres atomes), et pour les molécules en raison des oscillations moléculaires ; largeur spectrale et durée de vie des états excités.
- Principe d'exclusion de PAULI pour les particules de FERMI.
- Particules (connaissance de la charge et du spin) : électrons, neutrinos électroniques, protons, neutrons, photons ; diffusion Compton.
- Protons et neutrons en tant que particules composées.
- Noyaux atomiques, niveaux d'énergie des noyaux (qualitativement) ; désintégrations alpha, bêta et gamma ; fission, fusion et capture de neutrons ; défaut de masse ; demi-vie et décroissance exponentielle.
- Effet photoélectrique.

5.1 Thermodynamique classique

- Concepts d'équilibre thermique et de processus réversibles; énergie interne, travail et chaleur; échelle de température de KELVIN; entropie; systèmes ouverts, fermés et isolés; première et deuxième lois de la thermodynamique.
- Théorie cinétique des gaz idéaux : Nombre d'AVOGADRO, facteur de BOLTZMANN et constante des gaz; mouvement de translation des molécules et pression; loi des gaz idéaux; degrés de liberté de translation, de rotation et d'oscillation; théorème d'équipartition; énergie interne des gaz idéaux; vitesse quadratique moyenne des molécules.
- Processus isothermes, isobares, isochores et adiabatiques; chaleur spécifique pour les processus isobares et isochores; cycle de Carnot moteur et récepteur pour un gaz idéal et son efficacité ou rendement.
- Rendement des moteurs thermiques réels.

5.2 Transfert de chaleur et transitions de phase

- Transitions de phase (ébullition, évaporation, fusion, sublimation) et chaleur latente; pression de vapeur saturée, humidité relative; ébullition; loi de DALTON.
- Concept de conductivité thermique; continuité des flux de chaleur.

5.3 Physique statistique

- Loi de PLANCK (explication qualitative).
- loi de déplacement de WIEN; loi de STEFAN-BOLTZMANN.

5.1 Thermodynamique classique 8
5.2 Transfert de chaleur et transitions de phase 8
5.3 Physique statistique 8

Commentaires/Remarques

Équilibre thermique, quantités dépendant de l'état et quantités dépendant du processus de la transformation.

Commentaires/Remarques

Approche moléculaire de phénomènes aussi simples que l'ébullition, la fusion, etc. dans les liquides et les solides.

Commentaires/Remarques

La preuve de l'équation du processus adiabatique n'est pas requise.

Commentaires/Remarques

Entropie en tant que fonction indépendante du chemin, changements d'entropie et réversibilité, processus quasi-statiques.

Commentaires/Remarques

Il n'est pas nécessaire de la retenir.

6.1 Introduction

- Les connaissances théoriques nécessaires à la réalisation des expériences doivent être couvertes par la partie théorique de ce syllabus.
- Les problèmes expérimentaux doivent contenir au moins quelques tâches pour lesquelles la procédure expérimentale (montage, liste de toutes les grandeurs faisant l'objet de mesures directes et formules à utiliser pour les calculs) n'est pas décrite en détail.
- Les problèmes expérimentaux peuvent contenir des tâches théoriques implicites (expressions des formules nécessaires aux calculs).
- Il ne doit pas y avoir de tâches théoriques explicites à moins que ces tâches ne testent la compréhension des principes de fonctionnement du dispositif expérimental donné ou de la physique des phénomènes à étudier, et qu'elles n'impliquent pas de longs (lourds!!) calculs mathématiques.
- Le nombre prévu de mesures directes et la quantité des calculs numériques ne doivent pas être si importants qu'ils absorbent une grande partie du temps consacré : l'examen doit tester la **créativité expérimentale** plutôt que la rapidité avec laquelle les étudiants peuvent exécuter des tâches techniques.
- Les étudiants doivent posséder les compétences suivantes :

6.2 Sécurité

- Connaître les règles de sécurité standard dans le travail de laboratoire.
- Néanmoins, si le dispositif expérimental présente des risques pour la sécurité, les avertissements appropriés doivent être inclus dans le texte du problème.
- Les expériences présentant des risques majeurs pour la sécurité doivent être évitées.

6.3 Techniques et appareils de mesure

- Connaître les techniques expérimentales les plus courantes pour mesurer les grandeurs physiques mentionnées dans la partie théorique.
- Connaître les instruments de laboratoire simples couramment utilisés et les versions numériques et analogiques de dispositifs simples, tels que les pieds à coulisse, l'échelle de Vernier, les chronomètres, les thermomètres, les multimètres (y compris les ohmmètres et les voltmètres

6.1 Introduction	9
6.2 Sécurité	9
6.3 Techniques et appareils de mesure	9
6.4 Précision	10
6.5 Analyse de l'incertitude expérimentale	10
6.6 Analyse des données	10

- et ampèremètres CA/CC), les potentiomètres, les diodes, les transistors, les lentilles, les prismes, les dispositifs optiques, les calorimètres, ...
- L'équipement pratique sophistiqué susceptible de ne pas être familiariser aux étudiants ne devrait pas poser de problème.
 - Dans le cas d'équipements modérément sophistiqués (tels que les oscilloscopes, les compteurs, les débitmètres, les générateurs de signaux et de fonctions, les compteur de temps à cellules photoélectriques, etc), des instructions doivent être données aux étudiants.

6.4 Précision

- Être conscient que les instruments peuvent affecter le résultat des expériences.
- Connaître les techniques de base permettant d'accroître la précision expérimentale (par exemple, mesurer plusieurs périodes au lieu d'une seule, minimiser l'influence du bruit, etc.)
- Savoir que si une dépendance fonctionnelle d'une grandeur physique doit être déterminée, le nombre de points de données pris doit correspondre à l'échelle caractéristique locale de cette dépendance fonctionnelle.
- Exprimer les résultats finals et les incertitudes expérimentales avec un nombre raisonnable de **chiffres significatifs** et arrondir correctement.

6.5 Analyse de l'incertitude expérimentale

- Identification des sources d'erreur dominantes et estimation raisonnable de l'ampleur (l'immensité) des incertitudes expérimentales des mesures directes (en utilisant les règles de la documentation, si elle est fournie).
- Distinction entre les erreurs aléatoires et systématiques; capacité à estimer et à réduire les premières par des mesures répétées.
- Trouver les incertitudes absolues et relatives d'une quantité déterminée en fonction des quantités mesurées en utilisant toute méthode raisonnable (telle que l'approximation linéaire, ...).

6.6 Analyse des données

- Transformation d'une relation en une forme linéaire par le choix approprié des variables et l'application d'une ligne droite aux points expérimentaux.
- Trouver les paramètres de la régression linéaire (pente, ordonnée à l'origine et estimation de l'incertitude) soit graphiquement, soit en utilisant les fonctions statistiques d'une calculatrice (l'une ou l'autre méthode est acceptable).

- Choisir les échelles optimales pour les graphiques et tracer les points de données avec les barres d'erreur.

7.1 Algèbre

- Simplification de formules par factorisation et développement.
- Résolution de systèmes d'équations linéaires.
- Résolution d'équations et de systèmes d'équations conduisant à des équations quadratiques et biquadratiques ; sélection de solutions physiquement significatives.
- Somme de séries arithmétiques et géométriques.

7.2 Fonctions

- Propriétés de base des fonctions trigonométriques, trigonométriques inverses, exponentielles et logarithmiques et des polynômes. Cela inclut les formules concernant les fonctions trigonométriques d'une somme d'angles.
- Résoudre des équations simples impliquant des fonctions trigonométriques, trigonométriques inverses, logarithmiques et exponentielles.

7.3 Géométrie et stéréométrie

- Degrés et radians comme mesures alternatives des angles.
- Égalité des angles intérieurs et extérieurs alternatifs, égalité des angles correspondants.
- Reconnaissance des triangles semblables.
- Surfaces des triangles, des trapèzes, des cercles et des ellipses ; surfaces des sphères, des cylindres et des cônes ; volumes des sphères, des cônes, des cylindres et des prismes.
- Règles du sinus et du cosinus, propriétés des angles inscrits et centraux, théorème de THALÈS.
- Médiannes et centroïde d'un triangle.
- Les étudiants sont censés connaître les propriétés des sections coniques, y compris les cercles, les ellipses, les paraboles et les hyperboles.

7.4 Vecteurs

- Propriétés de base des sommes vectorielles, produit scalaire et produits vectoriel.
- Double produit vectoriel et produit mixte.

7.1 Algèbre	12
7.2 Fonctions	12
7.3 Géométrie et stéréométrie	12
7.4 Vecteurs	12
7.5 Nombres complexes	13
7.6 Statistiques	13
7.7 Fonctions	13
7.8 Méthodes approximatives et numériques	13

- Interprétation géométrique de la dérivée temporelle d'une quantité vectorielle.

7.5 Nombres complexes

- Somme, multiplication et division des nombres complexes; séparation des parties réelles et imaginaires.
- Conversion entre les représentations algébriques, trigonométriques et exponentielles d'un nombre complexe.
- Racines complexes d'équations quadratiques et leur interprétation physique.

7.6 Statistiques

- Calcul des probabilités en tant que rapport du nombre d'objets ou des fréquences d'occurrence des événements.
- Calcul des valeurs moyennes, des écarts types et de l'écart type des moyennes de groupe.

7.7 Fonctions

- Recherche des dérivées des fonctions élémentaires, de leurs sommes, produits, quotients et fonctions composées.
- L'intégration en tant que procédure inverse de la différenciation.
- Trouver des intégrales définies et indéfinies dans des cas simples : fonctions élémentaires, sommes de fonctions et utilisation de la règle de substitution pour un argument linéairement dépendant.
- Rendre les intégrales définies sans dimension par substitution.
- Interprétation géométrique des dérivées et des intégrales.
- Recherche de constantes d'intégration à l'aide de conditions initiales.
- Concept de vecteurs gradients.

Commentaires/Remarques

Le formalisme des dérivées partielles n'est pas exigible.

7.8 Méthodes approximatives et numériques

- Utilisation d'approximations linéaires et polynomiales basées sur les séries de TAYLOR.
- Linéarisation d'équations et d'expressions.
- Méthode des perturbations : calcul des corrections à partir des solutions non perturbées.
- Intégration numérique à l'aide de la règle du trapèze ou de l'addition de rectangles.