

2025

Lehrplan / Programme

DFG / LFA

Physik / Physique

**Wahlfach / Gemeinsames Fach
Option / Enseignement commun**

**Klassenstufen 10, 11 und 12
Classes de 2nde, 1ère, Terminale**

Table des matières

1. Idées directrices	3
1.1. Finalités éducatives	3
1.2. Objectifs	3
1.3. Enjeux méthodologiques	4
1.4. Évaluation	5
2. Contenus thématiques	5
2.1. Classe de seconde – Enseignement commun ou optionnel	6
2.1.1. Mesures et incertitudes	6
2.1.2. Mouvement et interactions – Description du mouvement d'un point	6
2.1.3. Mouvement et interactions – Actions et lois de Newton du mouvement	7
2.1.4. L'énergie : conversions et transferts – Puissance, énergie et bilan	8
2.1.5. L'énergie : conversions et transferts – Aspects énergétiques des phénomènes électriques	8
2.1.6. L'énergie : conversions et transferts – Aspects énergétiques des phénomènes mécaniques	9
2.2. Cycle terminal – Enseignement commun ou optionnel	10
2.2.1. Mesures et incertitudes	10
2.2.2. Interactions, champs et mouvement – Interaction gravitationnelle : champs de gravitation et de pesanteur	11
2.2.3. Interactions, champs et mouvement – Interaction électromagnétique : champ électrique	11
2.2.4. Interactions, champs et mouvement – Interaction électromagnétique : champ magnétique et induction	12
2.2.5. L'énergie : conversions et transferts – Thermodynamique	13
2.2.6. Signaux, oscillations, ondes – Signaux électriques	14
2.2.7. Signaux, oscillations, ondes – Introduction aux ondes mécaniques	15
2.2.8. Signaux, oscillations, ondes – Introduction aux ondes électromagnétiques	16
2.2.9. Signaux, oscillations, ondes – Optique géométrique	16
2.2.10. Signaux, oscillations, ondes – Phénomènes ondulatoires	17
2.2.11. Physique quantique – Objets quantiques	18
2.2.12. Physique quantique – Quantification des niveaux d'énergie	19
2.2.13. Physique nucléaire – Transformations nucléaires	19
3. Verbes consignes	21

1. Idées directrices

1.1. Finalités éducatives

La physique propose une analyse rationnelle de la nature et de ses changements qui vise à comprendre le monde réel en s'appuyant sur des principes à portée universelle validés par l'observation, l'expérimentation et la mesure.

Cette science a un lien historique fort avec les mathématiques qu'elle mobilise fréquemment dans le cadre d'une représentation modélisée de la réalité.

Les enseignements de physique visent à renforcer la connaissance et la compréhension des principes qui régissent ces modèles. Ils développent également des compétences expérimentales permettant d'ancrer ces modélisations au monde réel et de les valider.

La physique est au cœur de nombreuses innovations technologiques, qui transforment continuellement la société dans laquelle nous vivons : ces applications fournissent à l'enseignant de nombreux contextes d'application des notions enseignées.

Dans le cadre des lycées franco-allemands, l'enseignement de la physique conjugue de manière équilibrée plusieurs finalités :

- présenter aux élèves les concepts centraux dans un vaste domaine contextuel, pour décrire et analyser les phénomènes naturels ainsi que les systèmes technologiques ;
- motiver et préparer les élèves à une poursuite d'études dans les domaines scientifiques faisant intervenir la physique en introduisant des méthodes et des objets d'étude qui seront mobilisés dans la suite de leur cursus ;
- former les élèves à la démarche scientifique, ses forces et ses limites, les initier à ce mode collectif de construction des savoirs et leur donner des outils de validation des connaissances et des informations ;
- apprendre aux élèves quelques repères historiques de l'évolution des idées en physique dans lesquels les scientifiques français et allemands ont joué un rôle essentiel.

La démarche scientifique ne connaît pas de frontière ; elle a pour vocation de construire un savoir à portée universelle dont l'internationalisme trouve toute sa place dans un établissement binational.

1.2. Objectifs

Les enseignements de physique développent un ensemble de compétences qui sont mobilisées dans toute démarche scientifique. Ces compétences, précisées dans le tableau suivant, structurent la formation et l'évaluation des élèves. Quelques exemples de capacités associées précisent les contours de chaque compétence, l'ensemble n'ayant pas vocation à constituer un cadre rigide.

Compétences	Quelques exemples de capacités associées
S'approprier	Énoncer une problématique. Rechercher et organiser l'information en lien avec la problématique étudiée. Représenter la situation par un schéma.
Analyser/ Raisonner	Formuler une hypothèse. Proposer une stratégie de résolution pour répondre à la problématique. Planifier des tâches. Choisir un modèle ou des lois pertinentes. Choisir, élaborer, justifier un protocole.

Réaliser	Mettre en œuvre les étapes d'une démarche. Utiliser un modèle. Faire des prévisions avec un modèle. Effectuer des procédures courantes (calculs, représentations, collectes de données, évaluation d'ordres de grandeur, analogies, etc.) Mettre en œuvre un protocole expérimental en respectant les règles de sécurité.
Valider	Faire preuve d'esprit critique, procéder à des tests de vraisemblance. Identifier des sources d'incertitude, estimer une incertitude, comparer à une valeur de référence. Confronter un modèle à des résultats expérimentaux. Proposer d'éventuelles améliorations de la démarche ou du modèle.
Communiquer	À l'écrit comme à l'oral : – présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente ; – utiliser un vocabulaire adapté et choisir des modes de représentation appropriés ; – échanger entre pairs.

Les enseignements de physique développent par ailleurs des compétences transversales de nature variée.

Au-delà des contenus thématiques précisés ci-après, ces enseignements visent à développer l'esprit critique des élèves en s'appuyant sur l'exemple de la méthode de validation des savoirs mobilisée dans la démarche scientifique au travers de la compétence « Valider ».

Ils ont aussi pour but de rendre plus précise leur compréhension des enjeux contemporains liés aux transitions énergétique et climatique, de façon à éclairer par des arguments rationnels les choix démocratiques qu'ils sont et seront amenés à faire.

La dimension collective de la construction scientifique des connaissances de physique est un exemple sur lequel les enseignants doivent s'appuyer pour contribuer au développement des compétences de travail en équipe. Les activités expérimentales réalisées en classe, souvent en binôme, y participent notablement.

Les compétences numériques sont très présentes dans les enseignements de physique, comme elles le sont dans la pratique quotidienne des physiciens professionnels. Chaque domaine d'étude fournit également aux professeurs de multiples exemples pour contextualiser leurs enseignements sur des exemples technologiques de la vie quotidienne.

1.3. Enjeux méthodologiques

Les approches didactiques mises en œuvre dans les programmes de physique en Allemagne et en France diffèrent sur de nombreux plans (place de la modélisation, de l'argumentation collective, des activités expérimentales, etc.). L'enseignant de physique en lycée franco-allemand doit être conscient de ces différences et exploiter les avantages de chacune des approches, en les adaptant à son public. Il est très formateur de présenter aux élèves les démarches mises en œuvre dans le pays partenaire pour aborder telle ou telle notion : cette multiplicité de points de vue enrichit, chez les élèves, la compréhension des phénomènes et des lois physiques.

C'est dans cet esprit que ce programme est conçu : si certaines thématiques sont présentées selon une approche qui semblera familière aux enseignants français, d'autres seront plus conformes aux habitudes de leurs collègues allemands. Tous ont à gagner des pas de côté qu'ils seront amenés à faire, dans le sens d'une meilleure appréhension des pratiques de l'autre pays.

La dimension linguistique est fondamentale pour construire cette culture commune. Il est essentiel que les enseignants des deux pays apprennent à leurs élèves, dans les deux langues, les éléments de vocabulaire scientifique essentiels mobilisés dans chaque thématique. Cette formation doit être enrichie par des activités documentaires s'appuyant sur des textes scientifiques rédigés dans l'autre langue.

1.4. Évaluation

L'évaluation en physique doit s'appuyer sur une variété de situations qui reflètent la diversité des approches mobilisées dans cette discipline : devoirs sur table, interrogations de cours, quiz, activités expérimentales, comptes-rendus oraux en travaux pratiques, analyses documentaires, débats scientifiques, etc. Elle peut être individuelle ou collective (avec réalisation d'une évaluation individuelle). Elle constitue avant tout un élément fondamental d'amélioration des apprentissages. Sa dimension formative est primordiale, même dans les situations sommatives.

Ainsi, les évaluations, dont les attendus sont clairement explicités, doivent donner lieu à des retours rapides et détaillés des professeurs à leurs élèves. L'évaluation déportée (évaluation partielle ou totale par les pairs) est également conseillée. Des activités de remédiation différenciées peuvent être mises en place si nécessaire.

2. Contenus thématiques

Les tableaux qui suivent indiquent thème par thème l'ensemble des connaissances et des capacités dont l'assimilation est requise par les élèves. Aux « notions et contenus » placés en première colonne des tableaux correspondent une ou plusieurs « capacités exigibles » placées en seconde colonne. Les capacités exigibles privilégiant une approche expérimentale sont écrites en italique et portent la mention [CE] ; celles privilégiant une approche numérique sont également écrites en italique et portent la mention [CN]. Le langage de programmation conseillé est le langage Python.

L'ensemble des thèmes abordés permet des contextualisations variées issues du quotidien, au premier rang desquels figurent l'analyse des causes et des conséquences de la transition climatique et énergétique. L'histoire de la physique doit être mobilisée pour éclairer les notions présentées. La dimension épistémique de la démarche scientifique (construction collective du savoir scientifique, fonctionnement de la communauté scientifique, forces et limites de la démarche scientifique, etc.) doit être présente dans les enseignements, à un niveau et avec un volume adaptés.

Le professeur est libre d'aborder en classe de seconde et sur le cycle terminal (classes de première et de terminale) les thèmes, les connaissances et les capacités dans l'ordre de son choix. Toutefois, les programmes des enseignements du cycle terminal explicitent les éléments qu'il convient de traiter dès la classe de première.

Des capacités exigibles sont communes à l'ensemble des thèmes ou à plusieurs d'entre eux. Elles ne sont pas systématiquement rappelées :

- respecter les règles de sécurité liées au travail en laboratoire ;
- analyser, contrôler et si possible minimiser les incertitudes de mesure ;
- mettre en œuvre un dispositif d'acquisition et de traitement de données : microcontrôleur, interface d'acquisition, tableur, langage de programmation.

2.1. Classe de seconde – Enseignement commun ou optionnel

2.1.1. Mesures et incertitudes (thématique transversale)

La présentation de cette thématique met l'accent sur la visualisation et l'exploitation des incertitudes plus que sur leur traitement mathématisé. Des outils numériques dont le langage Python seront utilisés à cette fin.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Variabilité de la mesure d'une grandeur physique.	Exploiter une série de mesures indépendantes d'une grandeur physique : moyenne et écart-type.
Incertitude-type.	Discuter des causes de la variabilité d'une mesure et de l'influence de l'instrument de mesure et du protocole. Définir qualitativement une incertitude-type. Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique (évaluation de type A). Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une autre approche que statistique (évaluation de type B).
Écriture du résultat d'une mesure.	Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure.
Comparaison de deux valeurs.	Comparer qualitativement un résultat à une valeur de référence.
Régression linéaire.	Réaliser une régression linéaire afin d'obtenir les valeurs des paramètres d'un modèle [CN].

2.1.2. Mouvement et interactions – Description du mouvement d'un point

Notions et contenus	Capacités exigibles
Espace et temps classiques. Référentiel et relativité du mouvement.	Choisir un référentiel pour décrire le mouvement d'un système. Expliquer l'influence du choix du référentiel sur la description du mouvement d'un système.
Grandeurs descriptives du mouvement d'un point. Position, vitesse et accélération. Trajectoire d'un point.	Décrire le mouvement d'un point d'un système. Définir les grandeurs utiles pour décrire le mouvement d'un point (vecteurs position, vitesse, accélération) et expliciter les relations entre elles. Expliquer et exploiter le lien entre les graphiques temps-position et temps-vitesse – en termes de pente de courbe – pour un mouvement unidimensionnel. Interpréter et exploiter des graphiques temps-position et temps-vitesse relatifs à un point d'un système lors d'une évolution unidimensionnelle ou bidimensionnelle. <i>Mettre en œuvre un dispositif expérimental permettant de collecter et de traiter des données pour un mouvement (vidéo, accéléromètre, etc.) [CE, CN].</i>

Mouvements uniforme, rectiligne uniforme, rectiligne uniformément accéléré.	<i>Représenter des graphiques temps-position et temps-vitesse relatifs à un point d'un système lors d'une évolution unidimensionnelle ou bidimensionnelle à l'aide d'un langage de programmation [CN].</i> Caractériser un mouvement en utilisant le vocabulaire et les grandeurs cinématiques appropriés (vitesse moyenne, vitesse instantanée, accélération). Exploiter, pour un mouvement rectiligne uniforme, la loi affine temps-position. Exploiter, pour un mouvement rectiligne uniformément accéléré, la loi affine temps-vitesse et la loi parabolique temps-position. <i>Comparer un mouvement réel mesuré et un mouvement simulé en commentant les éventuels écarts significatifs observés [CE, CN].</i>
--	---

2.1.3. Mouvement et interactions – Actions et lois de Newton du mouvement

Notions et contenus	Capacités exigibles
Modélisation d'une action sur un système par une force. Force extérieure ou intérieure. Principe d'inertie (première loi de Newton). Référentiel galiléen. Cas particuliers d'immobilité ou de mouvement rectiligne uniforme d'un système modélisé par un point. Relation fondamentale de la dynamique (deuxième loi de Newton).	Modéliser et représenter une action sur un système prédéfini par un vecteur force. Exploiter mathématiquement la représentation vectorielle de forces. Citer et exploiter l'expression vectorielle des forces suivantes : poids, force de rappel élastique (loi de Hooke), poussée d'Archimède, force de frottement linéaire avec la vitesse. Énoncer le principe de l'inertie et l'exploiter pour en déduire des informations, soit sur le mouvement d'un système modélisé par un point matériel, soit sur les forces. Représenter un schéma de forces pour un système modélisé par un point traduisant son équilibre ou son mouvement rectiligne uniforme. Énoncer et exploiter la relation fondamentale de la dynamique pour : – déterminer l'accélération du point matériel modélisant un système, les forces appliquées étant connues ; – déterminer la somme des forces appliquées au système, l'accélération du point matériel le modélisant étant connue. Discuter qualitativement du mouvement d'un point matériel soumis à une force, en raisonnant de façon itérative. <i>Mettre en œuvre un protocole expérimental permettant d'étudier une loi de force [CE].</i> <i>Déterminer la valeur de l'accélération de la pesanteur en un lieu [CE].</i>

Principe des actions réciproques (ou troisième loi de Newton).	Énoncer et exploiter le principe des actions réciproques.
Quantité de mouvement.	Citer et exploiter l'expression de la quantité de mouvement d'un système modélisé par un ou plusieurs points matériels.
Conservation de la quantité de mouvement pour un système fermé isolé ou pseudo-isolé. Application aux collisions.	Identifier et justifier des situations de conservation et de non conservation de la quantité de mouvement. Exploiter la loi de conservation de la quantité de mouvement pour un système fermé isolé ou pseudo-isolé, par exemple dans le cas d'une collision.

2.1.4. L'énergie : conversions et transferts – Puissance, énergie et bilan

Notions et contenus	Capacités exigibles
Puissance. Énergie.	Citer et exploiter la relation donnant l'énergie associée à un transfert de puissance constante pendant un intervalle de temps donné. Expliquer et exploiter le lien entre les graphiques temps-énergie et temps-puissance – en termes de pente de courbe et d'aire sous la courbe.
Sources d'énergie. Modes de transfert : mécanique, électrique, thermique. Énergies de stock et de flux.	Représenter un diagramme de transferts d'énergie en identifiant les différentes sources et les divers modes de transfert de l'énergie. Analyser de manière critique des documents liés à l'énergie pouvant faire intervenir diverses unités (notamment J et kWh). Décrire un processus en termes de stockage, transfert et conversion d'énergie.
Bilan énergétique. Conservation et non conservation. Rendement.	Distinguer, dans un bilan d'énergie, les termes correspondant à des variations d'énergie des termes correspondant à des transferts d'énergie. Définir un rendement dans un contexte donné. Discuter d'une valeur de rendement dans un contexte donné.

2.1.5. L'énergie : conversions et transferts – Aspects énergétiques des phénomènes électriques

Notions et contenus	Capacités exigibles
Circuits électriques. Loi des mailles. Loi des nœuds. Caractéristique tension-courant d'un dipôle. Résistance et systèmes à comportement de type ohmique. Loi d'Ohm. Effet Joule.	Énoncer les lois des mailles et des nœuds et les exploiter dans un circuit électrique comportant au plus deux mailles. <i>Mesurer une tension et une intensité [CE].</i> <i>Réaliser un montage électrique conformément à un schéma électrique normalisé [CE].</i> Exploiter la caractéristique d'un dipôle : point de fonctionnement, modélisation par une relation entre courant et tension.

Bilan énergétique dans un circuit électrique. Rendement d'un convertisseur.	<i>Représenter la caractéristique d'un dipôle et modéliser la caractéristique de ce dipôle à l'aide d'un langage de programmation [CE, CN].</i> Citer et exploiter la loi d'Ohm. Établir et interpréter un bilan énergétique dans un circuit simple. Citer quelques ordres de grandeur de puissances fournies ou consommées par des dispositifs courants. Définir le rendement d'un convertisseur. <i>Évaluer le rendement d'un dispositif électrique [CE].</i>
--	---

2.1.6. L'énergie : conversions et transferts – Aspects énergétiques des phénomènes mécaniques

Notions et contenus	Capacités exigibles
Énergie cinétique. Travail d'une force. Théorème de l'énergie cinétique. Énergie potentielle. Énergie mécanique. Théorème de l'énergie mécanique.	Citer et exploiter l'expression de l'énergie cinétique d'un système modélisé par un ou plusieurs points matériels. Citer et exploiter l'expression du travail d'une force constante. Énoncer et exploiter le théorème de l'énergie cinétique. Établir et exploiter l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur pour un système au voisinage de la surface de la Terre. Citer et exploiter l'expression de l'énergie potentielle élastique. Énoncer et exploiter le théorème de l'énergie mécanique. Identifier et justifier des situations de conservation et de non conservation de l'énergie mécanique. <i>Étudier l'évolution des énergies cinétique, potentielle et mécanique d'un système dans différentes situations (chute d'un corps, rebond sur un support, etc.) [CE].</i> <i>Utiliser un langage de programmation pour discuter le bilan énergétique d'un système en mouvement [CN].</i>

2.2. Cycle terminal – Enseignement commun ou optionnel

Il convient de traiter en priorité, dès la classe de première, les thèmes suivants :

- Mesures et incertitudes, en dehors de tout ce qui concerne les incertitudes-types composées qui peut n'être abordé qu'en classe de terminale.
- Interactions, champs et mouvement :
 - interaction gravitationnelle : champs de gravitation et de pesanteur ;
 - interaction électromagnétique : champ électrique.
- Signaux, oscillations, ondes :
 - signaux électriques ;
 - introduction aux ondes mécaniques ;
 - introduction aux ondes électromagnétiques.

Un seul des deux thèmes suivants est à traiter, selon le choix du professeur :

- L'énergie : conversions et transferts – Thermodynamique.
- Physique nucléaire – Transformations nucléaires.

2.2.1. Mesures et incertitudes (thématique transversale)

La présentation de cette thématique met l'accent sur la visualisation et l'exploitation des incertitudes plus que sur leur traitement mathématisé. Des outils numériques dont le langage Python seront utilisés à cette fin.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Variabilité de la mesure d'une grandeur physique.	Exploiter une série de mesures indépendantes d'une grandeur physique : moyenne et écart-type.
Incertitude-type.	Discuter des causes de la variabilité d'une mesure et de l'influence de l'instrument de mesure et du protocole. Définir qualitativement une incertitude-type. Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique (évaluation de type A). Expliquer l'intérêt de réaliser un grand nombre de mesures pour diminuer l'incertitude-type sur la valeur moyenne. Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une autre approche que statistique (évaluation de type B).
Incertitudes-types composées.	Évaluer, à l'aide d'une formule fournie, l'incertitude-type d'une grandeur s'exprimant en fonction d'autres grandeurs dont les incertitudes-types sont connues. Comparer entre elles les différentes contributions lors de l'évaluation d'une incertitude-type composée.
Écriture du résultat d'une mesure.	Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure.
Comparaison de deux valeurs ; écart normalisé.	Comparer deux valeurs dont les incertitudes-types sont connues à l'aide de leur écart normalisé.
Régression linéaire.	Réaliser une régression linéaire afin d'obtenir les valeurs des paramètres d'un modèle [CN].

2.2.2. Interactions, champs et mouvement – Interaction gravitationnelle : champs de gravitation et de pesanteur

Notions et contenus	Capacités exigibles
Force de gravitation. Champ de gravitation.	Citer et exploiter les expressions vectorielles de la force de gravitation et du champ de gravitation.
Modèle du champ de pesanteur uniforme au voisinage de la surface d'une planète. Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme.	Approcher le champ de pesanteur par le champ de gravitation au voisinage de la surface d'une planète. Établir que le mouvement dans un champ uniforme est plan. Étudier le mouvement d'un système modélisé par un point matériel dans un champ de pesanteur uniforme (approches dynamique et énergétique de la chute libre).
Mouvement dans un champ de gravitation. Corps célestes, satellites. Mouvements circulaire et circulaire uniforme. Orbite.	Décrire un mouvement circulaire en utilisant le vocabulaire et les grandeurs cinématiques associées (notamment accélération centripète, vitesse orbitale, vitesse angulaire, période, fréquence). Citer et exploiter les expressions des coordonnées des vecteurs vitesse et accélération dans le repère de Frenet dans le cas d'un mouvement circulaire. Déterminer les caractéristiques des vecteurs vitesse et accélération du centre de masse d'un système en mouvement circulaire dans un champ newtonien de gravitation. Discuter, à l'aide de documents, la controverse du passage de la conception géocentrique à la conception héliocentrique du système solaire.

2.2.3. Interactions, champs et mouvement – Interaction électromagnétique : champ électrique

Notions et contenus	Capacités exigibles
Charge électrique. Force de Lorentz électrique. Champ électrique. Superposition. Lignes de champ.	Citer et exploiter l'expression vectorielle de la force électrique. Interpréter des expériences mettant en jeu la partie électrique de l'interaction électromagnétique. Exploiter le principe de superposition des champs électriques. Représenter des lignes de champ associées à un champ électrostatique (radial, uniforme, dipolaire) en respectant les propriétés de symétries. Exploiter une carte de lignes de champ associée à un champ électrostatique.
Potentiel électrostatique. Équipotentielle. Tension.	Citer et exploiter l'expression de l'intensité d'un champ électrostatique uniforme entre deux équipotentielles en fonction de la distance et de la tension entre celles-ci.

Champ électrostatique dans un condensateur plan idéal.	Représenter des équipotentiels, les lignes de champ électrostatique étant données, et inversement.
Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrostatique uniforme. Énergie potentielle électrostatique.	Discuter de l'influence de la tension et de la distance entre armatures sur le champ électrostatique interne d'un condensateur plan.
Applications : canon à électrons ; accélérateur linéaire de particules chargées. Approximation non relativiste.	Exploiter l'analogie entre le mouvement d'une particule chargée dans un champ électrostatique uniforme et le mouvement d'un point matériel dans le champ de pesanteur. Citer et exploiter l'expression de l'énergie potentielle d'une particule chargée dans un champ électrostatique, en fonction du potentiel électrostatique. Déterminer, à l'aide d'un bilan énergétique, le changement de valeur de la vitesse d'une particule chargée accélérée ou ralentie par une différence de potentiel. Expliquer le principe du canon à électrons et d'un accélérateur linéaire de particules chargées. Réaliser des conversions avec l'unité électronvolt.

2.2.4. Interactions, champs et mouvement – Interaction électromagnétique : champ magnétique et induction

Notions et contenus	Capacités exigibles
Champ magnétique. Sources (aimant, courant électrique).	Citer des ordres de grandeur de champs magnétiques (voisinage d'aimants, appareil d'IRM, champ magnétique terrestre à la surface de la Terre). Évaluer l'intensité d'un champ magnétique à partir d'expressions fournies. Citer le teslamètre comme appareil de mesure de champ magnétique. <i>Mesurer un champ magnétique [CE].</i>
Superposition de champs. Lignes de champ.	Exploiter le principe de superposition des champs magnétiques. Représenter des lignes de champ associées à un champ magnétostatique (uniforme, dipolaire ; aimant droit, bobine longue) en respectant les propriétés de symétries. Exploiter une carte de lignes de champ associée à un champ magnétostatique. <i>Cartographier un champ magnétostatique [CE].</i>
Force de Lorentz magnétique. Mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétostatique uniforme.	Citer et exploiter l'expression vectorielle de la force magnétique. Interpréter des expériences mettant en jeu la partie magnétique de l'interaction électromagnétique.

Application : spectromètre de masse.	Déterminer le rayon et le sens de parcours de la trajectoire circulaire d'une particule chargée dans un champ magnétostatique uniforme dont le vecteur vitesse initial est perpendiculaire au champ magnétostatique.
Force de Laplace sur un conducteur rectiligne.	Expliquer le principe de fonctionnement du spectromètre de masse.
Induction électromagnétique. Tension induite. Courant induit. Loi de Lenz. Flux magnétique. Loi de Faraday.	Citer et exploiter l'expression vectorielle de la force de Laplace sur un conducteur rectiligne placé dans un champ magnétostatique uniforme orthogonal (cas d'un champ parallèle ou orthogonal au conducteur uniquement). <i>Décrire, mettre en œuvre et interpréter des expériences illustrant les lois de Lenz et de Faraday [CE].</i> Énoncer la loi de Lenz et l'exploiter pour prédire et interpréter un phénomène d'induction. Déterminer le flux d'un champ magnétique uniforme à travers une surface plane orientée qui lui est orthogonale. Énoncer la loi de Faraday et l'exploiter en précisant les conventions d'algébrisation. Citer et décrire des applications de l'induction dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante.

2.2.5. L'énergie : conversions et transferts – Thermodynamique

Notions et contenus	Capacités exigibles
Système thermodynamique. État d'équilibre thermodynamique. Variables d'état d'un corps pur : pression, température, volume. Équation d'état. Exemples du gaz parfait et d'une phase condensée indilatable et incompressible. Énergie interne d'un système. Aspects microscopiques. Capacité thermique à volume constant du gaz parfait. Capacité thermique d'une phase condensée indilatable et incompressible.	Définir un système fermé et caractériser son état thermodynamique avec les variables d'état adaptées. Déterminer une température à partir d'une condition d'équilibre thermique. Déterminer une pression à partir d'une condition d'équilibre mécanique. Relier qualitativement les valeurs des grandeurs macroscopiques mesurées aux propriétés du système à l'échelle microscopique. Citer et exploiter l'équation d'état du gaz parfait pour expliquer le comportement d'un gaz. Citer et exploiter la relation entre la force de pression exercée par un fluide sur une surface plane, la pression et la surface. <i>Mesurer la pression et la température dans un système [CE].</i> Expliquer la notion d'énergie interne d'un système et citer les différentes contributions microscopiques à cette grandeur. Citer et exploiter l'expression de la variation avec la température de l'énergie interne d'un gaz parfait ou d'une phase condensée indilatable et incompressible.

Premier principe de la thermodynamique. Transfert thermique, travail.	Énoncer le premier principe de la thermodynamique et l'exploiter pour un système assimilé à un gaz parfait ou à une phase condensée indilatable et incompressible pour déterminer un travail, un transfert thermique ou une variation d'énergie interne, deux de ces grandeurs étant connues. Déterminer le sens d'un transfert thermique. Déterminer le travail des forces de pression sur un système de volume variable dans le cas d'une pression extérieure constante. <i>Mesurer la capacité thermique d'un matériau à l'aide d'un calorimètre [CE].</i>
---	---

2.2.6. Signaux, oscillations, ondes – Signaux électriques

Notions et contenus	Capacités exigibles
Intensité de signaux électriques en régime variable. Comportement capacitif. Condensateur. Capacité. Modèle du circuit RC série : charge et décharge d'un condensateur.	Citer et exploiter l'expression de l'intensité du courant électrique en termes de débit de charges. Identifier des situations variées où il y a accumulation de charges de signes opposés sur des surfaces en regard. Citer des ordres de grandeur de valeurs de capacités usuelles. Citer et exploiter les relations entre intensité, charge et tension pour le dipôle condensateur. Exploiter l'expression de la capacité d'un condensateur plan, éventuellement rempli d'un matériau diélectrique. Citer des applications technologiques du comportement capacitif. <i>Identifier et tester le comportement capacitif d'un dipôle [CE].</i> <i>Utiliser les fonctionnalités usuelles d'un oscilloscope [CE].</i> Établir et résoudre l'équation différentielle vérifiée par la tension aux bornes d'un condensateur dans le cas de sa charge et dans le cas de sa décharge. Interpréter et exploiter les courbes d'évolution de l'intensité ou de la tension dans un circuit de charge ou de décharge d'un condensateur. Discuter le rôle des divers paramètres lors de la charge et de la décharge d'un condensateur. <i>Étudier la réponse d'un dispositif modélisé par un dipôle RC [CE].</i> <i>Mettre en œuvre la méthode d'Euler à l'aide d'un langage de programmation pour résoudre une équation différentielle du premier ordre dans le cadre de l'étude de la charge et de la décharge d'un condensateur [CN].</i>

2.2.7. Signaux, oscillations, ondes – Introduction aux ondes mécaniques

Notions et contenus	Capacités exigibles
Oscillation harmonique : cas de l'oscillateur horizontal à ressort non amorti. Conversions d'énergie.	Établir l'équation différentielle du mouvement pour un oscillateur horizontal à ressort non amorti. Reconnaître l'équation différentielle d'un oscillateur harmonique. Caractériser les oscillations en utilisant les notions d'amplitude, de phase, de période, de fréquence, de pulsation. Modéliser mathématiquement une oscillation harmonique et exploiter sa représentation graphique. Citer et exploiter l'expression de la fréquence ou de la période des oscillations de l'oscillateur à ressort non amorti. Décrire et interpréter qualitativement l'évolution d'un oscillateur harmonique mécanique en termes énergétiques. <i>Réaliser et exploiter l'acquisition d'un signal associé au mouvement d'un oscillateur à ressort [CE].</i>
Onde mécanique. Onde transversale, onde longitudinale. Onde progressive. Grandeurs physiques associées. Célérité. Retard temporel. Front d'onde.	Décrire la propagation d'une onde mécanique dans l'espace et au cours du temps en termes de couplage de perturbations locales et de transport global d'énergie, dans divers cas : onde le long d'un ressort (1D), onde à la surface de l'eau (2D), ondes sismiques (3D), etc. Distinguer onde transversale et onde longitudinale. <i>Produire une perturbation et visualiser sa propagation dans des situations variées (onde le long d'une corde ou d'un ressort, onde à la surface de l'eau, etc.) [CE].</i> Citer et exploiter la relation entre la durée de propagation, la distance parcourue par une perturbation et la célérité, notamment pour localiser une source d'onde. <i>Déterminer la célérité d'une onde mécanique ou une distance avec une telle onde et illustrer l'influence du milieu sur la célérité d'une onde mécanique [CE].</i>
Onde mécanique progressive sinusoïdale. Grandeurs physiques associées. Période. Longueur d'onde. Phase.	Distinguer périodicité spatiale et périodicité temporelle. Citer, interpréter et exploiter l'expression du signal associé à une onde progressive sinusoïdale unidirectionnelle. Justifier et exploiter la relation entre célérité, période et longueur d'onde. Déterminer les caractéristiques d'une onde mécanique périodique à partir des représentations spatiales ou temporelles associées. Relier le déphasage entre les signaux perçus en deux points distincts au retard dû à la propagation. <i>Caractériser la propagation d'un phénomène ondulatoire (période, longueur d'onde, célérité, déphasage) [CE].</i>

Ondes mécanique stationnaire. Modes propres.	<i>Simuler à l'aide d'un langage de programmation la propagation d'une onde périodique et discuter l'influence de ses caractéristiques (amplitude, période) sur les représentations réalisées [CN].</i> Caractériser une onde stationnaire par l'existence de nœuds et de ventres. Citer et exploiter la distance, pour une onde stationnaire, entre deux nœuds voisins, entre deux ventres voisins ou entre un nœud et un ventre voisins. Exprimer les fréquences des modes propres pour une corde connaissant la célérité des ondes progressives et la longueur de la corde. <i>Étudier par stroboscopie une onde stationnaire sur une corde de Melde [CE].</i>
---	--

2.2.8. Signaux, oscillations, ondes – Introduction aux ondes électromagnétiques

Notions et contenus	Capacités exigibles
Ondes électromagnétiques. Intensité. Détection. Spectre.	Décrire une onde électromagnétique à partir du couplage des variations locales des champs électrique et magnétique. Citer une valeur approchée de la célérité de la lumière dans le vide. Associer à une onde électromagnétique une intensité caractérisant sa puissance surfacique moyenne. Citer des récepteurs d'ondes électromagnétiques et comparer leur temps de réponse aux temps caractéristiques de ces ondes. Exploiter une échelle de fréquences ou de longueurs d'onde pour identifier un domaine spectral électromagnétique. Citer l'ordre de grandeur des fréquences ou des longueurs d'onde des ondes électromagnétiques utilisées dans divers domaines d'application (imagerie médicale, optique visible, signaux wifi, micro-ondes, etc.). Relier la longueur d'onde dans le vide et la couleur.

2.2.9. Signaux, oscillations, ondes – Optique géométrique

Notions et contenus	Capacités exigibles
Modèle de l'optique géométrique. Rayon lumineux. Indice optique. Réflexion, réfraction.	Définir le modèle de l'optique géométrique et en indiquer les limites. Énoncer et exploiter les lois de la réflexion et de la réfraction. <i>Déterminer l'indice optique d'un milieu [CE].</i> Décrire des situations de réflexion et de réfraction non optiques (ondes à la surface de l'eau, ondes sismiques, etc.).

Lentilles minces. Image réelle, image virtuelle. Image droite, image renversée. Relation de conjugaison. Grandissement.	Caractériser les foyers d'une lentille mince convergente à l'aide du modèle du rayon lumineux. Utiliser le modèle du rayon lumineux pour déterminer graphiquement la position, la taille et le sens de l'image réelle d'un objet plan réel donnée par une lentille mince convergente. Exploiter les relations de conjugaison et de grandissement fournies pour déterminer la position et la taille de l'image d'un objet-plan réel par une lentille mince convergente. Déterminer les caractéristiques de l'image d'un objet-plan réel formée par une lentille mince convergente. Définir et déterminer géométriquement un grandissement. <i>Produire et caractériser l'image réelle d'un objet plan réel formée par une lentille mince convergente [CE].</i> <i>Déterminer la distance focale d'une lentille mince convergente [CE].</i>
Grossissement. Lunette astronomique.	Distinguer grandissement et grossissement. Représenter le schéma d'une lunette afocale modélisée par deux lentilles minces convergentes en identifiant l'objectif et l'oculaire. Représenter le faisceau émergent issu d'un point objet situé « à l'infini » et traversant une lunette afocale. Établir l'expression du grossissement d'une lunette afocale. Exploiter les données caractéristiques d'une lunette commerciale. <i>Réaliser une maquette de lunette astronomique, déterminer son grossissement et vérifier la position de l'image intermédiaire en la visualisant [CE].</i>

2.2.10. Signaux, oscillations, ondes – Phénomènes ondulatoires

Notions et contenus	Capacités exigibles
Diffraction d'une onde par une ouverture : conditions d'observation et caractéristiques.	Caractériser le phénomène de diffraction dans des situations variées et en citer des conséquences concrètes. <i>Illustrer et caractériser le phénomène de diffraction dans des situations variées [CE].</i>
Interférences de deux ondes. Conditions d'observation.	Caractériser le phénomène d'interférences de deux ondes et en citer des conséquences et des applications. <i>Réaliser une mesure, par exemple de longueur d'onde, à partir d'une situation interférentielle [CE].</i> <i>Représenter, à l'aide d'un langage de programmation, la somme de deux signaux sinusoïdaux et discuter le tracé selon le choix de leurs caractéristiques (périodes, amplitudes, phases) [CN].</i>

Interférences constructives et destructives.	Établir et exploiter les conditions d'interférences constructives et destructives de deux ondes sinusoïdales issues de deux sources ponctuelles en phase dans le cas d'un milieu de propagation homogène.
Interférences de deux ondes lumineuses. Différence de chemin optique. Conditions d'interférences constructives ou destructives.	Relier le déphasage en un point entre deux ondes produites par une source monochromatique à la différence de marche. Prévoir les lieux d'interférences constructives et les lieux d'interférences destructives et établir l'expression de l'interfrange dans le cas du dispositif de Young, l'expression linéarisée de la différence de chemin optique étant donnée. <i>Exploiter l'expression donnée de l'interfrange dans le cas des interférences de deux ondes lumineuses en utilisant éventuellement un logiciel de traitement d'image [CE].</i>

2.2.11. Physique quantique – Objets quantiques

Notions et contenus	Capacités exigibles
Modèle corpusculaire de la lumière. Hypothèse des quanta d'Einstein. Effet photoélectrique. Analyse de coïncidences de photodétections. Relations de Planck-Einstein d'énergie et de quantité de mouvement du photon.	Décrire l'effet photoélectrique et interpréter l'expérience de Hallwachs (contradiction avec le modèle ondulatoire, potentiel d'arrêt, travail d'extraction, fréquence seuil, détermination de la constante de Planck). Interpréter des observations expérimentales à l'aide de l'hypothèse des quanta. Décrire une expérience qui exploite l'analyse de coïncidences de photodétections et permet de tester l'interprétation corpusculaire de la lumière. Citer et exploiter les relations de Planck-Einstein. Citer des applications qui utilisent l'effet photoélectrique et l'effet photoélectrique inverse. <i>Vérifier la cohérence de l'hypothèse des quanta à l'aide d'une expérience mettant en jeu l'effet photoélectrique ou l'effet photoélectrique inverse [CE].</i>
Modèle ondulatoire de la matière. Relation de de Broglie. Critère de détection des ondes de matière. Diffraction et interférences d'ondes de matière.	Décrire et interpréter une expérience d'interférences ou de diffraction mettant en évidence le comportement ondulatoire de la matière. Citer et exploiter la relation de de Broglie. Discuter, à partir de l'évaluation de la longueur d'onde de de Broglie, de la pertinence de l'utilisation du modèle ondulatoire de la matière pour étudier un phénomène donné. Citer des applications dont le principe peut être expliqué à partir du modèle des ondes de matière. <i>Réaliser et exploiter une expérience de diffraction électronique [CE].</i>
Dualité onde-corpuscule. Principe de complémentarité. Objet	Expliquer la notion de dualité onde-corpuscule pour la lumière et pour la matière.

quantique. Interprétation probabiliste.	Distinguer, pour la lumière et la matière, les modèles ondulatoire, corpusculaire et quantique en relation avec le principe de complémentarité. Décrire des expériences réalisées à partir de sources à objets quantiques uniques (photons, électrons, etc.) avec un interféromètre de type Young, et interpréter les observations compte tenu du principe de complémentarité et de l'interprétation probabiliste de Born.
---	--

2.2.12. Physique quantique – Quantification des niveaux d'énergie

Notions et contenus	Capacités exigibles
Spectres atomiques. Niveaux d'énergie, absorption, émission.	Représenter et exploiter un diagramme de niveaux d'énergie en utilisant le vocabulaire adapté (état fondamental, état excité, transition, etc.). Décrire les processus d'absorption et d'émission d'un photon à partir d'un diagramme de niveaux d'énergie. Expliquer comment les spectres peuvent être utilisés pour déterminer des informations de composition chimique. <i>Obtenir le spectre d'une source spectrale et l'interpréter à partir du diagramme de niveaux d'énergie des entités qui la constituent [CE].</i>
Modèles atomiques de Rutherford et de Bohr. Limites.	Justifier l'hypothèse de quantification de Bohr à partir d'un modèle d'ondes de matière relatives à des orbites électroniques circulaires stables. Exploiter l'hypothèse de quantification de Bohr fournie pour obtenir l'expression des énergies possibles de l'électron de l'atome d'hydrogène. Exploiter la formule permettant de connaître, en électronvolts, la valeur de l'énergie du n-ième niveau d'énergie de l'électron dans l'atome d'hydrogène.

2.2.13. Physique nucléaire – Transformations nucléaires

Notions et contenus	Capacités exigibles
Noyau atomique. Isotopes. Symbole A_ZX .	Caractériser le noyau atomique (composition, dimension, masse). Exploiter l'unité de masse atomique. Expliquer et exploiter l'écriture symbolique A_ZX.
Stabilité et instabilité des noyaux. Désintégrations α , β et γ . Transformation nucléaire. Équation d'une réaction nucléaire. Fission, fusion.	Déterminer, à partir d'une carte des nucléides, les isotopes radioactifs d'un élément. Interpréter la stabilité du noyau à partir de la compétition entre l'interaction électromagnétique et l'interaction forte. Écrire l'équation symbolique d'une réaction nucléaire. Décrire les désintégrations radioactives, avec le rayonnement associé, en indiquant leur caractère spontané et aléatoire. Identifier le type d'une désintégration radioactive.

Détection de la radioactivité. Loi de décroissance radioactive. Temps de demi-vie. Activité. Applications de la radioactivité. Protection contre les rayonnements ionisants. Équivalence masse-énergie. Énergie libérée par une transformation nucléaire.	Décrire les processus de fission nucléaire et de fusion nucléaire. Citer des situations où interviennent les processus de fission nucléaire et de fusion nucléaire. Expliquer le principe de détection et de mesure de la radioactivité et citer quelques détecteurs. Établir l'expression de l'évolution temporelle de la population de noyaux radioactifs. Expliquer les termes temps de demi-vie, taux de comptage et activité. Exploiter la loi de décroissance radioactive ou une courbe de décroissance radioactive. Expliquer le principe de la datation à l'aide de noyaux radioactifs et dater un événement. Citer plusieurs applications de la radioactivité dans le domaine médical. Citer des méthodes de protection contre les rayonnements ionisants selon leur type et des facteurs d'influence de ces protections. Citer et exploiter l'expression traduisant l'équivalence masse-énergie. Déterminer l'énergie libérée par une transformation nucléaire à partir de la perte de masse. Exploiter l'unité de masse MeV/c^2.
--	---

3. Verbes consignes

Verbes	Explications
déduire	Etablir des conclusions appropriées basées sur des résultats ou des données
estimer	Spécifier les valeurs de taille par des considérations raisonnées
analyser	Composants, propriétés ou liens importants avec une question spécifique
exploiter	Utiliser des formules, des équations, des lois, des conditions, etc. pour prouver, déduire ou expliquer d'autres phénomènes.
établir	Utiliser des formules chimiques, des équations, des équations de réaction (équations de mots ou de formules) ou des mécanismes de réaction
formuler des hypothèses	Formuler une hypothèse sur un fait inconnu, basée sur une base techniquement solide
indiquer, nommer	Répertorier ou reproduire des formules, des règles, des faits, des termes ou des données sans explication
évaluer / mesurer	Contextualiser des observations, des données, des résultats individuels ou des informations et en tirer des conclusions
justifier	Présenter les raisons ou les arguments en faveur d'une ligne de conduite ou d'un problème de manière compréhensible
calculer	Le calcul doit être présenté sur la base d'une seule approche
décrire	Formuler des observations, des structures, des faits, des méthodes, des procédures ou des relations de manière structurée et en utilisant un langage technique
évaluer, exprimer un avis	Le jugement factuel à porter doit être justifié à l'aide de critères techniques.
évaluer	Le jugement de valeur à porter doit être justifié en tenant compte des valeurs et des normes sociales.
représenter	Représenter des structures, des faits ou des relations de manière structurée et en utilisant un langage technique, également à l'aide de dessins et de tableaux
discuter	Comparer et peser les arguments d'une déclaration ou d'une thèse
expliquer	Rendre une situation compréhensible et accessible en se référant aux règles et repères scientifiques
expliciter	Présenter un fait clairement et le rendre compréhensible grâce à des informations supplémentaires
déterminer	Déterminer un résultat ou une connexion de manière informatique, graphique ou expérimentale
induire	À l'aide de lois connues, établir un lien entre des grandeurs chimiques ou physiques
interpréter	Présenter les résultats scientifiques, les descriptions et les hypothèses dans un contexte compréhensible dans le contexte d'une question ou d'une hypothèse.
organiser	Classer systématiquement des concepts ou des objets en fonction de certaines caractéristiques
planifier	Développer et documenter des solutions (également expérimentales) à un problème donné
esquisser	Afficher clairement les faits, les processus, les structures ou les résultats sous forme graphique
esquisser	Présenter clairement les faits, les processus, les structures ou les résultats sous forme graphique
étudier	Développer des faits ou des phénomènes en utilisant des méthodes de travail spécifiques à la matière
comparer	Identifier les similitudes et les différences en fonction de critères
représenter, dessiner	Représenter graphiquement des objets avec précision

2025

Lehrplan / Programme

DFG / LFA

Physik / Physique

Vertiefungsfach

Enseignement de spécialité

Klassenstufen 11 und 12

Classes de 1ère, Terminale

Table des matières

1. Idées directrices	3
1.1. Finalités éducatives	3
1.2. Objectifs	3
1.3. Enjeux méthodologiques	4
1.4. Évaluation	5
2. Contenus thématiques	5
2.1. Mesures et incertitudes	6
2.2. Interactions, champs et mouvement – Les quatre interactions fondamentales	7
2.3. Interactions, champs et mouvement – Interaction gravitationnelle : champs de gravitation et de pesanteur	7
2.4. Interactions, champs et mouvement – Interaction électromagnétique : champ électrique	8
2.5. Interactions, champs et mouvement – Interaction électromagnétique : champ magnétique	8
2.6. Interactions, champs et mouvement – Interaction électromagnétique : champ électromagnétique et induction	9
2.7. L'énergie : conversions et transferts – Thermodynamique	10
2.8. Signaux, oscillations, ondes – Signaux électriques dans l'ARQS	11
2.9. Signaux, oscillations, ondes – Oscillateurs libres et forcés	13
2.10. Signaux, oscillations, ondes – Introduction aux ondes mécaniques	14
2.11. Signaux, oscillations, ondes – Phénomènes ondulatoires mécaniques	15
2.12. Signaux, oscillations, ondes – Introduction aux ondes électromagnétiques	16
2.13. Signaux, oscillations, ondes – Optique géométrique	16
2.14. Signaux, oscillations, ondes – Phénomènes ondulatoires électromagnétiques et optique physique	18
2.15. Physique quantique – Objets quantiques	19
2.16. Physique quantique – Quantification des niveaux d'énergie	21
2.17. Physique nucléaire – Transformations nucléaires	22
3. Verbes consignes	22

1. Idées directrices

1.1. Finalités éducatives

La physique propose une analyse rationnelle de la nature et de ses changements qui vise à comprendre le monde réel en s'appuyant sur des principes à portée universelle validés par l'observation, l'expérimentation et la mesure.

Cette science a un lien historique fort avec les mathématiques qu'elle mobilise fréquemment dans le cadre d'une représentation modélisée de la réalité.

Les enseignements de physique visent à renforcer la connaissance et la compréhension des principes qui régissent ces modèles. Ils développent également des compétences expérimentales permettant d'ancrer ces modélisations au monde réel et de les valider.

La physique est au cœur de nombreuses innovations technologiques, qui transforment continuellement la société dans laquelle nous vivons : ces applications fournissent à l'enseignant de nombreux contextes d'application des notions enseignées.

Dans le cadre des lycées franco-allemands, l'enseignement de la physique conjugue de manière équilibrée plusieurs finalités :

- présenter aux élèves les concepts centraux dans un vaste domaine contextuel, pour décrire et analyser les phénomènes naturels ainsi que les systèmes technologiques ;
- motiver et préparer les élèves à une poursuite d'études dans les domaines scientifiques faisant intervenir la physique en introduisant des méthodes et des objets d'étude qui seront mobilisés dans la suite de leur cursus ;
- former les élèves à la démarche scientifique, ses forces et ses limites, les initier à ce mode collectif de construction des savoirs et leur donner des outils de validation des connaissances et des informations ;
- apprendre aux élèves quelques repères historiques de l'évolution des idées en physique dans lesquels les scientifiques français et allemands ont joué un rôle essentiel.

La démarche scientifique ne connaît pas de frontière ; elle a pour vocation de construire un savoir à portée universelle dont l'internationalisme trouve toute sa place dans un établissement binational.

1.2. Objectifs

Les enseignements de physique développent un ensemble de compétences qui sont mobilisées dans toute démarche scientifique. Ces compétences, précisées dans le tableau suivant, structurent la formation et l'évaluation des élèves. Quelques exemples de capacités associées précisent les contours de chaque compétence, l'ensemble n'ayant pas vocation à constituer un cadre rigide.

Compétences	Quelques exemples de capacités associées
S'approprier	Énoncer une problématique. Rechercher et organiser l'information en lien avec la problématique étudiée. Représenter la situation par un schéma.
Analyser/ Raisonner	Formuler une hypothèse. Proposer une stratégie de résolution pour répondre à la problématique. Planifier des tâches. Choisir un modèle ou des lois pertinentes. Choisir, élaborer, justifier un protocole.

Réaliser	Mettre en œuvre les étapes d'une démarche. Utiliser un modèle. Faire des prévisions avec un modèle. Effectuer des procédures courantes (calculs, représentations, collectes de données, évaluation d'ordres de grandeur, analogies, etc.) Mettre en œuvre un protocole expérimental en respectant les règles de sécurité.
Valider	Faire preuve d'esprit critique, procéder à des tests de vraisemblance. Identifier des sources d'incertitude, estimer une incertitude, comparer à une valeur de référence. Confronter un modèle à des résultats expérimentaux. Proposer d'éventuelles améliorations de la démarche ou du modèle.
Communiquer	À l'écrit comme à l'oral : – présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente ; – utiliser un vocabulaire adapté et choisir des modes de représentation appropriés ; – échanger entre pairs.

Les enseignements de physique développent par ailleurs des compétences transversales de nature variée.

Au-delà des contenus thématiques précisés ci-après, ces enseignements visent à développer l'esprit critique des élèves en s'appuyant sur l'exemple de la méthode de validation des savoirs mobilisée dans la démarche scientifique au travers de la compétence « Valider ».

Ils ont aussi pour but de rendre plus précise leur compréhension des enjeux contemporains liés aux transitions énergétique et climatique, de façon à éclairer par des arguments rationnels les choix démocratiques qu'ils sont et seront amenés à faire.

La dimension collective de la construction scientifique des connaissances de physique est un exemple sur lequel les enseignants doivent s'appuyer pour contribuer au développement des compétences de travail en équipe. Les activités expérimentales réalisées en classe, souvent en binôme, y participent notablement.

Les compétences numériques sont très présentes dans les enseignements de physique, comme elles le sont dans la pratique quotidienne des physiciens professionnels. Chaque domaine d'étude fournit également aux professeurs de multiples exemples pour contextualiser leurs enseignements sur des exemples technologiques de la vie quotidienne.

1.3. Enjeux méthodologiques

Les approches didactiques mises en œuvre dans les programmes de physique en Allemagne et en France diffèrent sur de nombreux plans (place de la modélisation, de l'argumentation collective, des activités expérimentales, etc.). L'enseignant de physique en lycée franco-allemand doit être conscient de ces différences et exploiter les avantages de chacune des approches, en les adaptant à son public. Il est très formateur de présenter aux élèves les démarches mises en œuvre dans le pays partenaire pour aborder telle ou telle notion : cette multiplicité de points de vue enrichit, chez les élèves, la compréhension des phénomènes et des lois physiques.

C'est dans cet esprit que ce programme est conçu : si certaines thématiques sont présentées selon une approche qui semblera familière aux enseignants français, d'autres seront plus conformes aux habitudes de leurs collègues allemands. Tous ont à gagner des pas de côté qu'ils seront amenés à faire, dans le sens d'une meilleure appréhension des pratiques de l'autre pays.

La dimension linguistique est fondamentale pour construire cette culture commune. Il est essentiel que les enseignants des deux pays apprennent à leurs élèves, dans les deux langues, les éléments de vocabulaire scientifique essentiels mobilisés dans chaque thématique. Cette formation doit être enrichie par des activités documentaires s'appuyant sur des textes scientifiques rédigés dans l'autre langue.

1.4. Évaluation

L'évaluation en physique doit s'appuyer sur une variété de situations qui reflètent la diversité des approches mobilisées dans cette discipline : devoirs sur table, interrogations de cours, quiz, activités expérimentales, comptes-rendus oraux en travaux pratiques, analyses documentaires, débats scientifiques, etc. Elle peut être individuelle ou collective (avec réalisation d'une évaluation individuelle). Elle constitue avant tout un élément fondamental d'amélioration des apprentissages. Sa dimension formative est primordiale, même dans les situations sommatives.

Ainsi, les évaluations, dont les attendus sont clairement explicités, doivent donner lieu à des retours rapides et détaillés des professeurs à leurs élèves. L'évaluation déportée (évaluation partielle ou totale par les pairs) est également conseillée. Des activités de remédiation différenciées peuvent être mises en place si nécessaire.

2. Contenus thématiques

Pour chaque enseignement, les tableaux qui suivent indiquent thème par thème l'ensemble des connaissances et des capacités dont l'assimilation est requise par les élèves. Aux « notions et contenus » placés en première colonne des tableaux correspondent une ou plusieurs « capacités exigibles » placées en seconde colonne. Les capacités exigibles privilégiant une approche expérimentale sont écrites en italique et portent la mention *[CE]* ; celles privilégiant une approche numérique sont également écrites en italique et portent la mention *[CN]*. Le langage de programmation conseillé est le langage Python.

L'ensemble des thèmes abordés permet des contextualisations variées issues du quotidien, au premier rang desquels figurent l'analyse des causes et des conséquences de la transition climatique et énergétique. L'histoire de la physique doit être mobilisée pour éclairer les notions présentées. La dimension épistémique de la démarche scientifique (construction collective du savoir scientifique, fonctionnement de la communauté scientifique, forces et limites de la démarche scientifique, etc.) doit être présente dans les enseignements, à un niveau et avec un volume adaptés.

Le professeur est libre d'aborder sur le cycle terminal (classes de première et de terminale) les thèmes, les connaissances et les capacités dans l'ordre de son choix, à ceci près qu'il convient de traiter en priorité, dès la classe de première, les thèmes suivants :

- Mesures et incertitudes, en dehors des éléments relatifs aux incertitudes-types composées qui peuvent n'être abordés qu'en classe de terminale.
- Interactions, champs et mouvement :
 - les quatre interactions fondamentales ;
 - interaction gravitationnelle : champs de gravitation et de pesanteur ;
 - interaction électromagnétique : champ électrique ;
 - interaction électromagnétique : champ magnétique.
- Signaux, oscillations, ondes :
 - signaux électriques dans l'ARQS ;
 - oscillateurs libres et forcés ;
 - introduction aux ondes mécaniques ;
 - phénomènes ondulatoires mécaniques.

Des capacités exigibles sont communes à l'ensemble des thèmes ou à plusieurs d'entre eux. Elles ne sont pas systématiquement rappelées :

- respecter les règles de sécurité liées au travail en laboratoire ;
- analyser, contrôler et si possible minimiser les incertitudes de mesure ;
- mettre en œuvre un dispositif d'acquisition et de traitement de données : microcontrôleur, interface d'acquisition, tableur, langage de programmation.

2.1. Mesures et incertitudes (thématique transversale)

La présentation de cette thématique met l'accent sur la visualisation et l'exploitation des incertitudes plus que sur leur traitement mathématisé. Des outils numériques dont le langage Python seront utilisés à cette fin.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Variabilité de la mesure d'une grandeur physique.	Exploiter une série de mesures indépendantes d'une grandeur physique : histogramme, moyenne et écart-type. Discuter des causes de la variabilité d'une mesure et de l'influence de l'instrument de mesure et du protocole. Évaluer qualitativement la dispersion d'une série de mesures indépendantes. <i>Représenter l'histogramme associé à une série de mesures à l'aide d'un tableur ou d'un langage de programmation [CN].</i>
Incertitude-type.	Définir qualitativement une incertitude-type. Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique (évaluation de type A). Expliquer l'intérêt de réaliser un grand nombre de mesures pour diminuer l'incertitude-type sur la valeur moyenne. Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une autre approche que statistique (évaluation de type B).
Incertitudes-types composées.	Évaluer, à l'aide d'une formule fournie, l'incertitude-type d'une grandeur s'exprimant en fonction d'autres grandeurs dont les incertitudes-types sont connues. Évaluer l'incertitude-type d'une grandeur s'exprimant en fonction d'autres grandeurs – par une somme, une différence, un produit ou un quotient – et dont les incertitudes-types sont connues. Comparer entre elles les différentes contributions lors de l'évaluation d'une incertitude-type composée. <i>Simuler, à l'aide d'un tableur ou d'un langage de programmation, un processus aléatoire permettant de caractériser la variabilité de la valeur d'une grandeur composée [CN].</i>
Écriture du résultat d'une mesure.	Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure.
Comparaison de deux valeurs ; écart normalisé.	Comparer deux valeurs dont les incertitudes-types sont connues à l'aide de leur écart normalisé. Analyser les causes d'une éventuelle incompatibilité entre le résultat d'une mesure et le résultat attendu par une modélisation.
Régression linéaire.	<i>Réaliser une régression linéaire afin d'obtenir les valeurs des paramètres d'un modèle [CN].</i>

2.2. Interactions, champs et mouvement – Les quatre interactions fondamentales

Notions et contenus	Capacités exigibles
Interactions gravitationnelle, électromagnétique, forte et faible. Portées.	Caractériser les quatre interactions fondamentales en termes de portée. Discuter les ordres de grandeur relatifs d'interactions fondamentales dans un contexte donné. Associer à chaque interaction fondamentale une ou plusieurs situations physiques où son rôle est déterminant. Citer des enjeux de la recherche sur les interactions fondamentales.

2.3. Interactions, champs et mouvement – Interaction gravitationnelle : champs de gravitation et de pesanteur

Notions et contenus	Capacités exigibles
Force de gravitation. Champ de gravitation. Modèle du champ de pesanteur uniforme au voisinage de la surface d'une planète. Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme. Mouvement dans un champ de gravitation. Corps célestes, satellites. Mouvements circulaire et circulaire uniforme. Orbite. Lois de Kepler. Énergie potentielle et énergie mécanique dans un champ de gravitation. Vitesses cosmiques.	Citer et exploiter les expressions vectorielles de la force de gravitation et du champ de gravitation. Approcher le champ de pesanteur par le champ de gravitation au voisinage de la surface d'une planète. Établir que le mouvement dans un champ uniforme est plan. Étudier le mouvement d'un système modélisé par un point matériel dans un champ de pesanteur uniforme (approches dynamique et énergétique de la chute libre). Décrire les mouvements possibles du centre de masse d'un système dans un champ newtonien de gravitation. Caractériser un mouvement circulaire en utilisant le vocabulaire et les grandeurs cinématiques associées (notamment accélération centripète, vitesse orbitale, vitesse angulaire, période, fréquence). Citer et exploiter les expressions des coordonnées des vecteurs vitesse et accélération dans le repère de Frenet dans le cas d'un mouvement circulaire. Déterminer les caractéristiques des vecteurs vitesse et accélération du centre de masse d'un système en mouvement circulaire dans un champ newtonien de gravitation. Établir et exploiter la troisième loi de Kepler dans le cas du mouvement circulaire. Discuter, à l'aide de documents, la controverse du passage de la conception géocentrique à la conception héliocentrique du système solaire. Citer et exploiter l'expression de l'énergie potentielle d'un système modélisé par un point matériel dans un champ newtonien de gravitation. Établir et exploiter les expressions de la vitesse en orbite basse et de la vitesse de libération.

2.4. Interactions, champs et mouvement – Interaction électromagnétique : champ électrique

Notions et contenus	Capacités exigibles
Charge électrique. Loi de Coulomb.	Citer et exploiter la loi de Coulomb. Comparer la loi de Coulomb et la loi de la gravitation. <i>Mettre en œuvre un dispositif permettant d'illustrer l'interaction électrostatique [CE].</i>
Force de Lorentz électrique. Champ électrique. Superposition. Lignes de champ.	Citer et exploiter l'expression vectorielle de la force électrique. Interpréter des expériences mettant en jeu la partie électrique de l'interaction électromagnétique. Exploiter le principe de superposition des champs électriques. Représenter des lignes de champ associées à un champ électrostatique (radial, uniforme, dipolaire) en respectant les propriétés de symétrie. Exploiter une carte de lignes de champ associée à un champ électrostatique.
Potentiel électrostatique. Équipotentielle. Tension.	Citer et exploiter l'expression de l'intensité d'un champ électrostatique uniforme entre deux équipotentielles en fonction de la distance et de la tension entre celles-ci. Représenter des équipotentielles, les lignes de champ électrostatique étant données, et inversement.
Champ électrostatique dans un condensateur plan idéal.	Discuter de l'influence de la tension et de la distance entre armatures sur le champ électrostatique interne d'un condensateur plan.
Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrostatique uniforme. Travail d'une force électrostatique. Énergie potentielle électrostatique.	Étudier le mouvement d'une particule chargée dans un champ électrostatique uniforme (approches dynamique et énergétique non relativistes). Exploiter l'analogie entre le mouvement d'une particule chargée dans un champ électrostatique uniforme et le mouvement d'un point matériel dans le champ de pesanteur. Citer et exploiter l'expression de l'énergie potentielle d'une particule chargée dans un champ électrostatique, en fonction du potentiel électrostatique. Déterminer, à l'aide d'un bilan énergétique, le changement de valeur de la vitesse d'une particule chargée accélérée ou ralentie par une différence de potentiel.
Applications : canon à électrons ; accélérateur linéaire de particules chargées. Approximation non relativiste.	Expliquer le principe du canon à électrons et d'un accélérateur linéaire de particules chargées. Réaliser des conversions avec l'unité électronvolt.

2.5. Interactions, champs et mouvement – Interaction électromagnétique : champ magnétique

Notions et contenus	Capacités exigibles
Champ magnétique. Sources (aimant, courant électrique).	Citer des ordres de grandeur de champs magnétiques (voisinage d'aimants, appareil d'IRM, champ magnétique terrestre à la surface de la Terre).

Superposition de champs. Lignes de champ.	Citer et exploiter l'expression du champ magnétique produit par une bobine longue parcourue par un courant, remplie éventuellement d'un matériau magnétique. Évaluer l'intensité d'un champ magnétique à partir d'expressions fournies. <i>Mesurer un champ magnétique [CE].</i> Exploiter le principe de superposition des champs magnétiques.
Force de Lorentz magnétique. Mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétostatique uniforme.	Représenter des lignes de champ associées à un champ magnétostatique (uniforme, dipolaire ; aimant droit, spire circulaire, bobine longue) en respectant les propriétés de symétries. Exploiter une carte de lignes de champ associée à un champ magnétostatique. <i>Cartographier un champ magnétostatique [CE].</i> Citer et exploiter l'expression vectorielle de la force magnétique. Interpréter des expériences mettant en jeu la partie magnétique de l'interaction électromagnétique. Décrire l'effet d'un champ magnétostatique uniforme sur le mouvement d'une particule chargée. Déterminer le rayon et le sens de parcours de la trajectoire circulaire d'une particule chargée dans un champ magnétostatique uniforme dont le vecteur vitesse initial est perpendiculaire au champ magnétostatique. Décrire l'effet protecteur du champ magnétique terrestre contre les rayons cosmiques.
Application : spectromètre de masse. Force de Laplace sur un conducteur rectiligne.	Expliquer le principe de fonctionnement du spectromètre de masse. Citer et exploiter l'expression vectorielle de la force de Laplace sur un conducteur rectiligne placé dans un champ magnétostatique uniforme. Décrire l'effet d'un champ magnétostatique uniforme sur un dispositif simple parcouru par un courant électrique modélisé par un ou plusieurs conducteurs rectilignes (barre métallique, spire rectangulaire, etc.). Expliquer le principe de fonctionnement du moteur électrique à courant continu à l'aide d'un modèle simplifié et en citer des utilisations. Expliquer le principe de fonctionnement du haut-parleur électrodynamique.

2.6. Interactions, champs et mouvement – Interaction électromagnétique : champ électromagnétique et induction

Notions et contenus	Capacités exigibles
Force de Lorentz. Puissance de la force de Lorentz.	Évaluer les ordres de grandeur des forces électrique ou magnétique et les comparer à celui de la force de gravitation.

Mouvement d'une particule chargée dans des champs électrostatique et magnétostatique uniformes et orthogonaux. Filtre de vitesse de Wien.	Justifier qu'un champ électrique peut modifier l'énergie cinétique d'une particule alors qu'un champ magnétique peut courber sa trajectoire sans modifier son énergie cinétique. Expliquer le principe du filtre de vitesse de Wien.
Induction électromagnétique. Tension induite. Courant induit. Loi de Lenz. Flux magnétique. Loi de Faraday.	<i>Décrire, mettre en œuvre et interpréter des expériences illustrant les lois de Lenz et de Faraday [CE].</i> Énoncer la loi de Lenz et l'exploiter pour prédire et interpréter un phénomène d'induction. Déterminer le flux d'un champ magnétique uniforme à travers une surface plane orientée. Énoncer la loi de Faraday et l'exploiter en précisant les conventions d'algébrisation. Écrire les équations électrique et mécanique pour un système siège d'induction en précisant les conventions de signe dans les cas simples d'utilisation de la loi de Faraday et des lois de Newton. Citer et décrire des applications de l'induction dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante.
Courants de Foucault.	<i>Mettre en évidence les courants de Foucault [CE].</i> Citer et décrire des applications exploitant les courants de Foucault (systèmes de freinage, de chauffage, etc.).

2.7. L'énergie : conversions et transferts – Thermodynamique

Notions et contenus	Capacités exigibles
Système thermodynamique. État d'équilibre thermodynamique. Variables d'état d'un corps pur : pression, température, volume. Équation d'état. Exemples du gaz parfait et d'une phase condensée indilatable et incompressible.	Définir un système fermé et caractériser son état thermodynamique avec les variables d'état adaptées. Déterminer une température à partir d'une condition d'équilibre thermique. Déterminer une pression à partir d'une condition d'équilibre mécanique. Relier qualitativement les valeurs des grandeurs macroscopiques mesurées aux propriétés du système à l'échelle microscopique. Citer et exploiter l'équation d'état du gaz parfait pour expliquer le comportement d'un gaz. Citer et exploiter la relation entre la force de pression exercée par un fluide sur une surface plane, la pression et la surface. <i>Mesurer la pression et la température dans un système [CE].</i>
Énergie interne d'un système. Aspects microscopiques. Capacité thermique à volume constant du gaz parfait. Capacité thermique d'une phase condensée indilatable et incompressible.	Expliquer la notion d'énergie interne d'un système et citer les différentes contributions microscopiques à cette grandeur. Citer et exploiter l'expression de la variation avec la température de l'énergie interne d'un gaz parfait ou d'une phase condensée indilatable et incompressible.

Premier principe de la thermodynamique. Transfert thermique, travail.	Énoncer le premier principe de la thermodynamique et l'exploiter pour un système assimilé à un gaz parfait ou à une phase condensée indilatable et incompressible pour déterminer un travail, un transfert thermique ou une variation d'énergie interne, deux de ces grandeurs étant connues. Prévoir le sens d'un transfert thermique. Déterminer le travail des forces de pression sur un système de volume variable dans le cas d'une pression extérieure constante. <i>Mesurer la capacité thermique d'un matériau à l'aide d'un calorimètre [CE].</i>
Modes de transfert thermique. Flux thermique. Résistance thermique.	Caractériser qualitativement les trois modes de transfert thermique : conduction, convection, rayonnement. Citer la relation entre flux thermique, résistance thermique et écart de température et l'exploiter. <i>Déterminer la résistance thermique d'un matériau [CE].</i>
Bilan thermique du système Terre-atmosphère. Effet de serre.	Déterminer la température terrestre moyenne à l'aide d'un bilan d'énergie, la loi de Stefan-Boltzmann étant donnée. Discuter qualitativement de l'influence de l'albédo et de l'effet de serre sur la température terrestre moyenne.

2.8. Signaux, oscillations, ondes – Signaux électriques dans l'ARQS

Notions et contenus	Capacités exigibles
Circuits et signaux électriques. Approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS). Modèles de dipôles : résistance, condensateur, bobine, source linéaire de tension.	Citer et exploiter l'expression de l'intensité du courant électrique en termes de débit de charges. Citer et justifier la condition d'application de l'ARQS en fonction de la taille du circuit et de la fréquence. Relier la loi des nœuds au postulat de conservation de la charge. Modéliser une source réelle par une source linéaire de tension (association en série d'une source idéale de tension et d'une résistance). Citer et exploiter les relations entre l'intensité et la tension pour les dipôles résistance, condensateur, bobine, source linéaire de tension. <i>Déterminer la caractéristique d'une source réelle de tension et l'exploiter pour proposer une modélisation de source linéaire de tension [CE].</i> Citer et exploiter l'expression de la résistance d'un tronçon cylindrique homogène d'un conducteur ohmique. Définir la capacité d'un condensateur. Citer et exploiter l'expression de la capacité d'un condensateur plan, éventuellement rempli d'un matériau diélectrique. Citer des applications technologiques des condensateurs et des bobines. Expliquer le principe de fonctionnement de quelques capteurs : résistif, capacitif, inductif.

Lois d'association.	<i>Étudier le comportement résistif, capacitif ou inductif d'un dipôle [CE].</i> <i>Utiliser les fonctionnalités usuelles d'un oscilloscope [CE].</i> Établir les lois d'association série et les lois d'association parallèle de deux résistances ou de deux bobines ou de deux condensateurs et les exploiter.
Circuits linéaires du premier ordre. Régime libre. Réponse à un échelon.	Distinguer sur un relevé expérimental les régimes transitoire et permanent au cours de l'évolution d'un système du premier ordre soumis à un échelon. Exploiter la continuité de la tension aux bornes d'un condensateur ou de l'intensité du courant traversant une bobine. Établir l'équation différentielle du premier ordre vérifiée par une grandeur électrique dans un circuit linéaire du premier ordre à une maille. Déterminer la réponse temporelle dans le cas d'un régime libre ou d'un échelon de tension ou de courant pour un circuit linéaire du premier ordre. Représenter et exploiter la courbe d'évolution d'une intensité ou d'une tension pour un circuit linéaire du premier ordre. Discuter le rôle des divers paramètres lors de la charge et de la décharge d'un condensateur et lors de l'établissement et de l'arrêt du passage du courant dans une bobine. <i>Réaliser et exploiter l'acquisition d'un régime transitoire pour un circuit linéaire du premier ordre [CE].</i> <i>Mettre en œuvre la méthode d'Euler à l'aide d'un langage de programmation pour simuler la réponse d'un système linéaire du premier ordre à une excitation de forme quelconque [CN].</i>
Stockage et dissipation d'énergie.	Citer et exploiter l'expression de l'énergie électrique d'un condensateur à l'aide de sa capacité et l'expression de l'énergie magnétique d'une bobine à l'aide de son inductance. Réaliser et interpréter un bilan d'énergie dans un circuit linéaire du premier ordre.

2.9. Signaux, oscillations, ondes – Oscillateurs libres et forcés

Notions et contenus	Capacités exigibles
Oscillateur harmonique. Exemples du circuit LC et de l'oscillateur mécanique en régime libre.	Établir et reconnaître l'équation différentielle qui caractérise un oscillateur harmonique (oscillateur LC, oscillateur horizontal à ressort, pendule aux petites oscillations). Caractériser les oscillations en utilisant les notions d'amplitude, de phase, de période, de fréquence, de pulsation. Modéliser mathématiquement une oscillation harmonique et exploiter sa représentation graphique. Citer et exploiter l'expression de la fréquence ou de la période des oscillations pour le circuit LC, l'oscillateur à ressort et le pendule aux petites oscillations. Réaliser et interpréter un bilan énergétique pour un oscillateur harmonique. Identifier les grandeurs physiques analogues caractérisant les oscillateurs électriques et mécaniques. <i>Réaliser et exploiter l'acquisition du régime libre d'un oscillateur [CE].</i>
Oscillateur amorti : circuit RLC série et oscillateur mécanique amorti par frottement visqueux.	Décrire et interpréter qualitativement l'évolution d'un oscillateur amorti en termes énergétiques. Reconnaître les régimes pseudo-périodique et apériodique. Prévoir la nature du régime observé en comparant le temps caractéristique d'amortissement et le temps caractéristique d'oscillation du système. Expliciter les analogies entre le circuit RLC série et l'oscillateur mécanique amorti par frottement visqueux. <i>Discuter l'influence des paramètres sur l'évolution d'un oscillateur amorti, simulée à l'aide d'un langage de programmation [CN].</i>
Oscillateur forcé par une excitation sinusoïdale. Résonance. Fréquence propre et fréquence de résonance.	Décrire le principe de forçage d'un oscillateur et le phénomène de résonance. Citer des situations où le phénomène de résonance est souhaité et d'autres où il est à éviter. <i>Mettre en œuvre un dispositif expérimental visant à caractériser la réponse d'un système en amplitude et en phase à une excitation sinusoïdale et à mettre en évidence le phénomène de résonance [CE].</i>

2.10. Signaux, oscillations, ondes – Introduction aux ondes mécaniques

Notions et contenus	Capacités exigibles
Onde mécanique. Onde transversale, onde longitudinale. Onde progressive. Grandeurs physiques associées. Célérité. Retard temporel. Front d'onde. Polarisation.	Décrire la propagation d'une onde mécanique dans l'espace et au cours du temps en termes de couplage de perturbations locales et de transport global d'énergie, dans divers cas : onde le long d'un ressort (1D), onde à la surface de l'eau (2D), ondes sonores et ondes sismiques (3D), etc. Distinguer onde transversale et onde longitudinale ; onde plane, onde cylindrique et onde sphérique. <i>Produire une perturbation et visualiser sa propagation dans des situations variées (onde le long d'une corde ou d'un ressort, onde à la surface de l'eau, etc.) [CE].</i> Citer et exploiter la relation entre la durée de propagation, la distance parcourue par une perturbation et la célérité, notamment pour localiser une source d'onde. <i>Déterminer la célérité d'une onde mécanique ou une distance avec une telle onde et illustrer l'influence du milieu sur la célérité d'une onde mécanique [CE].</i> Expliquer la notion d'état de polarisation d'une onde mécanique transversale, par exemple dans le cas d'une onde le long d'une corde. Décrire l'état de polarisation rectiligne d'une onde transversale. Distinguer périodicité spatiale et périodicité temporelle. Citer, interpréter et exploiter l'expression du signal associé à une onde progressive sinusoïdale unidirectionnelle. Justifier et exploiter la relation entre vitesse de phase, période et longueur d'onde. Déterminer les caractéristiques d'une onde mécanique périodique à partir des représentations spatiales ou temporelles associées. Relier le déphasage entre les signaux perçus en deux points distincts au retard dû à la propagation. Définir un phénomène de propagation dispersif et citer des exemples de situations de propagation dispersive et de propagation non dispersive. <i>Caractériser la propagation d'un phénomène ondulatoire (période, longueur d'onde, vitesse de phase, déphasage) [CE].</i> <i>Simuler à l'aide d'un langage de programmation la propagation d'une onde périodique et discuter l'influence de ses caractéristiques (amplitude, période) sur les représentations réalisées [CN].</i>
Onde mécanique progressive sinusoïdale. Grandeurs physiques associées. Période. Longueur d'onde. Phase. Vitesse de phase. Dispersion.	

2.11. Signaux, oscillations, ondes – Phénomènes ondulatoires mécaniques

Notions et contenus	Capacités exigibles
Réflexion, réfraction : approches géométrique et ondulatoire. Principe de Huygens. Diffraction.	Représenter les rayons associés aux fronts d'onde d'une onde et réciproquement. Interpréter les phénomènes de réflexion, réfraction et diffraction à l'aide du principe de Huygens en termes de fronts d'onde et de rayons. Énoncer et exploiter les lois de la réflexion et de la réfraction dans le cas des ondes mécaniques. Citer et exploiter la relation exprimant l'angle caractéristique de diffraction d'une onde mécanique monochromatique par une ouverture en fonction de la longueur d'onde de l'onde et de la taille de l'ouverture. Citer des conséquences concrètes des phénomènes de réflexion, réfraction et diffraction. <i>Illustrer et caractériser les phénomènes de réflexion, réfraction et diffraction dans des situations variées [CE].</i>
Interférences de deux ondes mécaniques. Conditions d'observation. Différence de marche. Interférences constructives et destructives.	Expliquer et caractériser le phénomène d'interférences de deux ondes mécaniques. Citer les conditions d'observation du phénomène d'interférences. Relier le déphasage en un point entre deux ondes sinusoïdales à la différence de marche. Citer, justifier et exploiter les conditions d'interférences constructives et destructives entre deux ondes sinusoïdales en termes de déphasage ou de différence de marche. Établir l'expression d'une différence de marche entre deux ondes sinusoïdales en un point dans des cas simples. Décrire des applications techniques du phénomène d'interférences entre des ondes mécaniques. <i>Réaliser une mesure, par exemple de longueur d'onde, à partir d'une situation interférentielle [CE].</i> <i>Représenter, à l'aide d'un langage de programmation, la somme de deux signaux sinusoïdaux et discuter le tracé selon le choix de leurs caractéristiques (périodes, amplitudes, phases) [CN].</i>
Ondes stationnaires. Modes propres.	Caractériser une onde stationnaire par l'existence de nœuds et de ventres. Comparer et distinguer les représentations spatiales et temporelles d'une onde stationnaire et d'une onde progressive sinusoïdale. Citer et exploiter la distance, pour une onde stationnaire, entre deux nœuds voisins, entre deux ventres voisins ou entre un nœud et un ventre voisins. <i>Déterminer la longueur d'onde associée à une onde stationnaire [CE].</i> Interpréter une onde stationnaire par l'interférence de deux ondes progressives sinusoïdales.

Fibre optique.	Expliquer le principe du guidage de la lumière dans une fibre optique à partir des lois de l'optique géométrique. Établir l'expression du cône d'acceptance d'une fibre optique à saut d'indice. <i>Simuler, à l'aide d'un langage de programmation, la propagation d'un rayon lumineux dans une fibre optique à gradient d'indice [CN].</i>
Miroir plan. Lentilles minces. Image réelle, image virtuelle. Image droite, image renversée. Conditions de l'approximation de Gauss. Relation de conjugaison. Grandissement.	Construire l'image d'un objet réel par un miroir plan. Énoncer les conditions de l'approximation de Gauss et décrire ses conséquences. Définir les propriétés du centre optique, des foyers principaux et secondaires, de la distance focale et de la vergence d'une lentille mince convergente. Construire l'image d'un objet réel situé à distance finie ou « infinie » par une lentille mince convergente et identifier sa nature réelle ou virtuelle. Exploiter les relations de conjugaison et de grandissement fournies pour déterminer la position et la taille de l'image d'un objet-plan réel. Établir et exploiter la condition de formation de l'image réelle d'un objet réel par une lentille mince convergente. Déterminer les caractéristiques de l'image d'un objet-plan réel formée par un miroir plan ou par une lentille mince convergente. <i>Déterminer la distance focale d'une lentille mince convergente [CE].</i> <i>Réaliser une mesure optique en exploitant la relation de conjugaison d'une lentille mince convergente [CE].</i> <i>Réaliser une mise au point à l'aide d'une lentille convergente [CE].</i>
Grossissement. Lunette astronomique.	Distinguer grandissement et grossissement. Représenter le schéma d'une lunette afocale modélisée par deux lentilles minces convergentes en identifiant l'objectif et l'oculaire. Représenter le faisceau émergent issu d'un point objet situé « à l'infini » et traversant une lunette afocale. Établir l'expression du grossissement d'une lunette afocale. Exploiter les données caractéristiques d'une lunette commerciale. <i>Réaliser une maquette de lunette astronomique, déterminer son grossissement et vérifier la position de l'image intermédiaire en la visualisant [CE].</i>

2.14. Signaux, oscillations, ondes – Phénomènes ondulatoires électromagnétiques et optique physique

Notions et contenus	Capacités exigibles
Modèle scalaire des ondes lumineuses. Chemin optique. Déphasage dû à la propagation. Surfaces d'onde. Principe de Huygens. Théorème de Malus. Intensité lumineuse.	Décrire la lumière de manière analogue à des ondes mécaniques par le modèle scalaire des ondes lumineuses. Établir l'expression du retard de phase en un point en fonction de la durée de propagation ou du chemin optique pour une onde scalaire monochromatique. Illustrer par un schéma la modification des fronts d'onde d'une onde lumineuse par un miroir plan ou par une lentille mince convergente. Relier l'intensité d'une onde électromagnétique au signal du modèle scalaire des ondes lumineuses.
Diffraction des ondes électromagnétiques. Angle caractéristique de diffraction.	Expliquer le phénomène de diffraction d'une onde électromagnétique à l'aide du modèle de l'onde scalaire et du principe de Huygens. Citer et exploiter la relation exprimant l'angle caractéristique de diffraction d'une onde électromagnétique monochromatique par une ouverture en fonction de la longueur d'onde de l'onde et de la taille de l'ouverture. Représenter et expliquer qualitativement l'allure de la figure de diffraction obtenue avec une fente rectangulaire ou un trou circulaire pour une onde lumineuse monochromatique. Expliquer la dispersion des composantes spectrales de la lumière lors de sa diffraction par une fente. Décrire des applications techniques et des situations de la nature où intervient le phénomène de diffraction des ondes électromagnétiques. <i>Illustrer et caractériser le phénomène de diffraction d'une onde lumineuse [CE].</i>
Interférences de deux ondes électromagnétiques. Conditions d'observation. Différence de marche. Interférences constructives et destructives. Formule de Fresnel.	Expliquer et caractériser le phénomène d'interférences de deux ondes électromagnétiques à l'aide du modèle de l'onde scalaire. Expliquer les conditions de cohérence pour observer un phénomène d'interférences entre deux ondes électromagnétiques. Établir et exploiter les conditions d'interférences constructives et destructives de deux ondes scalaires issues de deux sources ponctuelles en phase dans le cas d'un milieu de propagation homogène. Prévoir les lieux d'interférences constructives et les lieux d'interférences destructives dans le cas du dispositif de Young, l'expression linéarisée de la différence de marche étant donnée. Relier le déphasage en un point entre deux ondes monochromatiques cohérentes à la différence de marche. Établir et exploiter l'expression d'une différence de marche entre deux ondes monochromatiques cohérentes en un point dans des cas simples.

Interférences à N ondes électromagnétiques : réseau.	Établir et exploiter l'expression de l'interfrange à partir de celle de la différence de marche. Exploiter la formule de Fresnel fournie pour expliquer la répartition d'intensité pour un phénomène d'interférences entre deux ondes lumineuses d'intensités relatives quelconques. Décrire la structure et le principe des dispositifs interférentiels de Young, de Michelson et de Mach-Zehnder. Décrire des applications techniques et des situations de la nature où intervient le phénomène d'interférences entre des ondes électromagnétiques. <i>Illustrer et caractériser le phénomène d'interférences entre des ondes lumineuses [CE].</i> <i>Représenter, à l'aide d'un langage de programmation, le profil d'intensité résultant de la superposition de deux signaux sinusoïdaux périodiques synchrones et discuter le tracé selon le choix de leurs caractéristiques (amplitudes, phases) [CN].</i> Expliquer qualitativement l'influence du nombre de traits éclairés d'un réseau sur l'intensité et la finesse des franges brillantes observées. Citer et exploiter la relation fondamentale des réseaux en transmission. Établir la relation fondamentale des réseaux dans les conditions de Fraunhofer et pour un éclairage en incidence normale. Expliquer l'origine des différences entre les spectres optiques obtenus à l'aide d'un réseau et d'un prisme. <i>Réaliser une mesure, par exemple de longueur d'onde, à partir d'une situation interférentielle [CE].</i> <i>Interpréter le spectre optique obtenu à l'aide d'un réseau pour divers types de sources (lampe à incandescence, lampe spectrale, etc.) [CE].</i> <i>Discuter, à l'aide d'un langage de programmation, l'évolution du profil d'intensité selon le nombre de traits éclairés d'un réseau [CN].</i>
---	--

2.15. Physique quantique – Objets quantiques

Notions et contenus	Capacités exigibles
Modèle corpusculaire de la lumière. Hypothèse des quanta d'Einstein. Effet photoélectrique. Analyse de coïncidences de photodétections. Relations de Planck-Einstein d'énergie et de quantité de mouvement du photon.	Décrire l'effet photoélectrique et interpréter l'expérience de Hallwachs (contradiction avec le modèle ondulatoire, potentiel d'arrêt, travail d'extraction, fréquence seuil, détermination de la constante de Planck). Interpréter des observations expérimentales à l'aide de l'hypothèse des quanta. Décrire une expérience qui exploite l'analyse de coïncidences de photodétections et permet de tester l'interprétation corpusculaire de la lumière. Citer et exploiter les relations de Planck-Einstein.

Modèle ondulatoire de la matière. Relation de de Broglie. Critère de détection des ondes de matière. Diffraction et interférences d'ondes de matière.	Citer des applications qui utilisent l'effet photoélectrique et l'effet photoélectrique inverse. <i>Vérifier la cohérence de l'hypothèse des quanta à l'aide d'une expérience mettant en jeu l'effet photoélectrique ou l'effet photoélectrique inverse [CE].</i> Décrire et interpréter une expérience d'interférences ou de diffraction mettant en évidence le comportement ondulatoire de la matière. Citer et exploiter la relation de de Broglie. Discuter, à partir de l'évaluation de la longueur d'onde de de Broglie, de la pertinence de l'utilisation du modèle ondulatoire de la matière pour étudier un phénomène donné. Citer des applications dont le principe peut être expliqué à partir du modèle des ondes de matière. <i>Réaliser et exploiter une expérience de diffraction électronique [CE].</i>
Dualité onde-corpuscule. Principe de complémentarité. Objet quantique. Interprétation probabiliste.	Expliquer la notion de dualité onde-corpuscule pour la lumière et pour la matière. Distinguer, pour la lumière et la matière, les modèles ondulatoire, corpusculaire et quantique en relation avec le principe de complémentarité. Décrire des expériences réalisées à partir de sources à objets quantiques uniques (photons, électrons, etc.) avec des interféromètres, par exemple de type Young, et interpréter les observations compte tenu du principe de complémentarité et de l'interprétation probabiliste de Born.
Fonction d'onde. Superposition d'états. Relation d'indétermination de Heisenberg spatiale. Mesure.	Proposer une interprétation probabiliste à partir d'informations sur la fonction d'onde (expression, représentation graphique, etc.). Exploiter une analogie avec une situation ondulatoire classique pour construire une interprétation pour un phénomène quantique. Expliquer un phénomène d'interférences quantiques à partir de la superposition de deux fonctions d'onde. Expliquer qualitativement la notion d'indétermination et la distinguer de l'incertitude de mesure expérimentale. Énoncer et exploiter la relation d'indétermination de Heisenberg spatiale. Discuter des aspects fondamentaux de la physique quantique (réalisme, localité, causalité, déterminisme) à partir d'une ressource fournie (expériences d'Aspect, simulations, etc.). <i>Illustrer, à l'aide d'une expérience d'optique avec des polariseurs, les notions d'état, de superposition d'états et de mesure de la physique quantique [CE].</i>

2.16. Physique quantique – Quantification des niveaux d'énergie

Notions et contenus	Capacités exigibles
Spectres atomiques. Niveaux d'énergie, absorption, émission.	Représenter et exploiter un diagramme de niveaux d'énergie en utilisant le vocabulaire adapté (état fondamental, état excité, transition, etc.). Décrire les processus d'absorption et d'émission d'un photon à partir d'un diagramme de niveaux d'énergie. Expliquer comment les spectres peuvent être utilisés pour déterminer des informations de composition chimique. <i>Obtenir le spectre d'une source spectrale et l'interpréter à partir du diagramme de niveaux d'énergie des entités qui la constituent [CE].</i>
Modèles atomiques de Rutherford et de Bohr. Limites.	Justifier l'hypothèse de quantification de Bohr à partir d'un modèle d'ondes de matière relatives à des orbites électroniques circulaires stables. Exploiter l'hypothèse de quantification de Bohr fournie pour obtenir l'expression des énergies possibles de l'électron de l'atome d'hydrogène. Citer et exploiter la formule permettant de connaître, en électronvolts, la valeur de l'énergie du n-ième niveau d'énergie de l'électron dans l'atome d'hydrogène. Discuter des forces et des limites des modèles atomiques de Rutherford et de Bohr.
Modèle du puits de potentiel unidimensionnel rectangulaire de profondeur infinie. Quantification de l'énergie par confinement.	Exploiter la relation d'indétermination de Heisenberg spatiale pour mettre en évidence l'existence d'une énergie minimale de confinement. Déterminer, pour le modèle du puits de potentiel rectangulaire unidimensionnel de profondeur infinie, les énergies et les profils des états stationnaires en admettant l'analogie avec les modes propres d'une corde vibrante. Établir le lien qualitatif entre confinement spatial et quantification. Comparer les résultats obtenus par le modèle du puits de potentiel unidimensionnel rectangulaire de profondeur infinie avec d'autres résultats issus d'une expérience ou d'un autre modèle (classique ou quantique).
Modèle atomique quantique. Orbitales. Nombres quantiques. Principe de Pauli.	Interpréter des représentations fournies relatives à des orbitales atomiques. Expliquer qualitativement la signification physique des nombres quantiques n, l, m, m_s. Énoncer le principe de Pauli et l'exploiter pour étudier des systèmes polyélectroniques.

2.17. Physique nucléaire – Transformations nucléaires

Notions et contenus	Capacités exigibles
Noyau atomique. Isotopes. Symbole A_ZX. Stabilité et instabilité des noyaux. Désintégrations α, β et γ. Transformation nucléaire. Équation d'une réaction nucléaire. Fission, fusion. Détection de la radioactivité. Loi de décroissance radioactive. Temps de demi-vie. Activité. Applications de la radioactivité. Protection contre les rayonnements ionisants. Équivalence masse-énergie. Énergie libérée par une transformation nucléaire.	Caractériser le noyau atomique (composition, dimension, masse). Exploiter l'unité de masse atomique. Expliquer et exploiter l'écriture symbolique A_ZX. Déterminer, à partir d'une carte des nucléides, les isotopes radioactifs d'un élément. Expliquer la stabilité du noyau à partir de la compétition entre l'interaction électromagnétique et l'interaction forte. Écrire l'équation symbolique d'une réaction nucléaire. Expliquer qualitativement l'origine de l'introduction du neutrino dans l'écriture d'équations de réaction. Décrire les désintégrations radioactives, avec le rayonnement associé, en indiquant leur caractère spontané et aléatoire. Identifier le type d'une désintégration radioactive. Commenter une série de désintégrations fournie à l'aide d'une carte des nucléides. Décrire les processus de fission nucléaire et de fusion nucléaire. Citer des situations où interviennent les processus de fission nucléaire et de fusion nucléaire. Expliquer le principe de détection et de mesure de la radioactivité et citer quelques détecteurs. Établir l'expression de l'évolution temporelle de la population de noyaux radioactifs. Expliquer les termes temps de demi-vie, taux de comptage et activité. Exploiter la loi de décroissance radioactive ou une courbe de décroissance radioactive. Expliquer le principe de la datation à l'aide de noyaux radioactifs et dater un évènement. Citer plusieurs applications de la radioactivité dans le domaine médical. Citer des méthodes de protection contre les rayonnements ionisants selon leur type et des facteurs d'influence de ces protections. Discuter la problématique du stockage des matières radioactives (blindage, durée de conservation). Décrire les effets biologiques et les conséquences sur la santé des rayonnements ionisants. Citer et exploiter l'expression traduisant l'équivalence masse-énergie. Déterminer l'énergie libérée par une transformation nucléaire à partir de la perte de masse.

	Exploiter l'unité de masse MeV/c^2 .
--	---

3. Verbes consignes

Verbes	Explications
déduire	Tirer des conclusions appropriées basées sur des résultats ou des données
estimer	Spécifier les valeurs de taille par des considérations raisonnées
analyser	Composants, propriétés ou liens importants avec une question spécifique
exploiter	Utiliser des formules, des équations, des lois, des conditions, etc. pour prouver, déduire ou expliquer d'autres phénomènes.
formuler, développer	Développer des formules chimiques, des équations, des équations de réaction (équations de mots ou de formules) ou des mécanismes de réaction
formuler des hypothèses	Formuler une hypothèse sur un fait inconnu, basée sur une base techniquement solide
indiquer, nommer	Répertorier ou reproduire des formules, des règles, des faits, des termes ou des données sans explication
évaluer / mesurer	Contextualiser des observations, des données, des résultats individuels ou des informations et en tirer des conclusions
justifier	Présenter les raisons ou les arguments en faveur d'une ligne de conduite ou d'un problème de manière compréhensible
calculer	Le calcul doit être présenté sur la base d'une seule approche
décrire	Formuler des observations, des structures, des faits, des méthodes, des procédures ou des relations de manière structurée et en utilisant un langage technique
évaluer, exprimer un avis	Le jugement factuel à porter doit être justifié à l'aide de critères techniques.
évaluer	Le jugement de valeur à porter doit être justifié en tenant compte des valeurs et des normes sociales.
représenter	Représenter des structures, des faits ou des relations de manière structurée et en utilisant un langage technique, également à l'aide de dessins et de tableaux
discuter	Comparer et peser les arguments d'une déclaration ou d'une thèse
expliquer	Rendre une situation compréhensible et accessible en se référant aux règles et repères scientifiques
expliciter	Présenter un fait clairement et le rendre compréhensible grâce à des informations supplémentaires
déterminer	Déterminer un résultat ou une connexion de manière informatique, graphique ou expérimentale
induire	A l'aide de lois connues, établir un lien entre des grandeurs chimiques ou physiques
interpréter,	Présenter les résultats scientifiques, les descriptions et les hypothèses dans un contexte compréhensible dans le contexte d'une question ou d'une hypothèse.
organiser	Classer systématiquement des concepts ou des objets en fonction de certaines caractéristiques
planifier	Développer et documenter des solutions (également expérimentales) à un problème donné
esquisser	Afficher clairement les faits, les processus, les structures ou les résultats sous forme graphique
esquisser	Présenter clairement les faits, les processus, les structures ou les résultats sous forme graphique
étudier	Développer des faits ou des phénomènes en utilisant des méthodes de travail spécifiques à la matière
comparer	Identifier les similitudes et les différences en fonction de critères
représenter, dessiner	Représenter graphiquement des objets avec précision

2025

Lehrplan / Programme

DFG / LFA

Physik / Physique

**Wahlfach / Gemeinsames Fach
Option / Enseignement commun**

**Klassenstufen 10, 11 und 12
Classes de 2nde, 1ère, Terminale**

Inhaltsverzeichnis

1.	Leitgedanken.....	3
1.1.	Bildungsziele.....	3
1.2.	Zielsetzungen	3
1.3.	Methodische Herausforderungen	4
1.4.	Leistungsbewertung	5
2.	Thematische Inhalte	5
2.1.	Klassenstufe 10.....	6
2.1.1	Messungen und Messunsicherheiten (Querschnittsmodul).....	6
2.1.2	Bewegung und Wechselwirkungen - Beschreibung einer Punktbewegung	6
2.1.3.	Bewegung und Wechselwirkungen - Newtonsche Gesetze der Bewegung	8
2.1.4.	Energie: Umwandlungen und Übertragungen - Leistung, Energie und Bilanz	9
2.1.5	Energie: Umwandlungen und Übertragungen - Energetische Aspekte elektrischer Phänomene	9
2.1.6.	Energie: Umwandlungen und Übertragungen - Energetische Aspekte mechanischer Phänomene.....	10
2.2.	Klassenstufen 11 und 12	11
2.2.1.	Messungen und Messunsicherheiten (Querschnittsthema)	11
2.2.2.	Wechselwirkungen, Felder und Bewegung - Gravitationswechselwirkung: Gravitations- und Schwerfeld	12
2.2.3.	Wechselwirkungen, Felder und Bewegung - Elektromagnetische Wechselwirkung: elektrisches Feld	12
2.2.4.	Wechselwirkungen, Felder und Bewegung - Elektromagnetische Wechselwirkung: Magnetisches Feld und Induktion	13
2.2.5.	Energie: Umwandlungen und Übertragungen - Thermodynamik	14
2.2.6.	Signale, Schwingungen, Wellen - Elektrische Signale	15
2.2.7.	Signale, Schwingungen, Wellen - Einführung in mechanische Wellen	16
2.2.8.	Signale, Schwingungen, Wellen - Einführung in die elektromagnetischen Wellen	17
2.2.9.	Signale, Schwingungen, Wellen - Geometrische Optik	18
2.2.10.	Signale, Schwingungen, Wellen - Wellenphänomene.....	19
2.2.11.	Quantenphysik - Quantenobjekte	19
2.2.12.	Quantenphysik - Quantisierte Energieniveaus	20
2.2.12.	Kernphysik - Kernumwandlungen	21
3.	Operatoren	22

1. Leitgedanken

1.1. Bildungsziele

Die Physik bietet eine rationale Analyse der Natur und ihrer Veränderungen. Ziel ist es, die reale Welt mithilfe universell gültiger Prinzipien zu verstehen, die durch Beobachtung, Experiment und Messung überprüft werden.

Die Disziplin ist historisch eng mit der Mathematik verknüpft, deren Sprache sie zur modellhaften Beschreibung der Realität einsetzt.

Der Physikunterricht vertieft das Verständnis dieser Modelle und vermittelt experimentelle Kompetenzen, mit denen sich die Modelle an der Wirklichkeit überprüfen lassen.

Die Physik steht im Mittelpunkt zahlreicher technischer Innovationen, die die Gesellschaft, in der wir leben, kontinuierlich verändern: Diese Anwendungen bieten der Lehrkraft zahlreiche alltagsnahe Kontexte für die Anwendung der vermittelten Konzepte.

An den Deutsch-Französischen Gymnasien vereint der Physikunterricht mehrere Ziele in ausgewogener Weise:

- den Lernenden zentrale Konzepte in vielfältigen Kontexten vorstellen, um natürliche Phänomene und technische Systeme zu beschreiben und zu analysieren;
- die Schülerinnen und Schüler für ein naturwissenschaftliches Studium vorbereiten, indem Methoden und Gegenstände vorgestellt werden, die ihnen später wiederbegegnen;
- die Lernenden mit der wissenschaftlichen Arbeitsweise vertraut machen, ihre Stärken und Grenzen aufzeigen und Instrumente zur Validierung von Wissen bereitstellen;
- einige geschichtliche Meilensteine der Physik vermitteln, an denen französische und deutsche Forschende maßgeblich beteiligt waren.

Der wissenschaftliche Ansatz kennt keine Grenzen; er hat die Aufgabe, Wissen universeller Reichweite aufzubauen, dessen Internationalität in einer binationalen Schule ihren Platz findet.

1.2. Zielsetzungen

Der Physikunterricht entwickelt eine Reihe von Kompetenzen, die bei jeder wissenschaftlichen Herangehensweise eingesetzt werden. Diese Kompetenzen, die in der folgenden Tabelle aufgeführt sind, strukturieren sowohl den Bildungsgang Ausbildung als auch die Bewertung der Lernenden. Einige Beispiele zugehöriger Teilkompetenzen verdeutlichen die Ausprägung der einzelnen übergeordneten Kompetenzen, wobei die Gesamtheit keinen starren Rahmen bilden soll.

Übergeordnete Kompetenzen	Beispiele zugehöriger Teilkompetenzen
Sich aneignen	eine Problemstellung formulieren Informationen im Zusammenhang mit der untersuchten Fragestellung suchen und ordnen die Situation schematisch darstellen
Analysieren / Schließen	eine Hypothese formulieren eine Lösungsstrategie formulieren, um ein Problem zu lösen Aufgaben planen ein Modell oder relevante Gesetze passend auswählen ein Verfahren oder Protokoll auswählen, entwickeln und begründen

Durchführen	die Schritte einer Vorgehensweise / eines Ansatzes umsetzen ein Modell verwenden und Vorhersagen damit treffen durchführen gängiger Verfahren (Berechnungen, Darstellungen, Datenerhebungen, Größenordnungen abschätzen, Analogien ziehen usw.). ein Versuchsverfahren / experimentelles Protokoll unter Einhaltung der Sicherheitsvorschriften durchführen
Validieren	kritisch denken, Plausibilitätsprüfungen durchführen Quellen der Messunsicherheit erkennen, eine Messunsicherheit abschätzen und mit einem Referenzwert vergleichen ein Modell mit experimentellen Ergebnissen vergleichen mögliche Verbesserungen der Vorgehensweise / des Ansatzes oder des Modells vorschlagen
Kommunizieren (schriftlich und mündlich)	eine Vorgehensweise argumentativ, prägnant und kohärent darstellen einen angemessenen Wortschatz verwenden und geeignete Darstellungsformen wählen sich unter Gleichaltrigen austauschen

Der Physikunterricht entwickelt darüber hinaus Querschnittskompetenzen unterschiedlicher Art.

Über die fachlichen Inhalte hinaus fördert der Physikunterricht das kritische Denken der Lernenden, indem er die Validierung wissenschaftlicher Aussagen in den Mittelpunkt stellt (Kompetenz „Validieren“).

Er schärft zudem ihr Verständnis für aktuelle Herausforderungen wie die Energie- und Klimawende, damit sie demokratischen Entscheidungen, die sie jetzt und in Zukunft treffen müssen, mit rationalen Argumenten belegen zu können.

Die kollektive Dimension des wissenschaftlichen Aufbaus von Wissen im Bereich der Physik ist ein Beispiel, an dem sich Lehrkräfte orientieren sollten, um zur Entwicklung von Teamfähigkeit beizutragen. Labor- und Projektarbeiten im Zweier- oder Gruppenformat im Unterricht, tragen wesentlich dazu bei.

Digitale Kompetenzen sind integraler Bestandteil des Faches. Jedes Themengebiet liefert Beispiele, um digitale Werkzeuge an realen Technologien des Alltags einzuüben.

1.3. Methodische Herausforderungen

Die didaktischen Ansätze, die in den Physiklehrplänen in Deutschland und Frankreich umgesetzt werden, unterscheiden sich in mancherlei Hinsicht (Stellenwert der Modellierung, des gemeinsamen Argumentierens, des Experimentierens usw.). Physiklehrkräfte an Deutsch-Französischen Gymnasien müssen sich dieser Unterschiede bewusst sein und die Vorteile der einzelnen Ansätze nutzen, indem sie sie an ihre Schülerschaft anpassen. Es ist besonders lehrreich, den Schülerinnen und Schülern die jeweils andere Herangehensweise vorzustellen; der Perspektivwechsel vertieft das Verständnis physikalischer Phänomene und Gesetze.

Vor diesem Hintergrund ist dieser Lehrplan aufgebaut: Einige Themen folgen eher der französischen, andere der deutschen Tradition. Alle werden von den Schritten, die sie im Sinne eines besseren Verständnisses der Gepflogenheiten des Partnerlandes machen werden, profitieren.

Die sprachliche Dimension ist für den Aufbau dieser gemeinsamen Kultur von grundlegender Bedeutung. Es ist von entscheidender Bedeutung, dass die Lehrkräfte beider Länder ihren Schülerinnen und Schülern in beiden Sprachen die wichtigsten Elemente des wissenschaftlichen Vokabulars vermitteln, die in den

verschiedenen Themenbereich eingesetzt werden. Der Unterricht soll durch die Arbeit an wissenschaftlich orientierten Originaltexten bereichert werden, die in der jeweiligen Partnersprache verfasst sind.

1.4. Leistungsbewertung

Die Leistungsbewertung in Physik sollte sich auf eine Vielzahl von Situationen stützen, die die Vielfalt der in diesem Fach vorkommenden Formate widerspiegelt: schriftliche Leistungsmessung, Kurztests, Quiz, Durchführung von Experimenten, mündliche Präsentationen auch im Rahmen von praktischen Arbeiten, Dokumentenanalysen, wissenschaftliche Debatten usw. Sie kann individuell oder in Gruppen erfolgen, wobei auch hier die Bewertung jedes Gruppenmitglieds individuell erfolgt. Sie ist in erster Linie ein grundlegendes Element zur Verbesserung des Lernens. Ihre formative Dimension ist von entscheidender Bedeutung, selbst in Bewertungssituationen, in denen der summative Aspekt im Vordergrund steht.

Daher soll Leistungsmessung, bei der Erwartungshorizonte klar zu formulieren sind, zu schnellen und detaillierten Rückmeldungen der Lehrkräfte an ihre Schülerinnen und Schüler führen. Auch gegenseitige Bewertungen (teilweise oder vollständige Bewertungen durch Mitschülerinnen und Mitschüler / „Peer Reviews“) sind empfehlenswert. Bei Bedarf können differenzierte Fördermaßnahmen eingesetzt werden.

2. Thematische Inhalte

In den folgenden Tabellen sind das erforderliche Fachwissen und die zugehörigen Kompetenzen, die von den Lernenden beherrscht werden müssen, nach Themen geordnet aufgeführt. Den "Begriffen und Inhalten" in der ersten Spalte der Tabellen entsprechen eine oder mehrere "verbindliche Kompetenzen" in der zweiten Spalte. Experimentell ausgerichtete Fähigkeiten sind kursiv und mit [CE] gekennzeichnet, digital ausgerichtete Fähigkeiten kursiv und mit [CN]; empfohlene Programmiersprache ist Python.

Die Themen erlauben vielfältige Alltagsbezüge – insbesondere die Analyse der Ursachen und Folgen der Klima- und Energiewende. Die Geschichte der Physik dient als Hintergrund, um die vorgestellten Konzepte zu beleuchten. Die epistemische Dimension des wissenschaftlichen Ansatzes (kollektiver Aufbau des wissenschaftlichen Wissens, Funktionsweise der wissenschaftlichen Gemeinschaft / Scientific Community, Stärken und Grenzen der Methode usw.) muss im Unterricht auf einem angemessenen Niveau und in einem angemessenen Umfang berücksichtigt werden.

Es steht den Lehrkräften frei, in Klassenstufe 10 und in den Klassenstufen 11 und 12 die Themen, Kenntnisse und Fähigkeiten in der von ihm gewählten Reihenfolge zu behandeln. Für die Klassenstufen 11 und 12 wird jedoch explizit darauf hingewiesen, welche Themen bereits in der Klassenstufe 11 behandelt werden müssen.

Einige Fähigkeiten sind allen oder mehreren Themen gemeinsam und werden nicht in der tabellarischen Auflistung wiederholt:

- die Sicherheitsregeln im Zusammenhang mit der Arbeit im Labor einhalten;
- Messunsicherheiten analysieren, kontrollieren und wenn möglich minimieren;
- Datenerfassungs- und -verarbeitungssysteme einsetzen: Mikrocontroller, Messinterface, Tabellenkalkulation, Programmiersprache.

2.1. Klassenstufe 10**2.1.1 Messungen und Messunsicherheiten (Querschnittsthematikmodul)**

Bei der Behandlung dieses (Querschnitts)Themas liegt der Schwerpunkt eher auf der Visualisierung und Auswertung von Messunsicherheiten als auf deren mathematischer Behandlung. Hierzu werden digitale Werkzeuge, darunter die Programmiersprache Python, eingesetzt.

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Variabilität bei der Messung einer physikalischen Größe Standardunsicherheit Angabe des Messergebnisses Vergleich zweier Werte Lineare Regression	Die Schülerinnen und Schüler - werten eine Reihe von unabhängigen Messungen einer physikalischen Größe aus: Mittelwert und Standardabweichung, - diskutieren die Ursachen für die Streuung einer Messung und den Einfluss des Messgeräts und des Messprotokolls, - definieren qualitativ eine Standardunsicherheit, - ermitteln einer Standardunsicherheit mithilfe eines statistischen Ansatzes (Bewertung vom Typ A), - ermitteln einer Standardunsicherheit mit einem anderen als dem statistischen Ansatz (Bewertung vom Typ B), - geben das Ergebnis einer Messung mit einer angemessenen Anzahl signifikanter Stellen an, - vergleichen ein Ergebnis qualitativ mit einem Referenzwert, - führen eine lineare Regression durch, um die Werte der Parameter eines Modells zu ermitteln [CN].

2.1.2 Bewegung und Wechselwirkungen - Beschreibung einer Punktbewegung

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Klassischer Raum und klassische Zeit; Bezugssystem und Relativität der Bewegung Beschreibende Größen für die Bewegung eines Punktes; Position; Geschwindigkeit und Beschleunigung; Trajektorie eines Punktes	Die Schülerinnen und Schüler - wählen ein Bezugssystem aus, um die Bewegung eines Systems zu beschreiben, - erklären den Einfluss der Wahl des Bezugssystems auf die Beschreibung der Bewegung eines System, - beschreiben die Bewegung eines Punktes in einem System, - definieren die Größen, die zur Beschreibung der Bewegung eines Punktes erforderlich sind (Positionsvektoren, Geschwindigkeit, Beschleunigung) und erläutern die Beziehungen zwischen ihnen, - erklären und nutzen den Zusammenhang zwischen Zeit-Ort- und Zeit-Geschwindigkeit-Diagrammen - in Bezug auf die Kurvensteigung - für eine eindimensionale Bewegung,

Gleichförmige Bewegung, gleichförmig geradlinige Bewegung, gleichförmig beschleunigte geradlinige Bewegung	• nutzen und werten Zeit- Ort- und Zeit-Geschwindigkeit-Diagramme aus, die sich auf einen Punkt eines Systems während einer ein- oder zweidimensionalen Entwicklung beziehen, • <i>setze einen Versuchsaufbau ein, mit dem Daten für eine Bewegung erfasst und ausgewertet werden können (Videoanalyse, Beschleunigungssensor usw.) [CE, CN],</i> • <i>stellen Zeit- Ort- und Zeit-Geschwindigkeit-Diagramme für einen Punkt eines Systems bei einer ein- oder zweidimensionalen Bewegung mithilfe einer Programmiersprache dar [CN],</i> • beschreiben eine Bewegung unter Verwendung des passenden kinematischen Vokabulars und der entsprechenden Größen (mittlere Geschwindigkeit, momentane Geschwindigkeit, Beschleunigung), • wenden für eine geradlinige, gleichförmige Bewegung das lineare Zeit-Ort-Gesetz an, • wenden für eine gleichmäßig beschleunigte geradlinige Bewegung das lineare Zeit-Geschwindigkeit-Gesetz und das parabolische Zeit-Ort-Gesetz an, • <i>vergleichen eine gemessene reale Bewegung mit einer simulierten Bewegung und kommentieren eventuell beobachtete signifikante Abweichungen [CE, CN].</i>
---	---

2.1.3. Bewegung und Wechselwirkungen - Newtonsche Gesetze der Bewegung

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Modellierung der Einwirkung auf ein System durch eine Kraft; äußere oder innere Kraft Trägheitsprinzip (Newtons erstes Gesetz); Galileisches Bezugssystem; Sonderfälle des Stillstands oder der gleichförmigen geradlinigen Bewegung eines Systems, das durch einen Punkt modelliert wird Grundgleichung der Dynamik (zweites Newtonssches Gesetz) Wechselwirkungsprinzip (drittes Newtonssches Gesetz) Impuls	Die Schülerinnen und Schüler - modellieren und stellen eine Einwirkung auf ein vorgegebenes System durch einen Kraftvektor dar, - nutzen die vektorielle Darstellung von Kräften mathematisch, - geben die vektorielle Darstellung der folgenden Kräfte an und verwenden diese: Gewichtskraft, elastische Rückstellkraft (Hookesches Gesetz), Auftriebskraft (Archimedische Auftriebskraft), lineare Reibungskraftproportional zur Geschwindigkeit. - nennen das Trägheitsprinzip und nutzen es, um daraus Informationen über die Bewegung eines als Massenpunkt modellierten Systems oder über die wirkenden Kräfte abzuleiten, - stellen ein Kraftdiagramm für ein als Massenpunkt modelliertes System zeichnen, das sein Gleichgewicht oder seine gleichförmige geradlinige Bewegung dar, - nennen und anwenden der Grundgleichung der Dynamik, um - die Beschleunigung des den Körper modellierenden Massenpunkts zu ermitteln, wenn die wirkenden Kräfte bekannt sind, - die Summe der auf das System wirkenden Kräfte bei gegebener Beschleunigung des Massenpunkts zu ermitteln, - diskutieren schrittweise qualitativ die Bewegung eines Massenpunkts, der einer Kraft unterliegt, <i>führen Sie ein experimentelle Protokoll durch, um ein Kraftgesetz zu untersuchen [CE],</i> <i>ermitteln die Fallbeschleunigung an einem Ort [CE],</i> - nennen das Prinzip der wechselseitigen Kräfte und wenden es an, - geben den Ausdruck für den Impuls eines aus einem oder mehreren Massenpunkten bestehenden Systems an und wenden ihn an,

Impulserhaltung für ein abgeschlossenes oder quasi-abgeschlossenes System; Anwendung auf Stöße	• erkennen und begründen von Situationen mit Impulserhaltung sowie ohne Impulserhaltung, • wenden das Impulserhaltungsgesetz bei einem abgeschlossenen isolierten oder quasi-isolierten System an, z. B. bei einem Stoß.
--	---

2.1.4. Energie: Umwandlungen und Übertragungen - Leistung, Energie und Bilanz

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Leistung; Energie Quellen von Energie; Übertragungsarten: mechanisch, elektrisch, thermisch; Bestands- und Flussenergie Bilanzierung von Energie: Konservierung und Nichtkonservierung; Wirkungsgrad	Die Schülerinnen und Schüler • nennen und wenden die Beziehung an, die die Energie eines Transfers konstanter Leistung während eines gegebenen Zeitintervalls liefert, • erklären und nutzen den Zusammenhang zwischen den Zeit-Energie- und Zeit-Leistungs-Diagrammen und wenden ihn an - hinsichtlich die Kurvensteigung und die Fläche unter der Kurve, • stellen ein Energietransferdiagramm dar und geben dabei die verschiedenen Quellen und Transfermodi an, • analysieren kritisch Dokumente in Bezug auf Energie, in denen unterschiedliche Einheiten (insbesondere J und kWh) verwendet werden, • beschreiben einen Prozess im Hinblick auf die Speicherung, Übertragung und Umwandlung von Energie, • unterscheiden in einer Energiebilanz zwischen Termen, die Energieänderungen entsprechen, und Termen, die Energieübertragungen entsprechen, • definieren einen Wirkungsgrad in einem gegebenen Kontext, • diskutieren den Wert des Wirkungsgrads in einem gegebenen Kontext.

2.1.5 Energie: Umwandlungen und Übertragungen - Energetische Aspekte elektrischer Phänomene

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Elektrische Schaltkreise. Gesetz der Maschen. Gesetz der Knotenpunkte. Spannungs-Strom-Kennlinie eines Dipols. Widerstand und Systeme mit ohmschem Verhalten. Gesetz von Ohm. Joule-Effekt.	Die Schülerinnen und Schüler • nennen die Maschen- und Knotenregeln und nutzen sie in einer elektrischen Schaltung mit höchstens zwei Maschen, • <i>messen eine Spannung und einen Strom [CE],</i> • <i>führen elektrischen Aufbau gemäß einer genormten Schaltskizze durch [CE],</i> • nutzen die Kennlinie eines Zweipols: Arbeitspunkt, Modellierung durch eine Strom-Spannungs-Beziehung,

Energiebilanz in einem elektrischen Schaltkreis. Wirkungsgrad eines Konverters.	• <i>stellen Die Kennlinie eines Zweipols dar und modellieren diese Kennlinie mithilfe einer Programmiersprache [CE, CN],</i> • nennen das Ohmsche Gesetz und wenden es an, • stellen dar und und interpretieren eine Energiebilanz in einem einfachen Stromkreis, • nennen typische Größenordnungen von Leistungen gängiger Verbraucher oder Erzeuger, • definieren den Wirkungsgrad eines Konverters, • <i>ermitteln den Wirkungsgrad eines elektrischen Geräts [CE].</i>
---	--

2.1.6. Energie: Umwandlungen und Übertragungen - Energetische Aspekte mechanischer Phänomene

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Kinetische Energie; Arbeit einer Kraft; Theorem der kinetischen Energie	Die Schülerinnen und Schüler nennen und nutzen die Formel für die kinetische Energie eines Systems, das durch einen oder mehrere Massepunkte modelliert ist, geben die Formel für die Arbeit einer konstanten Kraft an und nutzen sie, nennen und nutzen den Satz über die kinetische Energie.
Potenzielle Energie; Mechanische Energie; Theorem der mechanischen Energie	leiten und nutzen Sie den Ausdruck der potentiellen Energie der Schwerkraft für ein System in der Nähe der Erdoberfläche. nennen die Formel für die potenzielle Energie im Schwerfeld nahe der Erdoberfläche her und nutzen sie. formulieren und nutzen den Satz über die mechanische Energie, identifizieren und begründen Situationen der Erhaltung bzw. Nicht-Erhaltung der mechanischen Energie, <i>untersuchen die Entwicklung von kinetischer, potenzieller und mechanischer Energie eines Systems in unterschiedlichen Situationen (Freier Fall, Aufprall auf einen Untergrund usw.) [CE].</i> <i>wenden eine Programmiersprache an, um die Energiebilanz eines sich bewegenden Systems zu untersuchen [CN].</i>

2.2. Klassenstufen 11 und 12

In der Klassenstufe 11 werden vorrangig die folgenden Themen behandelt:

- Messungen und Unsicherheiten ausgenommen zusammengesetzte Standardunsicherheiten, die erst in Jahrgangsstufe 12 eingeführt werden
- Wechselwirkungen, Felder und Bewegung :
 - gravitative Wechselwirkung – Gravitations- und Schwerefelder ;
 - elektromagnetische Wechselwirkung: elektrisches Feld ;
- Signale, Schwingungen, Wellen :
 - elektrische Signale ;
 - Einführung in mechanische Wellen ;
 - Einführung in elektromagnetische Wellen

Eines der beiden folgenden Themen ist nach Wahl der Lehrkraft zu behandeln:

- Energie: Umwandlungen und Übertragungen - Thermodynamik.
- Kernphysik - Kernumwandlungen.

2.2.1. Messungen und Messunsicherheiten (Querschnittsthema)

Bei der Behandlung dieses Themas liegt der Schwerpunkt eher auf der Visualisierung und Auswertung von Messunsicherheiten als auf deren mathematischer Behandlung. Hierzu werden digitale Werkzeuge, darunter die Programmiersprache Python, eingesetzt.

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Variabilität bei der Messung einer physikalischen Größe	Eine Reihe von unabhängigen Messungen einer physikalischen Größe auswerten: Mittelwert und Standardabweichungsmittel
Standardunsicherheit	Die Ursachen für die Streuung einer Messung und den Einfluss des Messgeräts und des Messprotokolls erörtern. Eine Standardunsicherheit qualitativ definieren. Die Standardunsicherheit mithilfe eines statistischen Ansatzes bestimmen (Bewertung vom Typ A). Den Nutzen einer großen Anzahl von Messungen zur Verringerung der Standardunsicherheit des Mittelwertes erläutern. Die Standardunsicherheit mit einem anderen als statistischen Ansatz bestimmen (Bewertung vom Typ B).
Zusammengesetzte Standardunsicherheiten	Mithilfe einer gegebenen Formel die Standardunsicherheit einer Größe berechnen/abschätzen, die als Funktion anderer Größen mit bekannten Standardunsicherheiten ausgedrückt wird. Bei der Bestimmung einer zusammengesetzten Standardunsicherheit die verschiedenen Beiträge miteinander vergleichen.
Angabe des Messergebnisses	Das Messergebnis mit einer angemessenen Anzahl signifikanter Stellen angeben.

Vergleich zweier Werte; normierte Abweichung	Zwei Werte, deren Standardunsicherheiten bekannt sind, mithilfe ihrer normierten Abweichung vergleichen.
Lineare Regression	<i>Eine lineare Regression durchführen, um die Parameter eines Modells zu bestimmen [CN].</i>

2.2.2. Wechselwirkungen, Felder und Bewegung - Gravitationswechselwirkung: Gravitations- und Schwerfeld

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Gravitationskraft ; Gravitationsfeld	Die vektoriellen Ausdrücke für die Gravitationskraft und das Gravitationsfeld angeben und nutzen.
Modell des homogenen Schwerfelds in der Nähe der Oberfläche eines Planeten; Bewegung in einem homogenen Schwerfeld	Das Schwerfeld in der Nähe der Planetenoberfläche durch das Gravitationsfeld approximieren.
	Zeigen, dass die Bewegung in einem homogenen Feld planar ist.
	Die Bewegung eines Systems, das durch einen Massenpunkt modelliert ist, in einem homogenen Schwerfeld untersuchen (dynamischer und energetischer Zugang zum freien Fall).
Bewegung im Gravitationsfeld; Himmelskörper, Satelliten, Kreisbewegung, gleichförmige Kreisbewegung, Umlaufbahn	Eine Kreisbewegung mit geeignetem kinematischen Vokabular und den entsprechenden Größen beschreiben (insbesondere Zentripetalbeschleunigung, Bahngeschwindigkeit, Winkelgeschwindigkeit, Periode, Frequenz).
	Die Ausdrücke der Koordinaten der Geschwindigkeits- und Beschleunigungsvektoren im Frenet-Bezugssystem für eine Kreisbewegung angeben und verwenden.
	Die Eigenschaften der Geschwindigkeits- und Beschleunigungsvektoren des Schwerpunkts eines Systems in Kreisbewegung in einem Newtonschen Gravitationsfeld ermitteln.
	Die Zentrifugalkraft definieren und diese ermitteln. Anhand von Dokumenten die Kontroverse vom geozentrischen zum heliozentrischen Weltbild diskutieren.

2.2.3. Wechselwirkungen, Felder und Bewegung - Elektromagnetische Wechselwirkung: elektrisches Feld

Begriffe und Inhalte	Erforderliche Kompetenzen
Elektrische Ladung ; Elektrische Lorentzkraft; Elektrisches Feld; Superpositionsprinzip; Feldlinien	Den vektoriellen Ausdruck der elektrischen Lorentzkraft angeben und verwenden. Experimente interpretieren, die den elektrischen Anteil der elektromagnetischen Wechselwirkung betreffen. Das Superpositionsprinzip für elektrische Felder anwenden.

Elektrostatisches Potenzial ; Äquipotentialfläche ; Spannung Elektrostatisches Feld in einem idealen Plattenkondensator Bewegung eines geladenen Teilchens im homogenen elektrostatischen Feld; Elektrostatische potenzielle Energie Anwendungen: Elektronenkanone, linearer Teilchenbeschleuniger (nichtrelativistische Näherung)	Feldlinien für radiale, homogene und dipolare elektrostatische Felder zeichnen und Symmetrien respektieren. Eine Feldlinienkarte auswerten (elektrostatisches Feld). Die Intensität eines homogenen elektrostatischen Feldes zwischen zwei Äquipotentialflächen in Abhängigkeit von deren Abstand und der Spannung angeben und anwenden. Äquipotentialflächen aus gegebenen Feldlinien konstruieren – und umgekehrt. Den Einfluss von Spannung und Plattenabstand auf das innere Feld eines Plattenkondensators diskutieren. Die Analogie zwischen der Bewegung eines geladenen Teilchens im homogenen elektrischen Feld und der Bewegung eines Punktmasses im Schwerfeld nutzen. Den Ausdruck für die potenzielle Energie eines geladenen Teilchens im elektrostatischen Feld in Abhängigkeit vom Potential angeben und verwenden. Mit einer Energiebilanz die Geschwindigkeitsänderung eines durch eine Potentialdifferenz beschleunigten oder abgebremsten Teilchens ermitteln. Das Funktionsprinzip einer Elektronenkanone und eines linearen Teilchenbeschleunigers beschreiben. Energiegrößen in der Einheit Elektronenvolt umrechnen.
--	---

2.2.4. Wechselwirkungen, Felder und Bewegung - Elektromagnetische Wechselwirkung: Magnetisches Feld und Induktion

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Magnetisches Feld; Quellen (Permanentmagnet, elektrischer Strom) Superpositionsprinzip; Feldlinien	Größenordnungen magnetischer Felder nennen (Umgebung von Magneten, MRT-Geräten, Erdmagnetfeld an der Oberfläche). Die Intensität eines magnetischen Feldes anhand vorgegebener Ausdrücke abschätzen. Das Teslameter als Messgerät für magnetische Felder benennen. <i>Ein Magnetfeld messen [CE].</i> Das Superpositionsprinzip für magnetostatische Felder anwenden. Feldlinien für homogene und dipolare magnetostatische Felder (Stabmagnet, lange Spule) zeichnen und Symmetrien respektieren. Eine Feldlinienkarte auswerten. <i>Ein magnetostatisches Feld kartieren [CE].</i>

Magnetische Lorentzkraft; Bewegung eines geladenen Teilchens in einem gleichförmigen magnetostatischen Feld	Den vektoriellen Ausdruck der magnetischen Lorentzkraft angeben und verwenden. Experimente interpretieren, die den magnetischen Anteil der elektromagnetischen Wechselwirkung betreffen. Radius und Umlaufrichtung der Kreisbahn eines geladenen Teilchens in einem homogenen magnetostatischen Feld ermitteln, Anfangsgeschwindigkeit senkrecht zum homogenen Magnetfeld steht.
Anwendung: Massenspektrometer	Das Funktionsprinzip eines Massenspektrometers beschreiben.
Laplace-Kraft auf einen geraden Leiter.	Den vektoriellen Ausdruck der Laplace-Kraft auf einen geraden Leiter im homogenen Magnetfeld angeben und verwenden (Fälle: Leiter parallel bzw. senkrecht zum Feld).
Elektromagnetische Induktion; Induzierte Spannung; Induzierter Strom; Gesetz von Lenz; Magnetischer Fluss; Faradaysches Gesetz	<i>Versuche, die die Lenzsche und Faradaysche Induktionsgesetze veranschaulichen, beschreiben, durchführen und auswerten [CE].</i> Das Lenz'sche Gesetz formulieren und zur Vorhersage und Interpretation eines Induktionsphänomens anwenden. Den Fluss eines homogenen Magnetfelds durch eine senkrecht orientierte, ebene Fläche bestimmen. Das Faraday'sche Gesetz formulieren und unter Angabe der Vorzeichenkonventionen anwenden. Anwendungen der elektromagnetischen Induktion aus Industrie und Alltag nennen und beschreiben.

2.2.5. Energie: Umwandlungen und Übertragungen - Thermodynamik

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Thermodynamisches System; Zustand thermodynamischen Gleichgewichts; Zustandsgrößen eines reinen Stoffes: Druck, Temperatur, Volumen; Zustandsgleichung; Beispiele ideales Gas und nicht dehnbare, inkompressible kondensierte Phase	Ein geschlossenes System definieren und seinen thermodynamischen Zustand mit geeigneten Zustandsgrößen charakterisieren. Eine Temperatur aus einer Bedingung des thermischen Gleichgewichts bestimmen. Einen Druck aus einer Bedingung des mechanischen Gleichgewichts bestimmen. Die gemessenen Werte makroskopischer Größen qualitativ mit den mikroskopischen Eigenschaften des Systems verknüpfen. Die Zustandsgleichung des idealen Gases nennen und anwenden, um das Verhalten eines Gases zu beschreiben. Den Zusammenhang zwischen der von einem Fluid auf eine ebene Fläche ausgeübten Druckkraft, dem Druck und der Fläche angeben und nutzen. <i>Druck und Temperatur in einem System messen [CE].</i>

Innere Energie eines Systems; Mikroskopische Aspekte; Wärmekapazität bei konstantem Volumen des idealen Gases; Wärmekapazität einer nicht dehnbaren, inkompressiblen kondensierten Phase Erster Hauptsatz der Thermodynamik; Wärmetransfer, Arbeit	Die Bedeutung der inneren Energie eines Systems erklären und die verschiedenen mikroskopischen Beiträge zu dieser Größe nennen. Den Ausdruck für die temperaturabhängige Änderung der inneren Energie eines idealen Gases bzw. einer nicht dehnbaren, inkompressiblen kondensierten Phase angeben und anwenden. Den ersten Hauptsatz der Thermodynamik formulieren und anwenden, um bei einem System, das als ideales Gas oder als nicht dehnbare, inkompressible kondensierte Phase modelliert wird, Arbeit, Wärmetransfer oder Änderung der inneren Energie zu bestimmen, wenn zwei dieser Größen bekannt sind. Die Richtung eines Wärmetransfers ermitteln. Die von den Druckkräften an einem System mit variablem Volumen geleistete Arbeit im Fall eines konstanten Außendrucks bestimmen. <i>Die Wärmekapazität eines Materials mithilfe eines Kalorimeters messen [CE].</i>
--	--

2.2.6. Signale, Schwingungen, Wellen - Elektrische Signale

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Stromstärke bei zeitlich veränderlichen elektrischen Signalen. Kapazitives Verhalten. Kondensator. Kapazität. RC-Reihenschaltung : Laden und Entladen eines Kondensators.	Den Ausdruck für die Stromstärke als Ladungsfluss angeben und anwenden. Situationen identifizieren, in denen sich entgegengesetzte Ladungen auf gegenüberliegenden Flächen ansammeln. Größenordnungen üblicher Kapazitätswerte angeben. Die Beziehungen zwischen Stromstärke, Ladung und Spannung für den Zweipol Kondensator angeben und anwenden. Den Ausdruck für die Kapazität eines Plattenkondensators – ggf. mit Dielektrikum – anwenden. Technologische Anwendungen des kapazitiven Verhaltens nennen. <i>Das kapazitive Verhalten eines Zweipols identifizieren und testen [CE].</i> <i>Die üblichen Funktionen eines Oszilloskops nutzen [CE].</i> Die Differentialgleichung für die Kondensatorspannung beim Laden bzw. Entladen aufstellen und lösen. Strom- oder Spannungsverläufe in einem Lade- oder Entladekreis interpretieren und auswerten.

	Die Rolle der verschiedenen Parameter beim Laden und Entladen eines Kondensators diskutieren. <i>Die Antwort eines Geräts, das durch einen RC-Zweipol modelliert wird, untersuchen [CE].</i> <i>Die Euler-Methode mit einer Programmiersprache anwenden, um eine Differentialgleichung erster Ordnung für die Lade-/Entladekurve zu lösen [CN].</i>
--	--

2.2.7. Signale, Schwingungen, Wellen - Einführung in mechanische Wellen

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Harmonische Oszillation: Fall des horizontalen Oszillators mit ungedämpfter Feder; Energieumwandlungen	Die Bewegungsgleichung (Differentialgleichung) für einen horizontalen ungedämpften Federoszillator aufstellen. Die Differentialgleichung eines harmonischen Oszillators erkennen. Schwingungen mithilfe von Amplitude, Phase, Periode, Frequenz und Kreisfrequenz charakterisieren. Eine harmonische Schwingung mathematisch modellieren und ihre grafische Darstellung nutzen. Den Ausdruck für Frequenz bzw. Periode des ungedämpften Federoszillators angeben und anwenden. Die Entwicklung eines harmonischen mechanischen Oszillators qualitativ energetisch beschreiben und interpretieren. Die Aufnahme eines Signals der Federbewegung durchführen und auswerten [CE].
Mechanische Welle; Transversalwelle; Longitudinalwelle; Progressive Welle; zugehörige physikalische Größen; Wellengeschwindigkeit; Zeitverzögerung; Wellenfront	Die Ausbreitung einer mechanischen Welle räumlich und zeitlich als Kopplung lokaler Störungen und globalen Energietransports beschreiben (1D Saite, 2D Wasseroberfläche, 3D seismische Wellen usw.). Transversal- und Longitudinalwellen unterscheiden. Eine Störung erzeugen und ihre Ausbreitung in verschiedenen Situationen visualisieren (<i>Welle entlang eines Seils oder einer Feder, Welle an der Wasseroberfläche usw.</i>) [CE]. Die Beziehung zwischen Ausbreitungszeit, zurückgelegter Strecke und Wellengeschwindigkeit angeben und anwenden, insbesondere zur Lokalisierung einer Quelle. Die Wellengeschwindigkeit oder eine Distanz mithilfe einer mechanischen Welle bestimmen und den Einfluss des Mediums veranschaulichen [CE].
Sinusförmige fortschreitende	Räumliche und zeitliche Periodizität unterscheiden.

mechanische Welle; Zugehörige physikalische Größen; Periode; Wellenlänge; Phase	Den Ausdruck des Signals für eine eindimensionale sinusförmige fortschreitende Welle angeben, interpretieren und anwenden. Die Beziehung zwischen Wellengeschwindigkeit, Periode und Wellenlänge begründen und anwenden. Die Eigenschaften einer periodischen mechanischen Welle aus räumlichen oder zeitlichen Darstellungen bestimmen. Die Phasenverschiebung zwischen Signalen an zwei Punkten mit der durch die Ausbreitung verursachten Verzögerung verknüpfen. <i>Eine Wellenbewegung charakterisieren (Periode, Wellenlänge, Geschwindigkeit, Phasenverschiebung) [CE].</i> <i>Mit einer Programmiersprache die Ausbreitung einer periodischen Welle simulieren und den Einfluss ihrer Eigenschaften (von Amplitude und Periode) auf die Darstellungen diskutieren [CN].</i>
Stehende mechanische Welle; Eigenmoden	Eine stehende Welle durch das Vorhandensein von Knoten und Bäuchen charakterisieren. Den Abstand zwischen benachbarten Knoten, zwischen benachbarten Bäuchen oder zwischen Knoten und Bauch angeben und anwenden. Die Frequenzen der Eigenmoden einer Saite aus Wellengeschwindigkeit und Saitenlänge angeben. <i>Eine stehende Welle auf einer Melde-Saite stroboskopisch untersuchen [CE].</i>

2.2.8. Signale, Schwingungen, Wellen - Einführung in die elektromagnetischen Wellen

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Elektromagnetische Wellen; Intensität; Detektion; Spektrum	Eine elektromagnetische Welle anhand des gekoppelten zeitlichen und räumlichen Wechsels elektrischer und magnetischer Felder beschreiben. Einen angenäherten Wert für die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum angeben. Einer elektromagnetischen Welle eine Intensität zuordnen, die ihre mittlere Flächenleistung charakterisiert. Empfänger elektromagnetischer Wellen nennen und ihre Ansprechzeiten mit den charakteristischen Zeiten der Wellen vergleichen. Eine Frequenz- oder Wellenlängenskala nutzen, um einen elektromagnetischen Spektralbereich zu identifizieren.

	Größenordnungen der Frequenzen bzw. Wellenlängen von elektromagnetischen Wellen benennen, die in verschiedenen Anwendungen verwendet werden (medizinische Bildgebung, sichtbares Licht, WLAN-Signale, Mikrowellen usw.). Die Beziehung zwischen Wellenlänge im Vakuum und wahrgenommener Farbe erläutern.
--	---

2.2.9. Signale, Schwingungen, Wellen - Geometrische Optik

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Modell der geometrischen Optik; Lichtstrahl; Brechungsindex; Reflexion, Brechung	Das Modell der geometrischen Optik definieren und seine Grenzen aufzeigen. Die Gesetze der Reflexion und Brechung formulieren und anwenden. <i>Den Brechungsindex eines Mediums bestimmen [CE].</i> Beispiele für Reflexion und Brechung in nicht-optischen Kontexten beschreiben (Wasserwellen, seismische Wellen usw.).
Dünne Linsen. Reelles Bild, virtuelles Bild; aufrechtes, umgekehrtes Bild; Linsengleichung; Abbildungsmaßstab	Charakterisieren Sie die Brennpunkte einer dünnen Sammellinse mithilfe des Modells des Lichtstrahls. Verwenden Sie das Lichtstrahlmodell, um die Position, Größe und Richtung des realen Bildes eines realen ebenen Objekts, das von einer dünnen Sammellinse gegeben wird, grafisch zu bestimmen. Die Linsengleichung und den Abbildungsmaßstab verwenden, um Bildlage und Bildgröße eines realen Hintergrundobjekts durch eine dünne Sammellinse zu ermitteln. Bestimmen Sie die Eigenschaften des Bildes eines realen Hintergrundobjekts, das von einer dünnen Sammellinse erzeugt wird. Definieren und geometrisch bestimmen Sie eine Vergrößerung. <i>Erzeugen und charakterisieren Sie das reale Bild eines realen ebenen Objekts, das von einer dünnen Sammellinse [CE] gebildet wird.</i> <i>Bestimmen Sie die Brennweite einer dünnen Sammellinse [CE].</i>
Vergrößerung ; Astronomisches Fernrohr	Zwischen Abbildungsmaßstab und Vergrößerung unterscheiden. Das Schema eines afokalen astronomischen Fernrohrs aus zwei dünnen Sammellinsen zeichnen und Objektiv sowie Okular identifizieren. Den austretenden Strahlenkegel eines weit entfernten Objektpunktes durch ein afokales Fernrohr darstellen.

	Die Formel für die Vergrößerung eines afokalen Fernrohrs herleiten. Daten eines kommerziellen Fernrohrs auswerten. Ein Modell eines astronomischen Fernrohrs bauen, seine Vergrößerung bestimmen und die Lage des Zwischenbildes überprüfen [CE].
--	--

2.2.10. Signale, Schwingungen, Wellen - Wellenphänomene

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Das Beugungsphänomen in unterschiedlichen Situationen charakterisieren und konkrete praktische Folgen benennen.	Das Beugungsphänomen in unterschiedlichen Situationen charakterisieren und konkrete praktische Folgen benennen. <i>Das Beugungsphänomen experimentell in verschiedenen Konfigurationen veranschaulichen und untersuchen [CE].</i>
Interferenzen von zwei Wellen. Bedingungen für die Beobachtung.	Das Interferenzphänomen zweier Wellen charakterisieren und Konsequenzen bzw. Anwendungen nennen. <i>Aus einer Interferenzsituation Messgrößen wie z. B. die Wellenlänge ermitteln [CE].</i> <i>Mit einer Programmiersprache die Summe zweier sinusförmiger Signale darstellen und den Plot in Abhängigkeit ihrer Eigenschaften (Periode, Amplitude und Phase diskutieren) [CN].</i>
Konstruktive und destruktive Interferenz	Bedingungen für konstruktive bzw. destruktive Interferenz zweier punktförmiger, phasengleicher Quellen in einem homogenen Ausbreitungsmedium entwickeln und anwenden.
Interferenz zweier Lichtwellen – optischer Gangunterschied. Bedingungen für konstruktive/destruktive Interferenz	Den Phasenunterschied (in einem Punkt) in Abhängigkeit vom optischen Gangunterschied aufstellen. Für das Young'sche Doppelspalt-Experiment aus der linearisierte Ausdruck des Gangunterschieds den Abstand der Interferenzstreifen angeben. <i>Den Ausdruck für den Streifenabstand auswerten, ggf. mithilfe einer Bildauswertungssoftware [CE].</i>

2.2.11. Quantenphysik - Quantenobjekte

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Korpuskelmodell des Lichts; Einsteinsche Quantenhypothese; Fotoelektrischer Effekt; Koinzidenzanalyse von Photodetektionen; Planck-Einstein-Beziehungen für	Den Fotoelektrischen Effekt beschreiben und das Hallwachs-Experiment interpretieren (Widerspruch zum Wellenmodell, Gegenfeldmethode, Austrittsarbeit, Grenzfrequenz, Bestimmung der Planck-Konstanten). Experimentelle Beobachtungen mithilfe der Quantentheorie erklären.

Energie und Impuls des Photons	Eine Versuchsanordnung beschreiben, die mittels Koinzidenzanalyse von Photodetektionen das Korpuskelmodell des Lichts testet. Die Planck-Einstein-Beziehungen nennen und anwenden. Anwendungen des Fotoelektrischen Effekts und des inversen Fotoeffekts nennen. <i>Die Gültigkeit der Quantenthypothese durch ein Experiment zum (inversen) Fotoeffekt überprüfen [CE].</i>
Wellenmodell der Materie; de-Broglie-Beziehung; Nachweis-kriterium für Materiewellen; Beugung und Interferenz von Materiewellen	Ein Beugungs-oder Interferenzexperiment beschreiben und interpretieren, das das wellenhafte Verhalten von Materie zeigt. Die de-Broglie-Beziehung nennen und anwenden. Anhand der de-Broglie-Wellenlänge diskutieren, ob das Wellenmodell zur Beschreibung eines gegebenen Phänomens geeignet ist. Anwendungen nennen, die sich aus dem Modell der Materiewellen erklären lassen. <i>Ein Elektronenbeugungsexperiment durchführen und auswerten [CE].</i>
Welle-Teilchen-Dualität; Komplementaritätsprinzip; Quantenobjekt; Wahrscheinlichkeits-interpretation	Das Konzept der Welle-Teilchen-Dualität für Licht und Materie erklären. Wellen-, Korpuskel- und Quantenmodell in Beziehung zum Komplementaritäts-prinzip unterscheiden. Experimente mit Einzelquanten (Photonen, Elektronen ...) im Young-Interferometer beschreiben und unter Berücksichtigung des Komplementaritätsprinzips sowie der Bornschen Wahrscheinlichkeitsinterpretation erläutern.

2.2.12. Quantenphysik - Quantisierte Energieniveaus

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Atomspektren; Energieniveaus, Absorption, Emission	Ein Energieniveaudiagramm zeichnen und mit Fachbegriffen (Grundzustand, angeregter Zustand, Übergang ...) verwenden. Absorptions-und Emissionsprozesse anhand eines Energieniveaudiagramms beschreiben. Erläutern, wie Spektren zur Bestimmung chemischer Zusammensetzungen dienen. <i>Das Spektrum einer Quelle aufnehmen und mit einem Energieniveaudiagramm interpretieren [CE].</i>
Atommodelle von Rutherford und Bohr; Grenzen	Die Quantisierungsannahme Bohrs mithilfe des Materiewellenmodells zirkularer Elektronenbahnen begründen.

	Aus der Bohr-Quantisierung (gegeben) die Energieausdrücke für das Wasserstoffatom ableiten. Die Formel für die Energie des n-ten Elektronenniveaus (in eV) im Wasserstoffatom anwenden.
--	---

2.2.12. Kernphysik - Kernumwandlungen

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Atomkern ; Isotope ; Symbol (A, Z) A_ZX Stabilität und Instabilität von Kernen; α-, β- und γ-Zerfall; Kernreaktion; Kernspaltung, Kernfusion Nachweis von Radioaktivität; Zerfallsgesetz; Halbwertszeit; Aktivität Anwendungen der Radioaktivität; Strahlenschutz Masse-Energie-Äquivalenz; Freiwerdende Energie bei Kernumwandlungen;	Den Atomkern hinsichtlich Zusammensetzung, Größe und Masse beschreiben. Die atomare Masseneinheit verwenden. Die symbolische Schreibweise (A, Z) A_ZX anwenden. Aus der Nuklidkarte radioaktive Isotope eines Elements bestimmen. Die Stabilität eines Kerns aus dem Wettbewerb zwischen elektromagnetischer und starker Wechselwirkung erklären. Die symbolische Gleichung einer Kernreaktion aufstellen. Radioaktive Zerfälle samt Strahlungsart beschreiben und deren spontanen, zufälligen Charakter erläutern. Die Art eines radioaktiven Zerfalls identifizieren. Kernspaltungs- und Kernfusionsprozesse beschreiben. Beispiele nennen, in denen Spaltungs- bzw. Fusionsprozesse auftreten. Prinzipien der Detektion und Messung von Radioaktivität erklären und Detektortypen nennen. Die Zeitentwicklung der Anzahl radioaktiver Kerne herleiten. Die Begriffe Halbwertszeit, Zählrate und Aktivität erklären. Das Zerfallsgesetz bzw. eine Zerfallskurve auswerten. Das Prinzip der Datierung mithilfe radioaktiver Nuklide erklären und ein Ereignis datieren. Mehrere medizinische Anwendungen der Radioaktivität nennen. Schutzmaßnahmen gegen ionisierende Strahlung nach Strahlungsart angeben und Einflussfaktoren erläutern. Die Formel der Masse-Energie-Äquivalenz nennen und anwenden. Die freiwerdende Energie aus dem Massendefekt einer Kernumwandlung bestimmen. Die Einheit MeV/c² verwenden.

3. Operatoren ¹

Operator	Erläuterung
ableiten	auf der Grundlage von Erkenntnissen oder Daten sachgerechte Schlüsse ziehen
abschätzen	durch begründete Überlegungen Größenwerte angeben
analysieren	wichtige Bestandteile, Eigenschaften oder Zusammenhänge auf eine bestimmte Fragestellung hin herausarbeiten
anwenden, nutzen	Formeln, Gleichungen, Gesetze, Bedingungen etc. zum Nachweis, zur Herleitung, zur Erklärung anderer Phänomene verwenden.
aufstellen, formulieren	Formeln, Gleichungen, Bedingungen entwickeln
Hypothesen aufstellen	eine Vermutung über einen unbekannten Sachverhalt formulieren, die fachlich fundiert begründet wird
angeben, nennen	Formeln, Regeln, Sachverhalte, Begriffe oder Daten ohne Erläuterung aufzählen bzw. wiedergeben
auswerten	Beobachtungen, Daten, Einzelergebnisse oder Informationen in einen Zusammenhang stellen und daraus Schlussfolgerungen ziehen
begründen	Gründe oder Argumente für eine Vorgehensweise oder einen Sachverhalt nachvollziehbar darstellen
berechnen	Die Berechnung ist ausgehend von einem Ansatz darzustellen.
beschreiben	Beobachtungen, Strukturen, Sachverhalte, Methoden, Verfahren oder Zusammenhänge strukturiert und unter Verwendung der Fachsprache formulieren
beurteilen	Das zu fällende Sachurteil ist mithilfe fachlicher Kriterien zu begründen.
bewerten	Das zu fällende Werturteil ist unter Berücksichtigung gesellschaftlicher Werte und Normen zu begründen.
darstellen	Strukturen, Sachverhalte oder Zusammenhänge strukturiert und unter Verwendung der Fachsprache formulieren, auch mithilfe von Zeichnungen und Tabellen
diskutieren	Argumente zu einer Aussage oder These einander gegenüberstellen und abwägen
erklären	einen Sachverhalt nachvollziehbar und verständlich machen, indem man ihn auf Regeln und Gesetzmäßigkeiten zurückführt
erläutern	einen Sachverhalt veranschaulichend darstellen und durch zusätzliche Informationen verständlich machen
ermitteln	ein Ergebnis oder einen Zusammenhang rechnerisch, grafisch oder experimentell bestimmen
herleiten	mithilfe bekannter Gesetzmäßigkeiten einen Zusammenhang zwischen chemischen bzw. physikalischen Größen herstellen
interpretieren, deuten	naturwissenschaftliche Ergebnisse, Beschreibungen und Annahmen vor dem Hintergrund einer Fragestellung oder Hypothese in einen nachvollziehbaren Zusammenhang bringen
ordnen	Begriffe oder Gegenstände auf der Grundlage bestimmter Merkmale systematisch einteilen
planen	zu einem vorgegebenen Problem (auch experimentelle) Lösungswege entwickeln und dokumentieren
skizzieren	Sachverhalte, Prozesse, Strukturen oder Ergebnisse übersichtlich grafisch darstellen
untersuchen	Sachverhalte oder Phänomene mithilfe fachspezifischer Arbeitsweisen erschließen
vergleichen	Gemeinsamkeiten und Unterschiede kriteriengeleitet herausarbeiten
zeichnen	Objekte grafisch exakt darstellen

¹ Nach dem „Grundstock von Operatoren“ der Kultusministerkonferenz und des Instituts zur Qualitätsentwicklung im Bildungswesen für die naturwissenschaftlichen Fächer Stand 31.03.2022

2025

Lehrplan / Programme

DFG / LFA

Physik / Physique

**Vertiefungsfach /
Enseignement de spécialité**

**Klassenstufen 11 und 12
Classes de 1ère et Terminale**

Inhaltsverzeichnis

1. Leitgedanken	3
1.1. Bildungsziele	3
1.2. Zielsetzungen.....	3
1.3. Methodische Herausforderungen	4
1.4. Leistungsbewertung.....	5
2. Thematische Inhalte	5
2.1. Messungen und Messunsicherheiten (Querschnittsthema)	6
2.2. Wechselwirkungen, Felder und Bewegung - Die vier fundamentalen Wechselwirkungen	6
2.3. Wechselwirkungen, Felder und Bewegung - Gravitativwechselwirkung: Gravitations- und Schwerefeld	7
2.4. Wechselwirkungen, Felder und Bewegung - Elektromagnetische Wechselwirkung: elektrisches Feld	7
2.5. Wechselwirkungen, Felder und Bewegung - Elektromagnetische Wechselwirkung: magnetisches Feld	8
2.6. Wechselwirkungen, Felder und Bewegung - Elektromagnetische Wechselwirkung: elektromagnetisches Feld und Induktion	9
2.7. Energie: Umwandlungen und Übertragungen - Thermodynamik	10
2.8. Signale, Schwingungen, Wellen - Elektrische Signale im quasistationären Regime (ARQS).....	11
2.9. Signale, Schwingungen, Wellen - Freie und erzwungene Oszillatoren.....	12
2.10. Signale, Schwingungen, Wellen - Einführung in mechanische Wellen	12
2.11. Signale, Schwingungen, Wellen - Mechanische Wellenvorgänge	14
2.12. Signale, Schwingungen, Wellen - Einführung in die elektromagnetischen Wellen	15
2.13. Signale, Schwingungen, Wellen - Geometrische Optik	15
2.14. Signale, Schwingungen, Wellen - Elektromagnetische Wellenphänomene und Optik	16
2.15. Quantenphysik - Quantenobjekte	18
2.16. Quantenphysik – Quantisierung der Energieniveaus	19
2.17. Kernphysik - Kernumwandlungen.....	20
3. Operatoren	21

1. Leitgedanken

1.1. Bildungsziele

Die Physik bietet eine rationale Analyse der Natur und ihrer Veränderungen. Ziel ist es, die reale Welt mithilfe universell gültiger Prinzipien zu verstehen, die durch Beobachtung, Experiment und Messung überprüft werden.

Die Disziplin ist historisch eng mit der Mathematik verknüpft, deren Sprache sie zur modellhaften Beschreibung der Realität einsetzt.

Der Physikunterricht vertieft das Verständnis dieser Modelle und vermittelt experimentelle Kompetenzen, mit denen sich die Modelle an der Wirklichkeit überprüfen lassen.

Die Physik steht im Mittelpunkt zahlreicher technischer Innovationen, die die Gesellschaft, in der wir leben, kontinuierlich verändern: Diese Anwendungen bieten der Lehrkraft zahlreiche alltagsnahe Kontexte für die Anwendung der vermittelten Konzepte.

An den Deutsch-Französischen Gymnasien vereint der Physikunterricht mehrere Ziele in ausgewogener Weise:

- den Lernenden zentrale Konzepte in vielfältigen Kontexten vorstellen, um natürliche Phänomene und technische Systeme zu beschreiben und zu analysieren;
- die Schülerinnen und Schüler für ein naturwissenschaftliches Studium vorbereiten, indem Methoden und Gegenstände vorgestellt werden, die ihnen später wiederbegegnen;
- die Lernenden mit der wissenschaftlichen Arbeitsweise vertraut machen, ihre Stärken und Grenzen aufzeigen und Instrumente zur Validierung von Wissen bereitstellen;
- einige geschichtliche Meilensteine der Physik vermitteln, an denen französische und deutsche Forschende maßgeblich beteiligt waren.

Der wissenschaftliche Ansatz kennt keine Grenzen; er hat die Aufgabe, Wissen universeller Reichweite aufzubauen, dessen Internationalität in einer binationalen Schule ihren Platz findet.

1.2. Zielsetzungen

Der Physikunterricht entwickelt eine Reihe von Kompetenzen, die bei jeder wissenschaftlichen Herangehensweise eingesetzt werden. Diese Kompetenzen, die in der folgenden Tabelle aufgeführt sind, strukturieren sowohl den Bildungsgang Ausbildung als auch die Bewertung der Lernenden. Einige Beispiele zugehöriger Teilkompetenzen verdeutlichen die Ausprägung der einzelnen übergeordneten Kompetenzen, wobei die Gesamtheit keinen starren Rahmen bilden soll.

Übergeordnete Kompetenzen	Beispiele zugehöriger Teilkompetenzen
Sich aneignen	eine Problemstellung formulieren Informationen im Zusammenhang mit der untersuchten Fragestellung suchen und ordnen die Situation schematisch darstellen
Analysieren / Schließen	eine Hypothese formulieren eine Lösungsstrategie formulieren, um ein Problem zu lösen Aufgaben planen ein Modell oder relevante Gesetze passend auswählen ein Verfahren oder Protokoll auswählen, entwickeln und begründen

Durchführen	die Schritte einer Vorgehensweise / eines Ansatzes umsetzen ein Modell verwenden und Vorhersagen damit treffen durchführen gängiger Verfahren (Berechnungen, Darstellungen, Datenerhebungen, Größenordnungen abschätzen, Analogien ziehen usw.). ein Versuchsverfahren / experimentelles Protokoll unter Einhaltung der Sicherheitsvorschriften durchführen
Validieren	kritisch denken, Plausibilitätsprüfungen durchführen Quellen der Messunsicherheit erkennen, eine Messunsicherheit abschätzen und mit einem Referenzwert vergleichen ein Modell mit experimentellen Ergebnissen vergleichen mögliche Verbesserungen der Vorgehensweise / des Ansatzes oder des Modells vorschlagen
Kommunizieren (schriftlich und mündlich)	eine Vorgehensweise argumentativ, prägnant und kohärent darstellen einen angemessenen Wortschatz verwenden und geeignete Darstellungsformen wählen sich unter Gleichaltrigen austauschen

Der Physikunterricht entwickelt darüber hinaus Querschnittskompetenzen unterschiedlicher Art.

Über die fachlichen Inhalte hinaus fördert der Physikunterricht das kritische Denken der Lernenden, indem er die Validierung wissenschaftlicher Aussagen in den Mittelpunkt stellt (Kompetenz „Validieren“).

Er schärft zudem ihr Verständnis für aktuelle Herausforderungen wie die Energie- und Klimawende, damit siedemokratischen Entscheidungen, die sie jetzt und in Zukunft treffen müssen, mit rationalen Argumenten belegen zu können.

Die kollektive Dimension des wissenschaftlichen Aufbaus von Wissen im Bereich der Physik ist ein Beispiel, an dem sich Lehrkräfte orientieren sollten, um zur Entwicklung von Teamfähigkeit beizutragen. Labor- und Projektarbeiten im Zweier- oder Gruppenformat im Unterricht, tragen wesentlich dazu bei.

Digitale Kompetenzen sind integraler Bestandteil des Faches. Jedes Themengebiet liefert Beispiele, um digitale Werkzeuge an realen Technologien des Alltags einzuüben.

1.3. Methodische Herausforderungen

Die didaktischen Ansätze, die in den Physiklehrplänen in Deutschland und Frankreich umgesetzt werden, unterscheiden sich in mancherlei Hinsicht (Stellenwert der Modellierung, des gemeinsamen Argumentierens, des Experimentierens usw.). Physiklehrkräfte an Deutsch-Französischen Gymnasien müssen sich dieser Unterschiede bewusst sein und die Vorteile der einzelnen Ansätze nutzen, indem sie sie an ihre Schülerschaft anpassen. Es ist besonders lehrreich, den Schülerinnen und Schülern die jeweils andere Herangehensweise vorzustellen; der Perspektivwechsel vertieft das Verständnis physikalischer Phänomene und Gesetze.

Vor diesem Hintergrund ist dieser Lehrplan aufgebaut: Einige Themen folgen eher der französischen, andere der deutschen Tradition. Alle werden von den Schritten, die sie im Sinne eines besseren Verständnisses der Gepflogenheiten des Partnerlandes machen werden, profitieren.

Die sprachliche Dimension ist für den Aufbau dieser gemeinsamen Kultur von grundlegender Bedeutung. Es ist von entscheidender Bedeutung, dass die Lehrkräfte beider Länder ihren Schülerinnen und Schülern in beiden Sprachen die wichtigsten Elemente des wissenschaftlichen Vokabulars vermitteln, die in den verschiedenen Themenbereich eingesetzt werden. Der Unterricht soll durch die Arbeit an wissenschaftlich orientierten Originaltexten bereichert werden, die in der jeweilsigen Partnersprache verfasst sind.

1.4. Leistungsbewertung

Die Leistungsbewertung in Physik sollte sich auf eine Vielzahl von Situationen stützen, die die Vielfalt der in diesem Fach vorkommenden Formate widerspiegelt: schriftliche Leistungsmessung, Kurztests, Quiz, Durchführung von Experimenten, mündliche Präsentationen auch im Rahmen von praktischen Arbeiten, Dokumentenanalysen, wissenschaftliche Debatten usw. Sie kann individuell oder in Gruppen erfolgen, wobei auch hier die Bewertung jedes Gruppenmitglieds individuell erfolgt. Sie ist in erster Linie ein grundlegendes Element zur Verbesserung des Lernens. Ihre formative Dimension ist von entscheidender Bedeutung, selbst in Bewertungssituationen, in denen der summative Aspekt im Vordergrund steht.

Daher soll Leistungsmessung, bei der Erwartungshorizonte klar zu formulieren sind, zu schnellen und detaillierten Rückmeldungen der Lehrkräfte an ihre Schülerinnen und Schüler führen. Auch gegenseitige Bewertungen (teilweise oder vollständige Bewertungen durch Mitschülerinnen und Mitschüler / „Peer Reviews“) sind empfehlenswert. Bei Bedarf können differenzierte Fördermaßnahmen eingesetzt werden.

2. Thematische Inhalte

In den folgenden Tabellen sind das erforderliche Fachwissen und die zugehörigen Kompetenzen, die von den Lernenden beherrscht werden müssen, nach Themen geordnet aufgeführt. Den "Begriffen und Inhalten" in der ersten Spalte der Tabellen entsprechen eine oder mehrere "verbindliche Kompetenzen" in der zweiten Spalte. Experimentell ausgerichtete Fähigkeiten sind kursiv und mit [CE] gekennzeichnet, digital ausgerichtete Fähigkeiten kursiv und mit [CN]; empfohlene Programmiersprache ist Python.

Die Themen erlauben vielfältige Alltagsbezüge – insbesondere die Analyse der Ursachen und Folgen der Klima- und Energiewende. Die Geschichte der Physik dient als Hintergrund, um die vorgestellten Konzepte zu beleuchten. Die epistemische Dimension des wissenschaftlichen Ansatzes (kollektiver Aufbau des wissenschaftlichen Wissens, Funktionsweise der wissenschaftlichen Gemeinschaft / Scientific Community, Stärken und Grenzen der Methode usw.) muss im Unterricht auf einem angemessenen Niveau und in einem angemessenen Umfang berücksichtigt werden.

Es steht den Lehrkräften frei in den Klassenstufen 11 und 12 die Themen, Kenntnisse und Fähigkeiten in der von ihm gewählten Reihenfolge zu behandeln; es wird jedoch explizit darauf hingewiesen, dass Themen bereits in der Klassenstufe 11 behandelt werden müssen:

- Messungen und Unsicherheiten; ausgenommen zusammengesetzte Standardunsicherheiten, die erst in Jahrgangsstufe 12 eingeführt werden
- Wechselwirkungen, Felder und Bewegung :
 - Die vier fundamentalen Wechselwirkungen
 - Gravitative Wechselwirkung – Gravitations- und Schwerfelder
 - Elektromagnetische Wechselwirkung: elektrisches Feld
 - Elektromagnetische Wechselwirkung: magnetisches Feld
- Signale, Schwingungen, Wellen :
 - Elektrische Signale im quasi- stationären Regime (ARQS)
 - Freie und erzwungene Oszillatoren
 - Einführung in mechanische Wellen
 - Mechanische Wellenphänomene

Einige Fähigkeiten sind allen oder mehreren Themen gemeinsam und werden nicht in der tabellarischen Auflistung wiederholt:

- die Sicherheitsregeln im Zusammenhang mit der Arbeit im Labor einhalten;
- Messunsicherheiten analysieren, kontrollieren und wenn möglich minimieren;
- Datenerfassungs- und -verarbeitungssysteme einsetzen: Mikrocontroller, Messinterface, Tabellenkalkulation, Programmiersprache.

2.1. Messungen und Messunsicherheiten (Querschnittsthema)

Bei der Behandlung dieses Themas liegt der Schwerpunkt eher auf der Visualisierung und Auswertung von Messunsicherheiten als auf deren mathematischer Behandlung. Hierzu werden digitale Werkzeuge, darunter die Programmiersprache Python, eingesetzt.

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Variabilität bei der Messung einer physikalischen Größe	Eine Reihe von unabhängigen Messungen einer physikalischen Größe auswerten: Mittelwert und Standardabweichungsmittel Die Ursachen für die Streuung einer Messung und den Einfluss des Messgeräts und des Messprotokolls erörtern. Die Streuung einer Reihe unabhängiger Messungen qualitativ bewerten. <i>Das Histogramm einer Messreihe mithilfe einer Tabellenkalkulation oder einer Programmiersprache darstellen [CN].</i>
Standardunsicherheit	Eine Standardunsicherheit qualitativ definieren. Die Standardunsicherheit mithilfe eines statistischen Ansatzes bestimmen (Bewertung vom Typ A). Den Nutzen einer großen Anzahl von Messungen zur Verringerung der Standardunsicherheit des Mittelwertes erläutern. Die Standardunsicherheit mit einem anderen als statistischen Ansatz bestimmen (Bewertung vom Typ B).
Zusammengesetzte Standardunsicherheiten	Mithilfe einer gegebenen Formel die Standardunsicherheit einer Größe berechnen/abschätzen, die als Funktion anderer Größen mit bekannten Standardunsicherheiten ausgedrückt wird. Die Standardunsicherheit einer Größe bestimmen, die als Summe, Differenz, Produkt oder Quotient von Größen mit bekannten Standardunsicherheiten ausgedrückt ist. Bei der Bestimmung einer zusammengesetzten Standardunsicherheit die verschiedenen Beiträge miteinander vergleichen. <i>Mit einer Tabellenkalkulation oder einer Programmiersprache einen Zufallsprozess simulieren, um die Streuung der Werte einer zusammengesetzten Größe zu charakterisieren [CN].</i>
Angabe des Messergebnisses	Das Messergebnis mit einer angemessenen Anzahl signifikanter Stellen angeben.
Vergleich zweier Werte; normierte Abweichung	Zwei Werte, deren Standardunsicherheiten bekannt sind, mithilfe ihrer normierten Abweichung vergleichen. Die Ursachen einer möglichen Unvereinbarkeit zwischen dem Messergebnis und dem von einem Modell erwarteten Ergebnis analysieren.
Lineare Regression	<i>Eine lineare Regression durchführen, um die Parameter eines Modells zu bestimmen [CN].</i>

2.2. Wechselwirkungen, Felder und Bewegung - Die vier fundamentalen Wechselwirkungen

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Gravitative, elektromagnetische, starke und schwache Wechselwirkung;	Die vier fundamentalen Wechselwirkungen hinsichtlich ihrer Reichweite charakterisieren.

Reichweiten	Die Größenordnungen der fundamentalen Wechselwirkungen in einem gegebenen Kontext vergleichen. Zu jeder fundamentalen Wechselwirkung eine oder mehrere physikalische Situationen zuordnen, in denen sie bestimmend ist. Forschungsfragen zur Untersuchung fundamentaler Wechselwirkungen nennen.
-------------	---

2.3. Wechselwirkungen, Felder und Bewegung - Gravitativwechselwirkung: Gravitations- und Schwerfeld

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Gravitationskraft; Gravitationsfeld Modell des homogenen Schwerfelds in der Nähe der Oberfläche eines Planeten; Bewegung in einem homogenen Schwerfeld Bewegung in einem Gravitationsfeld; Himmelskörper, Satelliten; Kreisbewegung; gleichförmige Kreisbewegung; Umlaufbahn; Keplersche Gesetze Potentielle Energie und mechanische Energie in einem Gravitationsfeld. Kosmische Geschwindigkeiten	Die vektoriellen Ausdrücke für die Gravitationskraft und das Gravitationsfeld angeben und nutzen. Das Schwerfeld in der Nähe der Planetenoberfläche durch das Gravitationsfeld approximieren. Zeigen, dass die Bewegung in einem homogenen Feld planar ist. Die Bewegung eines Systems, das durch einen Massenpunkt modelliert ist, in einem homogenen Schwerfeld untersuchen (dynamischer und energetischer Zugang zum freien Fall). Die möglichen Bewegungen des Schwerpunkts eines Systems in einem Newtonschen Gravitationsfeld beschreiben. Eine Kreisbewegung mit geeignetem kinematischen Vokabular und den entsprechenden Größen beschreiben (insbesondere Zentripetalbeschleunigung, Bahngeschwindigkeit, Winkelgeschwindigkeit, Periode, Frequenz). Die Ausdrücke der Koordinaten der Geschwindigkeits- und Beschleunigungsvektoren im Frenet-Bezugssystem für eine Kreisbewegung angeben und verwenden. Die Eigenschaften der Geschwindigkeits- und Beschleunigungsvektoren des Schwerpunkts eines Systems in Kreisbewegung in einem Newtonschen Gravitationsfeld ermitteln. Das dritte Keplersche Gesetz für den Kreisorbit herleiten und anwenden. Anhand von Dokumenten die Kontroverse vom geozentrischen zum heliozentrischen Weltbild diskutieren. Den Ausdruck für die potenzielle Energie eines durch einen Massenpunkt modellierten Systems in einem Newtonschen Gravitationsfeld angeben und verwenden. Die Ausdrücke für die Geschwindigkeit in niedriger Umlaufbahn und für die Fluchtgeschwindigkeit aufstellen und anwenden.

2.4. Wechselwirkungen, Felder und Bewegung - Elektromagnetische Wechselwirkung: elektrisches Feld

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Elektrische Ladung ; Coulomb-Gesetz	Das <i>Coulombsche Gesetz</i> zitieren und anwenden. Das <i>Coulombsche</i> und das <i>Newtonsche Gravitationsgesetz</i> vergleichen. Einen Versuchsaufbau realisieren, der die elektrostatische Wechselwirkung [CE].

Elektrische Lorentzkraft; Elektrisches Feld; Superpositionsprinzip; Feldlinien	Den vektoriellen Ausdruck der elektrischen Lorentzkraft angeben und verwenden. Experimente interpretieren, die den elektrischen Anteil der elektromagnetischen Wechselwirkung betreffen. Das Superpositionsprinzip für elektrische Felder anwenden. Feldlinien für radiale, homogene und dipolare elektrostatische Felder zeichnen und Symmetrien respektieren. Eine Feldlinienkarte auswerten (elektrostatisches Feld).
Elektrostatisches Potenzial; Äquipotentialfläche; Spannung.	Die Intensität eines homogenen elektrostatischen Feldes zwischen zwei Äquipotentialflächen in Abhängigkeit von deren Abstand und der Spannung angeben und anwenden. Äquipotentialflächen aus gegebenen Feldlinien konstruieren – und umgekehrt.
Elektrostatisches Feld in einem idealen Plattenkondensator	Den Einfluss von Spannung und Plattenabstand auf das innere Feld eines Plattenkondensators diskutieren.
Bewegung eines geladenen Teilchens im homogenen elektrostatischen Feld; Arbeit einer elektrostatischen Kraft.	Die Bewegung eines geladenen Teilchens in einem homogenen elektrischen Feld untersuchen (dynamische und energetische, nichtrelativistische Beschreibung).
Elektrostatische potenzielle Energie	Die Analogie zwischen der Bewegung eines geladenen Teilchens im homogenen elektrischen Feld und der Bewegung eines Punktmasses im Schwerfeld nutzen. Den Ausdruck für die potenzielle Energie eines geladenen Teilchens im elektrostatischen Feld in Abhängigkeit vom Potential angeben und verwenden. Mit einer Energiebilanz die Geschwindigkeitsänderung eines durch eine Potentialdifferenz beschleunigten oder abgebremsten Teilchens ermitteln.
Anwendungen: Elektronenkanone, linearer Teilchenbeschleuniger (nichtrelativistische Näherung)	Das Funktionsprinzip einer Elektronenkanone und eines linearen Teilchenbeschleunigers beschreiben. Energiegrößen in der Einheit Elektronenvolt umrechnen.

2.5. Wechselwirkungen, Felder und Bewegung - Elektromagnetische Wechselwirkung: magnetisches Feld

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Magnetisches Feld. Quellen (Permanentmagnet, elektrischer Strom).	Größenordnungen magnetischer Felder nennen (Umgebung von Magneten, MRT-Geräten, Erdmagnetfeld an der Oberfläche). Den Ausdruck für das Magnetfeld einer langen stromdurchflossenen Spule – gegebenenfalls mit ferromagnetischem Kern – angeben und nutzen. Die Intensität eines magnetischen Feldes anhand vorgegebener Ausdrücke abschätzen.. <i>Ein Magnetfeld messen [CE].</i>
Superpositionsprinzip; Feldlinien	Das Superpositionsprinzip für magnetostatische Felder anwenden. Feldlinien für homogene und dipolare magnetostatische Felder (Stabmagnet, lange Spule) zeichnen und Symmetrien respektieren. Eine Feldlinienkarte auswerten. <i>Ein magnetostatisches Feld kartieren [CE].</i>
Magnetische Lorentzkraft; Bewegung eines geladenen Teilchens im homogenen	Den vektoriellen Ausdruck der magnetischen Lorentzkraft angeben und verwenden.

magnetostatischen Feld	Experimente interpretieren, die den magnetischen Anteil der elektromagnetischen Wechselwirkung betreffen. Die Wirkung eines homogenen Magnetfeldes auf die Bewegung eines geladenen Teilchens beschreiben. Radius und Umlaufrichtung der Kreisbahn eines geladenen Teilchens in einem homogenen magnetostatischen Feld ermitteln, Anfangsgeschwindigkeit senkrecht zum homogenen Magnetfeld steht. Die Schutzwirkung des Erdmagnetfeldes gegen kosmische Strahlung erläutern.
Anwendung: Massenspektrometer	Das Funktionsprinzip von Massenspektrometern beschreiben.
Laplace-Kraft auf einen geraden Leiter	Den vektoriellen Ausdruck der Laplace-Kraft auf einen geraden Leiter im homogenen Magnetfeld angeben und verwenden (Fälle: Leiter parallel bzw. senkrecht zum Feld). Die Wirkung eines homogenen Magnetfeldes auf stromdurchflossene Leiter (Metallstange, rechteckige Leiterschleife ...) beschreiben. Das Funktionsprinzip eines Gleichstrommotors anhand eines einfachen Modells erläutern und Anwendungen nennen. Das Funktionsprinzip eines elektrodynamischen Lautsprechers beschreiben.

2.6. Wechselwirkungen, Felder und Bewegung - Elektromagnetische Wechselwirkung: elektromagnetisches Feld und Induktion

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Lorentzkraft ; Leistung der Lorentzkraft	Größenordnungen elektrischer bzw. magnetischer Kräfte abschätzen und mit der Gravitationskraft vergleichen. Begründen, dass ein elektrisches Feld die kinetische Energie eines Teilchens verändern kann, während ein Magnetfeld zwar dessen Bahn krümmt, seine kinetische Energie aber nicht ändert.
Bewegung eines geladenen Teilchens in orthogonalen, homogenen elektro- und magnetostatischen Feldern; Wien-Filter	Das Funktionsprinzip des Wien-Filters erklären.
Elektromagnetische Induktion. Induktionsspannung. Induktionsstrom. Lenz'sches Gesetz. Magnetischer Fluss. Faradaysches Gesetz.	Versuche durchführen und auswerten, die das Lenz'sche und das Faraday'sche Gesetz illustrieren [CE]. Das Lenz'sche Gesetz formulieren und auf Induktionsphänomene anwenden. Den Fluss eines homogenen Magnetfelds durch eine orientierte Ebene bestimmen. Das Faraday'sche Gesetz mit korrekten Vorzeichen formulieren und anwenden. Für einfache Systeme die elektrischen und mechanischen Gleichungen formulieren und dabei die Vorzeichenkonventionen von Faraday und Newton beachten. Industrielle oder alltägliche Anwendungen der elektromagnetischen Induktion nennen und beschreiben.
Wirbelströme.	<i>Wirbelströme experimentell nachweisen [CE].</i> Anwendungen der Wirbelströme beschreiben (Brems-, Heiz-, Dämpfungssysteme usw.).

2.7. Energie: Umwandlungen und Übertragungen - Thermodynamik

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Thermodynamisches System; Zustand thermodynamischen Gleichgewichts; Zustandsgrößen eines reinen Stoffes: Druck, Temperatur, Volumen; Zustandsgleichung; Beispiele ideales Gas und nicht dehnbare, inkompressible kondensierte Phase	Ein geschlossenes System definieren und seinen thermodynamischen Zustand mit geeigneten Zustandsgrößen charakterisieren. Eine Temperatur aus einer Bedingung des thermischen Gleichgewichts bestimmen. Einen Druck aus einer Bedingung des mechanischen Gleichgewichts bestimmen. Die gemessenen Werte makroskopischer Größen qualitativ mit den mikroskopischen Eigenschaften des Systems verknüpfen. Die Zustandsgleichung des idealen Gases nennen und anwenden, um das Verhalten eines Gases zu beschreiben. Den Zusammenhang zwischen der von einem Fluid auf eine ebene Fläche ausgeübten Druckkraft, dem Druck und der Fläche angeben und nutzen.
Innere Energie eines Systems; Mikroskopische Aspekte; Wärmekapazität bei konstantem Volumen des idealen Gases; Wärmekapazität einer nicht dehnbaren, inkompressiblen kondensierten Phase	<i>Druck und Temperatur in einem System messen [CE].</i> Die Bedeutung der inneren Energie eines Systems erklären und die verschiedenen mikroskopischen Beiträge zu dieser Größe nennen. Den Ausdruck für die temperaturabhängige Änderung der inneren Energie eines idealen Gases bzw. einer nicht dehnbaren, inkompressiblen kondensierten Phase angeben und anwenden.
Erster Hauptsatz der Thermodynamik; Wärmetransfer, Arbeit	Den ersten Hauptsatz der Thermodynamik formulieren und anwenden, um bei einem System, das als ideales Gas oder als nicht dehnbare, inkompressible kondensierte Phase modelliert wird, Arbeit, Wärmetransfer oder Änderung der inneren Energie zu bestimmen, wenn zwei dieser Größen bekannt sind. Die Richtung eines Wärmetransfers ermitteln. Die von den Druckkräften an einem System mit variablem Volumen geleistete Arbeit im Fall eines konstanten Außendrucks bestimmen. <i>Die Wärmekapazität eines Materials mithilfe eines Kalorimeters messen [CE].</i>
Wärmetransfermodi; Wärmestrom. Thermischer Widerstand	Die drei Wärmetransfermodi qualitativ charakterisieren: Wärmeleitung, Konvektion, Wärmestrahlung. Die Beziehung zwischen Wärmestrom, thermischem Widerstand und Temperaturdifferenz angeben und anwenden. Den thermischen Widerstand eines Materials bestimmen [CE].
Energiebilanz des Erde-Atmosphäre-Systems; Treibhauseffekt.	Die mittlere Erdoberflächen-temperatur mithilfe einer Energiebilanz und des Stefan-Boltzmann-Gesetzes abschätzen (Formel gegeben). Qualitativ diskutieren, wie Albedo und Treibhauseffekt die mittlere Erdtemperatur beeinflussen.

2.8. Signale, Schwingungen, Wellen - Elektrische Signale im quasistationären Regime (ARQS)

Begriffe und Inhalte	Erforderliche Fähigkeiten
Schaltungen und elektrische Signale; Approximation quasistationärer Regime (ARQS); Modelle von Zweipolen: Widerstand, Kondensator, Spule, lineare Spannungsquelle	Den Ausdruck der Stromstärke als Ladungsstrom zitieren und anwenden. Die Anwendungsbedingung der ARQS in Abhängigkeit von der Größe des Stromkreises und der Frequenz nennen und begründen. Das Knotengesetz mit dem Postulat der Ladungserhaltung verknüpfen. Eine reale Quelle als Reihenschaltung aus idealer Spannungsquelle und Widerstand modellieren. Die Beziehungen zwischen Stromstärke und Spannung für die Zweipole Widerstand, Kondensator, Spule und lineare Spannungsquelle zitieren und anwenden. Die Kennlinie einer realen Spannungsquelle bestimmen und für die Modellierung als lineare Spannungsquelle nutzen [CE]. Den Ausdruck des Widerstands eines homogenen zylindrischen Leiters zitieren und anwenden. Die Kapazität eines Kondensators definieren. Den Ausdruck der Kapazität eines Plattenkondensators zitieren und anwenden, gegebenenfalls mit Dielektrikum. Technologische Anwendungen von Kondensatoren und Spulen nennen. Erklären Sie das Funktionsprinzip einiger Sensoren: resistiv, kapazitiv, induktiv. <i>Das Verhalten eines Zweipols (resistiv, kapazitiv oder induktiv) untersuchen [CE].</i> <i>Die üblichen Funktionen eines Oszilloskops nutzen [CE].</i>
Gesetze der Reihen- und Parallelschaltung	Die Reihen- und Parallelschaltungsgesetze für zwei Widerstände, Spulen oder Kondensatoren aufstellen und anwenden.
Lineare Schaltungen erster Ordnung. Freies Regime. Sprungantwort	Transitorisches und stationäres Regime eines R1-Systems bei Sprunganregung unterscheiden. Die Kontinuität der Spannung am Kondensator und des Stroms durch die Spule nutzen. Die Differentialgleichung erster Ordnung eines Einkreisstromkreises aufstellen. Die Zeitantwort bei freiem Regime oder Sprungeingang bestimmen. Die Entwicklung von Strom oder Spannung grafisch darstellen und auswerten. Die Rolle der Parameter bei Lade-/Entladevorgängen und bei Stromauf- und -abbau in einer Spule diskutieren. <i>Ein transitorisches Regime messen und auswerten [CE].</i> <i>Die Euler-Methode mit Programmierung anwenden, um die Antwort eines R1-Systems auf beliebige Anregung zu simulieren [CN].</i>
Energiespeicherung und -dissipation	Den Ausdruck der elektrischen Energie eines Kondensators und der magnetischen Energie einer Spule zitieren und anwenden. Eine Energiebilanz in einem R1-Stromkreis erstellen und interpretieren.

2.9. Signale, Schwingungen, Wellen - Freie und erzwungene Oszillatoren

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Harmonischer Oszillator; Beispiele: LC-Schaltung, mechanischer Federoszillator, kleines Pendel	Die Differentialgleichung harmonischer Oszillatoren (LC, Federoszillator, kleines Pendel) aufstellen und erkennen. Schwingungen mittels Amplitude, Phase, Periode, Frequenz und Kreisfrequenz charakterisieren. Eine harmonische Schwingung mathematisch modellieren und seine grafische Darstellung nutzen. Die Frequenz bzw. Periode von LC-Schaltung, Federoszillator und kleinem Pendel nennen und anwenden. Eine Energiebilanz für harmonischen Oszillator erstellen und interpretieren. Analoge physikalische Größen zwischen elektrischem und mechanischem Oszillator identifizieren. <i>Das freie Schwingungsregime eines Oszillators messen und auswerten [CE].</i>
Gedämpfter Oszillator: RLC-Reihenschaltung und mechanischer Oszillator mit viskoser Reibung.	Die Energieentwicklung eines gedämpften Oszillators qualitativ beschreiben und interpretieren. Pseudo-periodisches und aperiodisches Regime unterscheiden. Eine Hypothese zum Regimetyp aus Dämpfungs- und Schwingungszeiten formulieren. Analogien zwischen RLC-Schaltung und mechanischem Oszillator mit viskoser Dämpfung erläutern. <i>Parametereinfluss auf Dämpfung mittels Programmierung untersuchen [CN].</i>
Erzwungener Oszillator: sinusförmige Anregung. Resonanz. Eigenfrequenz und Resonanzfrequenz.	Das Prinzip der erzwungenen Schwingung und das Phänomen der Resonanz beschreiben. Fälle nennen, in denen Resonanz erwünscht oder zu vermeiden ist. <i>Ein Experiment zur amplituden- und phasenabhängigen Antwort eines Systems auf sinusförmige Anregung durchführen und Resonanz aufzeigen [CE].</i>

2.10. Signale, Schwingungen, Wellen - Einführung in mechanische Wellen

Begriffe und Inhalte	Erforderliche Fähigkeiten
Mechanische Welle; Transversalwelle, Longitudinalwelle; Progressive Welle; zugehörige physikalische Größen; Wellengeschwindigkeit; Zeitverzögerung; Wellenfront; Polarisation	Die Ausbreitung einer mechanischen Welle räumlich und zeitlich anhand der Kopplung lokaler Störungen und des globalen Energietransports beschreiben (z. B. Welle entlang einer Saite (1D), Wasserwelle (2D), seismische Wellen (3D) usw.). Transversal- und Longitudinalwellen unterscheiden; ebene, zylindrische und sphärische Wellen unterscheiden. <i>Eine Störung erzeugen und deren Ausbreitung in verschiedenen Situationen visualisieren (Welle entlang eines Seils oder einer Feder, Welle an der Wasseroberfläche usw.) [CE].</i> Die Beziehung zwischen Ausbreitungsdauer, zurückgelegter Strecke und Wellengeschwindigkeit nennen und für die Lokalisierung einer Wellenquelle anwenden.

Sinusförmige progressive mechanische Welle; zugehörige physikalische Größen; Periode; Wellenlänge; Phase; Phasengeschwindigkeit; Dispersion	<i>Die Wellengeschwindigkeit oder eine Distanz mit einer mechanischen Welle bestimmen und den Einfluss des Mediums auf die Geschwindigkeit erläutern [CE].</i> Den Polarisationszustand einer Transversalwelle, z. B. im Fall einer Saite, erklären und einrichten. Das lineare Polarisationsverfahren für eine Transversalwelle beschreiben. Räumliche und zeitliche Periodizität unterscheiden. Den Ausdruck für eine eindimensionale sinusförmige Welle nennen, interpretieren und anwenden. Die Beziehung zwischen Phasengeschwindigkeit, Periode und Wellenlänge begründen und nutzen. Die Eigenschaften einer periodischen Welle aus räumlichen oder zeitlichen Darstellungen bestimmen. Den Zusammenhang zwischen Phasenverschiebung und Ausbreitungsverzögerung zweier Signale erklären. Dispersive Ausbreitung definieren und Beispiele dispersiver und nicht-dispersiver Ausbreitung nennen. <i>Die Ausbreitung einer Welle / eine Wellenbewegung charakterisieren (Periode, Wellenlänge, Geschwindigkeit, Phasenverschiebung) [CE].</i> <i>Mithilfe einer Programmiersprache die Ausbreitung einer periodischen Welle simulieren und den Einfluss ihrer Eigenschaften (Amplitude, Periode) diskutieren [CN].</i>
--	--

2.11. Signale, Schwingungen, Wellen - Mechanische Wellenvorgänge

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Reflexion, Brechung: geometrische und wellenoptische Ansätze; Huygenssches Prinzip; Beugung Interferenz zweier mechanischer Wellen; Beobachtungsbedingungen. Gangunterschied; Konstruktive und destruktive Interferenz	Die Strahlen darstellen, die den Wellenfronten einer Welle zugeordnet sind und umgekehrt. Reflexion-, Brechungs- und Beugungsphänomene mithilfe des Huygensschen Prinzips in Bezug auf Wellenfronten und Strahlen interpretieren. Gesetze der Reflexion und Brechung formulieren und anwenden. Die Beziehung, die den Beugungswinkel einer monochromatischen mechanischen Welle an einer Öffnung in Abhängigkeit der Wellenlänge und der Spaltbreite ausdrückt, nennen und nutzen. Konkrete Folgen von Reflexion, Brechung und Beugung nennen. Reflexions-, Brechungs- und Beugungsversuche in unterschiedlichen Konfigurationen durchführen und analysieren [CE]. Interferenzphänomene und Anwendungen erklären und charakterisieren. Beobachtungsbedingungen für Interferenz nennen. Eine Verbindung zwischen Phasenunterschied und Gangunterschied herstellen. Bedingungen für konstruktive und destruktive Interferenz in Abhängigkeit von Gang- bzw. Phasenunterschied nennen, begründen und nutzen. Den Ausdruck für den Gangunterschied (zwischen zwei Sinuswellen in einem Punkt) in einfachen Fällen aufstellen. Technische Anwendungen des Interferenzphänomens mechanischer Wellen beschreiben. Anwendungen der Interferenz bei Messungen (z. B. Wellenlängenbestimmung) durchführen [CE]. Die Zusammenführung zweier sinusförmiger Signale programmieren und deren Summe mithilfe der Eigenschaften (<i>caractéristiques</i> (<i>périodes, amplitudes, phases</i>)) analysieren [CN].
Stehende mechanische Welle und ihre Eigenmoden	Eine stehende Welle anhand der charakteristischen Verteilung von Knoten und Bäuchen beschreiben. Räumliche und zeitliche Darstellungen einer stehenden Welle mit denen einer sinusförmigen fortschreitenden Welle vergleichen und fachlich voneinander abgrenzen. Die charakteristischen Abstände bei einer stehenden Welle – zwischen zwei benachbarten Knoten, zwei benachbarten Bäuchen oder zwischen einem Knoten und einem benachbarten Bauch – nennen und nutzen. <i>Die einer stehenden Welle zugehörige Wellenlänge bestimmen [CE].</i> Eine stehende Welle als Ergebnis der Interferenz zweier sinusförmiger fortschreitender Wellen interpretieren. Den Ausdruck für die Frequenzen der Eigenmoden einer gespannten Saite aus der Ausbreitungsgeschwindigkeit der fortschreitenden Wellen und der Saitenlänge entwickeln und anwenden. Die Konzepte der Eigenmoden mit den in der Musik verwendeten Begriffen in Beziehung setzen.

	Die Funktion eines akustischen Resonanzkörpers erklären. Eine stehende Welle auf einer Melde'schen Saite mithilfe der Stroboskopie untersuchen [CE]. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer monochromatischen fortschreitenden Welle durch Auswertung einer Messung an einer stehenden Welle ermitteln [CE]. Ein Signal, das mit einer stehenden Welle verknüpft ist, mithilfe einer Programmiersprache für verschiedene Eigenmoden darstellen [CN].
--	---

2.12. Signale, Schwingungen, Wellen - Einführung in die elektromagnetischen Wellen

Begriffe und Inhalte	Erforderliche Fähigkeiten
Elektromagnetische Wellen; Intensität; Detektion; Spektrum	Eine elektromagnetische Welle anhand des gekoppelten zeitlichen und räumlichen Wechsels elektrischer und magnetischer Felder beschreiben. Einen angenäherten Wert für die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum angeben. Einer elektromagnetischen Welle eine Intensität zuordnen, die ihre mittlere Flächenleistung charakterisiert. Empfänger elektromagnetischer Wellen nennen und ihre Ansprechzeiten mit den charakteristischen Zeiten der Wellen vergleichen. Eine Frequenz- oder Wellenlängenskala nutzen, um einen elektromagnetischen Spektralbereich zu identifizieren. Größenordnungen der Frequenzen bzw. Wellenlängen von elektromagnetischen Wellen benennen, die in verschiedenen Anwendungen verwendet werden (medizinische Bildgebung, sichtbares Licht, WLAN-Signale, Mikrowellen usw.). Die Beziehung zwischen Wellenlänge im Vakuum und wahrgenommener Farbe erläutern.
Polarisation elektromagnetischer Wellen. lineare Polarisation.	Den Polarisationszustand einer transversalen elektromagnetischen Welle erklären. Das Hertz'sche Experiment zur Erzeugung und Detektion linear polarisierter Wellen beschreiben. Technische Anwendungen und natürliche Phänomene nennen, bei denen die Polarisation des Lichts eine Rolle spielt. Einen Zustand linearer Polarisation erkennen [CE].

2.13. Signale, Schwingungen, Wellen - Geometrische Optik

Begriffe und Inhalte	Erforderliche Fähigkeiten
Modell der geometrischen Optik; Lichtstrahl; Brechungsindex; Reflexion, Brechung	Das Modell der geometrischen Optik definieren und seine Grenzen aufzeigen. Die Gesetze der Reflexion und Brechung formulieren und anwenden. Die Totalreflexion formulieren und nutzen.
Glasfaseroptik	Das Prinzip der Lichtführung in einer Sprungindex-Faser anhand der Gesetze der geometrischen Optik beschreiben.

Ebener Spiegel; dünne Linsen; reelles Bild, virtuelles Bild; aufrechtes, umgekehrtes Bild; Gaußsche Näherung. Abbildungsgleichung. Abbildungsmaßstab.	Den Ausdruck für den Akzeptanzkegel einer Sprungindexfaser entwickeln. Die Ausbreitung in einer gradientenindex-Faser mit Programmierung simulieren [CN]. Ein reelles Bild eines ebenen Objekts an einem ebenen Spiegel konstruieren. Die Bedingungen der Gaußschen Näherung formulieren und ihre Folgen beschreiben. Eigenschaften von Hauptebenen, Brennpunkten, Brennweite und Vergenz einer dünnen Sammellinse definieren. Das Bild eines realen Objekts durch eine dünne Sammellinse ermitteln und als aufrecht oder umgekehrt identifizieren. Die Abbildungsgleichung und den Abbildungsmaßstab nutzen, um Bildlage und Bildgröße zu ermitteln. Die Bedingungen für die Bildung eines reellen Bildes eines ebenen Objekts durch eine dünne Sammellinse entwickeln und nutzen. Die Eigenschaften des Bildes eines ebenen Objekts, das von einem ebenen Spiegel oder einer dünnen Sammellinse erzeugt wird, ermitteln. Die Brennweite einer dünnen Sammellinse bestimmen [CE]. Eine Abbildungsmessung mit einer dünnen Linse durchführen [CE]. <i>Fokussierung mithilfe einer Sammellinse durchführen [CE].</i>
Vergrößerung; Astronomisches Fernrohr	Zwischen Abbildungsmaßstab und Vergrößerung unterscheiden. Das Schema eines afokalen astronomischen Fernrohrs aus zwei dünnen Sammellinsen zeichnen und Objektiv sowie Okular identifizieren. Den austretenden Strahlenkegel eines weit entfernten Objektpunktes durch ein afokales Fernrohr darstellen. Die Formel für die Vergrößerung eines afokalen Fernrohrs herleiten. Daten eines kommerziellen Fernrohrs auswerten. Ein Modell eines astronomischen Fernrohrs bauen, seine Vergrößerung bestimmen und die Lage des Zwischenbildes überprüfen [CE].

2.14. Signale, Schwingungen, Wellen - Elektromagnetische Wellenphänomene und Optik

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
skalares Modell der Lichtwellen; optischer Weg. Phasenverzug durch Ausbreitung; Wellenfront; Huygenssches Prinzip; Malussches Gesetz; Lichtintensität	Licht analog zu mechanischen Wellen mittels skalares Modell beschreiben. Den Phasenverzug in Abhängigkeit von der Ausbreitungsdauer oder dem optischen Weg formulieren. Die Änderung der Wellenfronten durch ebenen Spiegel oder dünne Sammellinse skizzieren. Die Lichtintensität in das skalare Wellenmodell einbeziehen.

Beugung elektromagnetischer Wellen; charakteristischer Beugungswinkel;	Das Phänomen der Beugung einer elektromagnetischen Welle mithilfe des Modells der Skalarwelle und des Huygensschen Prinzips erklären. Die Beziehung für den charakteristischen Beugungswinkel einer monochromatischen elektromagnetischen Welle an einer Öffnung in Abhängigkeit von Wellenlänge und Spaltbreite angeben und nutzen. Die Beugungsfigur bei einer monochromatischen Lichtwelle durch einen rechteckigen Schlitz oder ein kreisförmiges Loch darstellen und qualitativ deren Entstehung erklären. Die spektrale Dispersion bei der Beugung an einer Spaltöffnung erklären. Anwendungen und natürliche Beispiele der Beugung elektromagnetischer Wellen beschreiben. <i>Beugungsversuche durchführen und analysieren [CE].</i>
Interferenz von zwei elektromagnetischen Wellen; Beobachtungsbedingungen; Gangunterschied; konstruktive und destruktive Interferenz; Fresnel-Formel	Interferenzphänomen zweier Wellen mit skalares Modell erklären und charakterisieren. Kohärenzbedingungen für Interferenz zweier elektromagnetischer Wellen erklären. Bedingungen für konstruktive und destruktive Interferenz bei zwei punktförmigen kohärenten Quellen herleiten und nutzen. Interferenzorte im Young-Experiment mit linearisiertem Gangunterschied vorhersagen. Die Phasenverschiebung an einem Punkt zwischen zwei kohärenten monochromatischen Wellen mit der Gangdifferenz in Verbindung bringen. Den Ausdruck einer Gangdifferenz zwischen zwei monochromatischen Wellen, die in einem Punkt kohärent sind, in einfachen Fällen aufstellen und nutzen. Der Zusammenhang zwischen Phasen- und Gangunterschied herleiten und nutzen. Die gegebene Fresnel-Formel nutzen, um die Intensitätsverteilung für ein Interferenzphänomen zwischen zwei Lichtwellen mit beliebigen relativen Intensitäten zu beschreiben. Den Aufbau und das Prinzip des Young-, Michelson- und Mach-Zehnder-Interferometern beschreiben. Technische Anwendungen und Situationen aus der Natur, bei denen elektromagnetische Interferenz vorliegt beschreiben. Interferenzen experimentell veranschaulichen [CE]. <i>Mithilfe einer Programmiersprache das Interferenz-Intensitätsprofil darstellen (das sich aus der Überlagerung von zwei synchronen periodischen Sinussignalen ergibt) und den Verlauf entsprechend der gewählten Eigenschaften diskutieren (Amplituden, Phasen) [CN].</i>
Interferenz an N Wellen: Gitter	Die qualitative Auswirkung der Anzahl beleuchteter Gitterstriche auf die Intensität und die Schärfe der beobachteten hellen Interferenzstreifen erklären. Die grundlegende Beugungsgleichung für Transmissionsgitter nennen und anwenden.

	Die grundlegende Gittergleichung unter Fraunhofer-Bedingungen und bei senkrechtem Lichteinfall entwickeln. Die Unterschiede zwischen den mit einem Gitter und einem Prisma erzeugten optischen Spektren erklären. <i>Eine Messung – beispielsweise der Wellenlänge – anhand einer Interferenzsituation durchführen [CE]</i> <i>Das mit einem Beugungsgitter erzeugte optische Spektrum für verschiedene Lichtquellen (Glühlampe, Spektrallampe usw.) interpretieren [CE].</i> <i>Mit Hilfe einer Programmiersprache die Veränderung des Intensitätsprofils in Abhängigkeit von der Anzahl beleuchteter Gitterstriche diskutieren [CN].</i>
--	---

2.15. Quantenphysik - Quantenobjekte

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Korpuskelmodell des Lichts; Einsteinsche Quantenthypothese; Fotoelektrischer Effekt; Koinzidenzanalyse von Photodetektionen; Planck-Einstein-Beziehungen für Energie und Impuls des Photons	Den Fotoelektrischen Effekt beschreiben und das Hallwachs-Experiment interpretieren (Widerspruch zum Wellenmodell, Gegenfeldmethode, Austrittsarbeit, Grenzfrequenz, Bestimmung der Planck-Konstanten). Experimentelle Beobachtungen mithilfe der Quantentheorie erklären. Eine Versuchsanordnung beschreiben, die mittels Koinzidenzanalyse von Photodetektionen das Korpuskelmodell des Lichts testet. Die Planck-Einstein-Beziehungen nennen und anwenden. Anwendungen des Fotoelektrischen Effekts und des inversen Fotoeffekts nennen. <i>Die Gültigkeit der Quantenthypothese durch ein Experiment zum (inversen) Fotoeffekt überprüfen [CE].</i>
Wellenmodell der Materie; de-Broglie-Beziehung; Nachweis-kriterium für Materiewellen; Beugung und Interferenz von Materiewellen	Ein Beugungs-oder Interferenzexperiment beschreiben und interpretieren, das das wellenhafte Verhalten von Materie zeigt. Die de-Broglie-Beziehung nennen und anwenden. Anhand der de-Broglie-Wellenlänge diskutieren, ob das Wellenmodell zur Beschreibung eines gegebenen Phänomens geeignet ist. Anwendungen nennen, die sich aus dem Modell der Materiewellen erklären lassen. <i>Ein Elektronenbeugungsexperiment durchführen und auswerten [CE].</i>
Welle-Teilchen-Dualität; Komplementaritätsprinzip; Quantenobjekt; Wahrscheinlichkeitsinterpretation	Das Konzept der Welle-Teilchen-Dualität für Licht und Materie erklären. Wellen-, Korpuskel- und Quantenmodell in Beziehung zum Komplementaritäts-prinzip unterscheiden. Experimente mit Einzelquanten (Photonen, Elektronen ...) im Young-Interferometer beschreiben und unter Berücksichtigung des Komplementaritätsprinzips sowie der Bornschen Wahrscheinlichkeitsinterpretation erläutern.

Wellenfunktion; Superposition von Zuständen; räumliche Heisenbergsche Unschärferelation; Messvorgang	Eine probabilistische Interpretation aus Informationen zur Wellenfunktion (Formel, grafische Darstellung) entwickeln. Mithilfe einer Analogie zu einer klassischen Wellensituation eine Interpretation für ein quantenmechanisches Phänomen entwickeln. Ein Phänomen quantenmechanischer Interferenz anhand der Superposition zweier Wellenfunktionen erläutern. Den Begriff der Unschärfe qualitativ erklären und von der Messunsicherheit unterscheiden. Die räumliche Heisenbergsche Unschärferelation formulieren und anwenden. Grundlegende Aspekte der Quantenphysik (Realismus, Lokalität, Kausalität, Determinismus) anhand bereitgestellter Ressourcen diskutieren (z. B. Experimente nach Aspect, Simulationen). <i>Mit einem Polarisationsexperiment Zustands-, Superpositions- und Messkonzepte der Quantenphysik veranschaulichen [CE].</i>
--	---

2.16. Quantenphysik – Quantisierung der Energieniveaus

Begriffe und Inhalte	Verbindliche Kompetenzen
Atomspektren; Energieniveaus, Absorption, Emission	Ein Energieniveaudiagramm zeichnen und mit Fachbegriffen (Grundzustand, angeregter Zustand, Übergang ...) verwenden. Absorptions- und Emissionsprozesse eines Photons anhand eines Energieniveaudiagramms beschreiben. Erläutern, wie Spektren zur Bestimmung chemischer Zusammensetzungen dienen. <i>Das Spektrum einer Quelle aufnehmen und mit einem Energieniveaudiagramm interpretieren [CE].</i>
Atommodelle von Rutherford und Bohr; Stärken und Grenzen	Die Quantisierungsannahme Bohrs mithilfe des Materiewellenmodells zirkularer Elektronenbahnen begründen. Aus der Bohr-Quantisierung (gegeben) die Energieausdrücke für das Wasserstoffatom ableiten. Die Formel für die Energie des n-ten Elektronenniveaus (in eV) im Wasserstoffatom anwenden. Diskutieren Sie die Stärken und Grenzen der Atommodelle von Rutherford und Bohr.
Modell des unendlich hohen eindimensionalen Potentialtopfes; Energiequantisierung durch Ortsbegrenzung	Die Heisenbergsche Unschärferelation nutzen, um das Vorhandensein einer Mindestenergie zu begründen. Energien und stationäre Zustände des Potentialtopfes unter Annahme der Analogien zu Eigenmoden einer schwingenden Saite bestimmen. Den qualitativen Zusammenhang zwischen räumlicher Begrenzung und Energiequantisierung erläutern. Die Ergebnisse des Potentialtopfes mit experimentellen Befunden oder anderen Modellen (klassische Modelle bzw. Quantenmodelle) vergleichen.
Quantenmechanisches Atommodell; Atomorbitale; Quantenzahlen; Pauli-Prinzip	Darstellungen von gegebenen Atomorbitalen interpretieren. Die physikalische Bedeutung der Quantenzahlen n, l, m, m_s qualitativ erklären.

	Das Pauli-Ausschlussprinzip nennen und auf Systeme mit mehreren Elektronen anwenden.
--	--

2.17. Kernphysik - Kernumwandlungen

Begriffe und Inhalte	Erforderliche Fähigkeiten
Atomkern; Isotope; Symbol (A, Z) / A_ZX	Den Atomkern hinsichtlich Zusammensetzung, Größe und Masse charakterisieren. Die atomare Masseneinheit nutzen. Die symbolische Schreibweise (A, Z) / A_ZX erklären und nutzen.
Stabilität und Instabilität der Kerne. α -, β - und γ -Zerfälle. Kernumwandlung. Gleichung für eine Kernreaktion. Fission, Fusion.	Aus einer Nuklidkarte radioaktive Isotope eines Elements ermitteln. Die Stabilität eines Kerns aus dem Zusammenspiel von elektromagnetischer und starker Wechselwirkung erläutern. Die symbolische Gleichung einer Kernreaktion aufstellen. Ursachen für die Einführung des Neutrinos in Kernreaktionsgleichungen qualitativ erklären. Radioaktive Zerfallsprozesse und die zugehörige Strahlung sowie ihren spontanen, zufälligen Charakter beschreiben. Die Art eines radioaktiven Zerfalls erkennen. Eine gegebene Zerfallsreihe anhand einer Nuklidkarte erläutern und kommentieren. Die Prozesse der Kernspaltung und Kernfusion beschreiben. Situationen nennen, in denen Kernspaltung oder Kernfusion von Bedeutung sind.
Detektion radioaktiver Strahlung; Zerfallsgesetz; Halbwertszeit; Aktivität	Das Prinzip der Detektion und Messung von Radioaktivität erklären und Detektortypen nennen. Den zeitlichen Verlauf der Anzahl radioaktiver Kerne mittels Zerfallsgesetz herleiten. Die Begriffe Halbwertszeit, Zählrate und Aktivität erklären. Das radioaktive Zerfallsgesetz bzw. eine Zerfallskurve anwenden.
Anwendungen der Radioaktivität. Strahlenschutz.	Das Prinzip der Datierung mit radioaktiven Nukliden erklären und ein Ereignis datieren. Mehrere medizinische Anwendungen der Radioaktivität nennen. Schutzmaßnahmen gegen ionisierende Strahlung je nach Strahlungsart nennen und Einflussfaktoren erläutern. Die Problematik der Lagerung radioaktiver Materialien (Abschirmung, Lagerdauer) diskutieren. Biologische Wirkungen und gesundheitliche Folgen ionisierender Strahlung beschreiben.
Äquivalenz von Masse und Energie. Durch Kernumwandlung freigesetzte Energie.	Den Ausdruck der Masse-Energie-Äquivalenz nennen und anwenden. Die Energie bestimmen, die bei einer Kernumwandlung durch den Verlust von Masse freigesetzt wird. Die Masseneinheit MeV/c ² verwenden.

3. Operatoren¹

Operator	Erläuterung
ableiten	auf der Grundlage von Erkenntnissen oder Daten sachgerechte Schlüsse ziehen
abschätzen	durch begründete Überlegungen Größenwerte angeben
analysieren	wichtige Bestandteile, Eigenschaften oder Zusammenhänge auf eine bestimmte Fragestellung hin herausarbeiten
anwenden, nutzen	Formeln, Gleichungen, Gesetze, Bedingungen etc. zum Nachweis, zur Herleitung, zur Erklärung anderer Phänomene verwenden.
aufstellen, formulieren	Formeln, Gleichungen, Bedingungen entwickeln
Hypothesen aufstellen	eine Vermutung über einen unbekannten Sachverhalt formulieren, die fachlich fundiert begründet wird
angeben, nennen	Formeln, Regeln, Sachverhalte, Begriffe oder Daten ohne Erläuterung aufzählen bzw. wiedergeben
auswerten	Beobachtungen, Daten, Einzelergebnisse oder Informationen in einen Zusammenhang stellen und daraus Schlussfolgerungen ziehen
begründen	Gründe oder Argumente für eine Vorgehensweise oder einen Sachverhalt nachvollziehbar darstellen
berechnen	Die Berechnung ist ausgehend von einem Ansatz darzustellen.
beschreiben	Beobachtungen, Strukturen, Sachverhalte, Methoden, Verfahren oder Zusammenhänge strukturiert und unter Verwendung der Fachsprache formulieren
beurteilen	Das zu fällende Sachurteil ist mithilfe fachlicher Kriterien zu begründen.
bewerten	Das zu fällende Werturteil ist unter Berücksichtigung gesellschaftlicher Werte und Normen zu begründen.
darstellen	Strukturen, Sachverhalte oder Zusammenhänge strukturiert und unter Verwendung der Fachsprache formulieren, auch mithilfe von Zeichnungen und Tabellen
diskutieren	Argumente zu einer Aussage oder These einander gegenüberstellen und abwägen
erklären	einen Sachverhalt nachvollziehbar und verständlich machen, indem man ihn auf Regeln und Gesetzmäßigkeiten zurückführt
erläutern	einen Sachverhalt veranschaulichend darstellen und durch zusätzliche Informationen verständlich machen
ermitteln	ein Ergebnis oder einen Zusammenhang rechnerisch, grafisch oder experimentell bestimmen
herleiten	mithilfe bekannter Gesetzmäßigkeiten einen Zusammenhang zwischen chemischen bzw. physikalischen Größen herstellen
interpretieren, deuten	naturwissenschaftliche Ergebnisse, Beschreibungen und Annahmen vor dem Hintergrund einer Fragestellung oder Hypothese in einen nachvollziehbaren Zusammenhang bringen
ordnen	Begriffe oder Gegenstände auf der Grundlage bestimmter Merkmale systematisch einteilen
planen	zu einem vorgegebenen Problem (auch experimentelle) Lösungswege entwickeln und dokumentieren
skizzieren	Sachverhalte, Prozesse, Strukturen oder Ergebnisse übersichtlich grafisch darstellen
untersuchen	Sachverhalte oder Phänomene mithilfe fachspezifischer Arbeitsweisen erschließen
vergleichen	Gemeinsamkeiten und Unterschiede kriteriengeleitet herausarbeiten
zeichnen	Objekte grafisch exakt darstellen

¹ Nach dem „Grundstock von Operatoren“ der Kultusministerkonferenz und des Instituts zur Qualitätsentwicklung im Bildungswesen für die naturwissenschaftlichen Fächer Stand 31.03.2022