**Unterrichtsplanungen zum Inhaltsfeld: *Quantenobjekte (GK)***

**Kontext: *Erforschung des Photons***

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Zentrale Frage / Problemstellung:  **„Was ist Licht bzw. wie verhält sich Licht?“ – *D i e*  Schlüsselfrage zur Erschließung der modernen Physik –** | | | Zeit:  12 Ustd. |
| **Inhalt** | **Aktion** | **Experimente / Medien** |  |
| Geradlinigkeit der Lichtausbreitung,  Licht und Schatten (Kern- / Halbschatten) | mediengestützter kurzer LV oder Klein-GA zur Information bzw. zur Erinnerung an entsprechende Inhalte der S I | Bilder, kurze Lehrtexte, Filme und qualitative Versuche zur geradlinigen Lichtausbreitung und zur Schattenbildung im Rahmen strahlenoptischer Versuche | 2 |
| Beugung von Licht | Lehrer- und / oder (angeleitete) Schülerversuche zur Entdeckung der Ausbreitung von Licht in den geometrischen Schattenraum hinein | qualitative Versuche zur Beugung von Laserlicht am Spalt, am Draht und an der Kante (Schülerversuche mit entsprechender Anleitung und Sicherheitsbelehrung) |
| 🡪 🡪 🡪 Frage: Wieso breitet sich Licht - bei genauerer Betrachtung - in den Schattenraum hinein aus?   Evtl.: Tritt dieses Phänomen nur bei Laserlicht auf? Und wenn ja, - warum? | | |
| Beugung von Wasserwellen  (und evtl. von Schall) | Vorstellung der Wellenwanne bzw. der Fotos und Filme zur Beugung von Wasserwellen, - scheinbar ohne Bezug zu den neu entdeckten Phänomenen beim Licht | Wellenwanne:  a) Beugung an den Kanten eines sehr breiten Spaltes b) Beugung am Spalt (und evtl. am „Draht“) ergänzend entsprechende Fotos und oder Filme von gebeugten Wasserwellen | 2 |
| 🡪 🡪 🡪 Hypothese: Licht „besteht“ aus Wellen oder Licht breitet sich „in Form von Wellen“ aus.  🡪 🡪 🡪 Frage: Gibt es noch weitere Gemeinsamkeiten im Verhalten von Wasser-Wellen und Licht-Wellen? | | |
| Reflexion und Brechung von Wasserwellen  sowie von Licht (ebene Wellen) | Demonstration / Entdeckung der Reflexion und der Brechung von Wasserwellen Erinnerung an Reflexion und Brechung von Licht (Inhalte aus der S I) | Wellenwanne bzw. entsprechende Fotos und Filme,  Versuche zur Reflexion und zur Brechung von Licht gemäß der entsprechenden Inhalte aus der S I |
| 🡪 🡪 🡪 Erkenntnis: Es gibt offensichtlich Gemeinsamkeiten im Verhalten von Wasser-Wellen und Licht-Wellen.  🡪 🡪 🡪 Frage: Können auch interessante Effekte / Phänomene z. B. bei Lasershows mit dem „Wellenmodell“ (des Lichtes) erklärt werden? | | |
| Beugung und Interferenz (konstruktive und destruktive) von Wasserwellen sowie von Licht (am Doppelspalt und am Gitter)  Kreiswellen, ebene Wellen, konstruktive und destruktive Interferenz,  Huygens’sches Prinzip | Erzeugung von Interferenzmustern mit Laserlicht (durch Lehrer und/oder SuS bzw. entsprechende filmische Darstellungen)  (didaktische) Reduktion auf Doppelspalt und (optisches!) Gitter  aufgrund der bisherigen Erkenntnisse / Modellbildung wird ein analoges Verhalten von Wasserwellen vermutet. 🡪  Beobachtungen an der Wellenwanne (mit Doppelspalt /„Gitter“): Entstehung von Kreis- / Elementarwellen und Interferenzen  Entdeckung / Formulierung des Huygens’schen Prinzips | Bilder / Filme „schöner“ Interferenzmuster  Versuche zur Beugung und Interferenz von Laserlicht insbesondere an Doppelspalt und Transmissionsgitter (möglichst als Schülerversuche – Sicherheitsbelehrung!)    Wellenwanne (ebene Welle trifft auf Doppelspalt bzw. „Gitter“ 🡪 Kreiswellen / Elementarwellen, Entstehung von Interferenzmustern), möglichst entsprechende Fotos und Filme erstellen. | 4 |
| 🡪 🡪 🡪 Feststellung: Die bisher betrachteten und sehr unterschiedlichen optischen Phänomene sind mit Hilfe des Wellenmodells gut zu erklären, die Gültigkeit dieses Modells ist anzunehmen.  🡪 🡪 🡪 Frage: Was leistet das (Wellen-) Modell vom Licht sonst noch (z. B. im Hinblick auf die Farbe des Lichts oder die Helligkeit)? | | |
| Lichtwellenlänge, Lichtfrequenz,  Ausbreitungsgeschwindigkeit,  ebene Wellen, Kreiswellen, konstruktive und destruktive Interferenz ,  Konstanz der Lichtgeschwindigkeit | Die Fachbegriffe werden eingeführt und veranschaulicht.  Erarbeitung des Zusammenhangs zwischen Wellenlänge, Frequenz und Ausbreitungsge-schwindigkeit  („erste“) Information zur Konstanz der Lichtgeschwindigkeit | skizzenhafte Darstellung einer Transversalwelle,  Computersimulationen,  evtl. Wellenmaschine,  Informations- und Arbeitsblätter | 4 |
| Lichtwellenlänge, Lichtfrequenz und Farbe des Lichtes, einfache Spektren sichtbaren Lichts | Erarbeitung des Zusammenhangs zwischen Wellenlänge, Gitterkonstante, Schirmabstand, Ordnung des Maximums und Beugungswinkel  Bestimmung der Wellenlängen und Frequenzen von Licht mit Doppelspalt und Gitter | quantitative Interferenzversuche mit rotem und mit grünem Laserlicht (Doppelspalt und Gitter – möglichst auch im Schülerversuch, Sicherheitsbelehrung!) zur Bestimmung der Wellenlängen,  Informations- und Arbeitsblätter |
| 🡪 🡪 🡪 Es bleibt die Frage, was ist eine elektromagnetische Welle, wo treten diese auf, wie entstehen sie und wie breiten sie sich aus?  zu diesen Fragestellungen können im weiteren Verlauf der Kurssequenz zumindest einige populärwissenschaftliche Ausblicke gegeben werden. (Evtl. auch als Facharbeitsthemen geeignet.) –  **aber:**  Es gibt noch ein ganz anderes Problem, nämlich die fachmethodische immer relevante Fragestellung nach den Grenzen der Gültigkeit eines/ dieses Modells. | | |
| Zentrale Frage / Problemstellung:  **„Gibt es Experimente, die dem Wellenmodell des Lichtes nicht entsprechen?“ – *Wofür bekam Albert Einstein 1921 den Nobelpreis?* –** | | | Zeit:  15 Ustd. |
| **Inhalt** | **Aktion** | **Experimente / Medien** |  |
| Hallwachsversuch, Photoeffekt  Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab, ungleichnamige Ladungen ziehen sich an.  Begriff des elektrischen Feldes sowie Kraftwirkung auf elektrische Ladungen im elektrischen Feld – rein qualitativ | Vorstellung des Aufbaus des Hallwachsversuchs,  Durchführung und Dokumentation der (Teil-) Versuche | Hallwachsversuch bestehend aus Hg-Hochdruckdampflampe mit Betriebsgerät, Piko-Amperemeter - notfalls auch ein Elektroskop - siehe Hinweise zum Aufbau des Hallwachs-versuchs (HW-1), Zinkplatte, Spiralelektrode, HV-Gerät und Glasplatte sowie Versuchsskizze mit Beschreibung  Informations- und Arbeitsblatt zur Dokumentation aller Teil-Versuche des Hallwachsversuchs (HW-2) | 2 |
| 1. Mit dem Wellenmodell des Lichtes kann das Verhalten von Licht bei ***optischen*** Versuchen sehr gut beschrieben bzw. erklärt werden. Es gibt aber auch Phänomene, die mit dem Wellenmodell nicht gut erklärt werden können. Ein solcher, zunächst scheinbar unspektakulärer Versuch, ist der sogenannte Hallwachsversuch. 🡪 Einzel- oder Partnerarbeit mit Infomaterial zum Hallwachsversuch (HW-2) 2. Durchführung und Dokumentation (HW-2) des Versuchs. | | |
| 🡪 🡪 🡪 Frage: Wie sind die vielfältigen und unterschiedlichen Beobachtungen zu erklären?   negative Zn-Platte, ohne Glasplatte 🡪 Strom fließt (bzw. Entladung des Elektroskops)  negative Zn-Platte, mit Glasplatte 🡪 kein Strom ( bzw. keine Entladung des Elektroskops)  positive Zn-Platte, mit/ohne Glasplatte 🡪 kein Strom (bzw. keine Entladung des Elektroskops)  Variation von Abstand/Intensität 🡪 Änderung der Stromstärke (bzw. Änderung der „Entladungsgeschwindigkeit“) | | |
| Spektrum der Quecksilberhochdruck-dampflampe, Energie, (Photoeffekt) | Informationen und experimentelle Veran-schaulichungen zum Spektrum der Queck-silberhochdruckdampflampe und zur Energieverteilung (grob qualitativ!)  Nachweis des UV-Anteils („vor und hinter“ der Glasplatte)  Diskussion der Beobachtungen | Quecksilberhochdruckdampflampe, Spalt sowie Kondensor-und Abbildungsoptik, Gitter, weißer sowie UV-licht-empfindlicher Schirm, Glasplatte sowie  Arbeits- und Infomaterialien (HW-3, HW-4 und HW-5) | 2 |
| 1. Die Beobachtungen sind nicht leicht zu erklären, Einstein hat dafür 1921 immerhin den Nobelpreis für Physik bekommen und die Grundlagen für eine neue Modellvorstellung vom Licht gelegt. Vor der Erarbeitung der „Einstein’schen Deutung“ dieses „Hallwachsversuchs“ ist es aufschlussreich, die Eigenschaften des Lichtes der Quecksilberhochdruckdampflampe und den Einfluss der Glasplatte auf das Licht zu kennen. 2. Dazu soll das Spektrum der Hg – Lampe auch kurz experimentell vorgeführt werden. 🡪 Lehrer-Demonstrationsexperiment zum Spektrum der Hg-Hochdrucklampe gemäß Infoblatt zum „Spektrum einer Quecksilberhochdruckdampflampe“ (HW-4). Anschließend Einzel- oder Kleingruppenarbeit mit den Infomaterialien zum Spektrum der Hg-Lampe (HW-3, HW-4 und HW-5) mit anschießender Besprechung / Präsentation 3. Wiederaufgreifen der Versuchsbeobachtungen des Hallwachsversuchs (siehe oben und HW-2) sowie Diskussion und Sicherung dieser Beobachtungen | | |
| 🡪 🡪 🡪 Ergebnisse: Nur die negativen Ladungsträger (Elektronen) können ausgelöst werden.  Nur das energiereiche UV-Licht kann Elektronen (aus der Zn-Platte) auslösen.  Die Fähigkeit, die Auslösearbeit zu verrichten, ist intensitäts***un***abhängig.  🡪 🡪 **🡪 Frage: „Inwiefern widersprechen diese Versuchsergebnisse dem Wellenmodell des Lichtes?“** | | |
| Ausbreitung des von einer Lichtquelle ausgehenden Energiestroms im Wellen-modell, Definition der Intensität und ihre Abnahme bei Ausbreitung des Energie-stroms im Raum.  Abhängigkeit (nur qualitativ) der Energie, die mit einer Welle (auf ein Elektron) übertragen werden kann, von der Intensität der Welle (optional auch von der Frequenz der Lichtwelle) | Erarbeitung der Abhängigkeiten durch Plausibilitäts- / Analogiebetrachtungen:  Abschätzung der Zeit, die bei Anwendung des Wellenmodells mindestens erforderlich wäre, um beim vorgestellten Hallwachs-versuch ein Photoelektron auszulösen. | Informationstexte, Arbeitsblätter und Gedankenexperi-mente sowie Modellversuche zur Energieübertragung mit Hilfe von Licht (-Wellen)   Anmerkung: Für die Anregung eines freien Elektrons durch eine elektromagnetische Welle gilt:  siehe dazu: HW-8L Widersprüche beim Photoeffekt (Lehrer) | 3 |
| 1. Um dies zu erkennen, ist es sinnvoll, sich kurz plausibel zu machen, wie die „im Licht steckende Energie“ bzw. wieviel von dieser Energie  ***nach dem Wellenmodell*** auf ein Elektron übertragen werden kann.  🡪 Einzel- oder Kleingruppenarbeit mit Info- und Arbeitsmaterialien (HW-6, HW-7a und HW-7b) | | |
| 🡪 🡪 🡪 **mit Widerspruch zu den Beobachtungen beim Hallwachsversuch!** | | |
| Nobelpreis für Physik 1921,  Lichtquantenhypothese, Photonenmodell,  Quantelung der Energie von Licht, Planck’sches Wirkungsquantum, Austrittsarbeit | Recherchen, Informationen und Bearbeitung von Aufgaben zur Einstein’schen Lichtquantenhypothese,  zur Deutung des Photoeffekts bzw. zum Nobelpreis des Jahres 1921 für Albert Einstein | Informations- und Präsentationsmedien sowie Rechercheaufträge (Arbeitsblatt HW-9)  z.B.: Auswahl typischer Oberstufenphysikbücher, HW-11 milq\_kap 1, <http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/quantenobjekt-photon> und weitere Internetquellen (HW-10) | 2 |
| Durchführung und Auswertung eines Experi-ments zum Photoeffekt (mit Vakuumphoto-zelle) zur Bestimmung des Planck’schen Wirkungsquantums und der Austrittsarbeit  (Hierzu wird zunächst vorgegeben, dass die kinetische Energie der schnellsten Photoelek-tronen gerade gleich e \* Ug ist.) | Versuch zum Photoeffekt mit Vakuumphotozelle (HW-13),  Informations- und Arbeitsblätter (HW-12) | 3 |
| 1. Die Auflösung des Widerspruchs, der die Physiker zu Beginn des vorigen Jahrhunderts (also vor ziemlich genau 100 Jahren) sehr beschäftigt, ja fast beunruhigt hat, ist schließlich Albert Einstein gelungen (1905). Dazu hat er eine damals sehr revolutionäre Hypothese aufgestellt, die auch sehr gut experimentell bestätigt wurde. ***Diese Hypothese, die sogenannte Lichtquantenhypothese von Einstein, sollte der „normalbegabte Mensch“ vielleicht einfach zur Kenntnis nehmen, anstatt lange selbst danach zu suchen, – schließlich hat Einstein dafür 1921 den Nobel-preis bekommen!*** Ein bzw. ***das*** Bestätigungsexperiment kann aber – auch mit Schulmitteln – durchgeführt und ausgewertet werden. Dies soll dann auch geschehen! 🡪 🡪 🡪 2. Recherche- und Trainingsaufgaben zur Lichtquantenhypothese und zur Einstein‘schen Deutung des Photoeffekts (HW-9, HW-10 und HW-11) 3. Durchführung und quantitative Auswertung eines Experiments zum Lichtelektrischen Effekt mit Hilfe einer Vakuumphotozelle (HW-12 und HW-13). | | |
| 🡪 🡪 🡪 **Licht hat also nicht nur einen „Wellencharakter“, sondern es scheint auch aus (kleinen) „Energieportionen“ sogenannten Photonen zu   bestehen.** | | |
| ***Optional für leistungsstarke und interessierte SuS:***   1. „Wie hängt die Energie, die von einer (Licht-)Welle auf ein Elektron übertragen werden kann, von der Frequenz und von der Intensität des Lichtes (also der Frequenz und der Intensität der elektromagnetischen Welle) ab?“ (HW-8S bzw. HW-8L für Lehrer) 2. Für die Anregung eines „freien“ Elektrons durch eine elektromagnetische Welle gilt: | | | **---** |
| **Nachtrag:** Einführung / Definition des Begriffs der elektrischen Spannung,  (kinetische Energie der Photoelektronen) | Erarbeitung des Zusammenhangs zwischen umgesetzter Energie, Ladung und elektri-scher Spannung mit Hilfe von Informations-materialien, evtl. begleitenden Experimen-ten sowie einfachen Anwendungsaufgaben | Informationsmaterial und Aufgabenblatt (HW 15) mit Berechnungsbeispielen um den Zusammenhang zwischen umgesetzter Energie, Ladung und elektrischer Spannung anhand von (Alltags-) Beispielen plausibel zu machen und einzuüben. | 3 |
| 1. Beim Versuch zum quantitativen Photoeffekt wurde (ohne weitere Erklärung) die sogenannte Gegenspannung , multipliziert mit der ElementarLadung  eines Elektrons, als Maß für die kinetische Energie der schnellsten Photoelektronen benutzt. –   Es ist also noch zu zeigen, dass dies gerechtfertigt ist. 🡪 🡪 🡪 **Somit ist zu klären: „Was ist eigentlich eine elektrische Spannung?“**   1. Einige einfache Versuche, die im Informationsmaterial (HW 15) beschrieben sind machen den scheinbar schwer zu erklärenden Begriff der elektrischen Spannung schnell plausibel. Die Bearbeitung einiger alltagsrelevanter Aufgabenstellungen zeigt die Sinnhaftigkeit und Nützlichkeit der Definition der elektrischen Spannung. **(*elektrische Energie W = Spannung  x Ladungsmenge* )** 2. Mit dieser Beziehung werden die zu Beginn dieses Lehrtextes aufgeworfenen Fragen sowie weitere Probleme gelöst. Aufgaben gemäß HW 15, überwiegend als *eigenverantwortliche Arbeit* zu bearbeiten. | | |