Quantenwelten



Eine Unterrichtseinheit zum selbstorganisierten Lernen

KÜM/EYM, Abt. MN, Gymnasium Neufeld

2013

# Vorbemerkungen

In dieser Unterrichtseinheit erhalten Sie einen ersten Einblick in die eigenartige *Welt der kleinsten Teilchen* und deren Wechselwirkungen. Im vergangenen Jahrhundert hat sich immer deutlicher herausgestellt, dass die Welt in der Grössenordnung unserer kleinsten Teilchen nicht so funktioniert, wie wir das aus unserem *Alltag* und aus unserer *Erfahrung* kennen. Das ist auch der Grund, warum der Zugang zu dieser Welt für uns sehr schwierig ist. Es fehlen uns die Worte, die Analogien und die Bilder um über diese Welt zu sprechen, sie zu beschreiben und sie uns „einzubilden“. Sie werden in dieser Unterrichtseinheit erfahren, wo denn genau die Schwierigkeiten liegen und welche Bilder aus unserer Erfahrung uns mindestens etwas helfen können, um die Funktionsweise dieser „Quantenwelt“ zu erahnen.

Wir werden den Zugang zu diesem Thema unabhängig von einer bestimmten Fachperspektive suchen. Die Fächer *Physik*, *Chemie* und *Philosophie* sind aber durch die „neuen Erkenntnisse“ (doch immerhin schon rund 100 Jahre alt) besonders betroffen. Während sich in den Fachbereichen Physik und Chemie dadurch ganz neue Disziplinen (Quantenphysik bzw. –Chemie) ergeben haben, die äusserst erfolgreich angewandt werden und immense technische Fortschritte ermöglicht haben, tut sich die Philosophie nach wie vor schwer die Erkenntnisse der Quantentheorie zu deuten.

In dieser Unterrichtseinheit werden Sie gewisse Arbeitsschritte selber planen und durchführen. Wir Lehrpersonen werden ihnen dabei helfen und immer als Ansprechpersonen zur Verfügung stehen.

KÜM/EYM 2013

Abt. MN, Gymnasium Neufeld

# Übersicht über die Lerneinheit strukturell, organisatorisch

Gemeinsame Einführung in die Welt und der Geschichte der Quanten [2L]

In einer gemeinsamen Eröffnung wird das Thema exponiert und einen Überblick über die Unterrichtseinheit gegeben.

SOL Teil 1

Wie ist die Welt, kontinuierlich oder diskret? - Atomtheorie bei den Griechen

Licht im 19. Jahrhundert

Teilchen – Welle – Elektromagnetische Strahlung

Atome – Elektronen - Protonen

Die Entdeckung der „Teilchen“ und die Konsequenzen

Atommodelle von Thomson über Rutherford bis Bohr

Synthesegespräche

Präsentationen Teil I

Führen eines Lernjournals

Input Lichtspektren und ihre Bedeutung

SOL Teil 2

Photoeffekt

Doppelspalt und Elektronenbeugung

Frank-Hertz-Experiment

Blockhalbtag und Schluss

In diesem Blockhalbtag geht es um die Konzepte der Quantentheorie und ihre philosophische Deutung. Das Ziel dabei ist, in einer Synthese einen Überblick über das moderne Verständnis der Materie und ihrer Bindungen zu erhalten.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***Datum*** | ***Lektionen*** | ***Inhalt*** | ***Bemerkung*** |
| 12.02.13 | 2+2\* | Gemeinsame Einführung |  |
| 19.02.13 | 2+2\* | SOL 1 |  |
| 26.02.13 | 2+2\* | SOL 1 |  |
| 04.03.13 | 2+2\* | SOL 1 | Mo statt Di (Blockhalbtag BUJ am Di) |
| 11.03.13 | 2 | *Synthesegespräche* | Mo statt Di! |
| 12.03.13 |  | ***Ausfall*** | Studieninfo BIZ und UNI Bern |
| 19.03.13 | 2 | Präsentationen |  |
| 26.03.13 | 2 | Input: Lichtspektren  |  |
| 02.04.13 | 2+2\* | SOL 2 |  |
| 06.-21.04.13 |  | ***2 Wochen Ferien*** |  |
| 23.04.13 | 2+2\* | SOL 2 |  |
| 30.04.13 | 4 | Blocknachmittag, Abschluss |  |

# Termine

# Übersicht über die Lerneinheit thematisch

## Wie ist die Welt, kontinuierlich oder diskret?

Wir folgen den Überlegungen der griechischen Philosophen (Plenisten*, Plato, Aristoteles, Descartes* vs. Atomisten, *Leukip, Demokrit, Epikur*) zur Frage, ob die Materie unendlich teilbar oder auch auf kleinster Ebene „gelee-artig“, also ein Kontinuum ist. Wie lässt sich das beantworten? Welche philosophischen Probleme gibt es mit der einen oder der anderen Vorstellung (Begriffe: Vakuum, Raum, Bewegung, usw.)?

Interessant ist, dass sich bis ins 19. Jahrhundert diese Frage nicht entschieden hat. Tragische Figur in diesem Zusammenhang ist Ludwig Boltzmann, der am Widerstand der Wissenschafts-Community gegen sein atomistisches Weltbild zerbrochen ist und sich kurz (3 Jahre) vor dem Durchbruch der Atomtheorie das Leben genommen hat.

## Licht im 19. Jahrhundert

Am Ende des 18. Jahrhunderts stehen sich immer noch die beiden Theorien von Newton und von Huygens zum Licht gegenüber. Newton behauptet, Licht bestehe aus einem Strom von Teilchen. Huygens dagegen beschreibt Licht als Longitudinalwelle durch den Äther. Die Wellentheorie des Lichtes setzt sich mit der Entdeckung der Beugung von Licht am Doppelspalt durch und findet im Maxwell’schen Elektromagnetismus die theoretische Grundlage, wobei Licht sich als transversale elektromagnetische Welle herausstellt.

Die Experimentalphysiker (z. B. Frauenhofer) entdecken im 19. Jahrhundert die Technik der spektralen Zerlegung von Licht und fanden die Absorptions- und Emissionslinien verschiedener Gase. Diese Technik entwickelte sich sehr rasch, so dass es bald möglich war die Absorptions- und Emissionsenergien der Gase genau zu vermessen.

## Die Entdeckung der Teilchen

Das Elektron war das erste „Elementarteilchen“ das Entdeckt wurde. Durch Untersuchung der [Kathodenstrahlung](http://de.wikipedia.org/wiki/Kathodenstrahlen) gelang Thomson 1897 der experimentelle Nachweis für die von George Johnstone Stoney bereits 1874 vorhergesagte Existenz des Elektrons (wobei das Elektron bereits ab 1892 eine grundlegende Rolle in den Theorien von Hendrik Antoon Lorentz und Joseph Larmor spielte). Thomson konnte auch nachweisen, dass sich bewegte Elektronen durch ein Magnetfeld ablenken liessen.

Im Rahmen der Streuversuche von Rutherford wurde klar, dass der Kern der Atome aus positiven Ladungen bestehen muss. Das Proton wurde als kleinster Atomkern (Wasserstoffkern) identifiziert.

Die Entdeckung von „Teilchen“ als Bausteine von Materie, d.h. Atome, Elektronen usw. gab plötzlich den unterschiedlichen physikalischen Disziplinen (Mechanik, Wärmelehre, Elektrizitätslehre, Magnetismus, Strömungslehre) ein gemeinsames Fundament, da sich überall die Phänomene auf die Bewegung von Teilchen zurückführen liessen.

## Atommodelle von Thompson bis Bohr

In der Entwicklung der Atommodelle zu Beginn des 20. Jahrhunderts laufen alle vorher besprochenen Themen zusammen. Angetrieben wird die theoretische Entwicklung der Atommodelle von den experimentellen Ergebnissen zu den Lichtspektren. Die Atommodelle waren immer noch nicht in der Lage die experimentellen Befunde zu beschreiben – jedenfalls nicht unter Verwendung der klassischen Physik.

Rutherford entdeckt die Leere und die Ladungsverteilung im Atom. Er teilte das Atom in die Hülle und den Kern.

Bohr zwängte dem Rutherford-Modell „künstliche“ (mit der klassischen Physik unvereinbare) Rahmenbedingungen auf, um die Experimente erklären zu können – die drei Bohr’schen Postulate.

## Einstein und die Photonen

Parallel dazu und unabhängig davon fand Einstein eine Erklärung für die Resultate des äusseren Photoeffekts. Dazu griff er auf die wenige Jahre zuvor gemachte Entdeckung Plancks, die zeigten, dass in seinen Untersuchungen zur Hohlraumstrahlung die Energien immer in „Portionen“ gequantelt vorkamen. Einstein konnte die Ergebnisse des Photoeffekts erklären, wenn er annahm, dass das Licht auch nur in Energiepaketen (-portionen) daherkommt. Einstein nannte sie Lichtquanten, später wurden sie Photonen genannt. Die durch die Interferenzerscheinung scheinbar eindeutig geklärte Frage nach der Natur des Lichts war neu lanciert! War Licht ein Strom aus Teilchen oder eine Welle?

## Welle Teilchen Dualismus

In seiner viel beachteten Doktorarbeit postulierte Louis de Broglie 1923 den Dualismus von Welle und Teilchen, indem er über die Beziehung $p =\frac{h}{λ}$ jedem Teilchen mit dem Impuls *p* ein ebenes Wellenfeld mit der Wellenlänge $λ$ zuordnete. Am 3. März 1927 erschien dann in der Zeitschrift Nature ein von Davidson und Germer verfasster „Letter to the editor“, in welchem die Autoren den Nachweis von Elektronenbeugung an einem Nickeleinkristall bekanntgaben. Rund ein Jahr später meldeten an gleicher Stelle Paget und Reid die Beobachtung von Elektroneninterferenzen, die den rund zehn Jahre früher entdeckten Debye-Scherrer-Ringen bei Streuung von Röntgenstrahlung an einer polykristallinen Probe ähnlich waren. Damit war der experimentelle Durchbruch gelungen, denn sowohl Licht als auch Materie trugen nun nachweisbar Teilchen- *und* Wellencharakter.

Die Welleneigenschaft von Elektronen führt dazu, dass Elektronen in Atomen oder Molekülen eingebunden nicht als Teilchen lokalisiert sind, sondern als „Ladungswolken“ oder „Stehende Wellen“ de-lokal wirken. Der Erfolg dieser Beschreibung der Elektronen zeigt sich beispielsweise darin, dass die Bohr‘schen Postulate sich plötzlich erklären lassen!

## Die Welt der Interferenzen

Die widersprüchlichen Erscheinungsformen von Licht und „kleinen Teilchen“ führte nun dazu, gerade jene Experimente, die so eindeutig für die eine oder die andere Eigenschaft sprechen genauer anzuschauen. Das Young‘sche Experiment zu Demonstration des Wellencharakters von Licht, das Doppelspaltexperiment eignet sich sehr gut um die philosophischen Widersprüche, die sich ergeben und die Gesetzmässigkeiten der Quantentheorie zu studieren.

Es stellt sich heraus, dass die Welt der kleinsten Objekte geprägt ist von der Überlagerung und der Interferenz von Zuständen. Dabei nimmt der Betrachter dieser Objekte für die Charakteristik, in der sich das Objekt zu erkennen gibt eine entscheidende Rolle ein. Je nach Betrachtung (Experiment) manifestiert sich das Objekt als Welle oder als Teilchen.

Noch viel verblüffender aber ist die Interferenz (klassisch physisch nicht vorhandener) Zustandsfunktionen. So überlagern sich beispielsweise verschiedene mögliche Wegstrecken von Licht, sofern prinzipiell unbekannt ist, welchen Weg das Licht genommen hat. Als Konsequenz zeigen sich Interferenzerscheinungen.

## Deutung der Quantentheorie

Wie funktioniert die Welt? Ist der Mond auch da, wenn niemand hinschaut? Würfelt Gott doch? Ist alles miteinander verbunden und hängt alles zusammen? Die Quantentheorie ist jene Theorie, welche die Natur bisher am besten schreibt und jene Theorie welche in ihrer philosophischen Bedeutung am umstrittensten ist. Wie sind die Modelle der Quantentheorie zu deuten? Was bedeuten sie für das moderne Weltbild? Fragen, auf die keine definitiven Antworten bereitliegen!

# Detailplanung

## Gemeinsame Einführung

### Kurze Einführung

In einer kurzen Einführung werden Sie über die Struktur des SOL-Projekts „Quantenwelten“ aufgeklärt. Sie erhalten Informationen über die verschiedenen Sequenzen, die Arbeitstechniken (Lernjournal) und über die Lernziele und -kontrollen.

### Einführende Übungen

*Diskutieren Sie in 2er Gruppen die folgenden vier Fragen bzw. erledigen Sie die folgenden Aufgaben. Diskutieren Sie ausgiebig über Ihre Vorstellungen und Ihr Vorwissen. Halten Sie auch fest, Sie* ***nicht wissen****, was Ihnen* ***rätselhaft vorkommt*** *oder worüber Sie* ***mehr erfahren*** *möchten****. Notieren Sie alles in Ihr Lernjournal!***

1. ***Zeichnen Sie ein Atom!***

Was sind Atome? Wir alle haben eine Vorstellung davon, was ein Atom ist. Meist gleichen die Bilder, die wir im Kopf haben Planeten- oder Schalenmodellen. Wir sind uns diesen aber nicht wirklich bewusst. Um über Atommodelle zu sprechen, müssen wir uns zuerst den Vorstellungen, die wir im Kopf haben bewusst werden. Durch das Skizzieren von Atomen sollen Sie Ihre impliziten Vorstellungen konkretisieren.

1. ***Wie argumentieren Sie, wenn Sie zeigen müssen, dass die Welt aus kleinsten Teilchen besteht?***

An die Tatsache, dass es Atome – also kleinste Teilchen – gibt, haben wir uns längst gewöhnt. Wir haben es in der Schule gelernt. Was aber weist in unserem Alltag darauf hin? Können wir in unserer Umgebung Hinweise darauf finden, dass unsere Welt aus kleinsten Teilchen besteht?

1. ***Denken Sie über chemische Bindungen nach. Wie stellen Sie sich vor, dass Dinge „zusammenhalten“?***

Die Stabilität unserer Materie hinterfragen wir selten tiefgründig. Wir begnügen uns mit den „oberflächlichen Erklärungen“ wie den Aggregatszuständen oder etwas tiefer mit den verschiedenen Arten chemischer Bindungen (metallische, ionische und kovalente Bindungen). Was liegt aber all diesen Bindungen zugrunde? Denken Sie darüber nach!

1. ***Woraus besteht unser Universum?***

Danken Sie auch hier fundamental. Versuchen Sie den Inhalt unseres Universums auf möglichst wenige Kategorien zurückzuführen. Beschreiben und charakterisieren Sie diese!

### Das Licht und die Dinge

**Studieren Sie den Text von Martin Wagenschein „*Das Licht und die Dinge*“ und stellen Sie diesen in Bezug zu den beiden Experimenten, die Ihnen gezeigt werden.

Beschreiben Sie die beiden Experimente und erklären Sie, was Sie sehen.

## SOL Teil 1

Nach der gemeinsamen Einführung planen Sie Ihre weitere Arbeit selber. Von vier definierten Arbeitsbereichen über den Wissensstand zum Thema vor dem 20. Jahrhundert, müssen Sie in zwei Bereichen zum „*Spezialisten“, zur „Spezialistin“* werden. Über die beiden anderen Arbeitsbereiche werden Sie im Rahmen von Präsentationen informiert. Sie haben folgendermassen vorzugehen:

1. Wählen Sie sich 2 Themengebiete aus.
2. Orientieren Sie sich darüber, wer sonst noch die gleichen Themen bearbeitet und sprechen Sie sich allenfalls über eine mögliche Zusammenarbeit ab.
3. Während acht Lektionen vertiefen sie sich in die beiden Themenbereiche.
4. In den folgenden 2 Lektionen finden während 4 Zeitfenstern von ja einer halben Stunde ***Synthesetreffen*** statt, wo alle jene, die sich in das gleiche Thema vertieft haben
	* die wichtigsten Erkenntnisse zusammen tragen
	* gemeinsam eine 15 minütige Präsentation vorbereiten, bzw. die Aufgaben für die entsprechende Vorbereitung verteilen.

Die vier Themengebiete sind:

1. *Wie ist die Welt, kontinuierlich oder diskret? - Atomtheorie bei den Griec*hen
2. *Licht im 19. Jahrhundert: Teilchen – Welle – Elektromagnetische Strahlung*
3. *Atome – Elektronen - Protonen Die Entdeckung der „Teilchen“ und die Konsequenzen*
4. *Atommodelle von Thompson über Rutherford bis Bohr*

## Lernjournal

Während der ganzen SOL-Unterrichtseinheit führen Sie ein Lernjournal. Das Lernjournal hat zum Zweck, dass Sie sich Gedanken zu ihrem Lernprozess machen und diesen schriftlich reflektieren und dokumentieren. Konkret sollen Sie im Lernjournal folgendes tun:

1. **Beschreiben von Themen und Problemen**

Beschreiben Sie woran Sie arbeiten wollen. Worum geht es? Umschreiben sie das Themengebiet.

1. **Notieren von Fragen**

Notieren Sie, was Sie schon wissen. Schreiben Sie Fragen auf, was Ihnen noch nicht klar ist oder worüber sie sich Kenntnis verschaffen wollen

1. **Formulieren von Lernzielen**

Schreiben Sie sich konkret Lernziele auf. Diese müssen so formuliert sein, dass Sie am Ende des Lernprozesses beurteilen können, wie gut Sie diese erreicht haben.

1. **Dokumentieren des Lernprozesses**

Schreiben Sie auf, wie Sie beim Lernen vorgehen. Wie arbeiten Sie? Fällt es Ihnen schwer den Stoff zu begreifen, zu Informationen zu kommen oder die Zusammenhänge zu sehen? Dokumentieren Sie Ihre Arbeitstechniken.

1. **Festhalten der Erkenntnisse**

Schreiben Sie auf, was sie herausgefunden haben, was Sie Neues gelernt haben, was sich in Ihrer Vorstellung über das Thema verändert hat.

1. **Metareflexion zum Lernprozess**

Haben Sie effizient gelernt? Waren Sie erfolgreich? Haben sie die Lernziele gut erreicht? Warum ist es Ihnen leicht oder schwer gefallen zu lernen? Was würden Sie ein nächstes Mal anders machen?

Beschreiben von Themen und Problemen

Notieren von Fragen

Formulieren von Lernzielen

Dokumentieren des Lernprozess’

Festhalten der Erkenntnisse

Meta-Reflexion zum Lernprozess

***1***

***6***

***5***

***4***

***3***

***2***

## Synthesegespräche

### Organisation der Synthesegespräche

In zwei von 4 Themen haben Sie sich in den letzten Lektionen kundig gemacht und sind zum Experten, zur Expertin geworden. In den Synthesegesprächen geht es nun darum das Wissen, das Sie sich angeeignet haben mit Ihren Kolleginnen und Kollegen auszutauschen, zu strukturieren und zu einer Präsentation vorzubereiten (Die Vorbereitung der Präsentation können sie allerdings nicht in den 30 Minuten der Synthesegespräche machen, dort können sie nur die Aufgabenteilung vornehmen). Wiederum sollen Sie sich in der Gruppe selber organisieren, wer was macht. Wir schlagen Ihnen für die Synthesegespräche folgende Vorgehensweise vor:

1. *Organisation*: Wählen Sie in der Gruppe einen Moderator, eine Moderatorin, welche/r die Gesprächsleitung übernimmt. (2 Minuten)
2. *Auslegeordnung*: Breiten Sie das Thema aus, legen Sie dar worum es geht, und was die Fragen waren, die sie sich stellten. (10 Minuten)
3. *Sammeln und Bündeln*: Fassen sie Ihre Erkenntnisse zusammen und versuchen Sie das Wissen, das sich in der Gruppe angesammelt hat zu Bündeln und zu Strukturieren. (10 Minuten)
4. Bringen Sie die Erkenntnisse in eine Form, die Sie den anderen präsentieren können. Teilen Sie sich die Arbeit auf. (Aufgabenteilung 3 Minuten, anschl. individuelle Arbeit).

***Zeitfenster:***

***08:00 Uhr bis 08:25 Uhr:*** Gruppe 1 *Wie ist die Welt, kontinuierlich oder diskret?*

***08:25 Uhr bis 08:50 Uhr:*** Gruppe 2 *Licht im 19. Jahrhundert*

***08:50 Uhr bis 09:15 Uhr:*** Gruppe 3 *Die Entdeckung der Teilchen*

***09:15 Uhr bis 09:40 Uhr:*** Gruppe 4 Atommodelle von Thompson bis Bohr

## Gruppenpräsentationen

Präsentieren sie in den Expertengruppen Ihr Thema und die gewonnen Erkenntnisse in einem max. 20 Minütigen Vortrag Ihren Mitschülerinnen und Mitschülern. Moderieren Sie in weiteren 10 Minuten die Publikumsfragen bzw. stossen Sie eine kurze Diskussion an. Formulieren sie dazu eine bis drei Fragen oder Thesen, die Sie zur Diskussion stellen.

***Achten Sie bei der Organisation der Gruppenarbeit darauf (das sind auch die Beurteilungskriterien):***

* dass Sie die Arbeit gerecht aufteilen
* dass Sie voneinader wissen wer, was macht
* dass Sie sich in der Präsentation ergänzen und gegebenenfalls aufeinander Bezug nehmen

***Achten Sie bei der Präsentation auf folgende Punkte (das sind auch die Beurteilungskriterien):***

* Geben Sie eine gute Übersicht über das Thema.
* Streichen Sie die wesentliche Aspekte, Fragestellungen und Probleme des Themas hervor.
* Achten Sie darauf, dass es für Laien verständlich ist.

***Achten Sie bei der Diskussion auf folgendes(Beurteilungskriterien):***

* Formulieren Sie Fragen und/oder Thesen, welche die Zuhörer zur Diskussion anregen.
* Ersuchen Sie auf Aussagen, Fragen und Antworten aus dem Publikum einzugehen, indem Sie Rückfragen stellen, verschiedene Aussagen zueinander in Beziehung bringen oder mit Ihrem Experten-Knowhow Fragen beantworten.
* Versuchen Sie mit einem Fazit die Diskussion zu beenden.

## SOL Teil 2

In dieser zweiten SOL Sequenz geht es darum, dass Sie sich individuell mit einem der drei vorgeschlagenen Experimente tiefgründig auseinandersetzen. Die vorgeschlagenen Experimente haben alle Bedeutung im Zusammenhang mit dem Übergang von der klassischen Physik zur Quantentheorie. Ihre Eigenrecherche soll folgende Teile umfassen:

1. Recherchieren Sie über das Umfeld, in welchem das Experiment gemacht wurde; Wer sind die Autoren? Warum, wie und wo wurde das Experiment das erste Mal gemacht?
2. Führen Sie das Experiment mit den hier im Schulhaus vorhandenen Materialien durch. Achten Sie dabei auf
	1. eine klare Versuchsbeschreibung
	2. ein klares festhalten der Resultate
	3. eine saubere Auswertung und Diskussion
3. Versuchen Sie das Experiment soweit möglich auch *quantitativ* zu durchdringen.
4. Zeigen Sie auf, inwiefern das Experiment, bzw. die Resultate des Experiments nicht oder schlecht mit der klassischen Physik vereinbar sind.
5. Lesen Sie über die korrekte Deutung und Erklärung der Resultate nach. Notieren Sie sich dabei genau, was für sie dabei nicht verständlich ist.

Damit sie eine Grundlage haben, eine Wahl vorzunahmen werden die Experimente hier rasch vorgestellt.

### http://homepage.univie.ac.at/franz.embacher/Quantentheorie/sciweek2000/Bilder2/doppelspalt1.gifDas Doppelspaltexperiment (mit Photonen und mit Elektronen)

Das Doppelspalt-Experiment brachte im 19. Jahrhundert den schlagenden Beweis dafür, dass Licht eine Wellenerscheinung ist. Die Entstehung eines Interferenzmusters, wie es beim Doppelspaltexperiment vorkommt, kann anders nicht erklärt werden. Nun postulierte Einstein zu Beginn des 20. Jahrhunderts, dass Licht auch kleine Teilchen (Photonen) seien. Wie um alles in der Welt soll vor diesem Hintergrund das Doppelspalt-Experiment erklärt werden?

Davisson und Germer zeigen nochmals 20 Jahre später, dass das Interferenzmuster auch entsteht, wenn man statt Photonen *Elektronen* auf einen Doppelspalt (eigentlich ein Gitter) schiesst. Damit kommt die klassische Physik gar nicht mehr klar!

### Der äussere Photoeffekt

Die Interpretation dieses Experimentes führte Einstein zu der verrückten Aussage, dass Newton mit seiner Beschreibung des Lichts als Teilchenstrom wohl doch recht gehabt hat. Nach Einstein lassen sich die Resultate des Photoeffekts nur erklären, wenn man Licht als Strom kleiner, diskreter Energieportionen behandelt. Einstein hat für diese Interpretation (und nicht etwa für seine Relativitätstheorie) 1921 den Nobelpreis erhalten.

### Das Franck-Hertz-Experiment

Dieses technisch etwas aufwändigere Experiment führte den Autoren erstmals in aller Deutlichkeit vor Augen, dass die Energieaufnahme und –Abgabe in Atomen nicht kontinuierlich, sondern diskret abläuft. Die Energie von Elektronen, die durch ein Gas geschickt werden, wird nur dann vom Gas aufgenommen (wodurch es zum Leuchten gebracht wird) wenn die Energie ganz bestimmte Werte hat. Warum ist das so?

# Leistungsbeurteilung

In der folgenden Tabelle finden Sie eine Übersicht darüber, wie die Note für diese SOL-Einheit zustande kommt. Die Note zählt voll als Grundlagenfach-Note im Fach Chemie.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Produkt** | **Gewichtung** | **Bemerkung** |
| **Lernjournal** | **1/4** | **Individuelle Arbeit** |
| **Präsentation SOL 1****19.03.13** | **1/8** | **Gruppen-Note** |
| **Selbstbeurteilung SOL 1****02.-23.04.13** | **1/8** | **Selbstbeurteilung aufgrund Selbstkontrollen** |
| **Probe****07.05.13** | **1/2** |  |

# Anhang

## A1 Selbstkontrollen

***Selbstkontrolle 1: Wie ist die Welt, kontinuierlich oder diskret?***

Lösen sie selbständig die nachfolgenden Aufgaben. Sie sollen damit sich selber Testen. Wenn Sie Aufgaben nicht lösen können, dann gehen sie nochmals hinter die Literatur.

**Aufgabe 1:**

Die Idee von Atomen zieht automatisch die Vorstellung des „leeren Raums“ nach sich. Erklären Sie warum!

**Aufgabe 2:**

Was für Experimente geben uns heute die Gewissheit, dass die Welt diskret ist (das heisst aus einzelnen Teilchen besteht)?

**Aufgabe 3:**

Demokrit, der berühmteste griechische Atomist, ist selbst sein grösster Zweifler. Er schreibt:

*(Verstand) „Scheinbar ist Farbe, scheinbar Süsses, scheinbar Bitterkeit. In Wahrheit nur Atome und Leeres!“*

*(Die Sinne) „Du armer Verstand, von uns nimmst Du deine Beweisstücke und willst uns damit besiegen? Dein Sieg ist Dein Fall!“*

Was meint er damit? Warum zweifelt er an seiner Theorie?

**Aufgabe 4:**

Die Theorie der Atomisten verschwindet über tausend Jahre in der Versenkung. Was ist wohl einer der Hauptgründe dafür?

**Lösungen zu *Wie ist die Welt, kontinuierlich oder diskret?***

**Lösung 1:**

Materie lässt sich verdichten und verdünnen. Wenn aber Materie aus kleinsten unveränderlichen Teilchen bestehen soll, dann muss zwischen diesen Teilchen leerer Raum sein, damit man die Materie verdichten kann.

**Lösung 2:**

Z. B. Nebelkammer mit Teilchenspuren oder Klicken in einem Geiger-Müller Zählrohr.

**Lösung 3:**

Er meint damit, dass seine Atomtheorie ein Produkt seines rationalen Verstandes ist, seine Sinne und seine Anschauung diese Theorie aber nicht bestätigen können. Unsere Wahrnehmung ist jene einer kontinuierlichen Welt. Flächen sind glatt, das Empfinden einer Luftströmung ist kontinuierlich

**Lösung 4:**

Einer der Hauptgründe liegt darin, dass Demokrit auch versucht hat der Seele eine materielle Struktur zu geben, das heisst, dass er auch die Seele als aus Atomen zusammengesetzt betrachtet hat.

***Selbstkontrolle 2: Licht im 19. Jahrhundert***

Lösen sie selbständig die nachfolgenden Aufgaben. Sie sollen damit sich selber Testen. Wenn Sie Aufgaben nicht lösen können, dann gehen sie nochmals hinter die Literatur.

**Aufgabe 1:**

Welche grundsätzlichen Standpunkte vertraten Newton und Huygens in Bezug auf die

Natur des Lichtes? Geben sie Beispiele von physikalischen Sachverhalten an, die mit der einen oder andern Theorie besser oder schlechter erklärt werden können.

**Aufgabe 2:**

Beim Tunnelbau werden Laserstahlen zur Vermessung benützt. Ein Laser (Wellenlänge

650nm) erzeugt ein absolut paralleles Lichtbündel, das jedoch beim Verlassen des Lasers durch ein

Loch mit 3 mm Durchmesser tritt und gebeugt wird. In einer Entfernung von 420 m trifft der Strahl

auf einen Hindernis. Wie breit ist der entstehende Leuchtfleck, wenn dafür die Breite zwischen den

Minima erster Ordnung verwendet wird?

**Aufgabe 3:**

Radio Beromünster sendet auf einer Frequenz von 531 kHz. Wie gross ist die

Wellenlänge?



**Aufgabe 4:**

Ein Ton mit der Frequenz *1700Hz* wird hinter einer Mauer mit einem *45cm* breiten Schlitz erzeugt. Eine Person begibt sich von A nach B und hört, wie der anfänglich laute Ton

immer leiser wird und bei B schliesslich verschwindet. Geht die Person noch weiter in dieselbe Richtung hört sie den Ton wieder leise. Wo befindet sich der Punkt B (berechne *s*)? (Schallgeschwindigkeit *c=340 m/s*)

**Aufgabe 5:**

Auf ein Beugungsgitter fällt gelbes Licht der

Wellenlänge 600 nm. Im Abstand von 2 m hinter dem Gitter befindet sich ein Schirm. Das Beugungsmaximum 2. Ordnung hat vom Maximum 0. Ordnung den Abstand 24 cm. Wie gross ist die Gitterkonstante?

**Lösungen zu *Licht im 19. Jahrhundert*:**

**Lösung Aufgabe 1:**

|  |  |
| --- | --- |
| Newton  | Huygens |
| Licht besteht aus Korpuskeln, die sichgeradlinig ausbreiten.Verschiedene Korpuskeln tragen verschiedenFarben. | Licht besteht aus Wellen.Verschieden Farben entsprechen unterschiedlichenWellenlängen. |
| Gut erklärbar:Geradlinige Lichtausbreitung(Strahlenoptik)Reflexionsgesetz | Gut erklärbar:Brechungs- und ReflexionsgesetzInterferenzphänomene |
| Schlecht erklärbarBrechungsgesetzInterferenzphänomene | Schlecht erklärbarGeradlinige Lichtausbreitung |

**Lösung Aufgabe 2:**

Minima 1. Ordnung bei *n =1*. Der zugehörige Winkel ist

sin(/*d*) 0.01214. Andererseits ist tan() *D*/*L*. Daraus folgt *D* *L* tan() 9.1 cm. Der Leuchtfleck hat die Breite 2*D* 18.2 cm

**Lösung Aufgabe 3:**

Die Lichtgeschwindigkeit beträgt *c* 2.9910 8 m/sund damit wird

*c*/*f* 564.6 m.

**Lösung Aufgabe 4:**

Aus der Frequenz und der Schallgeschwindigkeit folgt die Wellenlänge

*c*/*f* 0.2 m. Der Punkt B befindet sich beim Minimum 1. Ordnung. Der zugehörige Winkel ist

sin1(/*d*) 26.387. Andererseits ist tan() *D*/*L*. Daraus folgt *D* *L* tan() 2.48 m.

**Lösung Aufgabe 5:**

Zuerst wird der Beugungswinkel berechnet: tan() *D*/*L*; 6.843für *n=2*.

Es gilt dass sin( 2/*d*, damit ist *d* = 2sin(m.

***Selbstkontrolle 3: Die Entdeckung der Teilchen***

Lösen Sie selbständig die nachfolgenden Aufgaben. Sie sollen damit sich selber testen. Wenn Sie Aufgaben nicht lösen können, dann gehen sie nochmals hinter die Literatur.

**Aufgabe 1:**

Was bedeutet die Entdeckung „kleinster Teilchen“ (Atome) für die klassische Physik?

**Aufgabe 2:**

Welche fundamentalen Teilchen bauen unsere Materie auf?

**Aufgabe 3:**

Gibt es einen Unterschied zwischen den Begriffen Teilchen und Materie? Wenn ja, worin liegt er?

**Lösungen zu *Die Entdeckung der Teilchen*:**

**Lösung 1:**

Mit der Entdeckung der Teilchen (z. B. der Atome) konnte man plötzlich sehr viele Phänomene aus unterschiedlichsten physikalischen Gebieten auf eine Ursache zurückführen:

*Temperatur:* Teilchenbewegung

*Magnetismus:* Ausrichten von Teilchen

*Strom:* geordnete Bewegung von Elektronen in einem Metall

*Schall:* longitudinale Teilchenschwingung

*Diffusion*: ungeordnete Teilchenbewegung

*Ganze Chemie*: Theorie der Zusammensetzung von „Teilchen“ zu Molekülen und Stoffen

**Lösung 2:**

Die stabile (sehr langlebige) Materie besteht aus den Protonen, den Neutronen und den Elektronen, wobei die Protonen und Neutronen (= Nukleonen) ihrerseits aus den beiden Quarks *Up-Quark* und *Down-Quark* bestehen. Damit sind die drei fundamentalen Teilchen: *Elektron, Up-* und *Down-Quark*. Daneben gibt es eine riesige Zahl weiterer nicht-stabiler Teilchen, die auch zu der Materie zählen, auch wenn sie nicht unsere bekannte Materie (Stuhl, Tisch, Apfel) aufbauen.

**Lösung 3:**

*Teilchen*: Unter dem Begriff Teilchen versteht man die Eigenschaft eines Objektes, dass es lokalisierbar ist, d. h. das man es auf einem beschränkten Raum eingrenzen kann. In der Quantentheorie kann man jedem Quantenobjekt sowohl Teilcheneigenschaften wie Welleneigenschaften zuordnen. Auch Dinge, die man klassisch als Welle beschreibt, zeigen unter bestimmten experimentellen Voraussetzungen Teilchencharakter: Photonen (Licht-Teilchen), Phononen (Schall-Teilchen)

Materie: Unter *Materie* versteht man Teilchen, die eine *Masse* besitzen, das heisst, die gravitatif wechselwirken. Ein Photon zählt nicht zu der Materie, weil es keine Masse besitzt. Mit dieser Definition gehören auch Antiteilchen (Anti-Materie) zur Materie. Mit dem Begriff „Anti“ will man zum Ausdruck bringen, dass diese Teilchen das „Geschwister-Teilchen“ eines anderen Teilchens sind. Solche „Geschwister“ können paarweise entstehen (Paarbildung) und sich auch gegenseitig wieder vernichten (Annihilation oder Paarvernichtung).

***Selbstkontrolle 4: Atommodelle von Thompson bis Bohr***

Lösen Sie selbständig die nachfolgenden Aufgaben. Sie sollen damit sich selber testen. Wenn Sie Aufgaben nicht lösen können, dann gehen sie nochmals hinter die Literatur.

**Aufgabe 1:**

Welche neuen Erkenntnisse über Atome bringt das Rutherford’sche Atommodell und welche Bedeutung hat dieses Modell für die Vorstellung von der Struktur von Material? (Wie muss man sich vor dem Hintergrund des Rutherford’schen Atommodell den Aufbau eines Stück Metalls vorstellen?).

**Aufgabe 2:**

Was am Rutherford’schen Atommodell ist Aufgrund der klassischen Physik nicht zu verstehen?

**Aufgabe 3:**

Nennen Sie die Unterschiede zwischen dem Bohr’schen und dem Rutherford’schen Atommodell.

**Aufgabe 4:**

Welche Bahngeschwindigkeit sollte gemäss dem Bohr’schen Atommodell das Elektron des Wasserstoffatoms im Grundzustand haben. Der Bohr’sche Atomradius beträgt 0.529·10-10 m.

**Aufgabe 5:**

Welche Wellenlänge hat die Strahlung, die beim Wasserstoffatom abgegeben wird, wenn ein Elektron vom Zustand n2 = 3 auf n1 = 2 zurückfällt?

**Lösungen zu *Atommodelle von Thompson bis Bohr*:**

**Lösung 1:**

Die neuen Erkenntnisse sind:

* Das Atom besteht aus einem sehr sehr kleinen positiv geladenen Kern und einer negativ geladenen Atomhülle bestehend aus Elektronen.
* Das Verhältnis vom Durchmesser der Atomhülle zum Durchmesser des Atomkerns beträgt rund den Faktor 105 (1000‘000). Das führt zur Erkenntnis, dass im Atom vor allem Leere herrscht.
* Die Dichte unserer bekannten Stoffe und Elemente ist demensprechend klein. Man könnte, falls man die Struktur der Atome zerstören könnte, sich Materie vorstellen, die um das 100‘000fache Dichter ist (eben wie die Dichte des Atomkerns). In der Tat gibt es in unserem Universum solche Materie. Neutronensterne und schwarze Löcher bestehen aus Materie mit solchen Dichten. Dort existieren keine Atome mehr, sondern nur noch ein Brei aus Elementarteilchen, bzw. sogar die einzelnen Teilchen beginnen sich zu einer „Suppe“ zu verbinden (Bose-Einstein-Kondensat).

**Lösung 2:**

* Es ist unverständlich, warum der Atomkern nicht (aufgrund der enormen abstossenden elektrischen Kräften zwischen den Protonen) explodiert.
* Es ist unverständlich, warum die Elektronen nicht in den Kern stürzen. Gemäss der klassischen Elektrodynamik geben beschleunigte elektrische Ladungen Energie ab. Ein kreisendes Elektron ist eine beschleunige Ladung. Daher sollte ein kreisendes Elektron spiralförmig in den Kern stürzen.
* Es ist nicht klar, warum Atome nur ganz bestimmte Energieportionen aufnehmen und auch wieder abgeben können (vgl. Spektrallinien verschiedener Gase). Gemäss der klassischen Physik sollte ein Atom mit beliebiger Energie angeregt werden können.

**Lösung 3:**

Das Bohrsche Atommodell, ist ein Modell, das konsequent versucht die experimentellen Befunde zu erklären, ohne Rücksicht auf die Gesetze der klassischen Physik. Nach wie vor kreist die Elektronen zwar wie klassische Satelliten auf einer Umlaufbahn um den Kern, aber:

* diese Umlaufbahnen haben nur ganz bestimmte diskrete Energien (und damit Bahnradien)
* die Elektronen können zwischen diesen diskret angeordneten Bahnen hin und her springen *sich aber nie dazwischen befinden*! (Das ist aus klassischer Sicht völliger Hokuspokus! Wie soll das gehen??)
* bei diesen Sprüngen gewinnt, bzw. verliert das einzelne Elektron Energie, was genau der Energie des entsprechenden absorbierten oder emittierten Lichts (allhgemeiner: Strahlung) entspricht.

**Lösung 4:**

Das Bohr’sche Atommodell erklärt die Stabilität der Elektronenbahnen ganz klassisch und ignoriert dabei, dass das Elektron Energie verlieren sollte. Damit ein Satellit um einen Zentralkörper kreisen kann muss die Zentripetalkraft der Anziehungskraft (hier der Coulomb-Kraft) gleich sein:

$$F\_{z}=F\_{C}$$

Wir erinnern uns an die beiden Kräfte: $F\_{z}=\frac{m\_{e}∙v^{2}}{r}$ und $F\_{C}=\frac{1}{4πε\_{0}}\frac{q\_{1}∙q\_{2}}{r^{2}}$. Die Ladungen die sich gegenüberstehen (Kern – Hülle) entsprechen der Ordnungszahl Z des Atoms mal der Elementarladung (Z Protonen und Z Elektronen mit je der Elementarladung). Also $F\_{C}=\frac{1}{4πε\_{0}}\frac{Z∙q\_{e}∙Z∙q\_{e}}{r^{2}}=\frac{1}{4πε\_{0}}\frac{Z^{2}∙q\_{e}^{2}}{r^{2}}$. Wir setzen diese Ausdrücke in die Kraft-Gleichung ein,

$$F\_{z}=F\_{C}$$

$$\frac{m\_{e}∙v^{2}}{r}=\frac{1}{4πε\_{0}}\frac{Z^{2}∙q\_{e}^{2}}{r^{2}}$$

und lösen nach *v* auf:

$$v=\sqrt{\frac{Z^{2}q\_{e}^{2}}{4πε\_{0}m\_{e}r}}$$

Für das Wasserstoffatom mit Z = 1 ergibt das (in der Ausrechnung sind alle Einheiten sind weg gelassen):

$$v=\sqrt{\frac{q\_{e}^{2}}{4πε\_{0}m\_{e}r}}=\sqrt{\frac{(1.6∙10^{-19})^{2}}{4π∙8.8∙10^{-12}∙9.1∙10^{-31}∙0.529∙10^{-10}}}=2.2∙10^{2}m/s$$

**Lösung 5:**

$$∆E=Z^{2}\left(\frac{1}{n\_{1}^{2}}-\frac{1}{n\_{2}^{2}}\right)∙E\_{0}$$

Mit E0 der Energie des Grundzustandes (E0= - 13.6 eV = - 2.176J). Wiederum ist beim Wasserstoffatom Z = 1 womit sich die Gleichung etwas vereinfacht. Die Energie eines Lichtes ist mit der Frequenz des Lichtes über folgende Gleichung verknüpft:

$$E=h∙f$$

*h* ist die Plank’sche Konstante (6.62Js) und *f* ist die Frequenz. Die Frequenz und die Wellenlänge hängen folgendermassen zusammen:

$$f=\frac{c}{λ}$$

Wellenlänge und Energie hängen also so zusammen:

$∆E=h∙f=\frac{h∙c}{λ}$ oder $λ=\frac{h∙c}{∆E}$

Ein Sprung von n2=3 auf n1=2 ergibt daher folgende Wellenlänge:

$$λ=\frac{h∙c}{\left(\frac{1}{n\_{1}^{2}}-\frac{1}{n\_{2}^{2}}\right)∙E\_{0}}=\frac{6.6∙10^{-34}∙3∙10^{8}}{\left(\frac{1}{2^{2}}-\frac{1}{3^{2}}\right)∙2.176∙10^{-18}}=6.57∙10^{-7}m =657 nm$$

Das entspricht rotem Licht (Rot: 650 – 750 nm).

## A2 Selbstbeurteilung

***Selbstbeurteilung zum Teil SOL 1***

Name: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Titel der Vertiefungsthemen: 1. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

 2. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Themenfindung und Zielsetzung** | **nein** | **eher nein** | **eher ja** | **ja** |
| Haben Sie sich Ziele gesteckt? | **** | **** | **** | **** |
| Waren die Ziele, die Sie sich gegeben haben rückblickend sinnvoll? | **** | **** | **** | **** |
| Würden Sie diese Themen wieder wählen? | **** | **** | **** | **** |
| **Arbeitsprozess** |  |  |  |  |
| Haben Sie effizient gearbeitet? Hätten Sie in der zur Verfügung stehenden Zeit mehr herausholen können? | **** | **** | **** | **** |
| Wie haben Sie sich für die Arbeit eingesetzt? (kaum; mässig; ziemlich; intensiv) | **** | **** | **** | **** |
| Haben Sie Ihre Arbeit sinnvoll eingeteilt? | **** | **** | **** | **** |
| **Resultat** |  |  |  |  |
| Haben Sie die definierten Ziele erreicht? | **** | **** | **** | **** |
| Sind Sie mit dem Erkenntnisgewinn Ihres Selbststudiums zufrieden? | **** | **** | **** | **** |
| Konnten Sie die Fragen der Selbstkontrollen mehrheitlich beantworten? | **** | **** | **** | **** |
| **Dokumentation (Lernjournal)**  |  |  |  |  |
| Haben Sie regelmässig das Lernjournal geführt? | **** | **** | **** | **** |
| Ist in Ihrem Lernjournal der Lernprozess dokumentiert und reflektiert? | **** | **** | **** | **** |

***Versuchen Sie sich aufgrund dieser Leitfragen eine Gesamtnote zu setzen.***

Note: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Datum / Unterschrift: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

## Literatur

**De Broglie**, Louis (1958): *Licht und Materie*. Frankfurt am Main und Hamburg: Fischer Bücherei.

**Fischer**, Ernst Peter (2012): *Niels Bohr*. München: Siedler Verlag.

**Fischer**, Ernst Peter (2004): *Leonardo, Heisenberg & Co*. München, Zürich: Piper Verlag.

**Fischer**, Ernst Peter (1995): *Aristoteles, Einstein & Co*. München, Zürich: Piper Verlag.

**Fritzsch**, Harald (1981): Quarks – Urstoff unserer Welt. München, Zürich: Piper Verlag.

**Frayn**, Michael (2003): *Copenhagen*. London: Methuen Drama.

**Gribbin**, John (1996): Auf der Suche nach Schrödingers Katze. München, Zürich: Piper Verlag.

**Heisenberg**, Werner (1973): *Der Teil und das Ganze*. München: Deutscher Taschenbuch Verlag.

**Heisenberg**, Werner (2011): *Physik und Philosophie*. Stuttgart: S. Hirzel Verlag.

**Horgan**, John ( 1998): An den Grenze des Wissens. Frankfurt a. M.: Fischer Taschenbuch Verlag.

**Kumar**, Manjit (2008): *Quanten*. Berlin: Bloomsbury Verlag.

**Simonyi**, Karoly (2001): *Kulturgeschichte der Physik*. Frankfurt a. M.: Harri Deutsch Verlag.

**Roos**, Hans und Armin Hermann (1949): *Max Plank, Vorträge, Reden, Erinnerungen*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag.

**Rae**, Alastir (1986): *Quantenphysik: Illusion oder Realität?* Stuttgart: Reclam.

**Von Weizsäcker**, Carl Friedrich (1971): *Die Einheit der Natur*. München und Wien: Deutscher Taschenbuch Verlag Wissenschaft.

## Medien

**DVD**: *Das Geheimnisvolle Reich der Quanten – Was die Welt im Innersten zusammenhält*.