

## Didaktisches Szenario zur Geschichte “Produktive Fehlerinterpretation”

### Quantenphysik des Atoms

Geplant für Klassenstufe: 13.1

Benötigter Zeitaufwand: 5-6 Stunden

Empfohlene Sozialform: Gruppenarbeit, Stationenlernen

Erwartete Ergebnisform: Vortrag

### Einordnung/ Intention

Die Geschichte bietet einen besonderen Einstieg in das Thema: Quantenphysik des Atoms. Dabei sollen vor dem Hintergrund des Franck-Hertz-Versuchs die atomaren Vorgänge bei Energieänderungen thematisiert werden. Der Fokus bei dieser Unterrichtseinheit soll auf den Emissions- und Absorptionsspektren von Gasen liegen. Dazu sind die Schülerinnen und Schüler bereits mit dem Franck-Hertz-Versuch mit Quecksilber vertraut. Die nötigen Informationen erhalten die Schülerinnen und Schüler im Vorfeld durch eine entsprechende Hausaufgabe, die eine Auseinandersetzung mit dem Franck-Hertz-Versuch fordert (ein Vorschlag für einen Informationsbogen befindet sich im Anhang). Weiterhin werden die Grundtypen der Spektren analysiert. Die Unterrichtseinheit bietet eine Einführung in die Spektroskopie. Das didaktische Szenario zielt auf die Selbstständigkeit der Lernenden im Lernprozess ab, da den Schülerinnen und Schülern die Chance gegeben wird sich aktiv mit den Lernprozessen auseinanderzusetzen und diese zu vertiefen.

### Mögliche Umsetzung: Schematischer Ablauf

| Zeit (min) | Inhalt   | Sozialform        | Medien               |
|------------|--|-------------------|----------------------|
| 90         | <b>Phase 1: Einstieg</b><br>- Erzählen der Geschichte  | Frontalunterricht | Tafel                |
| 80         | <b>Phase 2: Stationenlernen</b>  | Gruppenarbeit     | Fachbücher, Internet |
| 90         | - Lichtemission von Gasen<br>- Emissions- und Absorptionsspektren<br>- Kontinuierliche und diskrete Spektren<br>- Fraunhoferlinien<br>- Termschema     |                   |                      |
| 10         | <b>Phase 3: Präsentation der Ergebnisse</b><br>- Austausch in den Gruppen über die folgende Präsentation<br>- Die Ausarbeitung erfolgt als Hausaufgabe | Gruppenarbeit     |                      |
| 45 -90     | <b>Phase 3: Präsentation der Ergebnisse</b><br>- Die Ergebnisse werden präsentiert und diskutiert  | Klassenunterricht | Power Point, Plakate |

### Phase 1: Einstieg

Zu Beginn der Unterrichtseinheit wird die Geschichte von der lehrenden Person erzählt. Im Anschluss daran werden möglichst heterogene Gruppen für das folgende Stationenlernen ausgewählt. Für das Stationenlernen sind folgende vier Stationen vorgesehen.

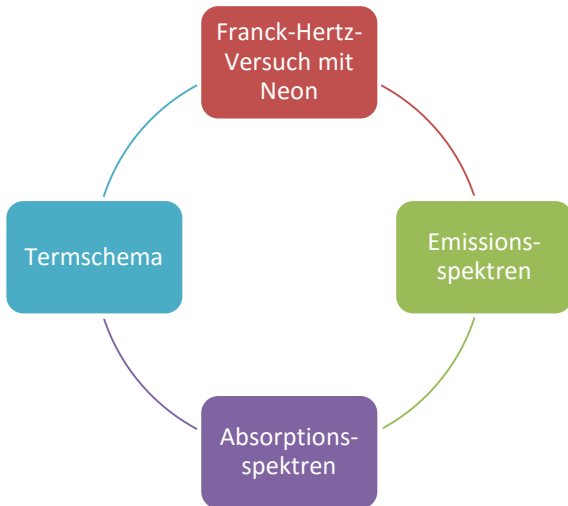


Abbildung: schematische Darstellung Stationenlernen (eigene Darstellung)

### Phase 2: Stationenlernen

Am Ende der Einheit stellt jede Gruppe eine der Stationen vor. Die Gruppen müssen also im Vorfeld der jeweiligen Station zugeteilt werden. Die Präsentation der Ergebnisse am Ende ermöglicht die Diskussion der einzelnen Ergebnisse.

Folgend werden die einzelnen Stationen näher erläutert.

#### Station: Franck-Hertz-Versuch mit Neon

Für diese Station ist der Versuchsaufbau für den Franck-Hertz-Versuch einer Lehrmittelfirma (hier Leybold) vorgesehen. Das folgende Bild zeigt den Versuchsaufbau der Europa Universität Flensburg:



Abbildung: Versuchsaufbau Franck-Hertz-Versuch mit Neon

Bei der Durchführung dieses Versuchs steht das Beobachten der Leuchterscheinungen im Vordergrund. Der Aufbau ist somit bereits vorbereitet. Die Schülerinnen und Schüler erhalten dazu folgende *Arbeitsaufträge*:

Führen Sie zunächst den Franck-Hertz-Versuch mit Neon im manuellen und automatischen Betrieb durch. Entnehmen Sie das genaue Vorgehen der Betriebsanweisung.

Das folgende Diagramm zeigt den prinzipiellen Spannungs-Strom-Verlauf. Bestimmen Sie die Spannungsabstände zwischen den ersten drei Maxima.

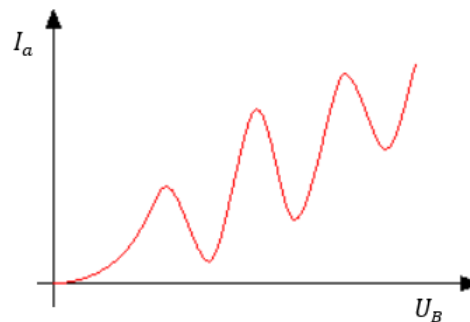


Abbildung: Spannungs-Strom-Verlauf Franck-Hertz-Versuch

(<http://www.leifiphysik.de/atomphysik/atomarer-energieaustausch/>)

Man erwartet, dass die Gasatome elektromagnetische Strahlung emittieren. Erläutern Sie ihre Beobachtungen während des Versuchsablaufs und interpretieren Sie diese.

Erklären Sie außerdem warum bei einer Neonröhre typische Ringmuster zu erkennen sind, bei Quecksilber aber nicht.

#### Station: Emissionsspektren

Bei dieser Station steht die Unterscheidung der Emissionsspektren in kontinuierliche und diskrete Spektren im Vordergrund. Dazu erhalten

die Schülerinnen und Schüler jeweils einen entsprechenden Versuch zur Veranschaulichung.

Die Durchführung der Versuche bietet sich in einem extra Raum an, damit der Raum abgedunkelt werden kann.

### *Versuch 1: Prismatische Zerlegung des Lichts*

Die Schülerinnen und Schüler erhalten hierzu folgenden Versuchsaufbau von Leybold:

Geräte:

- Optische Bank
- 4 Objektivreiter mit Klemmsäule
- 2 Optikreiter mit Muffe
- Lampe und Lampengehäuse
- 1 Linse ( $f=5\text{ cm}$ )
- 1 Linse ( $f=10\text{ cm}$ )
- 1 Einstellbarer Spalt
- Flintglasprisma
- 1 Kerzenhalter
- Schirm



Abbildung: Versuchsaufbau Prismatische Zerlegung ([http://www.ld-didactic.de/documents/DE/EXP/D/D5/D5612a\\_d.pdf](http://www.ld-didactic.de/documents/DE/EXP/D/D5/D5612a_d.pdf))

### *Versuch 2: Spektren leuchtender Gase – Gasentladungsröhren: Wasserstoff und Neon*

Die Schülerinnen und Schüler erhalten hierzu folgenden Versuchsaufbau von Leybold:

Geräte:

- Spektralröhre für Wasserstoff und Neon
- Halter für Spektralröhren
- Messwiderstand  $100\text{ k}\Omega$
- Hochspannungsnetzgerät  $10\text{ kV}$
- Verschiedene Kabel
- Stativfuß und Stange
- Flintglasprisma
- Gitter (Rowland)



Abbildung: Versuchsaufbau Spektren leuchtender Gase ([http://www.ld-didactic.de/documents/DE/EXP/D/D5/D5631a\\_d.pdf](http://www.ld-didactic.de/documents/DE/EXP/D/D5/D5631a_d.pdf))

Die Schülerinnen und Schüler erhalten folgende *Arbeitsaufträge*:

Unter Spektroskopie wird eine Gruppe physikalischer Methoden verstanden, die Strahlung nach einer bestimmten Eigenschaft wie Energie, Wellenlängen, Masse etc. zerlegt. Die Intensitätsverteilung, die sich dann beobachten lässt, wird Spektrum genannt. Für die Erzeugung von Spektren gibt es die Möglichkeit ein Prisma oder ein Gitter zur Hilfe zu nehmen. Trifft von einer Lichtquelle kommendes weißes Licht auf ein Prisma, wird dieses Licht gebrochen, so dass die kurzwelligen Anteile stärker gebrochen werden als die langwelligen und ein Spektrum entsteht. Wird anstelle eines Prismas ein Gitter verwendet, tritt am Gitter Beugung auf und das gebeugte Licht überlagert sich. Es entstehen farbige Interferenzstreifen, die ein Spektrum bilden.

Anweisungen zur Versuchsdurchführung: Versuch 1

Schalten Sie die Lampe ein und verschieben Sie die Abbildungslinse, bis Sie ein scharfes Bild des Spaltes auf dem Schirm erkennen können (der Schirm befindet sich für die Justierung der Versuchsanordnung im hinteren Drittel der optischen Bank).

Entfernen Sie nun den Schirm von der Optischen Bank und positionieren Sie diesen in einem Abstand von ca. 30 cm und einem Winkel von  $60^\circ$  zur Optischen Bank.

Dunkeln Sie den Raum nun ab, bevor Sie das Prisma in den Strahlengang auf den Kerzenhalter stellen. Drehen Sie nun den Kerzenhalter so lange, bis ein starkes Bild des Spektrums auf dem Schirm erscheint.

### Anweisungen zur Versuchsdurchführung: Versuch 2

Für den zweiten Versuch dieser Station wenden sich die Schülerinnen und Schüler an die lehrende Person. Dieser Versuch wird als Demonstrationsversuch eingesetzt.

Dazu setzt die lehrende Person die Spektralröhre für Wasserstoff in die Halterung ein. Nun wird das Hochspannungsnetzgerät eingeschaltet und die Spannung so lange erhöht, bis die Spektralröhre zündet (2-6kV).

Die Schülerinnen und Schüler können nun die Spektralröhre durch ein Prisma oder ein Gitter in einem Abstand von 1-5 Metern beobachten.

Der Versuch wird nun zum Vergleich mit Neon wiederholt.

### Arbeitsauftrag:

Diskutieren Sie die Unterschiede zwischen den Spektren und Stellen Sie diese dar. Verwenden Sie bei ihrer Erklärung die Begriffe kontinuierliches und diskretes Spektrum.

### **Station Absorptionsspektren:**

Bei dieser Station stehen die Absorptionslinien im Vordergrund. Dabei soll der Begriff und die Entstehung der Fraunhofer-Linien thematisiert werden.

Die Schülerinnen und Schüler erhalten folgende Abbildung des Sonnenspektrums:

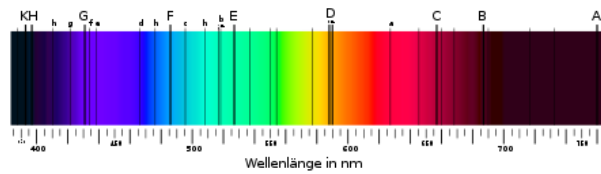


Abbildung: Sonnenspektrum  
([https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7d/Fraunhofer\\_lines\\_DE.svg/440px-Fraunhofer\\_lines\\_DE.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7d/Fraunhofer_lines_DE.svg/440px-Fraunhofer_lines_DE.svg.png))

### Arbeitsaufträge:

Die vorliegende Abbildung zeigt das kontinuierliche Spektrum der Sonne.

Benennen Sie die Unterschiede und Gemeinsamkeiten des Sonnenspektrums und dem Spektrum einer Glühlampe.

Erläutern Sie in diesem Zusammenhang den Begriff Fraunhofer-Linien.

Erklären Sie die Entstehung dieser und erläutern Sie, warum die Fraunhofer-Linien Auskunft über die Zusammensetzung der äußeren Schichten der Sonnenatmosphäre geben.

### **Station Termschema:**

Das Ziel dieser Station ist die Interpretation des Energieniveauschemas am Beispiel des Wasserstoffatoms.

Die Schülerinnen und Schüler erhalten das Energieniveauschema des Wasserstoffatoms.

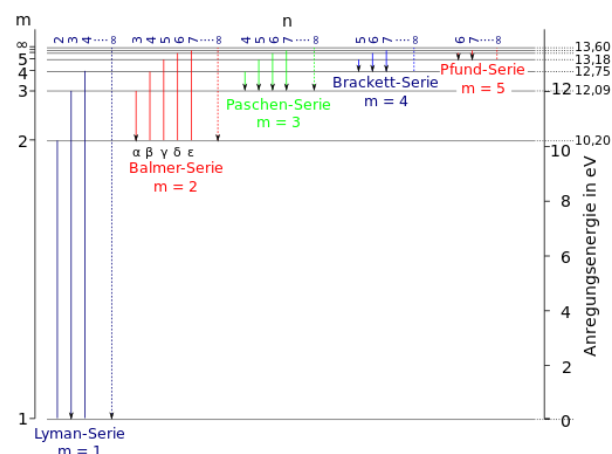


Abbildung: Energieniveauschema Wasserstoff  
(<https://de.wikipedia.org/wiki/Wasserstoffatom>)

Das vorliegende Diagramm zeigt das Energieniveauschema des Wasserstoffatoms.

### Arbeitsaufträge:

Erläutern Sie, welche Aussagen mit dem Energieniveauschema getroffen werden können. Gehen Sie dabei auf die verschiedenen Energieniveaus und atomare Übergänge ein. Erklären Sie außerdem die Funktion der Lyman-, Balmer-, Paschen-, Bracket- und Pfund-Serie.

Die Energiedifferenz beim Übergang zwischen zwei Energieniveaus  $E_m$  und  $E_n$  ist durch  $\Delta E = E_m - E_n$  gegeben und wird als Lichtquant der Frequenz  $f = \frac{\Delta E}{h}$  emittiert.

Zeichnen Sie den Übergang bei der Anregung in das höhere Energieniveau  $n_2$  ein und bestimmen Sie die Energie eines Photons, das vom Energieniveau  $n_2$  in den Grundzustand zurückfällt.

Definieren Sie die Einheit Elektronenvolt.

### Informationsblatt zum Franck-Hertz-Versuch:

James Franck und Gustav Hertz haben in der Zeit von 1912 bis 1914 Versuche durchgeführt und damit belegt, unter welchen Bedingungen beschleunigte Elektronen ihre Energie durch Stöße auf Quecksilberatome übertragen und diese Anregen können.

Die Versuche von Franck und Hertz wiesen auf die Existenz diskreter Energieniveaus in Atomen hin und konnten zeigen, dass Atome Energien nur in bestimmten Portionen bzw. Quanten aufnehmen.

Aufgrund der fundamentalen Bedeutung der Experimente von Franck und Hertz für die Entwicklung der Quantentheorie erhielten die beiden Autoren 1925 den Nobelpreis für Physik.

Das Kernstück dieser Versuche bildete eine evakuierte Röhre, die Franck-Hertz-Röhre, die mit Quecksilber gefüllt ist. Die Franck-Hertz-Röhre besteht im Wesentlichen aus einer Glühkathode, einer Auffanganode und einem Gitter.

Die folgende Skizze zeigt den schematischen **Aufbau** der Franck-Hertz Röhre mit ihren Anschlüssen:

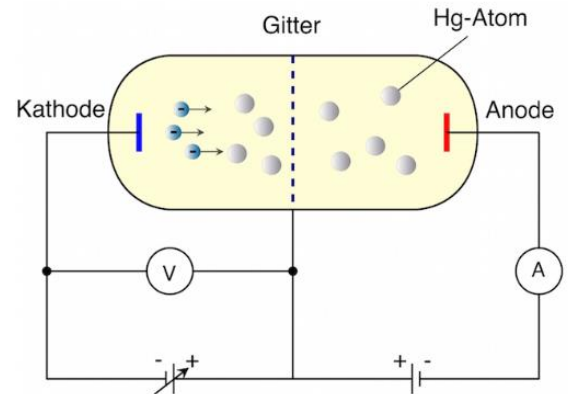


Abbildung: schematischer Aufbau Franck-Hertz-Versuch (<http://physikunterricht-online.de/jahrgang-12/franck-hertz-versuch/>)

Durch das Anlegen einer Heizspannung an die Glühkathode werden Elektronen emittiert und durch ein elektrisches Feld zur Anode beschleunigt. Dazu liegt zwischen der Kathode und dem Gitter eine Beschleunigungsspannung an. Die Geschwindigkeit der Elektronen und damit ihre kinetische Energie können durch regulieren der Beschleunigungsspannung verändert werden. Zwischen dem Gitter und der Anode liegt eine Gegenspannung an, so dass nur Elektronen deren Energie ausreicht um das Gegenfeld zu überwinden die Anode erreichen und als Anodenstrom identifiziert werden können.

Für die **Versuchsdurchführung** wird die Röhre auf ca. 200 °C erhitzt, so dass ein Teil des Quecksilbers verdampft. Die Beschleunigungsspannung wird dann langsam erhöht. Dabei wird die Veränderung der Stromstärke beobachtet.

Während der Versuchsdurchführung wurden folgende **Beobachtungen** gemacht. Mit zunehmender Beschleunigungsspannung steigt auch die Stromstärke kontinuierlich an, bis ein Wert von ca. 5 Volt erreicht ist und die Stromstärke schlagartig abfällt. Wird die Beschleunigungsspannung weiterhin erhöht,

steigt auch die Stromstärke weiter an. Nach Erreichen eines erneuten Maximums bei ca. 10 Volt sinkt die Stromstärke wieder rapide ab. Es wird beobachtet, dass sich Maxima der Stromstärke in Abständen von 4,9 Volt einstellen. Das folgende Diagramm zeigt den charakteristischen Verlauf der Stromstärke in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung beim Franck-Hertz-Versuch:

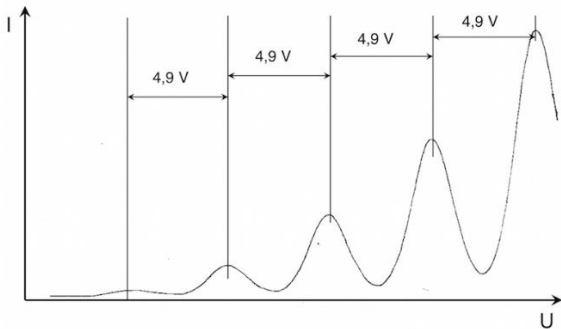


Abbildung: Spannungs-Strom-Verlauf Franck-Hertz-Versuch (<http://physikunterricht-online.de/jahrgang-12/franck-hertz-versuch/>)

Die Beobachtungen wurden wie folgt **interpretiert**:

Die Wechselwirkungen zwischen den Elektronen und Quecksilberatomen erfolgen in Abhängigkeit der kinetischen Energie der Elektronen. Dies deutet darauf hin, dass die Quecksilberatome nur bestimmte Energiebeträge absorbieren können.

Die Stöße zwischen den Elektronen und Quecksilberatomen erfolgen zunächst elastisch. Bei elastischen Stößen wird keine Energie an die Quecksilberatome übertragen. Die Elektronen überwinden das Gegenfeld vor der Anode und können als Strom detektiert werden. Erreicht die kinetische Energie der Elektronen einen bestimmten Wert, kommt es zu unelastischen Stößen zwischen Elektronen und Quecksilberatomen. Die Elektronen übertragen hierbei ihre Energie auf die Quecksilberatome und haben danach nicht mehr genügend kinetische Energie, um das Gegenfeld zu überwinden. Der Strom sinkt somit ab. Die kinetische Energie der Elektronen sowie die Stromstärke wächst mit der Erhöhung der Beschleunigungsspannung. In der Röhre ist so viel Quecksilbersilber enthalten, dass jedes Elektron auf dem Weg zur Anode auf mehrere Quecksilberatome trifft. Haben die Elektronen wieder genügend Energie, kommt es zu weiteren unelastischen Stößen,

bei denen die Elektronen erneut ihre Energie auf die Quecksilberatome übertragen.

### Eine Erklärung dafür liefert die Existenz von Energieniveaus

Die Hypothese von der Existenz verschiedener Energieniveaus wird dadurch gestützt, dass die Elektronen ihre Energie erst ab einer bestimmten kinetischen Energie abgeben. Das Quecksilberatom kann die Energie eines Elektrons nur in bestimmten, definierten Portionen aufnehmen. Das Quecksilberatom nimmt die Energie dann auf, wenn die kinetische Energie des Elektrons der Energiedifferenz zweier Energieniveaus im Atom entspricht. Die Atome können keine beliebigen Energien aufnehmen. Die kleinstmögliche Energie des Quecksilberatoms ist 4,9 eV.

Die Interpretation der Ergebnisse wird weiterhin dadurch unterstützt, dass die Röhre UV-Licht mit einer Frequenz von  $f = 1,2 \cdot 10^{15}$  Hz emittiert, wenn die Stromstärke rapide abfällt. Die Frequenz entspricht der Energie von 4,9 eV. Fällt ein Quecksilberatom aus dem angeregten Zustand in den Grundzustand zurück, emittiert es ein Lichtquant dieser Frequenz.

---

**Didaktisches Szenario zur Geschichte „Produktive Fehlerinterpretation“** wurde von Sandra Ledderer

im Rahmen des Flensburger Projekts StoryTelling verfasst.

---