

# Übungen zur Vorlesung Moderne Experimentalphysik I

## KIT, Sommersemester 2019



Prof. Dr. G. Drexlin, Dr. K. Valerius, Dr. M. Schlösser, Dr. H. Seitz-Moskaliuk

---

Vorlesungen	Di 9:45 + Do 8:00, Gerthsen-Hörsaal
Sprechstunde	Prof. Drexlin: Di 11:30-12:30, Raum F2-34 (Flachbau)
Übungen	Mo 8:00, 9:45, 11:30
Sprechstunde	Dr. Schlösser, Dr. Seitz-Moskaliuk: nach Vereinbarung (magnus.schloesser@kit.edu, hendrik.seitz-moskaliuk@kit.edu)
Ilias	<a href="https://ilias.studium.kit.edu/goto_produkativ_crs_946736.html">https://ilias.studium.kit.edu/goto_produkativ_crs_946736.html</a>

---

## Übungsblatt 5 – Bearbeitung bis 27.05.2019

### (15) Anwendungen des Tunneleffekts

In der Quantenmechanik können Teilchen durch eine endliche Potentialbarriere mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit tunneln.

- (a) Die elektrische Hausinstallation wird in der Regel mit Kupferkabeln ausgeführt. Um Geld zu sparen, könnten Sie auf die Idee kommen, die Kupferkabel durch Aluminiumkabel zu ersetzen. Sie wissen allerdings, dass sich auf Aluminium stets eine Oxidschicht ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) bildet, die einige nm dick werden kann. Aluminiumoxid ist ein fast perfekter Isolator mit einem hohen spezifischen Widerstand von  $10^{13} \Omega \text{ cm}$ . Nehmen Sie an, dass  $\text{Al}_2\text{O}_3$  eine zusätzliche Barriere von  $V_0 - E = 10 \text{ eV}$  erzeugt. Sie verlangen, dass die Elektronentransmission am Kabelkontakt besser als  $10^{-10}$  ist. Ist es sinnvoll, dieses Kabel zu verwenden? Begründen Sie ihre Aussage. Warum könnte der Kontakt zum Sicherheitsrisiko werden?
- (b) Die Daten auf USB-Sticks werden mithilfe von FLASH-Bausteinen gespeichert. Der Vorteil ist, dass diese Speicherart sehr miniaturisiert werden kann und nicht flüchtig ist (= Speicher kann oh-

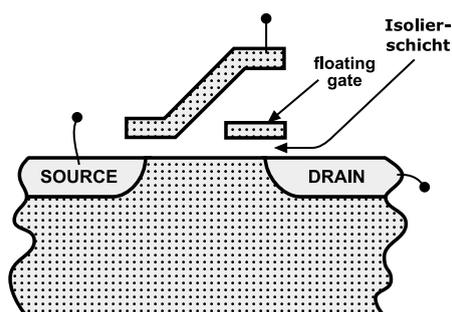


Abbildung 1: Skizze einer Flash-Zelle

ne Versorgungsspannung seine Daten halten (im Gegensatz zum RAM)). Abbildung 1 zeigt eine Skizze. Auf einem Floating-Gate (FG), das durch eine isolierende Schicht aus  $\text{SiO}_2$  abgetrennt ist, sollen Elektronen geladen werden, die den Speicherzustand 1 oder 0 beschreiben. Zum Beschreiben oder Löschen kann die Potentialbarriere mittels Anlegen einer Spannung geändert werden und somit Elektronen auf oder von dem FG bewegt werden.

Wie ist die Speicherzeit eines Elektrons im FG für eine Isolierschicht ( $V_0 - E = 3,2 \text{ eV}$ ) von 1,0 nm, 1,5 nm, 2,0 nm, 2,5 nm, und 3,0 nm? Was bedeutet dies für die Daten? Nehmen Sie an, ein gespeichertes Elektron hat eine thermische Geschwindigkeit und wird in dem  $0,2 \mu\text{m}$  dicken Floating-Gate hin und her reflektiert.

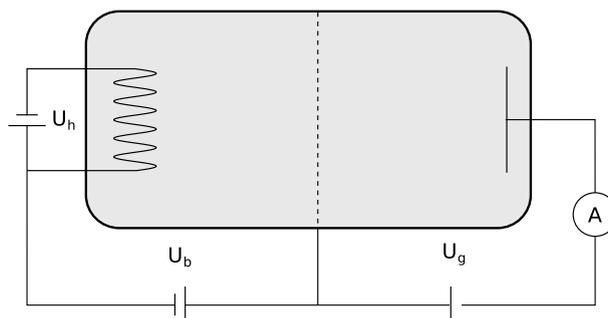
### (16) Franck-Hertz Versuch

Der Franck-Hertz-Versuch stellt eines der zentralen Experimente auf dem Weg zu einer quantenmechanischen Beschreibung der Atomphysik dar. Der hier verwendete Aufbau zeigt Minima des Anodenstromes bei Beschleunigungsspannungen in Abständen von  $\Delta U_b = 3,3 \text{ V}$ .

- Beschreiben Sie anhand Abb. 2 das Prinzip des Versuchs und erläutern Sie qualitativ dessen Ergebnis (Skizze).
- In welcher Farbe leuchtet das Füllgas bei einer Beschleunigungsspannung von  $U_b = 4$  bzw.  $5 \text{ V}$ ?
- Welche Geschwindigkeit muss ein Elektron mindestens besitzen, damit ein Füllgasatom durch einen Stoß zum Leuchten angeregt werden kann?

### (17) Grundlagen zur Quantenmechanik

- Erklären Sie die Begriffe: Wellenfunktion, Erwartungswerte, Eigenwert, Operator.
- Wie lautet die Schrödingergleichung für ein Teilchen im Potential? Wie sieht die Wellenfunktion für eine ebene Welle aus?
- Warum hat der quantenmechanische harmonische Oszillator eine Nullpunktsenergie  $E = \hbar\omega/2$  ?



**Abbildung 2:** Aufbau des Franck-Hertz-Versuchs

(d) Finden Sie die Normierung  $N$  für die folgende Wellenfunktion  $\psi = Nxe^{\frac{-x^2}{2\sigma^2}}$ . (Hinweis:  $\int_{-\infty}^{+\infty} x^2 e^{-ax^2} dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2a^{3/2}}$  für  $a > 0$ )

- Wie ist die Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Teilchens als Funktion von  $x$ ?
- Wo liegt der Erwartungswert des Teilchenorts?
- Wie ist die Parität der Wellenfunktion?

(e) Wie ist der Betrag  $|L|$  für einen Drehimpuls mit der Quantenzahl  $l = 4$ . Welche  $m$  Werte und welche  $L_z$  Werte sind möglich? Unter welchen Winkeln gegenüber der  $z$  Achse kann der Drehimpulsvektor stehen und zeichnen Sie dies in einer Skizze ein.

**(\*) Punkteverteilung**

Aufgabe	Teilaufgabe	Punkte
15	a, b	je 1,5
16	a, b, c	je 1
17	a, d, e	je 1
17	b, c	je 0.5

Bei Verständnisfragen gerne das Wiki im ILIAS nutzen oder eine Mail an die Übungsleiter schreiben.

