
10⁻³⁴ selber messen

| | |
|--|-------|
| Übersicht | A1.1 |
| Vorgehen | A1.2 |
| Lernziele von Additum 1 | A1.2 |
| <hr/> | |
| A 1.1 Grundlagen zum lichtelektrischen Effekt | A1.2 |
| A 1.2 Experimentieranleitung | A1.8 |
| A 1.3 Glossar (Liste mit Erläuterungen zu den Fussnoten) | A1.12 |
| <hr/> | |
| Lösungen | A1.12 |

Übersicht: Schon Albert Einstein...

... beschäftigte sich mit dem Wert von h : 1905 - Einstein war damals noch als Technischer Experte III. Klasse mit einem Monatslohn von 300 Franken beim Patentamt angestellt - schrieb er "Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen¹ (¹=siehe Glossar auf Seite A 1.12) Gesichtspunkt" [Einstein 1905]. Dabei war ihm klar, dass seine Physiker-Kollegen die Annahme, "dass die Energie des Lichtes diskontinuierlich im Raume verteilt sei", nicht so ohne weiteres akzeptieren würden.

Er suchte also am Feierabend in der Fachliteratur nach experimentellen Belegen für die Richtigkeit seiner These. Solche fand er in den Experimenten von P. Lenard, der die Ionisation von Gasen und die Erzeugung von Kathodenstrahlen² durch geeignetes Licht untersuchte. Es gelang Einstein, die Ergebnisse von Lenard theoretisch zu erklären, indem er den Lichtquanten die Energie hf zuschrieb. Der richtige Zahlwert von h war also an der Kramgasse 49 in Bern an den Abenden kurz nach der Geburt von Einsteins erstem Sohn wichtig!

Sie denken möglicherweise immer noch, dass man den Zahlwert von Konstanten in Tabellen nachschlagen könnte. Doch mit den grundlegenden Grössen c und h muss man sich intensiver auseinandersetzen als etwa mit der Schmelzwärme von Gadolinium. Wäre nämlich h wesentlich grösser, so müssten wir eventuell beim Spazieren im Freien Stahlhelme tragen, um die Schläge der solaren Photonen aufzufangen. Und wenn h verschwindend klein wäre, gäbe es nicht nur keine Quantenphysik, sondern überhaupt keine Atome und damit auch keine ...

Zudem ist Physik eine Experimentalwissenschaft. Deshalb werden Sie im ersten Teil die Grundlagen für ein einfaches Experiment kennen lernen, mit dem Sie die Grösse h recht genau messen können. Und dieses Experiment werden Sie im zweiten Teil auch durchführen.

Vorgehen

Sie lesen bitte die beiden Lernziele nicht nur durch, sondern machen sich diese auch als Zielsetzung bewusst. Dann arbeiten Sie die Grundlagen zum lichtelektrischen Effekt durch. Das Glossar bietet Ihnen bei gewissen Ausdrücken Hilfe an. Anschliessend folgt der Hauptteil: Sie bauen die Versuchsanordnung zusammen und führen die Messung durch. Anstatt eines Kapiteltests, geben Sie Ihr Messprotokoll ab.

Lernziele von Additum 1

- Sie kennen mindestens zwei verschiedene lichtelektrische Effekte, können die entsprechenden Energieflüsse skizzieren und je zwei technische Anwendungen angeben.
- Sie können das Prinzip der h -Bestimmung mit Hilfe von Leuchtdioden einem Maturanden mit Kenntnissen in Halbleiterphysik erklären und die Messung selber auf mindestens $\pm 20\%$ genau durchführen.



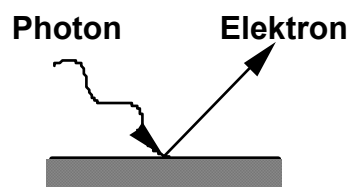
Albert Einstein am Schreibtisch im Eidgenössischen Patentamt Bern

A 1.1 Grundlagen zum lichtelektrischen Effekt

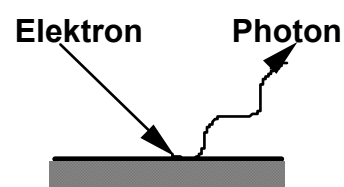
"Lichtelektrischer Effekt", das tönt ziemlich staubig. In der Boulevardpresse hiesse das Gleiche: "Strom aus Licht oder Licht aus Strom." Allgemein geht es um Erscheinungen, bei denen Licht und Elektronen miteinander Energie austauschen:

- Wenn Licht auf einen geeigneten Stoff trifft, kann es daraus Elektronen freischiessen. Dabei wird die Energie des Lichts dazu benützt, die Bindung an den Atomkern oder das Gitter zu knacken und das Elektron in Bewegung zu setzen. Diese Erscheinung heisst "Photoeffekt" (Vgl. Figur A 1.1). So entsteht in der "photovoltaischen Zelle" aus Licht elektrische Energie.

- Auch das Umgekehrte ist möglich: Elektrische Energie kann in geeigneten Stoffen Lichterscheinungen hervorrufen (Vgl. Figur A 1.2). Bemerkenswert ist dies vor allem, wenn nicht der Umweg über die Wärme (Glühlampe) eingeschlagen wird. Besonders interessant ist die Leuchtdiode, die LED³. Sie kennen diese als Kontrollleuchte im Armaturenbrett eines Autos, in einer Videokamera, am PC usw. In allen Farben, vom satten Rot bis ins Blaue können sie ihr mattes Licht abgeben, ohne dass sie sich dabei merklich erwärmen. Mit einer geschickten Auswahl solcher Leuchtdioden ist es Ihnen ohne grossen Aufwand möglich, das Planck'sche Wirkungsquantum recht genau zu bestimmen.



Figur A 1.1: Photoeffekt



Figur A 1.2: Lumineszenz

A 1.1.1 Der Photoeffekt

Schon vor Lenard hat der Österreicher Hallwachs entdeckt, dass Licht elektrische Ladungen aus Metallen freizusetzen vermag. Die Erklärung dazu - im Originalton von Einstein - lautet:

"Nach der Auffassung, dass das erregende Licht aus Energiequanten der Energie $(R/N)\beta\nu^4$ bestehe, lässt sich die Erzeugung von Kathodenstrahlen durch Licht folgendermassen auffassen. In die oberflächliche Schicht des Körpers dringen Energiequanten ein, und deren Energie verwandelt sich wenigstens zum Teil in kinetische Energie von Elektronen. Die einfachste Vorstellung ist die, dass ein Lichtquant seine ganze Energie an ein einziges Elektron abgibt; wir wollen annehmen, dass dies vorkomme. Es soll jedoch nicht ausgeschlossen sein, dass Elektronen die Energie von Lichtquanten nur teilweise übernehmen [weil das Kristallgitter erwärmt wird]. Ein im Innern des Körpers mit kinetischer Energie versehenes Elektron wird, wenn es die Oberfläche erreicht hat, einen Teil seiner kinetischen Energie eingebüsst haben. Ausserdem wird anzunehmen sein, dass jedes Elektron beim

Verlassen des Körpers eine Arbeit P [heute W] zu leisten hat, wenn es den Körper verlässt [weil es die Anziehungskraft der Atomrümpfe im Gitter überwinden muss]. Die kinetische Energie solcher Elektronen ist $1/2mv^2 = hf - W$."

Solche Elektronen hat Lenard dadurch erzeugt, dass er Licht auf eine Alkalimetallschicht in einer Vakuumröhre brachte. Die freigesetzten Elektronen liess er gegen ein elektrisches Feld, erzeugt durch die Spannung U , anrennen, bis die Bewegungsenergie aufgezehrt war: $1/2mv^2 = qU$. Zu seiner Zufriedenheit erhielt Einstein mit dem von Planck angegebenen Zahlwert für h ein Resultat...

"welches der Grössenordnung nach mit den Resultaten von Herrn Lenard übereinstimmt."

Wenn man allerdings dieses Experiment nachvollziehen will, begegnet man vielen Schwierigkeiten: Man muss spektralreines Licht genügender Intensität herstellen, kleinste Ströme verstärken und aufzeichnen und vor allem die Reaktionen an der Metalloberfläche mit den Restgasen, die es in jedem "Vakuum" hat, vermeiden. Wir lassen deshalb das Experiment, das R. Millikan den Nobelpreis eingetragen hat, bleiben ...

A 1.1.2 Lumineszenz und Fluoreszenz

Der umgekehrte Prozess zum Photoeffekt heisst *Lumineszenz* und ist Ihnen vom TV her bestens vertraut. Auf der Innenseite der Bildröhre hat es eine weisse Schicht die leuchtet, wenn sie von den Kathodenstrahlen getroffen wird. Die verschiedenen Farben werden von den drei verschiedenen, in einem feinen Raster verteilten Kristalltypen ermöglicht. Einer der ältesten Lumineszenzkristalle ist ZnS, das grün leuchtet. Genaueres finden Sie dazu im Additum 1. Auch Einstein verwies schon auf die Möglichkeit, seine Lichtquantenidee in Lumineszenzexperimenten zu bestätigen.

Von *Fluoreszenz* spricht man, wenn Licht, das einen geeigneten Stoff trifft, diesen zum Aussenden von Licht mit anderer Frequenz anregt. Bekannt sind die Fluoreszenzröhren, bei denen das UV des elektrisch angeregten Quecksilberdampfs die Leuchtschicht zum Aussenden von weissem Licht anregt: Leuchtstoffröhre, Energiesparlampe ...

A 1.1.3 Halbleiter

Wir setzen voraus, dass Sie die Halbleiter kennen gelernt haben. Sollte das nicht der Fall sein, greifen Sie zu einem Physikbuch, in dem das Kapitel nicht allzu "sophisticated" dargestellt ist. Beispielsweise: Höfling O.: Physik. Bonn 1990 (Dümmler) pp. 601-607.

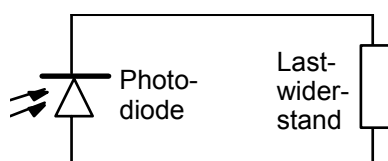
Kristalle aus Si, Ge, GaAs usw. weisen zwar im Innern kompliziertere Verhältnisse auf als Metalle. In der Qualität, in der sie heute hergestellt werden können, erlauben sie aber, lichtelektrische Erscheinungen leichter zu messen als mit Alkalimetallen in Vakuumröhren. Wenn dort unter der Wirkung von Licht Elektronen ins Vakuum ausgesandt werden, spricht man vom "äusseren Photoeffekt". Die analoge Erscheinung im Innern von Halbleitern, beispielsweise im Belichtungsmesser eines Photoapparats, bezeichnet man als "inneren Photoeffekt".

A 1.1.4 Halbleiterdioden

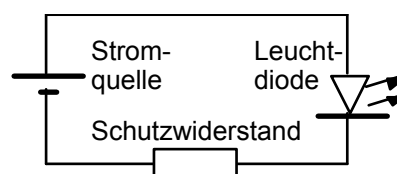
Wir setzen ebenfalls voraus, dass Sie wissen, wie man durch Dotieren⁵ n- und p-Typ-Halbleiter herstellt. Eine Halbleiterdiode erhält man, wenn ein Kristall mit geeigneter Technologie auf der einen Seite p- und auf der anderen Seite n-dotiert wird. Dabei entsteht ein pn-Übergang. In dessen Grenzzone geraten Elektronen aus dem n-Typ und Löcher aus dem p-Typ durch Diffusion zusammen. Ein Elektron setzt sich an den Platz eines Defektelektrons - und beide sind nicht mehr vorhanden! Dadurch entsteht die sogenannte Entleerungszone, wo es keine *beweglichen* Ladungsträger gibt, wohl aber die ortsfesten Ladungen der Atomrümpfe: negative im p-Typ und positive im n-Typ. Dies bezeichnet das Synonym "Raumladungszone".

In der Raumladungs- oder Entleerungszone herrscht ein inneres elektrisches Feld, das vom n-zum p-Typ gerichtet und mit einer gewissen Spannung verknüpft ist. Bei der *Photodiode* (Vgl. Figur A 1.3) spielt sich der innere Photoeffekt in der Entleerungszone ab: Licht gelangt durch die transparente Verpackung dorthin, löst ein Elektron aus der Bindung und hinterlässt ein Loch. Beide werden durch das innere Feld in entgegengesetzte Richtungen befördert und damit getrennt. Im n-Typ sammeln sich Elektronen, im p-Typ Löcher: Die Diode wird zur Stromquelle und kann elektrische Energie an den Verbraucherwiderstand R abgeben!

Auch die Funktionsweise der *Diode als "elektrisches Rückschlagventil"* lässt sich leicht erklären: Schliesst man die Diode in Sperrichtung an, so verstärkt das äussere Feld das innere und damit verbreitert sich einfach die Entleerungszone: Es fliesst kein Strom. - Schliesst man jedoch die Diode in Durchlassrichtung an, reduziert das äussere Feld das innere und die Entleerungszone wird schmaler bis sie ab der sogenannten Knickspannung (ca. 0.5 V für Si, ca. 1.5 V für GaAs) ganz verschwindet. Nun können sich die von der Stromquelle auf beiden Seiten nachgelieferten Elektronen und Löcher treffen und aufheben. Wenn ein Elektron ein Defektelektron aufhebt, entsteht erneut eine Bindung und die Bindungsenergie wird frei. Diese Energie bewirkt in gewöhnlichen Si-Dioden bloss eine Erwärmung, in Leuchtdioden aber Licht.



Figur A 1.3: Photodiode = Stromquelle



Figur A 1.4: Leuchtdiode = Verbraucher

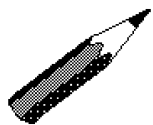
A 1.1.5 Leuchtdioden

Bei Halbleiterdioden aus Materialien wie GaAs beginnt es in der Grenzschicht zu leuchten, wenn Strom in Durchlassrichtung fliesst (Vgl. Figur A 1.4; der Widerstand dient nur zur Strombegrenzung). Wenn die äussere Spannung U_a so gross ist, dass sie das innere Feld zum Verschwinden bringt, dann werden von der Stromquelle Elektronen in den n-Typ und Löcher in den p-Typ eingespritzt. Wenn diese in der Grenzzone zusammentreffen, sich aufheben und die Bindungsenergie abgeben, so entsteht in günstigen Fällen Licht und nicht bloss Wärme.

Die Voraussetzung dafür ist, dass mit der Erzeugung eines Photons auch der Impulssatz eingehalten werden kann. Diese Voraussetzung ist in GaAs und den anderen Halbleitern, aus denen Leuchtdioden hergestellt werden, der Fall.

Mit jedem Elektron-Loch-Paar, das die Stromquelle in die Leuchtdiode schickt, wird die Energie qU_a zugeführt. Diese Energie wird abgestrahlt, wenn Elektron und Loch sich aufheben. Sie wird im Idealfall vollständig auf das freiwerdende Photon übertragen. Dieses besitzt nach Einsteins Ansatz die Energie hf . Somit gilt:

$$hf = qU_a \quad (\text{Gleichung A 1.1})$$



Aufgabe A 1.1

Rechnen Sie nach, dass mit $U_a \approx 0.5 \text{ V}$ für Silizium eine Wellenlänge resultiert, die tief im Infraroten liegt. Das ist ein weiterer Grund, weshalb gewöhnliche Dioden nicht leuchten.

Gleichung A 1.1 zeigt übrigens auch, weshalb für jede Farbe eine spezielle Leuchtdiode benötigt wird, die aus einem bestimmten Material aufgebaut sein muss: Die Farbe hängt von der Energie ab, die für das Erzeugen eines Elektron-Loch-Paares benötigt wird. Das ist die Bindungsenergie, und diese ist von den Materialien und ihrer Gitterstruktur bestimmt.

A 1.1.6 Das Prinzip der Messung

Mit der Gleichung A 1.1 können Sie nun den Wert des Planck'schen Wirkungsquantums aus Messungen an Leuchtdioden folgendermassen bestimmen:

- (1) Die Frequenz f des von der LED ausgesandten Lichtes berechnen Sie aus der Wellenlänge λ , die Sie mit einem Gitter messen. c ist bekannt, und es gilt natürlich $c = \lambda f$.
- (2) Die Elementarladung q wird als bekannt vorausgesetzt.
- (3) Die äussere Spannung U_a messen Sie einfach mit einem Voltmeter über der Leuchtdiode. Das Problem besteht darin, zu beobachten, wann die äussere Spannung das innere Feld gerade überwindet. Sie können von blossen Auge beobachten, wann die LED zu leuchten anfängt. Genauer ist es, wenn Sie den Strom in Durchlassrichtung als Funktion der Spannung aufzeichnen: Die Knickspannung U_a lässt aus dem Diagramm gut ablesen.
- (4) Im Prinzip würde eine LED genügen. Mehrere Messungen bestätigen natürlich Einsteins Idee besser und erhöhen zudem die numerische Genauigkeit.



Experiment A 1.1: Bestimmung von h

Wenn Sie noch genauere Ausführungen zur LED haben möchten, studieren Sie die folgende Seite. Sonst blättern Sie zur Experimentieranleitung A 1.2 und lassen los!

Wenn Sie es genauer wissen möchten ... (fakultativ)

Wenn man den Prozess in der Leuchtdiode genauer betrachtet, gibt es freilich einige Komplikationen. Sie bewirken, dass die Gleichung A 1.1 nicht vollständig gültig ist. Abgesehen von der Frage der Impulserhaltung, die hier nicht weiter verfolgt werden kann, ist zu bedenken:

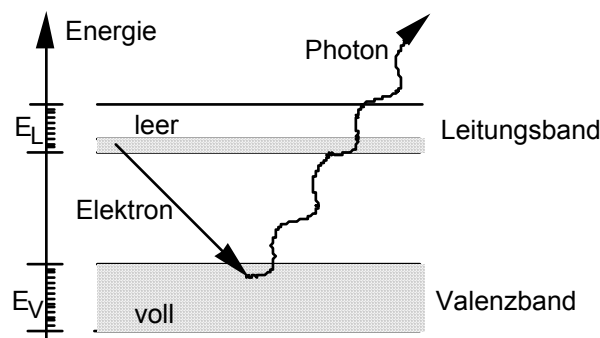
(1) Die Knickspannung ist nicht mathematisch scharf definiert. Sie ist nämlich durch die Differenz in der Bindungsenergie von Valenzelektronen (ortsfest in einer Elektronenpaarbindung) und Leitungselektronen (praktisch frei im Kristall) bestimmt. (Genauer finden Sie im Additum 1 oder in einem Chemiebuch.) Damit wird: $qU_a = (E_{\text{Leitung}} - E_{\text{Valenz}})$ (Vgl. Figur A 1.5). Die Energie E_{Leitung} kann praktisch innerhalb einer ganzen *Bandbreite* liegen; ebenso die Energie der gebundenen Elektronen E_{Valenz} . Diese *Energiebänder* kommen folgendermassen zustande: Die Zustandsfunktionen der Elektronen im Kristall unterscheiden sich geringfügig von denjenigen einzelner Atome, weil die Nachbarn "mitmischeln". Die rund N_L Atomrümpfe des Kristalls erzeugen eine riesige Zahl von etwa N_L Energienniveaux, die sich nur so wenig voneinander unterscheiden, dass sie ein ganzes Band dicht zu füllen scheinen.

U_a besitzt also eine gewisse Bandbreite.

Dementsprechend schwankt auch f um einem Mittelwert. Dies bedeutet optisch, dass das Licht einer Leuchtdiode einen ganzen Wellenlängenbereich umfasst.

Figur A 1.5

Energiebänder
in der
Leuchtdiode



Übrigens: Wenn der p-n-Übergang eine bestimmte Geometrie aufweist und durch Interferenz eine Wellenlänge bevorzugt, erhält man einfarbiges Licht. Das ist das Geheimnis der Laser-Leuchtdiode in Ihrem CD-Spieler zuhause!

(2) Die Temperaturbewegung von Atomrümpfen und Elektronen machen sich auch bemerkbar. Sie würden in Ihrem Experiment einen besseren Wert erhalten, wenn Sie bei tieferen Temperaturen messen könnten.

(3) Auch der beste Halbleiterkristall ist nicht vollkommen rein. Zu den erwünschten Lieferanten von Elektron-Loch-Paaren, den Donatoren und Akzeptoren, gesellen sich die Verunreinigungen mit Energieniveaux, die irgendwo zwischen Valenz- und Leitungsband liegen. Rekombinationsprozesse, welche diese Niveaux benützen, laufen bei anderen Spannungen ab und führen zu anderem Licht als dem gewünschten.

Diese Faktoren, vor allem der zweite, bewirken zusammen, dass der Zahlwert von h , den Sie im Experiment vermutlich erhalten werden, vom Literaturwert abweicht. - Don't worry!

A 1.2 Experimentieranleitung

Experiment A 1.1: Hauptversuch

Messprinzip

Dieses ist vorne unter A 1.1.6 skizziert worden.

Materialien

Stabilisiertes Gleichspannungs-Netzgerät, Voltmeter bis 3 V, Ampèremeter bis 200 mA, mindestens drei verschiedene Leuchtdioden mit zugehörigen Strombegrenzungswiderständen (typisch 100 Ω). Komfortabel ist der Set der Firma NEVA (Nr. 6789). Die Wellenlängen des emittierten Lichts wird von den Herstellern angegeben.

Durchführung

Schliessen Sie die Leuchtdioden über den Strombegrenzungswiderstand an die Stromquelle. Schalten Sie Volt- und Ampèremeter zweckmässig (Innenwiderstände beachten!) hinzu. Steigern Sie die Spannung langsam, bis die Diode zu leuchten anfängt. Merken Sie sich diesen Näherungswert für die Knickspannung. Nehmen Sie anschliessend für jede Leuchtdiode die Stromstärke I als Funktion der Spannung über der Diode U auf; zeichnen Sie die Kennlinie. Bestimmen Sie daraus die Knickspannung U_a . Beachten Sie den Grenzstrom! Wiederholen Sie die Messung mit weiteren Leuchtdioden.

Auswertung

Am bequemsten ist wohl: Berechnen Sie aus λ die Frequenz f und aus U_a die Energie E . Zeichnen Sie die Messpunkte in einem E-f-Diagramm, verbinden Sie die Punkte durch eine Ursprungsgerade und bestimmen Sie aus der Steigung den Wert von h .

Experiment A1.2: (Zusätzlich) Optische Kontrolle der Lichtwellenlängen

Materialien

Wie oben, zusätzlich Strichgitter mit bekannter Gitterkonstante, zwei Sammellinsen mit kurzer Brennweite, Transparenschirm, Massstab.

Durchführung

LED-Licht parallel durchs Strichgitter lenken, Strichgitter mit der zweiten Linse auf den Schirm abbilden, Geometrie vermessen.

Auswertung

Gemäss Anleitung der Firma NEVA auf den folgenden Seiten: Versuche 4.1 oder 4.2.

Experiment A1.3: (Zusätzlich) Optische Kontrolle der IR-Wellenlängen

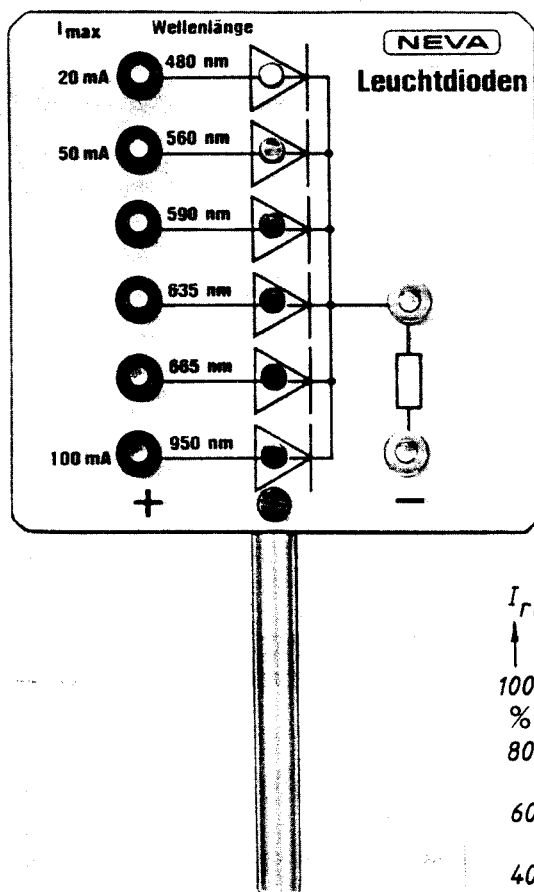
Materialien

Wie oben, zusätzlich Phototransistor und Operationsverstärker, Netzgerät mit pulsierendem Gleichstrom

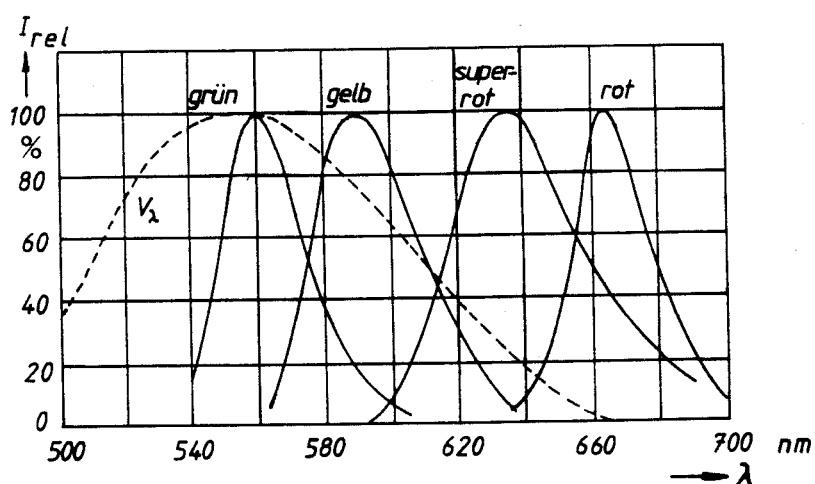
Durchführung und Auswertung

Gemäss separater Anleitung der Firma NEVA. Versuch 4.3

| | | |
|---|--|-------------|
| NEVA ...für physikalische Versuche in Schule und Forschung | Leuchtdioden zur h-Bestimmung | 6789 886 |
|---|--|-------------|



Relative spektrale Emission

Technische Daten

| Grenzdaten | IR | rot | super-rot | gelb | grün | blau | |
|---------------|-----|-----|-----------|------|------|------|----|
| Sperrspannung | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 1 | |
| Durchlaßstrom | 100 | 75 | 50 | 50 | 50 | 25 | mA |

Kenndaten

| | | | | | | | |
|-----------------|---------|---|--------|---|--------|--------|----|
| Wellenlänge | 950±20 | 665±15 | 635±15 | 590±15 | 560±15 | 480±40 | nm |
| Öffnungskegel | 10° | 12° | 12° | 12° | 12° | 16° | |
| Zusammensetzung | GaAs:Si | GaAs _{0,35} P _{0,65} :N | | GaAs _{0,15} P _{0,85} :N | | SiC | |
| | | GaAs _{0,6} P _{0,4} | | | | | |



4. Versuche

4.1 Bestimmung der Wellenlänge durch Gitterbeugung (subjektives Bild der LED)

Die in der NEVA-Leuchtdiodenzusammenstellung ausgewählten LED eignen sich wegen ihrer bevorzugten Abstrahlung in Vorwärtsrichtung und der damit verbunden hohen Lichtstärke gut zur subjektiven Betrachtung der Beugung am Gitter (Nr. 3942 mit 25 Strichen/mm).

Der Strahlengang muß durch eine Schlitzeblende ($\leq 1 \text{ mm}$) eingeeengt werden, weil bei den verwendeten Leuchtdioden wegen des eingefärbten Kunststoffes der ganze Diodenkörper Licht abstrahlt.

Gemessen wird der Abstand Δ der virtuellen Bilder von der Symmetrieachse. Nachdem der Abstand Lineal-Gitter D festgelegt wurde (z.B. 1 m), stellt man durch schnellen Wechsel des Blicks durch das Gitter bzw. direkt auf das Lineal fest, in welchem Abstand Δ ein Maximum möglichst hoher Ordnung k zu liegen scheint. Die Wellenlänge λ wird dann nach der Gleichung

$$\lambda = \sin (\operatorname{arctg} \Delta / D) \cdot d / k$$

berechnet (d Gitterkonstante).

4.2 Gitterbeugung im sichtbaren Bereich mit reellen Bildern der LED

Die Leuchtdioden der Farben grün, gelb und superrot sind leuchtstark genug, um in abgedunkelten Räumen reelle Beugungsbilder von Gittern erzeugen zu können. Der Strahlengang ist wie in Kap. 4.1 beschrieben durch eine Schlitzblende einzuengen. Den prinzipiellen Versuchsaufbau zeigt Abb. 5; die dabei verwendeten optischen Bauteile können den Schülerübungsgeräten 0013 Optik und 3901 Wellenoptik entnommen werden.

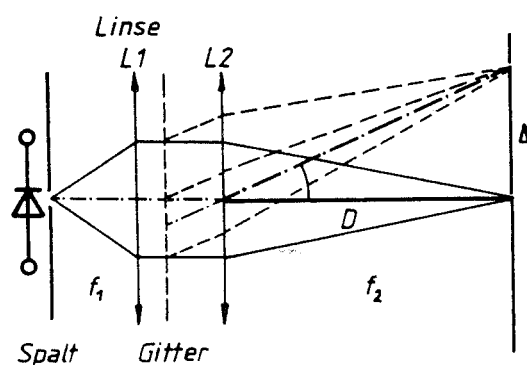


Abb. 5 Strahlengang zur Gitterbeugung mit LED



4.3 Gitterbeugung von Infrarotlicht

Mit dem Versuchsaufbau nach Abb. 6 kann die Gitterbeugung von Infrarotstrahlung demonstriert werden.

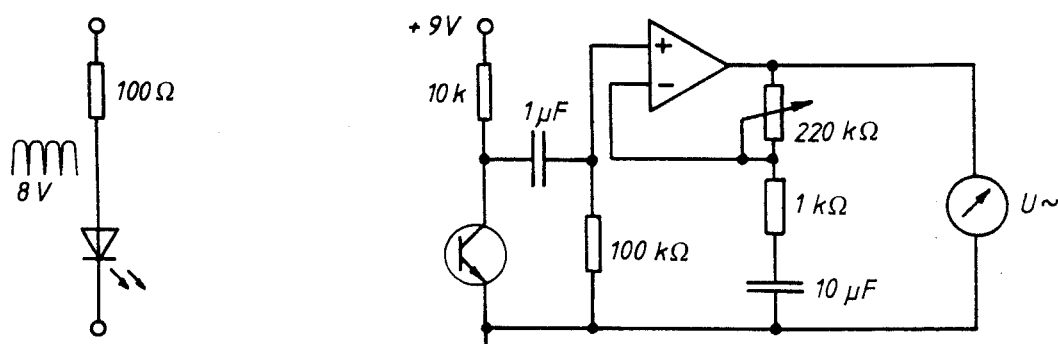


Abb. 6 Versuchsaufbau zur Beugung von IR-Licht

Die Leuchtdiode wird dabei mit pulsierendem Gleichstrom (8 V aus dem Unitrafo 5200) gespeist. Die Spannung des Fototransistors wird mit einem Operationsverstärker weiter verstärkt und durch ein Wechselspannungsvoltmeter angezeigt. Die Justierung wird vor der eigentlichen Messung mit einer sichtbaren LED (Versorgungsspannung auf 6 V erniedrigen) durchgeführt.

Die Verwendung von Wechsellicht reduziert den Einfluß der Umgebungshelligkeit, so daß auch bei mäßiger Verdunklung experimentiert werden kann. Leuchtstoffröhren sollen allerdings ausgeschaltet werden, da sie Wechsellicht abgeben und die Messung stören können.

4.4 Zusammenhang zwischen Leucht- und Stromstärke

Als vorbereitender Versuch zur nachfolgenden h -Bestimmung eignet sich die qualitative Beobachtung, daß bei Erhöhung der Diodespannung das Leuchten der Diode gleichzeitig mit dem elektrischen Stromfluß einsetzt. Diese Beobachtung weist auf einen ursächlichen Zusammenhang dieser beiden physikalischen Größen hin.

A 1.3 Glossar

* *Glossar*

Liste mit Erläuterungen zu möglicherweise unbekannten Fachausdrücken.

¹ *heuristisch*

= "die Lehre von den Wegen zur Gewinnung neuer Erkenntnisse betreffend"; hier: neuartig, noch nicht gesichert

² *Kathodenstrahlen*

An der Kathode, dem negativen Pol einer Vakuumröhre, können Elektronen austreten. Bündelt man diese Elektronen durch Lochblenden oder elektromagnetische Felder, erhält man den Kathodenstrahl. Anwendung im Kathodenstrahloszilloskop oder in der TV-Röhre.

³ *Dotieren*

= einen Halbleiter gezielt mit fünf- respektive dreiwertigen Stoffen "verunreinigen". Beispiele: Phosphor respektive Gallium. Pro Dotierungsatom entsteht dadurch ein freies Elektron respektive ein Defektelektron (sogenanntes Loch), das sich wie ein positives Elektron verhält. Der Grund dafür ist, dass das Dotierungsatom auch vier Elektronenpaarbindungen mit seinen Nachbarn eingeht. Dabei ist ein Elektron überzählig respektive eines fehlt. Diese beweglichen Ladungen bestimmen die Leitfähigkeit des Halbleiters, der nun als n-Typ respektive p-Typ bezeichnet wird. Dort, wo ein Dotierungsatom im Gitter sitzt, ist eine ortsfeste positive respektive eine negative Überschussladung vorhanden. Insgesamt bleibt der Halbleiter neutral.

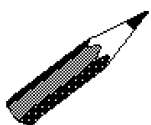
⁴ *LED*

light emitting diode, Leuchtdiode

⁵ $(R/N)\beta v$

Heute sind andere Bezeichnungen üblich: Anstelle von v steht f für die Frequenz, und der Ausdruck $(R/N)\beta$ ist Einsteins Umschreibung für h . Weil er bei seinen Überlegungen von der Wärmelehre ausging, tauchen die Gaskonstante R und die Avogadro'sche Zahl (heute: N_L) auf.

Lösungen



Lösung A 1.1

Mit $U_a \approx 0.5$ V wird die Quantenenergie etwa $8 \cdot 10^{-20}$ J. Daraus ergibt sich eine Frequenz von $\approx 1.2 \cdot 10^{14}$ Hz.

Die zugehörige Wellenlänge ist rund 2500 nm, also weit über den etwa 700 nm des roten Lichts und deshalb im Infraroten.