

Versuchsprotokoll

Absorption von Licht

von

Bianca Sophie Lorenz, Yupeng Yu

(biancasol02@zedat.fu-berlin.de),(yupey43@zedat.fu-berlin.de)

Tutor: Heermant

22.12.2023

Freie Universität Berlin

Fachbereich Physik

Contents

1	Physikalische Grundlagen	3
1.1	Wellenoptik	3
1.2	Licht als Teilchen	3
1.3	Das Lambert-Beersche Gesetz	4
2	Versuchsdurchführung	5
2.1	Aufgaben	5
2.1.1	Aufgabe 1	5
2.1.2	Aufgabe 2	5
2.1.3	Aufgabe 3	5
2.2	Geräteliste	5
2.3	Skizze	6
2.4	Durchführung	7
3	Auswertung	7
3.1	Aufgabe 1	7
3.2	Aufgabe 2	8
3.3	Aufgabe 3	8
3.4	Messdaten und Grafiken	8
3.4.1	Yupeng	8
3.4.2	Bianca	9
4	Diskussion	10
4.1	Aufgabe 1	10
4.2	Aufgabe 2	11
4.3	Aufgabe 3	11
5	Quellen	11
6	Messprotokoll	12

1 Physikalische Grundlagen

1.1 Wellenoptik

Die Wellenoptik beschreibt die Ausbreitung von Licht mithilfe von elektromagnetischen Wellen aus denen das Licht besteht. Elektromagnetische Wellen sind Schwingungen eines elektromagnetischen Feldes mit einem Spektrum wobei verschiedene Wellenlänge von verschiedenen Materialien absorbiert und reflektiert werden. Diese Spektren wurden bereits im Protokoll zur Optischen Spektroskopie untersucht. Diese Wellen haben die Wellenlänge λ , die Frequenz f und breiten sich mit der Lichtgeschwindigkeit c aus, welche im Vakuum mit einer Geschwindigkeit von $3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$ maximal wird. Zwischen der Wellenlänge, Frequenz und Lichtgeschwindigkeit besteht folgender Zusammenhang:

$$c = \lambda \cdot f. \quad (1)$$

1.2 Licht als Teilchen

Licht kann als Teilchen beschrieben werden. Diese Lichtteilchen werden Photonen genannt. Wenn eines dieser Photonen nun auf ein Atom trifft kann ein Elektron aus der Atomhülle die Energie des Photons aufnehmen und ein Energieniveau nach oben rutschen. Das heißt das Atom befindet sich am Anfang auf einem niedrigeren Energieniveau E_1 und danach auf einem höheren Energieniveau E_2 durch die vom Photon hinzugefügte Energie E_{12} . Es gilt also:

$$E_2 = E_1 + E_{12} \quad (2)$$

Dieses Phänomen kann durch das Bohr-Sommerfeldsche Atommodell erklärt werden. Wenn die Energie des Photons genau der vom Elektron benötigten Energie entspricht existiert das Photon nach dem Vorgang nicht mehr. Dies nennt man Absorption. Dabei sollte auch bedacht werden, dass das Elektron nicht nur auf die nächsthöhere Bahn springen muss sondern auf jede höhere Bahn springen kann. Es gilt also allgemein für die Absorption:

$$E_n = E_1 + E_{Photon} \text{ mit: } E_{Restphoton} = 0 \quad (3)$$

Für den Fall das gilt:

$$E_{Photon} \neq \Delta E_{1,n} \text{ für alle } n \quad (4)$$

nimmt das Elektron nicht die Energie des Photons auf und es kommt nicht zur Absorption und das Photon besteht weiterhin.

Wenn die Energie des Photons größer ist als die benötigte Energie um das Elektron auf den größtmöglichen Energiezustand anzuheben, und gilt:

$$E_{Photon} \geq E_{Ionisierung} \quad (5)$$

dann wird das Photon absorbiert und löst sich das Elektron vom Atom, welches danach positiv geladen ist.

Wenn die Energie des Photons größer ist als die Ionisierungsenergie, wandelt sich die restliche Energie in kinetische Energie um und das Atom bewegt sich.

1.3 Das Lambert-Beersche Gesetz

Das Lambert-Beersche Gesetz beschreibt die Abnahme der Intensität einer elektromagnetischen Strahlung, wie zum Beispiel Licht, beim Durchqueren eines Mediums. Es gilt, wenn das Medium eine homogene Substanz aufweist, und die Strahlung gleichmäßig durch das Medium geht, das heißt es eine einzige unveränderliche Lichtquelle gibt. Die Formel für diesen Zusammenhang lautet:

$$I(d) = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot d} \quad (6)$$

Wobei d die Schichtdicke, μ die Absorptionskonstante und I die Intensität und I_0 die Intensität des einfallenden Lichts ist.

Dies kann durch die in vorherigen Zwischenkapitel beschriebenen Stößen zwischen Elektronen und Photonen erklärt werden. Je mehr Atome vorhanden sind, also je dicker die Schicht ist, desto mehr Möglichkeiten gibt es dass die Photonen auf ein Elektron treffen und die Energie besitzen die es benötigt um in ein höheres Energieniveau zu rutschen

wodurch mehr Photonen absorbiert werden und die Intensität geringer ist als bei einer geringeren Schichtdicke.

2 Versuchsdurchführung

2.1 Aufgaben

2.1.1 Aufgabe 1

Die Absorption von Licht durch Tee in Abhängigkeit von der Schichtdicke d (= Füllhöhe) des Tees soll untersucht werden. Dazu wird ein Versuchsaufbau aus einer Lichtquelle (z.B. Taschenlampe), einem Becherglas mit Tee und einem Lichtsensor (des Smartphones) erstellt. Der Aufbau wird so gestaltet, dass Störeinflüsse beachtet und minimiert werden (es werden mindestens 10 verschiedene Messpunkte aufgenommen). Anschließend wird die Absorptionskonstante μ bestimmt.

2.1.2 Aufgabe 2

Die Messung wird für eine andere Teekonzentration wiederholt.

2.1.3 Aufgabe 3

Die Gültigkeit des Lambert-Beer'schen Gesetzes soll überprüft werden:

$$I(d) = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot d} \quad (7)$$

Hierbei stehen I für Lichtintensität, I_0 für I bei $d = 0$, d für Schichtdicke und μ für die Absorptionskonstante.

2.2 Geräteliste

- Becherglas (Bianca) /Teeglas (Yupeng)
- Taschenlampe
- Tee

- Wasser zum verdünnen des Tees mit unterschiedlichen Verhältnissen bei Bianca und Yupeng
- Smartphone mit Lichtsensor und Phyphox
- Bücher zum Stapeln

2.3 Skizze

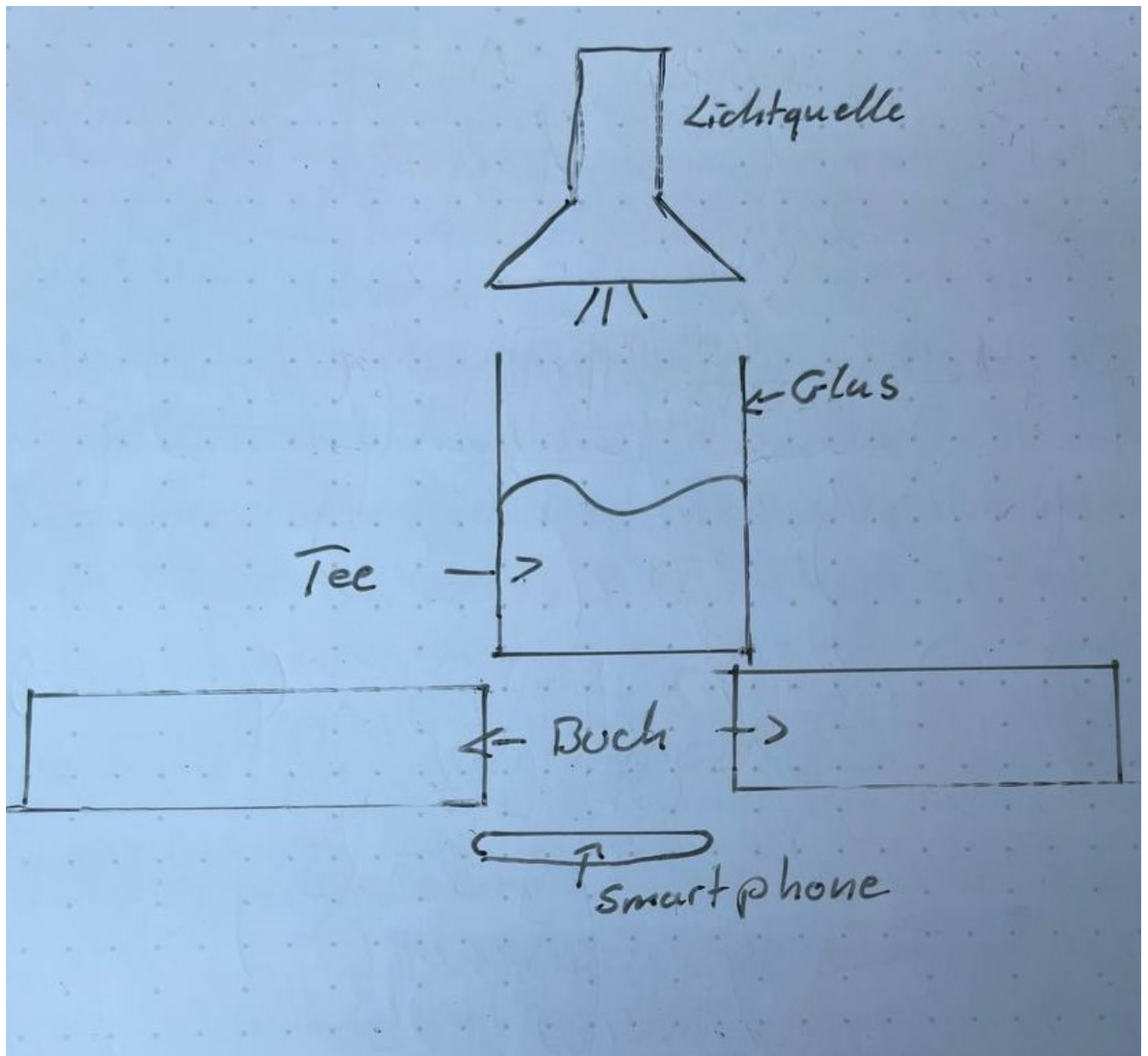


Figure 1: Skizze

2.4 Durchführung

Das Becherglas beziehungsweise Teeglas wird auf einen Stapel Bücher gestellt und mit der kalten dunklen Teelösung aus verschiedenen Teesorten teilweise gefüllt und die Lichtquelle darüber platziert. Das Smartphone befindet sich unter dem Bücherstapel wie auf der Skizze. Nun wird die abnehmende Intensität und die Füllhöhe des Tees gemessen indem die Messung in der App gestartet wird und gemessen wird bis ein Plateau der Werte zu erkennen ist, also der gemessene Wert sich nicht mehr verändert.

Danach wird ein wenig mehr Tee aufgefüllt und es wird erneut gemessen. Dies wird wiederholt bis 10 Messwerte gemessen wurden.

Anschließend wird die Lösung mit Wasser verdünnt und die Messungen werden wiederholt.

Zuletzt wird noch eine Messung mit einem leeren Glas durchgeführt um I_0 zu bestimmen.

3 Auswertung

3.1 Aufgabe 1

In Aufgabe 1 werden die Schichtdicke d und die entsprechende Intensität I für einen unverdünnten Tee gemessen. Gemäß der Formel (8) werden zur Bestimmung der Absorptionskonstanten μ die Werte $\ln\left(\frac{I}{I_0}\right)$ auf der y-Achse und d auf der x-Achse aufgetragen. Der absolute Wert der Steigung entspricht dann der Absorptionskonstanten μ .

$$y = \ln\left(\frac{I}{I_0}\right) = -\mu \cdot d \quad (8)$$

Der Fehler von d werde als 0.2 cm angenommen. Der Fehler von I (I_0) wird als $10 \frac{W}{m^2}$ angenommen. Nach dem Gaußschen Fehlerfortpflanzung Gesetz lässt sich der Fehler von $\ln\left(\frac{I}{I_0}\right)$ berechnen durch:

$$\Delta(\ln(\frac{I}{I_0})) = \Delta(y) = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial I_0} \cdot \Delta(I_0)\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial I} \cdot \Delta(I)\right)^2} \quad (9)$$

Die berechneten Werte für $\Delta(\ln(\frac{I}{I_0}))$ können in (3.4) eingesehen werden.

3.2 Aufgabe 2

Daraufhin wurde der Tee mit Wasser verdünnt. Anschließend werden die gleichen Schritte durchgeführt.

3.3 Aufgabe 3

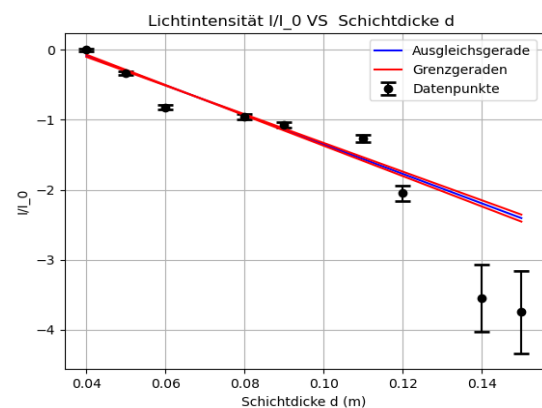
Das Bestimmtheitsmaß bei Yupengs Experiment beträgt 90,1 für den unverdünnten Tee und 79,4 für den verdünnten Tee. Bei Biancas Experiment liegt der Wert des Bestimmtheitsmaßes bei 98,7 für den unverdünnten Tee und für den verdünnten Tee bei 92,5. Aufgrund dieser Werte lässt sich schließen, dass zwischen $\ln\left(\frac{I}{I_0}\right)$ und d ein klarer linearer Zusammenhang besteht.

3.4 Messdaten und Grafiken

3.4.1 Yupeng

	error(d)=0.002m	I ₀ =721(W/m²)		
	d(m)	I(W/m²)	ln(I/I ₀)	error(ln(I/I ₀))
unverdünnt	0.04	721.00	0.00	0.02
	0.05	518.34	-0.33	0.02
	0.06	317.55	-0.82	0.03
	0.08	276.07	-0.96	0.04
	0.09	247.31	-1.07	0.04
	0.11	202.48	-1.27	0.05
	0.12	92.82	-2.05	0.11
	0.14	20.71	-3.55	0.48
	0.15	16.96	-3.75	0.59

(a) Messdaten (unverdünnt)



(b) Grafik (unverdünnt)

Der y-Achsenabschnitt beträgt $0,76 \pm 0,04$.

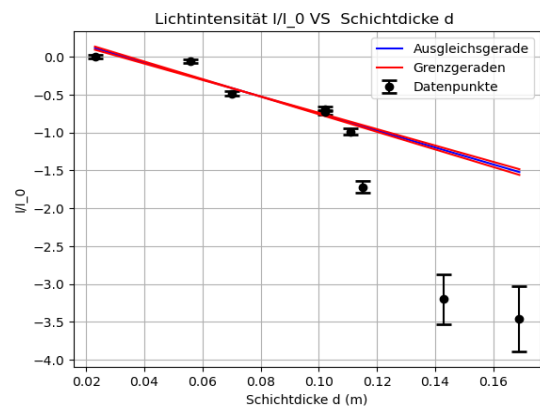
Die Geradensteigung beträgt $-21,1 \pm 0,6 \frac{m^2}{mol}$.

. Das Bestimmtheitsmaß R^2 beträgt 90,1.

Die Varianz beträgt 23,2.

	error(d)=0.002m	I ₀ =734(W/m ²)		
	d(m)	I(W/m ²)	ln(I/I ₀)	error(ln(I/I ₀))
verdünnt	0.023	734.00	0.00	0.02
	0.056	690.59	-0.06	0.02
	0.070	450.69	-0.49	0.03
	0.102	368.13	-0.69	0.03
	0.102	353.92	-0.73	0.03
	0.111	272.84	-0.99	0.04
	0.115	131.43	-1.72	0.08
	0.143	29.92	-3.20	0.33
	0.169	23.07	-3.46	0.43

(a) Messdaten (verdünnt)



(b) Grafik (verdünnt)

Der y-Achsenabschnitt beträgt $0,37 \pm 0,03$.

Die Geradensteigung beträgt $-11,2 \pm 0,4 \frac{m^2}{mol}$.

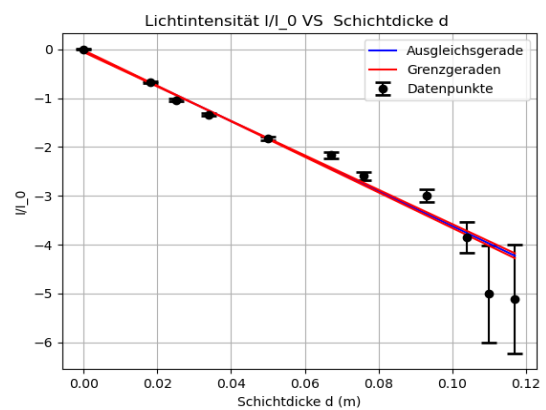
Das Bestimmtheitsmaß R^2 beträgt 79,4.

Die Varianz beträgt 44,2.

3.4.2 Bianca

	error(d)=0.002m	I ₀ =1504(W/m ²)		
	d(m)	I(W/m ²)	ln(I/I ₀)	error(ln(I/I ₀))
unverdünnt	0	1504	0.00	0.01
	0.018	768	-0.67	0.02
	0.025	532	-1.04	0.02
	0.034	396	-1.33	0.03
	0.05	242	-1.83	0.04
	0.067	172	-2.17	0.06
	0.076	112	-2.60	0.09
	0.093	75	-3.00	0.13
	0.104	32	-3.85	0.31
	0.11	10	-5.01	1.00
	0.117	9	-5.12	1.11

(a) Messdaten (unverdünnt)



(b) Grafik (unverdünnt)

Der y-Achsenabschnitt beträgt -0.04 ± 0.02 .

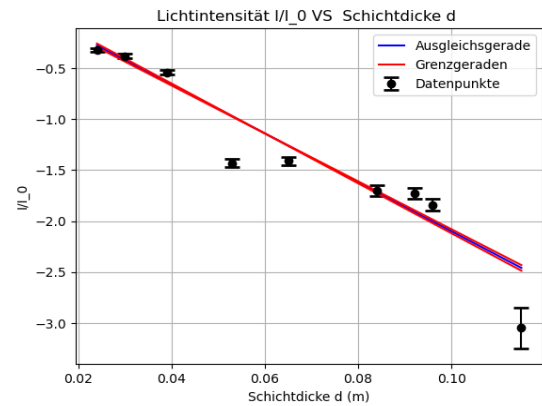
Die Geradensteigung beträgt $-35.8 \pm 0.6 \frac{m^2}{mol}$.

Das Bestimmtheitsmaß R^2 beträgt 98.7 .

Die Varianz beträgt 7.7 .

	error(d)=0.002m I ₀ =1057(W/m ²)			
	d(m)	I(W/m ²)	ln(I/I ₀)	error(ln(I/I ₀))
verdünnt	0.014	1057	0.00	0.02
	0.024	768	-0.32	0.02
	0.03	721	-0.38	0.02
	0.039	618	-0.54	0.02
	0.053	252	-1.43	0.04
	0.065	259	-1.41	0.04
	0.084	194	-1.70	0.05
	0.092	188	-1.73	0.05
	0.096	168	-1.84	0.06
	0.115	50	-3.05	0.20

(a) Messdaten (unverdünnt)



(b) Grafik (verdünnt)

Der y-Achsenabschnitt beträgt $0,3 \pm 0,03$.

Die Geradensteigung beträgt $-24,0 \pm 0,5 \frac{m^2}{mol}$.

Das Bestimmtheitsmaß R^2 beträgt 92,5.

Die Varianz beträgt 27,4.

4 Diskussion

4.1 Aufgabe 1

Die Geradensteigung bei Yupengs Experiment beträgt für den unverdünnten Tee $-21,1 \pm 0,6 \frac{m^2}{mol}$, woraus sich schließen lässt, dass $\mu = 21,1 \pm 0,6 \frac{m^2}{mol}$ beträgt; Bei Bianca Experiment wurde eine Geradensteigung von $-32,9 \pm 0,8 \frac{m^2}{mol}$ ermittelt, weshalb $\mu = 32,9 \pm 0,8 \frac{m^2}{mol}$ beträgt. Das heißt es besteht eine Abweichung von 35,9%. Dies kann dadurch erklärt werden, dass unterschiedliche Tees sowie unterschiedliche Gläser verwendet wurden, wodurch unterschiedliche Koeffizienten bestimmt werden.

4.2 Aufgabe 2

Bei der verdünnten Teemischung beträgt $\mu = 11,2 \pm 0,4 \frac{m^2}{mol}$ bei Yupengs Experiment und $\mu = 24,0 \pm 0,5 \frac{m^2}{mol}$ für Biancas Experiment. Das entspricht einer Abweichung von 53,3%. Diese Abweichung kann durch die unterschiedlichen Teesorten, die unterschiedlichen Gläser und das unterschiedliche Mischverhältnis erklärt werden. Außerdem sind die Konstanten μ von verdünntem Tee kleiner als die Werte von unverdünntem Tee, was sich gut dadurch erklären lässt, dass das Medium einen kleineren Hinderungseffekt durch niedrigere Konzentration von Tee haben soll.

4.3 Aufgabe 3

Das Bestimmtheitsmaß ist eine Kennzahl zur Beurteilung der Anpassungsgüte von statistischen Modellen. Es gibt Aufschluss darüber, wie gut ein Modell die beobachteten Daten erklärt oder vorhersagt. Ein hoher R^2 -Wert deutet auf eine gute Anpassung des Modells hin, während ein niedriger Wert darauf hinweisen kann, dass das Modell die Daten nicht gut erklärt. Die bestimmten Bestimmtheitsmaße R^2 unserer linearen Regressionsmodelle betragen 90.1, 79.4, 98.7, 92.5, was darauf hinweist, dass $\ln\left(\frac{I}{I_0}\right)$ und d einen klaren linearen Zusammenhang darstellen. Dies sagt aus, dass das Lambert-Beer'sche Gesetz eine gute Gültigkeit hat.

5 Quellen

- Lambert Beersches Gesetz · Formel Herleitung. (o. D.). Studyflix. <https://studyflix.de/chemie/lambert-beersches-gesetz-1568>
- Skript zum Grundpraktikum 2 der FU Berlin
- Skript zum Grundpraktikum 1 der FU Berlin
- Lorenz,B.&Stahl,S.(2023).Frank-Hertz-Versuch[Protokoll].Freie Universität Berlin.
- Atommodell von BOHR | LEIFIPhysik. (o.D.). <https://www.leifiphysik.de/atomphysik/bohrsches-atommodell/grundwissen/atommodell-von-bohr>

- Yu,Y.& Lorenz,B.(2023).Optical Spectroscopy[Protokoll].Freie Universität Berlin.
- Energieaufnahme von Atomen durch (Resonanz-)Absorption von Photonen | LEIFI-Physik. (o. D.). <https://www.leifiphysik.de/atomphysik/atomarer-energieaustausch/grundwissen/energieaufnahme-von-atomen-durch-resonanz-absorption-von-photonen>

6 Messprotokoll

Das Messprotokoll wurde digital aufgenommen und ist unter 3.4 Messdaten und Graphiken zu finden.