

13PHL2

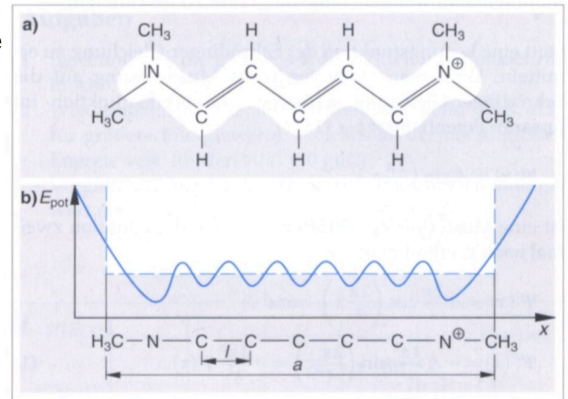
2. Klausur 13/

Atom- und Quantenphysik

23. Nov 06

Warum sind Rosen rot? - Elektronen als Wellen Rosen enthalten u.a. organische, d.h. auf Kohlenstoff basierende Moleküle, die Ketten aus Atomen bilden, von denen 8 jeweils ein e^- nicht für eine Bindung benötigen. Diese sind entlang der Kette nahezu frei beweglich (man spricht auch von delokalisierten π -Elektronen).

Ein solches Molekül lässt sich in guter Näherung als unendlich hoher linearer Potentialtopf für die e^- betrachten, in dem diese nur bestimmte Energieniveaus einnehmen können (nach dem Pauliprinzip jeweils höchstens zu zweit). Rechts ist ein solches Cyaninmolekül sowie der Potentialverlauf dargestellt.



- 1.1. Leiten Sie allgemein unter der Annahme, dass die Ψ -Funktionen der e^- in einem Potentialtopf der Länge a stehende Wellen mit den Randbedingungen $\Psi(0)=0$ und $\Psi(a)=0$ sind, die Gleichung für die erlaubten

$$\text{Energieniveaus her: } E_n = \frac{h^2}{8m_e a^2} \cdot n^2 \quad \text{mit } n=1,2,3,\dots$$

- 1.2. Beschreiben und erläutern Sie den energetisch tiefsten, d.h. stabilen Zustand des Moleküls, in dem folglich die Wahrscheinlichkeitsdichte der e^- und somit die Ladungsverteilung im Molekül im zeitlichen Mittel konstant bleibt.
- 1.3. Das angeregte Cyaninmolekül besitzt ein e^- mit $n=5$. Berechnen Sie E_5 unter der Annahme, dass der mittlere Abstand der Atome, die den Potentialtopf bilden, $l=0,15 \text{ nm}$ ist.
- 1.4.
- Welche Wellenlänge hat das emittierte Licht, wenn sich das Molekül energetisch abregt?
 - Welcher Farbe entspricht diese Wellenlänge?
 - Warum erscheinen die Rosen dem Betrachter dann trotzdem rot?

Licht als Teilchen Der Physiker Hallwachs führte 1888 als erster einen Versuch zum Photoeffekt aus, bei dem er beobachtete, dass eine negativ geladene Zinkplatte lediglich von UV-Licht entladen wird. Spätere Versuche mit sogenannten Photozellen zeigten quantitativ den Zusammenhang zwischen der Energie und Frequenz des eingestrahlt Lichtes und der Auslösearbeit und kinetischen Energie der herausgelösten Elektronen des bestrahlten Materials. Die in Folge erarbeitete Lichtquantenhypothese brachte Einstein 1921 den Nobelpreis ein. Die Entdeckung des Photoeffektes gilt gemeinhin als Geburtsstunde der Quantenphysik.

Beim Comptoneffekt trifft ein Photon auf ein freies Elektron. Dieses fliegt unter einem Winkel α weg, während das Photon unter einem Winkel φ gestreut wird. Dabei vergrößert sich die Wellenlänge um

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \lambda_c (1 - \cos\varphi) \quad \text{mit } \lambda_c = \frac{h}{m_{0e}c}$$

- 2.1. Schildern Sie kurz die Versuchsaufbauten zum quantitativen Photoeffekt und zum Comptoneffekt und deren Bedeutung für die Lichtquantenhypothese. Gehen Sie insbesondere auf die unterschiedlichen Erkenntnisse über das Licht ein, die man durch die beiden Experimenten erlangt.
- 2.2. Man bestrahlt die Kathode einer Fotozelle nacheinander mit drei ausgewählten Linien einer Heliumdampfampe (rot, grün und violett) und misst die maximale kinetische Energie der herausgelösten Elektronen (Wie? Darauf sollten Sie in 2.1. eingegangen sein!):

λ in nm	668	492	403
U in V	0,81	1,48	2,03

- Tragen Sie in einem geeigneten Koordinatensystem die maximale kinetische Energie der Fotoelektronen gegen die Frequenz f auf.
- Bestimmen Sie Steigung und Achsenabschnitte (auf der $E_{\text{kin,max}}$ - und auf der Frequenzachse) der Geraden und interpretieren Sie diese Werte physikalisch.

- c) Bestimmen Sie das Plancksche Wirkungsquantum h in der Einheit Js und vergleichen Sie den Wert mit dem in der Formelsammlung angegebenen, indem Sie den prozentualen Fehler $\frac{\Delta h}{h_{Lit}}$ berechnen.
- d) Begründen Sie mit den Ergebnissen aus b), dass sich die verwendete Fotozelle auch zum Nachweis infraroten Lichtes eignet.

Auch im Auge findet eine Art Fotoeffekt statt, nur werden dort keine Elektronen aus einem Material herausgelöst, wie bei dem bisher behandelten „äußeren“ Fotoeffekt, sondern lediglich in einen Zustand höherer Leitfähigkeit versetzt, ähnlich wie beim durch Licht verursachten Anheben von Elektronen aus dem Valenz- in das Leitungsband in Halbleitern („innerer“ Fotoeffekt).

2.3. Das Auge nimmt bei $\lambda = 600 \text{ nm}$ gerade noch die Bestrahlungsstärke (Intensität) von $S = 10^{-10} \frac{W}{m^2}$ wahr. Wieviele Photonen treffen bei dieser Intensität pro Sekunde die Pupillenöffnung ($d = 6 \text{ mm}$)?

2.4. Die Elektronen, an denen die den Comptoneffekt „erleidenden“ e^- gestreut werden, gelten als quasi frei, genauer: als schwach gebunden.

- a) Begründen Sie diese Annahme.
- b) Wie groß ist die Wellenlängenänderung von Photonen mit $\lambda = \frac{\lambda_C}{2}$ in % unter $\varphi = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ und 180° ? Wie groß ist die maximale Wellenlängenänderung? Unter welchem Winkel φ tritt sie auf (Begründung)?
- c) Wie groß wäre die Comptonverschiebung $\Delta\lambda$ unter 90° bei sichtbarem Licht mit $\lambda = 600 \text{ nm}$ in %?
- d) Das Francium-Nuklid ^{224}Fr zerfällt in ein Radium-Nuklid, dieses gibt bei seinem Zerfall überschüssige Energie in Form eines γ -Quants ab.
- Bestimme mit Hilfe der Nuklidkarte die Energie der γ -Quanten des entsprechenden Radium-Nuklids.
 - Welche Energie geben die γ -Photonen an Elektronen ab, wenn sie um 180° zurückgestreut werden?
 - Welche Geschwindigkeit besitzen die gestoßenen Elektronen?

Konstanten und Einheiten

siehe Formelsammlung

Viel Spaß!