

Quantenmechanik I, WS 2023/24

Prof. Dr. Michael Bonitz

Übungszettel 1, ohne Abgabe¹

Physik-Nobelpreis 2023 (Gegenstand der Übungen am 25.10.)

1. Erläutern Sie die Grundidee der Arbeiten, für die der Physik-Nobelpreis 2023 vergeben wurde. Grundlage: Erläuterungen der Nobel-Stiftung², s. <https://www.nobelprize.org/uploads/2023/10/popular-physicsprize2023.pdf>
2. Entscheidend für die Erzeugung von kurzen Lichtpulsen mit Hilfe eines periodischen Feldes der Frequenz Ω_0 ist die Erzeugung höherer Harmonischer des Feldes, $n\Omega_0, n > 1$ mit anschließender Überlagerung vieler Harmonischer. Erläutern Sie diesen Mechanismus.
3. Für die effiziente Erzeugung höherer Harmonischer eignet sich die Feldionisation von Gasen, bei denen Elektronen am zurückbleibenden Ion gestreut werden bzw. rekombinieren. Ein vereinfachtes Bild zur Entstehung höherer Harmonischer bei der Streuung liefert bereits ein klassisches Modell, das leicht gelöst werden kann:
 - (a) Betrachten Sie ein Elektron, das unter Einfluss eines linear in x-Richtung polarisierten homogenen elektrischen Feldes, $E(t) = E_0 \cos \Omega_0 t$, aus einem Gas-Atom entfernt wurde (Feldionisation). In der Folge oszilliert das Elektron im Feld mit einem Mindestabstand d vom Ion.
 - (b) Lösen Sie die Newtonsche Bewegungsgleichung des Elektrons unter der Annahme, dass der Einfluss des Ions vernachlässigbar ist. Zeigen Sie, dass das Elektron Dipolstrahlung ausschließlich der Frequenz Ω_0 aussendet. Berechnen Sie seine zeitabhängige kinetische Energie sowie die über die Periode gemittelte kinetische Energie.
 - (c) Formulieren Sie die Korrektur $\Delta\ddot{r}$ zur Beschleunigung des Elektrons durch den Einfluss des Ions (man nehme an, dass dieser Einfluss klein ist im Vergleich zum elektrischen Feld und diskutiere, wann das gerechtfertigt ist. Der minimale Abstand des Elektrons vom Ion sei $d > 0$).
 - (d) Man finde eine explizites Ergebnis für $\Delta\ddot{r}(t)$ und zeige, dass diese Korrektur Beiträge höherer Harmonischer der Frequenz Ω_0 enthält. Wie hängt die Amplitude der Harmonischen von den System-Parametern ab? *Hinweis:* wegen der Annahmen in c) kann man den Elektron-Ion-Abstand durch $r_0(t)$ – die Trajektorie des Elektrons unter Vernachlässigung des Ions ersetzen (das Ion platziere man in den Ursprung). Es genügt, die x-Komponente von $\Delta\ddot{r}(t)$ zu betrachten.

¹Vorrechnen an der Tafel bringt Ruhm und Zusatzpunkte.

²Mit den mathematischen Grundlagen beschäftigen wir uns in der Vorlesung später

4. Die experimentellen Befunde werden durch ein einfaches quantenmechanisches Modell, das three-step model, bereits sehr gut quantitativ wiedergegeben. Machen Sie sich damit in Grundzügen vertraut. s. die weitergehenden Erläuterungen der Nobel-Stiftung,

<https://www.nobelprize.org/uploads/2023/10/advanced-physicsprize2023.pdf>