

15

Ausbreitung elektromagnetischer Wellen im Dipol-Nahbereich

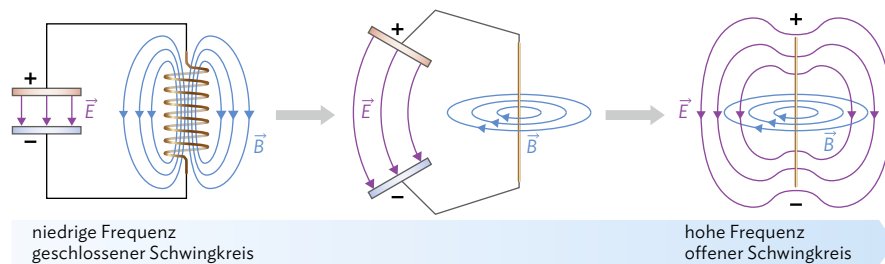
Ph12 Lernbereich 3: Elektromagnetische Wellen

Die Schülerinnen und Schüler **beschreiben experimentelle Untersuchungen zur Struktur des elektromagnetischen Feldes im Nahbereich eines Dipols. Die Ergebnisse stellen sie, unterstützt durch Beobachtungen aus Simulationen, in ziel- und sachgerechten Darstellungsformen graphisch dar.**

Voraussetzung: Ausbreitung elektrischer und magnetischer Felder (Kapitel 11.1 im Buch)
Eigenschaften elektromagnetischer Wellen (Kapitel 11.2 im Buch)

Elektromagnetisches Feld eines Dipols

Sie haben schon gelernt, dass ein Dipol den Grenzfall eines elektromagnetischen Schwingkreises darstellt (vgl. Buch S.152 und B1): Die Elektronen im Dipol werden durch eine äußere Anregung in Schwingen versetzt und erzeugen dabei ein elektromagnetisches Wechselfeld, das sich im Raum ausbreitet.

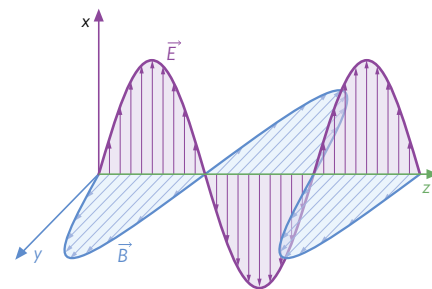


B1 | Übergang vom Schwingkreis zum Dipol.

Wie dieses Feld im **Fernbereich** ($r \gg \lambda$) aussieht, wird im Buch auf S.153 erläutert (vgl. B2).

Der Vektor \vec{E} des elektrischen Feldes und der Vektor \vec{B} des magnetischen Feldes stehen immer senkrecht zueinander. Das elektrische Feld ist dabei parallel zur Schwingungsrichtung der Elektronen im Dipol gerichtet, das Magnetfeld steht senkrecht dazu. Elektrisches und magnetisches Feld schwingen dabei in Phase.

Im **Nahbereich** ($r \ll \lambda$) eines Dipols sieht das elektromagnetische Feld allerdings etwas anders aus. Um die Struktur des Feldes im Nahbereich zu untersuchen, führen wir ein einfaches Experiment durch.



B2 | Elektromagnetisches Feld im Fernbereich eines Dipols.

Experimente zur Untersuchung des Nahbereichs

Für das Experiment wird zunächst ein Sendedipol benötigt, dessen elektromagnetisches Feld untersucht werden soll (z. B. ein Dezimeterwellensender). Zusätzlich wird ein Empfänger dipol eingesetzt, um die Feldstärke zu messen. Sie wissen bereits, dass der Empfänger dipol dann am besten von der Schwingung angeregt wird, wenn er parallel und zentral zum Sendedipol ausgerichtet wird, vgl. B3.

Um nun den Stromfluss durch den Empfänger dipol zu visualisieren und damit Rückschlüsse auf die Vorgänge im Dipol zu ziehen, verwenden wir Glühlampen, die an den Empfänger dipol angebracht werden können. Das Experiment wird nun in zwei Varianten durchgeführt, die im Folgenden näher beschrieben werden.

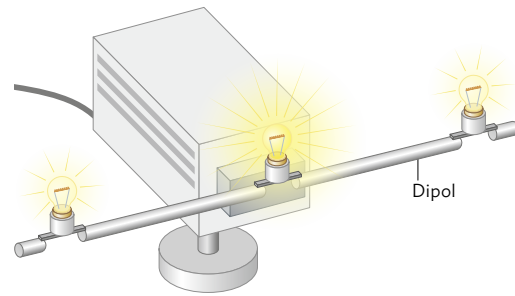


B3 | Ideale Ausrichtung des Empfänger dipols (rechts) zum Sendedipol (links).

Experiment 1: Untersuchung der Stromstärke im Dipol

Um den Verlauf der Stromstärke im Dipol zu untersuchen, bringen wir mehrere Glühlampen an einem Sendedipol an. Je größer die Stromstärke an der Stelle der jeweiligen Glühlampe ist, desto heller müsste sie leuchten.

Wir stellen fest: Eine in der Mitte des Dipols angebrachte Glühlampe leuchtet am hellsten, hier ist die Stromstärke also am größten. Je weiter sich die Glühlampe von der Mitte entfernt befindet, desto schwächer leuchtet sie. An den Enden des Dipols leuchtet die Glühlampe gar nicht.

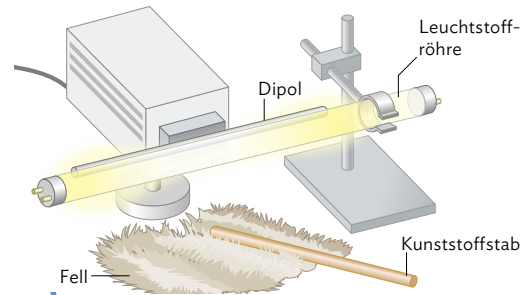


B4 Die Glühlampen werden am Dipol angebracht.

Experiment 2: Untersuchung der Spannung im Dipol

Statt der Glühlampen wird nun eine Leuchtstoffröhre verwendet, die parallel zum Sendedipol gehalten wird, vgl. B5. Mithilfe eines aufgeladenen Kunststoffstabs kann die Leuchtstoffröhre an den Enden gezündet werden.

Wir stellen fest: Die Leuchtstoffröhre leuchtet deutlich sichtbar an den beiden Enden des Dipols auf. Zur Mitte hin nimmt das Leuchten ab, in der Mitte des Dipols leuchtet die Lampe nicht.



B5 Die Leuchtstoffröhre wird parallel zum Sendedipol gehalten.

Interpretation der Experimente

Bei der Interpretation betrachten wir einen idealisierten Dipol, der aus einem sehr kurzen, geraden und unendlich dünnen (also eindimensionalen) Leiter besteht. Außerdem nehmen wir an, dass er sich in einem homogenen Medium ohne Umgebungseinflüsse (z. B. im Vakuum) befindet.

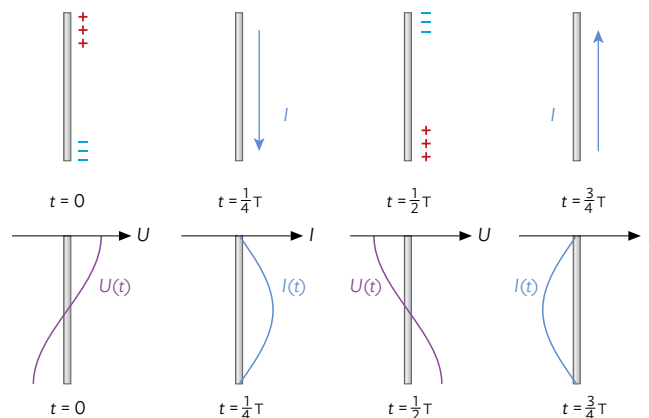
Darstellung der periodischen Ladungsverschiebung

Die Experimente zeigen, dass beim Dipol die Stromstärke in der Mitte am größten ist und zu den Rändern hin abnimmt. Die Spannung dagegen ist an den Rändern am größten und nimmt zur Mitte hin ab. Das lässt sich mit Betrachtungen erklären, wie sie auch schon beim elektromagnetischen Schwingkreis (bestehend aus Kondensator und Spule) in Kapitel 10 des Buchs gemacht wurden:

Wenn zum Zeitpunkt $t = 0$ an einem Ende der maximale Überschuss an negativen Ladungsträgern herrscht, herrscht am anderen Ende ein maximaler Überschuss an positiven Ladungsträgern. Zu dem Zeitpunkt ist die Spannung an den Enden also maximal.

Hier sind dann also die Feldstärke und damit die Spannung (im Vergleich zur Umgebung) maximal. Zur Mitte des Dipols hin gleichen sich die Ladungen aus, weshalb der mittlere Teil ladungsneutral ist.

Die durch den Sendedipol angeregte Schwingung führt allerdings zu einer periodischen Ladungsverschiebung, wodurch ein Stromfluss entsteht, vgl. B6. Nach einer **viertel Periode** erreicht die Stromstärke ihr Maximum, die Spannung ist zu dem Zeitpunkt dagegen 0.

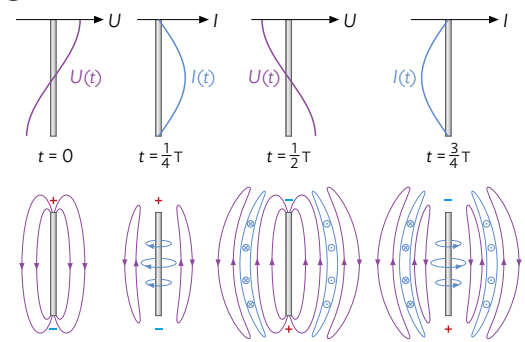


B6 Periodische Änderung der Stromstärke und Spannung im Dipol.

Darstellung der periodischen Feldschwingungen

Wenn sich zum Zeitpunkt $t = 0$ also die Ladungen im Wesentlichen an den Enden des Dipols befinden, ist anfangs das elektrische Feld maximal, die Spannung an den Enden ebenfalls und die Stromstärke ist 0. Nach einer **viertel Periode** ist die Spannung überall 0, dafür hat das magnetische Feld seinen maximalen Wert angenommen (die Stromstärke ist dabei an den Enden des Dipols 0 und hat in der Mitte ihren Maximalwert), vgl. B7.

Im Nahbereich des Dipols führt das dann dazu, dass das elektrische und das magnetische Feld im Dipol gegenphasig schwingen – genau wie beim elektrischen Schwingkreis. Daraus ergibt sich der in B7 dargestellte Verlauf.



B7 Verlauf von elektrischer und magnetischer Feldstärke im Dipol.

Im Fernbereich spielen diese beschriebenen Effekte keine Rolle mehr, es gibt hier keine Phasenverschiebung. Das elektrische bzw. das magnetische Feld entsteht hier nicht durch die Schwingung des Dipols, sondern die Felder erzeugen sich gegenseitig.

Im Nahbereich eines Dipols schwingen elektrisches und magnetisches Feld **gegenphasig** mit einer Phasenverschiebung von $\varphi = \frac{T}{4}$.

Die Schwingungen im Dipol können sowohl über die zeitlich veränderliche **Ladungsverteilung** als auch über die zugehörigen **Feldlinien** anschaulich dargestellt werden.

Arbeitsauftrag

- 1\ Über den Mediencode gelangen Sie zu einer Simulation, mit der Sie das elektromagnetische Feld eines Dipols untersuchen können.
 - a) Betrachten Sie zunächst die zweidimensionale Ansicht und begründen Sie, ob es sich bei den Darstellungen um die Feldlinien des elektrischen oder die des magnetischen Felds handelt.
 - b) Lassen Sie sich in der 3D-Ansicht beide Arten von Feldlinien anzeigen. Begründen Sie physikalisch, dass diese senkrecht aufeinander stehen.
 - c) Skizzieren Sie das Feldlinienbild (\vec{E} - und \vec{B} -Feld) für den Nahbereich, wie es sich nach einer vollständigen Schwingungsperiode ergibt.
- 2\
 - a) Skizzieren Sie den Versuchsaufbau des weiter oben beschriebenen **Experiments 1** zur Untersuchung der Stromstärke im Dipol.
 - b) Begründen Sie, dass anhand der Leuchtstärke der Glühlampe im Experiment aus a) auf den Verlauf der Stromstärke im Dipol geschlossen werden kann.
 - c) Beschreiben Sie ein Experiment, mit dem Sie den Spannungsverlauf im Dipol mithilfe von einer einzelnen Glühlampe statt mit einer Leuchtstoffröhre wie in **Experiment 2** untersuchen können.
 - d) Begründen Sie, dass aus dem Verlauf von Spannung und Stromstärke im Dipol auf den Verlauf des elektrischen bzw. magnetischen Felds des Dipols geschlossen werden kann.
 - e) Skizzieren Sie den zeitlichen Verlauf von Spannung und Stromstärke an einem Ende des Dipols sowie in der Mitte. Wählen Sie dafür eine geeignete Darstellungsform. Dabei sind die Ladungen zum Zeitpunkt $t = 0$ auf die beiden Enden verteilt.



MC 67054-03