

22 Modell der Impulsstromverteilung in einfachen Feldern

Thema

Felder sind physikalische Systeme, d.h. sie können sich in verschiedenen Zuständen befinden, und in jedem Zustand haben die physikalischen Standardgrößen bestimmte Werte. Es ist üblich, in der Vorlesung die Energiedichte elektromagnetischer Felder zu behandeln. Um eine möglichst konkrete Vorstellung oder Anschauung elektromagnetischer Felder zu bekommen, empfiehlt es sich, auch andere Größen anzusprechen, etwa Impuls und Impulsdichte, Entropie, Temperatur.

Es geht hier um die Impulsstromdichte oder mechanische Spannung in Feldern. Die Impulsstromdichte ist eine Tensorgröße; im Fall des elektromagnetischen Feldes nennt man den Tensor „Maxwellscher Spannungstensor“. Er hat eine einfache Gestalt und man kann sich die Spannungsverteilung gut vorstellen, wenn man die Feldstärken kennt. Für ein rein elektrisches oder ein rein magnetisches Feld gilt: In Feldlinienrichtung herrscht Zugspannung; in allen Querrichtungen herrscht Druck, dessen Betrag derselbe ist wie der der Zugspannung. Um die resultierende Spannungsverteilung zu veranschaulichen, realisiert man ein materielles System, das eine ähnliche oder analoge Spannungsverteilung hat, und bei dem die Impulsströme wie in einem Tragwerk „diskretisiert“ sind.

Das Gerät

Wir betrachten zwei Beispiele von Feldern: das eines elektrisch geladenen Stabes, Abb. 1, und das eines elektrischen Leiters, in dem ein elektrischer Strom fließt, Abb. 2. Die Modelle haben einen Durchmesser von etwa 1m.

Dem geladenen Stab, den man sich senkrecht zur Zeichenebene zu denken hat, entspricht das Metallstück in der Mitte der Anordnung.

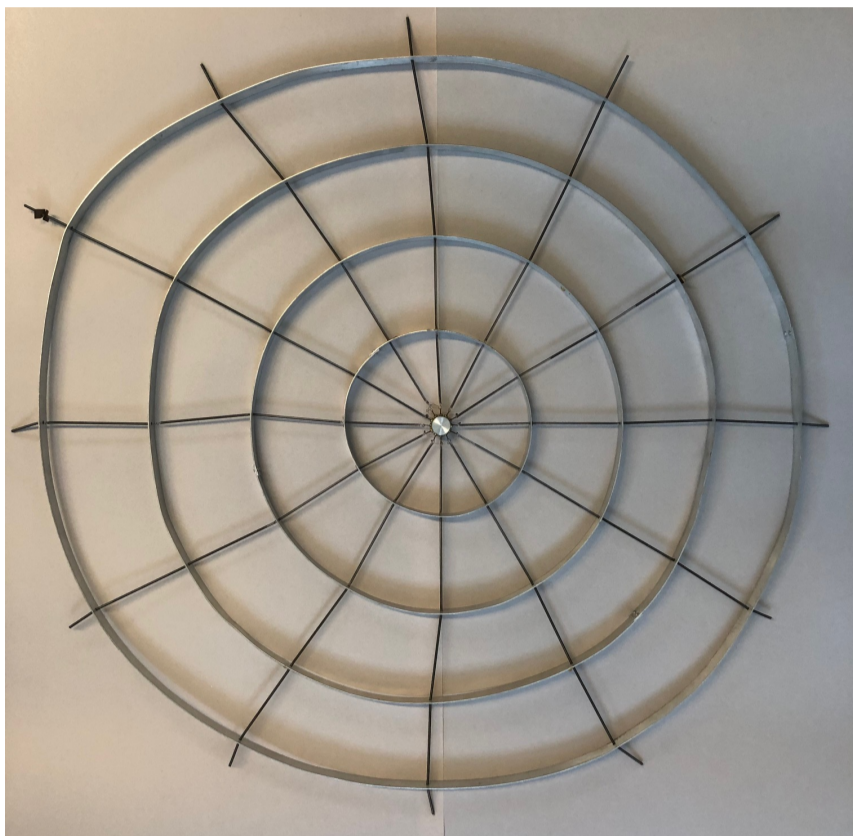


Abb.1. In den radialen Federn herrscht Zugspannung, sie nimmt von innen nach außen schrittweise ab. Die Ringe stehen unter Druckspannung.

Das Feld wird modelliert durch dünne, radial ausgerichtete Federn, die auf Zug belastet sind, sowie steife Metallringe. Die Federn sind an den Ringen befestigt. Sie sind so gespannt, dass der Betrag der Kraft (der Impulsstromstärke) von einer Feder zur nächsten, weiter äußeren, abnimmt. Wenn man längs einer Feder von innen nach außen geht nimmt also der Impulsstrom schrittweise ab; ein Teil des Impulses fließt an den Kreuzungsstellen in den jeweiligen Ring. In mechanischen Spannungen ausgedrückt: Die Federn geben nicht ihre ganze Spannung an die nächst äußere weiter, sondern ziehen den Ring radial nach innen, was sich in einer Druckspannung in der Längsrichtung jedes Ringes äußert.

Wir haben das Modell mit vier Ringen gebaut. Man muss sich vorstellen, dass es nach außen bis ins Unendliche weiter geht.



Abb.2. In den Federn, die „im Kreis herum“ laufen, herrscht Zugspannung, in den radialen Stäben Druckspannung.

Abb. 2 zeigt auf entsprechende Art das magnetische Feld eines Leiters, in dem ein elektrischer Strom fließt. Hier laufen die gespannten Federn „im Kreis herum“, während die radialen Stäbe unter Druckspannung stehen. Es ist übrigens auch das Modell des Gravitationsfeldes eines langen Stabes. Im Gravitationsfeld sind Druck- und Zugspannung im Vergleich zum elektrischen Feld vertauscht: In Feldlinienrichtung herrscht Druck, quer dazu Zug.

Der Versuch

Das Gerät dient nur dazu, eine möglichst konkrete Anschauung von Feldern zu erzeugen – es gibt nichts zu messen oder zu rechnen. Man lässt die Schülerinnen und Schüler an den Federn zupfen, so dass sie spüren, dass die Spannung von innen nach außen abnimmt.

Was man daraus lernen kann

Felder werden oft eingeführt als rein mathematische Gebilde, die es gestatten, Kräfte auf Probeladungen zu berechnen. Das Modell soll dabei helfen zu verstehen, dass Felder real existierende Objekte sind, die die verschiedensten Eigenschaften haben. Insbesondere stehen sie unter mechanischer Spannung, und zwar in Feldlinienrichtung unter Zug-, quer dazu unter Druckspannung (bzw. beim Gravitationsfeld umgekehrt).