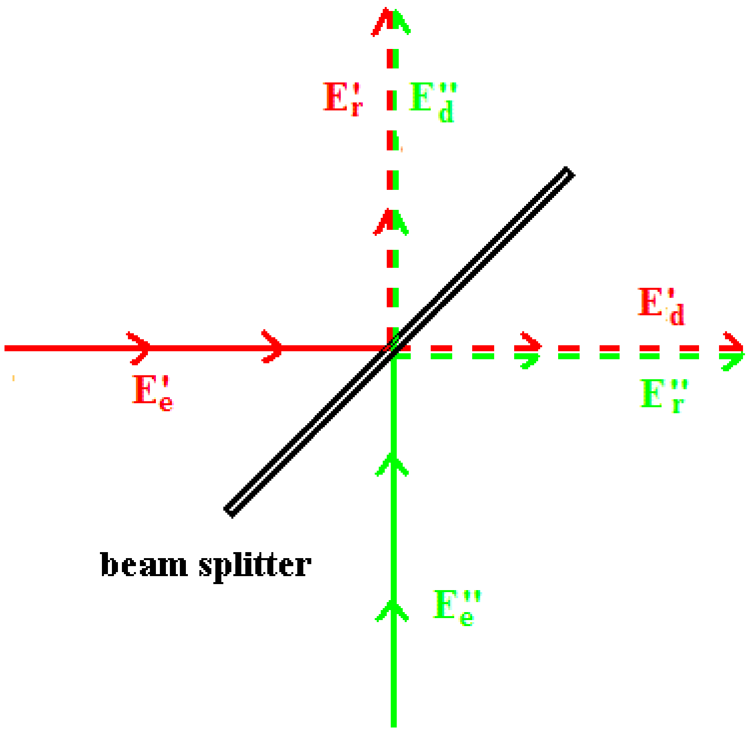
Zu T. Beardens Schwierigkeiten mit dem Energiesatz bei destruktiver Interferenz

von Gerhard W. Bruhn, Technische Universität Darmstadt

Summary

Since T. Bearden had outed his difficulties of thinking concerning the conservation of energy in case of destructive interference, these problems are echoed by para-physicists worldwide. To stop that discussion we give here a detailed analysis of the energy flow along a realistic experimental device, a beam splitter, for the generation of destructive interference. And, as is shown here, there are no problems at all.

Von einigen Internet-bekannten Wirrköpfen, z.B. T. Bearden (dem "Erfinder" der "Scalar Weapons" und von anderem Nonsense (MEG)), wird gelegentlich behauptet, man könne durch destruktive Interferenz elektromagnetischer Wellen den Energiesatz verletzen [2]. Nun ist es, wie wir noch sehen werden, gar nicht so einfach, eine destruktive Interferenz experimentell zu realisieren: Man muss dazu zwei gegenphasige Strahlen gleicher Amplitude überlagern.



Naheliegenderweise kann man dazu versuchen, einen (verlustfreien) halbdurchlässigen Spiegel zu verwenden, den man von beiden Seiten unter 45° Einfallswinkel mit zwei gegenphasig linear polarisierten Laserstrahlen anstrahlt. Die reflektierten bzw. transmittierten Strahlen sollten sich dann auslöschen und damit der Energiesatz bei Strahldurchgang durch den Spiegel verletzt werden: Die Energie der einfallenden Strahlen bliebe dann sozusagen im Spiegel stecken.

Als halbdurchlässigen Strahlteiler verwendet man im Experiment ein sog. λ/4-Plättchen, (das eine gewisse positive Dicke aufweist). Zur Berechnung des Strahlenganges gibt es die experimentell bestens bestätigte Streumatrix-Theorie, deren Ergebnisse, das sind also die Ergebnisse eines durchgeführten Experiments, wir hier angeben: Bei Welle 1 sei $\Phi := \omega(t-x/c)$ für Strahlen in x-Richtung und $\Phi := \omega(t-y/c)$ für Strahlen in y-Richtung. Welle 2 sei um α phasenverschoben gegen Welle 1. Wir setzen dementsprechend $\Psi = \Phi + \alpha$ für Welle 2. Dann hat man:

	eingestrahlt (e)	reflektiert (r)	transmittiert (d)
Welle 1:	$\mathbf{E}'_e = \mathbf{k}\, A \cos\Phi$,	$\mathbf{E}'_r = \mathbf{k}\, 2^{-1/2} A \cos\Phi$,	$\mathbf{E}'_d = \mathbf{k}\, 2^{-1/2} A \sin\Phi$,

Welle 2: $\mathbf{E}''_e = \mathbf{k}\, A \cos\Psi$, $\mathbf{E}''_r = \mathbf{k}\, 2^{-1/2} A \cos\Psi$, $\mathbf{E}''_d = \mathbf{k}\, 2^{-1/2} A \sin\Psi$,

Beim Einfachstrahl **E'** ist die **ein**gestrahlte Energie/Zeiteinheit ~ $\mathbf{E}'^2_e = A^2 \cos^2\Phi$, das ist im Zeitmittel ein Betrag ~ $\frac{1}{2} A^2$. (~ statt = zeigt an, dass gemeinsame konstante Faktoren weggelassen wurden.)
Der reflektierte Strahl trägt eine Energie/Zeiteinheit ~ $\mathbf{E}'^2_r = \frac{1}{2} A^2 \cos^2\Phi$ davon
und der transmittierte Strahl eine Energie/Zeiteinheit ~ $\mathbf{E}'^2_d = \frac{1}{2} A^2 \sin^2\Phi$,
zusammen gibt das den konstanten Betrag ~ $\frac{1}{2} A^2$.

Damit ist der Energiesatz für den Einzelstrahl (im Zeitmittel bei festem x bzw. y) erfüllt.

Dasselbe gilt für den Einzelstrahl **E"**.

Jetzt der Fall der Überlagerung beider Strahlen **E'** und **E"**:

Eingestrahlt wird **im Zeitmittel** eine Energie/Zeiteinheit ~ $\mathbf{E}'^2_e + \mathbf{E}''^2_e = \frac{1}{2} A^2 + \frac{1}{2} A^2 = A^2$

Abgestrahlt wird von $\mathbf{E}'_r + \mathbf{E}''_d$ je Zeiteinheit ein Betrag ~ $(\mathbf{E}'_r + \mathbf{E}''_d)^2 = \mathbf{E}'^2_r + \mathbf{E}''^2_d + 2\, \mathbf{E}'_r \cdot \mathbf{E}''_d$.
Analog wird von $\mathbf{E}'_d + \mathbf{E}''_r$ je Zeiteinheit ein Betrag ~ $(\mathbf{E}'_d + \mathbf{E}''_r)^2 = \mathbf{E}'^2_d + \mathbf{E}''^2_r + 2\, \mathbf{E}'_d \cdot \mathbf{E}''_r$
abgestrahlt. Das gibt auf beiden Seiten zusammen einen Betrag

$$\begin{aligned} &\sim (\mathbf{E}'^2_r + \mathbf{E}'^2_d) + (\mathbf{E}''^2_d + \mathbf{E}''^2_r) + 2\, (\mathbf{E}'_r \cdot \mathbf{E}''_d + \mathbf{E}'_d \cdot \mathbf{E}''_r) \\ &= \tfrac{1}{2} A^2 + \tfrac{1}{2} A^2 + 2 \cdot \tfrac{1}{2} A^2 (\cos\Phi \sin\Psi + \cos\Psi \sin\Phi) \\ &= A^2\, [1 + \sin(\Psi+\Phi)] = A^2\, [1 + \sin(2\Phi+\alpha)] \, . \end{aligned}$$

Aber $\sin(2\Phi+\alpha)$ ist im Zeitmittel Null. Deswegen haben wir im Zeitmittel die Abstrahlung ~ A^2, also gleich der Einstrahlung.

Damit ist der Energiesatz für symmetrische Einstrahlung beliebiger Phasendifferenz α am verlustfreien Strahlteiler mit den nach der Streumatrix-Theorie berechneten Strahldaten erfüllt. Insbesondere sieht man, dass unabhängig von der Phasendifferenz der Einstrahlung beide Ausgänge nur dann (im Zeitmittel) verschwinden, wenn die Amplitude A Null ist, d.h. wenn auch die beiderseitige Einstrahlung Null ist.

Ergebnis: Die verwendete Konfiguration kann, weil der Energiesatz erwiesenermaßen erfüllt ist, nicht zur Erzeugung gleichzeitiger destruktiver Interferenz beider Ausgangsstrahlen verwendet werden.

Das bedeutet, dass die reale Physik des experimentell erforderlichen Strahlteilers, des λ/4-Plättchens, T. Beardens Erwartung von destruktiver Interferenz zunichte macht.

T. Bearden und seine Anhänger dürfte noch interessieren, dass man tatsächlich durch geeignet gewählte Phasendifferenz der beiden Eingangsstrahlen *vollständige destruktive Interferenz* erreichen kann, allerdings . . . :

Für die Phasendifferenz $\alpha = \pi/2$, also bei 90°, erhält man nämlich

$$\begin{aligned} \mathbf{E}'_d + \mathbf{E}''_r &= \mathbf{k}\, 2^{-1/2} A \sin\Phi + \mathbf{k}\, 2^{-1/2} A \cos\Psi \\ &= \mathbf{k}\, 2^{-1/2} A \sin\Phi + \mathbf{k}\, 2^{-1/2} A \cos(\Phi+\pi/2) \\ &= \mathbf{k}\, 2^{-1/2} A \sin\Phi - \mathbf{k}\, 2^{-1/2} A \sin\Phi = \mathbf{0} \, , \end{aligned}$$

das ist **vollständige Auslöschung**, allerdings **nur auf einer Seite**. Die Berechnung des Ausgangsstrahls der anderen Seite ergibt

$$\begin{aligned} \mathbf{E}'_r + \mathbf{E}''_d &= \mathbf{k}\, 2^{-1/2} A \cos\Phi + \mathbf{k}\, 2^{-1/2} A \sin\Psi \\ &= \mathbf{k}\, 2^{-1/2} A \cos\Phi + \mathbf{k}\, 2^{-1/2} A \sin(\Phi+\pi/2) \\ &= \mathbf{k}\, 2^{-1/2} A \cos\Phi + \mathbf{k}\, 2^{-1/2} A \cos\Phi = \mathbf{k}\, 2^{1/2} A \cos\Phi \, . \end{aligned}$$

Wo bleibt die eingestrahlte Energie?

Auf der Seite der destruktiven Interferenz erhält man den Energietransport ~ $(\mathbf{E}'_d + \mathbf{E}''_r)^2 = 0$, also keinen Energietransport.

Der Strahl der anderen Seite transportiert dagegen die Energie ~ $(\mathbf{E}'_r + \mathbf{E}''_d)^2 = 2\ A^2 \cos^2\Phi$,
das ist im Zeitmittel der Betrag ~ A^2 , also die **gesamte eingestrahlte Energie**.

Man erkennt, dass bei *vollständiger destruktiver Interferenz* tatsächlich, anders als von T. Bearden erwartet, *kein Energietransport* stattfindet. Die Energie wird vielmehr auf der abgewandten Seite des Strahlteilers abgestrahlt.

Quellen

[1] Beiträge von Tesladome in
http://de.wikipedia.org/wiki/Diskussion:Skalarwelle

[2] T. Bearden:
http://www.cheniere.org/books/part4/s42.htm