

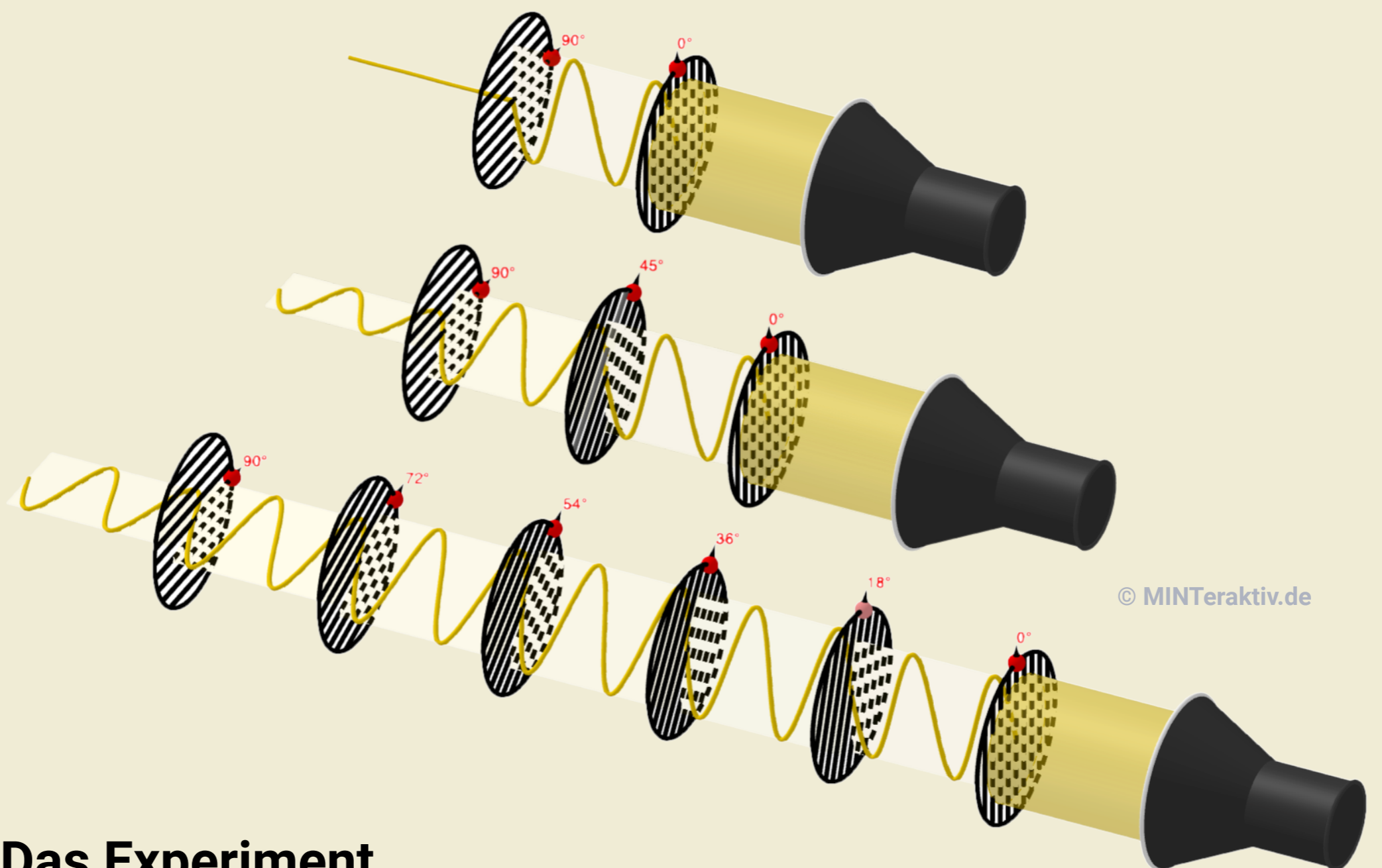
Der inverse Quanten-Zeno-Effekt

Der inverse Quanten-Zeno-Effekt am Beispiel der Polarisation von Licht

Zenon war ein griechischer Philosoph, der um 450 v.Chr. lebte und mehrere Scheinparadoxien zur Bewegung von Objekten entwickelte. Er wollte dadurch beweisen, dass es keine Bewegung geben kann, bzw. dass Bewegung nur etwas Scheinbares sei. In der bekannten Pfeil-Paradoxie argumentiert er: „Wenn ein Pfeil zu jedem Zeitpunkt an einem bestimmten Ort ist, wann bewegt sich der Pfeil dann von einem Ort zu einem anderen?“

Heute gelten die Paradoxa von Zenon als Scheintrugschlüsse. Es gibt jedoch in der Quantentheorie einen Mechanismus, der etwas Ähnliches beschreibt: Wenn ein System genügend rasch hintereinander immer wieder beobachtet wird (wobei „Beobachtung“ heißt, dass dieses System mit einem Messinstrument in Wechselwirkung tritt), kann der Zustand eingefroren werden bzw. kann die natürliche Veränderung eines Systems verlangsamt werden. Dies bezeichnet man als den Quanten-Zeno-Effekt.

Es gibt auch den umgekehrten Fall, den sogenannten inversen Quanten-Zeno-Effekt: Durch die Beobachtung eines Systems bzw. die Wechselwirkung des Systems mit einem Messinstrument kann der Zustand eines Systems gezielt verändert werden. Dieser Effekt lässt sich mit Polarisationsfiltern und einer einfachen Lichtquelle veranschaulichen.



Das Experiment

Stellt man zwei Polarisationsfilter unter orthogonalen Richtungen hintereinander auf, geht kein Licht hindurch: Licht, das am ersten Filter nicht absorbiert wurde, wird am zweiten Filter absorbiert. Schiebt man aber einen dritten Filter mit einer Polarisationsrichtung unter 45 Grad dazwischen, geht ein Teil des Lichts hindurch (hinter dem dritten Filter hat man rund 25% der Intensität nach dem ersten Filter). Schiebt man mehrere Filter zwischen die beiden orthogonalen Filter, sodass sich die Winkel zwischen benachbarten Filtern nur wenig unterscheiden, kann man den Anteil des durchgelassenen Lichts sogar erhöhen. Theoretisch könnte man mit genügend vielen Polarisationsfiltern die Polarisation des gesamten Lichts drehen.

Die Erklärung

Wir stellen uns Licht als eine sogenannte transversale elektromagnetische Welle vor, d. h. eine Welle, bei der die Schwingungen des elektrischen und magnetischen Feldes senkrecht zur Ausbreitungsrichtung erfolgen. Bei polarisiertem Licht denken wir uns die Schwingungen des elektrischen Feldes in derselben Richtung wie die Achse des Polarisationsfilters, der dieses Licht ungedämpft hindurchlässt. Folgt ein zweiter Polarisationsfilter, dessen Achse relativ zu der des ersten Filters etwas gedreht ist (um $\Delta\alpha$), wird nur ein Teil des Lichts hindurchgelassen. Berechnen kann man diesen Anteil durch die Projektion der Polarisationsrichtung auf die Richtung der Filterachse (Gesetz von Malus): Die Intensität des Lichts hinter dem zweiten Filter ist um den Faktor $\cos(\Delta\alpha)^2$ geringer als vor dem Filter. Steht der Filter senkrecht zum ersten, wird nichts durchgelassen, steht er unter 45 Grad zum ersten, wird rund die Hälfte durchgelassen. Je kleiner der Winkel ist, umso mehr wird

durchgelassen. Erhöht man die Anzahl der Filter und verkleinert gleichzeitig den Winkel zwischen den Achsen benachbarter Filter, nimmt die Intensität des durchgelassenen Lichts zu.

Bei einzelnen Photonen betrachtet man anstelle der Intensität die Wahrscheinlichkeit, durchgelassen zu werden (das Photon geht entweder ganz durch oder gar nicht). Hat das Photon den Filter passiert, entspricht seine Polarisation anschließend der Filterachse. Daher kann ein einzelnes Photon mit großer Wahrscheinlichkeit durch mehrere Filter mit kleinen Richtungsunterschieden in der Polarisationsachse treten; es wird aber mit Sicherheit absorbiert, wenn nur zwei benachbarte Filter senkrecht zueinander aufgestellt sind.

Der Effekt zeigt sehr deutlich, dass eine „Messung“ der Polarisation durch einen Polarisationsfilter den Polarisationszustand des Photons bzw. des Lichts ändert und nicht nur misst. Es handelt sich daher weniger um eine Messung im klassischen Sinn, sondern eher um eine Präparation des Polarisationszustands.

