

Arbeitsblatt 2:

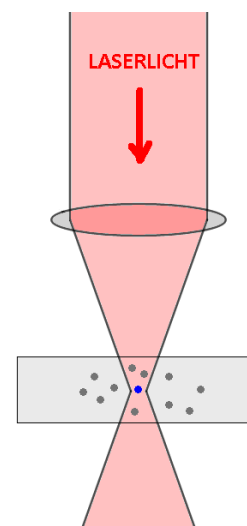
Wie funktioniert eine optische Pinzette?

Die Möglichkeit, mit Laserstrahlen kleine Teilchen wie Bakterien, Zellen oder Zellbestandteile zu fassen, zu positionieren und zu bewegen, spielt in der biologisch-medizinischen Forschung inzwischen eine große Rolle. Die Grundlagen für die Entwicklung dieser optischen Instrumente legte der Experimentalphysiker **Arthur Ashkin** Anfang der 1970er Jahre. Für seine wegbereitenden Forschungsarbeiten wurde ihm im Jahr 2018 der Nobelpreis für Physik verliehen.

Aufgaben:

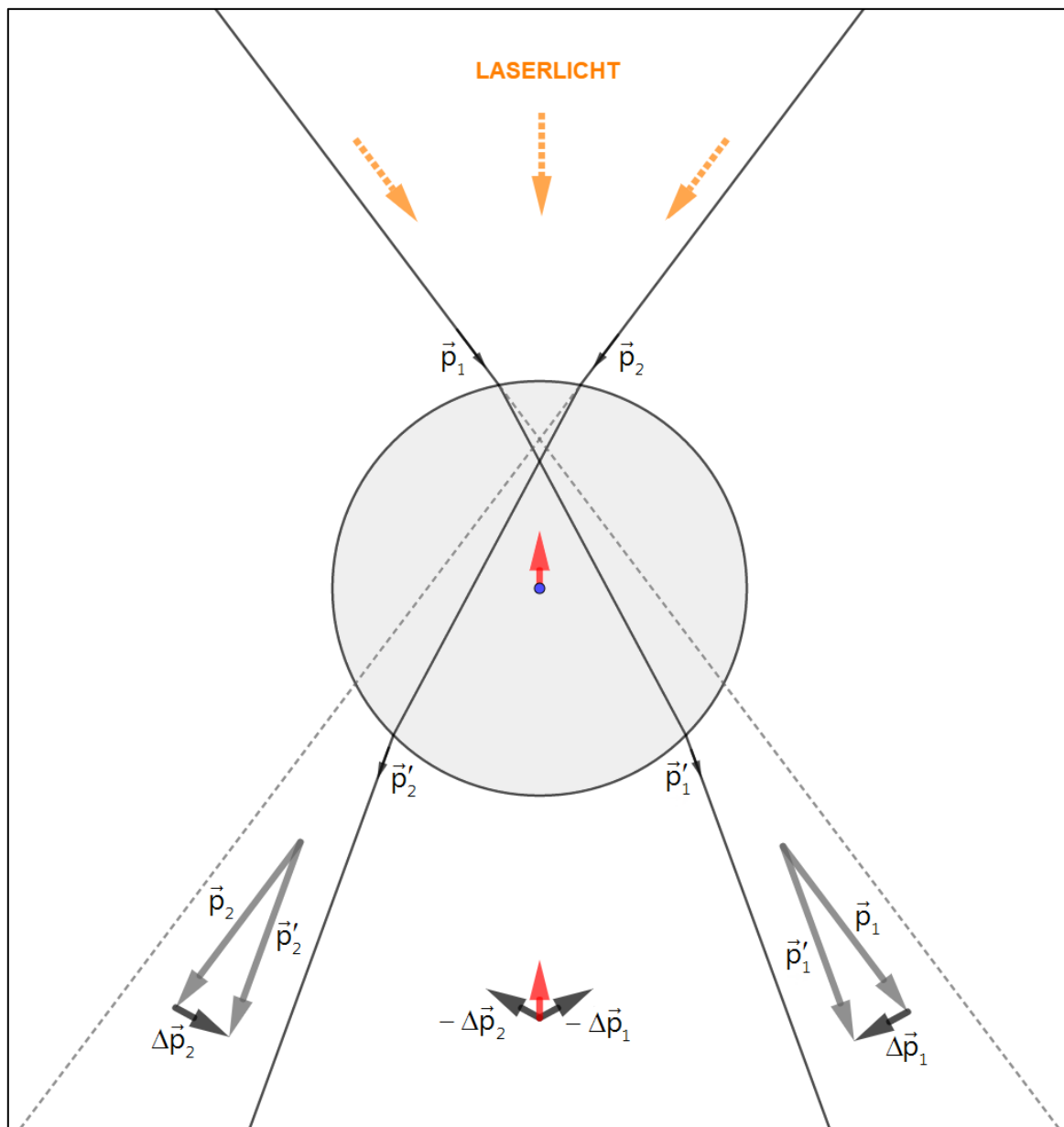
1. Einen kurzen Überblick über die Funktionsweise von Lasern sowie über grundlegende Ideen Arthur Ashkins bietet ein Video und ein informatives Poster.
 - a) Schauen Sie sich das Video „Licht und Optik V: Licht als modernes Werkzeug (2019)“ an, denn es ist als Einstieg in die Thematik bestens geeignet: www.mediatheque.lindau-nobel.org/videos/38182/light-and-optics-iv-en.
 - b) Sehr empfehlenswert ist auch das Poster „Werkzeuge aus Licht“, das zum Physik-Nobelpreis 2018 erstellt wurde: www.mediatheque.lindau-nobel.org/educational/nobel-posters.
2. Im ersten Arbeitsblatt haben Sie gelernt, dass Photonen, die an einer Oberfläche reflektiert werden, einen Impuls auf den Körper übertragen können. Ein Impulsübertrag findet aber auch dann statt, wenn der Lichtstrahl in einen transparenten Körper eindringt und dabei gebrochen wird. Die Richtung des Impulses wird nämlich beim Übergang in das jeweils andere Medium geändert, sodass der durchstrahlte Körper gemäß dem Impulserhaltungssatz die Impulsänderung aufnehmen muss. Voraussetzung dafür ist aber, dass der Laserstrahl stark fokussiert ist, die einzufangenden Teilchen transparent und außerdem optisch dichter als das Umgebungsmedium sind.

Aufgrund der Brechung und der damit verbundenen Richtungsänderung der Photonen ergeben sich Impulsvektoren, die das Teilchen stets in Richtung des Fokus des Laserlichts drücken. Es entsteht eine optische Falle, mit deren Hilfe man die transparenten Teilchen positionieren und halten kann. Das gebündelte Licht wirkt wie eine berührungslose Zange. Daher wird dieses Instrument auch gerne als „**optische Pinzette**“ bezeichnet.



Bildquelle: M. Borchardt

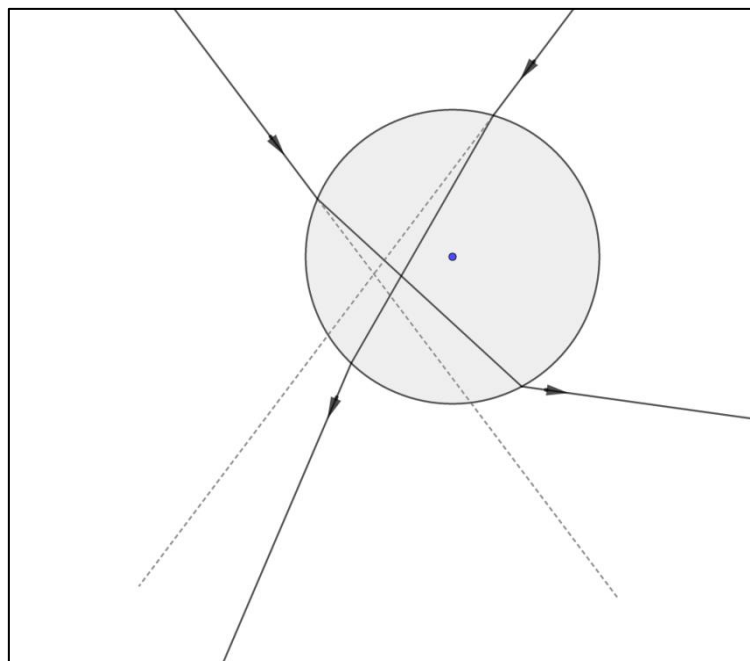
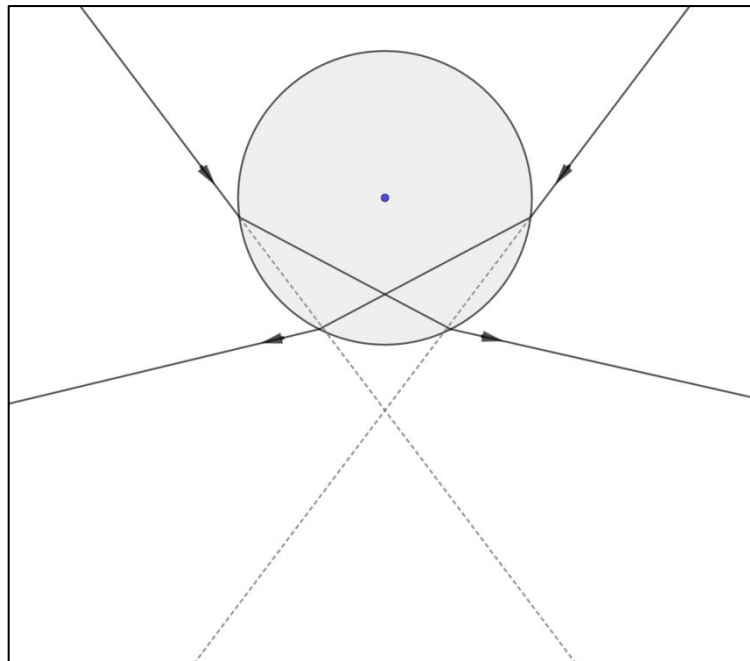
Die Darstellung oben erklärt die Funktionsweise eines solchen „Lichtgreifers“ in einer etwas vereinfachten Form. Man erkennt, wie stark fokussiertes Laserlicht auf ein kleines, kugelförmiges Teilchen trifft. Um die Wirkung der Lichtbrechung auf diesen Körper zu verstehen, werden in der Abbildung unten zwei Lichtstrahlen des Laserstrahls herausgegriffen und einzeln betrachtet. Mithilfe der eingezeichneten Lichtwege lässt sich gut nachvollziehen, dass die Impulsrichtung der eintreffenden Photonen durch die Brechungen im optischen dichteren Medium verändert wird. Dadurch entsteht eine Impulsänderung $\Delta\vec{p}$. Aufgrund des Impulserhaltungssatzes muss der Stoßpartner diesen Impuls aufnehmen, sodass der Impuls $-\Delta\vec{p}$ auf das Teilchen übertragen wird. In der Grafik erkennt man, dass sich insgesamt ein Impuls nach oben ergibt – das Teilchen wird in Richtung des Fokus gedrückt.



Bildquelle: M. Borchardt

Die beiden folgenden Abbildungen stellen ebenfalls Situationen dar, in denen das Teilchen außerhalb des Fokus des Lichts liegt, nämlich einmal deutlich darüber und das andere Mal seitlich nach rechts verschoben. In beiden Fällen sollte sich durch die Lichteinwirkung eine Kraft in Richtung des Fokus ergeben.

Ermitteln Sie, wie in der oberen Abbildung, die Impulse zeichnerisch und weisen Sie nach, dass auf das kugelförmige Teilchen eine Kraft in Richtung des Fokus des Laserstrahls wirkt.



Bildquellen: M. Borchardt