

Photonenimpuls

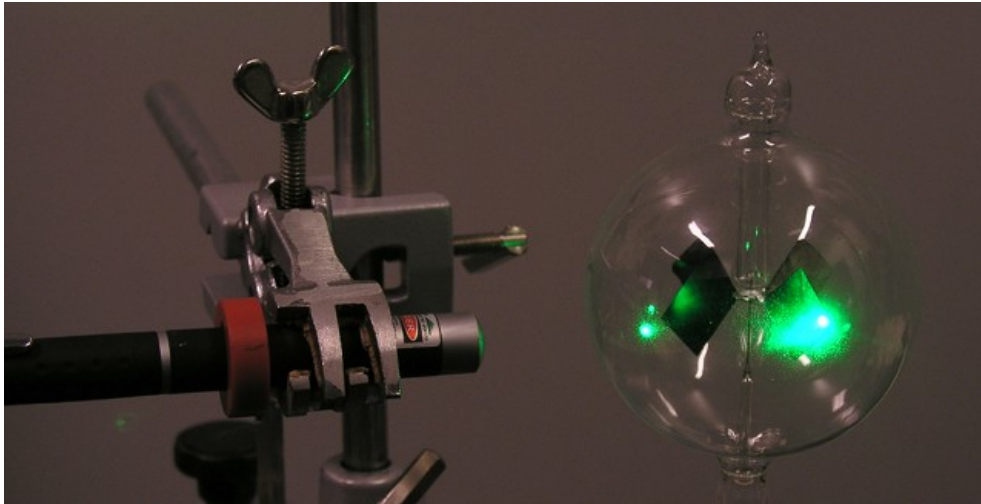


Abb. 1: Versuchsaufbau

Geräteliste:

Halogenlampe, Laserlicht ($>20\text{mW}$), Stative, Solarradiometer/Lichtmühle, Solarradiometer mit Vakuumanschluss, Vakuumpumpe

Versuchsbeschreibung:

Das Solarradiometer wird in die Nähe einer starken Lichtquelle (Halogenlampe) gebracht, die Flügel fangen an sich zu drehen wobei die verspiegelte Seite der Blätter in Drehrichtung zeigt. Die Hörsaalbeleuchtung selber reicht oftmals schon aus damit sich eine Drehung in dieser Richtung einstellt.

Wird der Hörsaal verdunkelt hört die Drehung auf nun kann mit Laserlicht hoher Intensität die Drehzahl noch gesteigert werden.

Bei gezielter Bestrahlung der verspiegelten Seite hört die Drehung allerdings auf und kehrt sich sogar um.

Der Einfluss der Restluftmenge im Kolben kann mit der Vakuumpumpe demonstriert werden. In einem nicht evakuierten Kolben stellt sich keine Drehung ein. Wird der Kolben gepumpt, reagiert als erstes die Drehung bei der die verspiegelte Seite in Drehrichtung zeigt und hört bei noch niedrigeren Drücken wieder auf. Dafür kann in einem gut evakuierten Kolben die Drehbewegung in mit der geschwärzten Seite vorne leichter erregt werden.

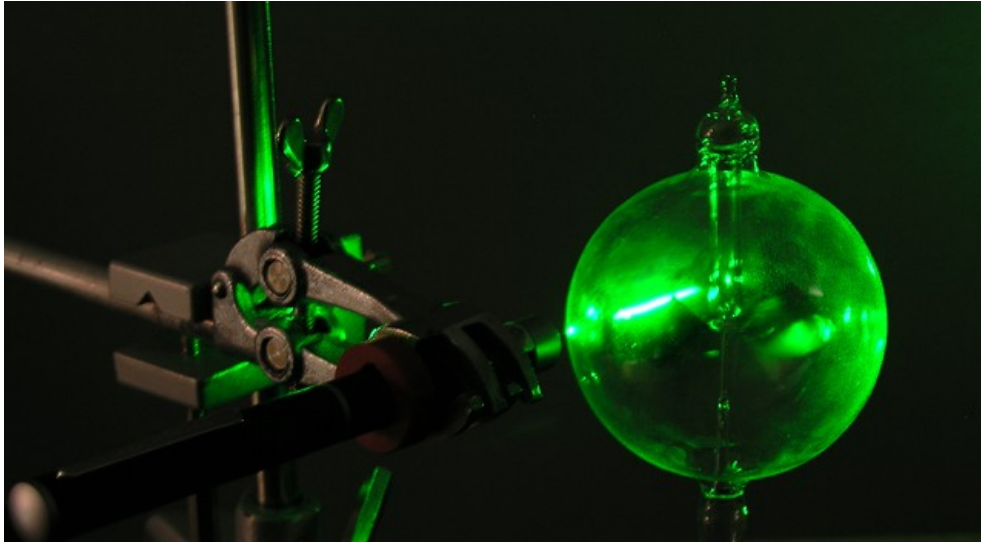


Abb. 2: Hohe Drehzahl bei Laserlicht und gezielter Beleuchtung der geschwärzten Seite

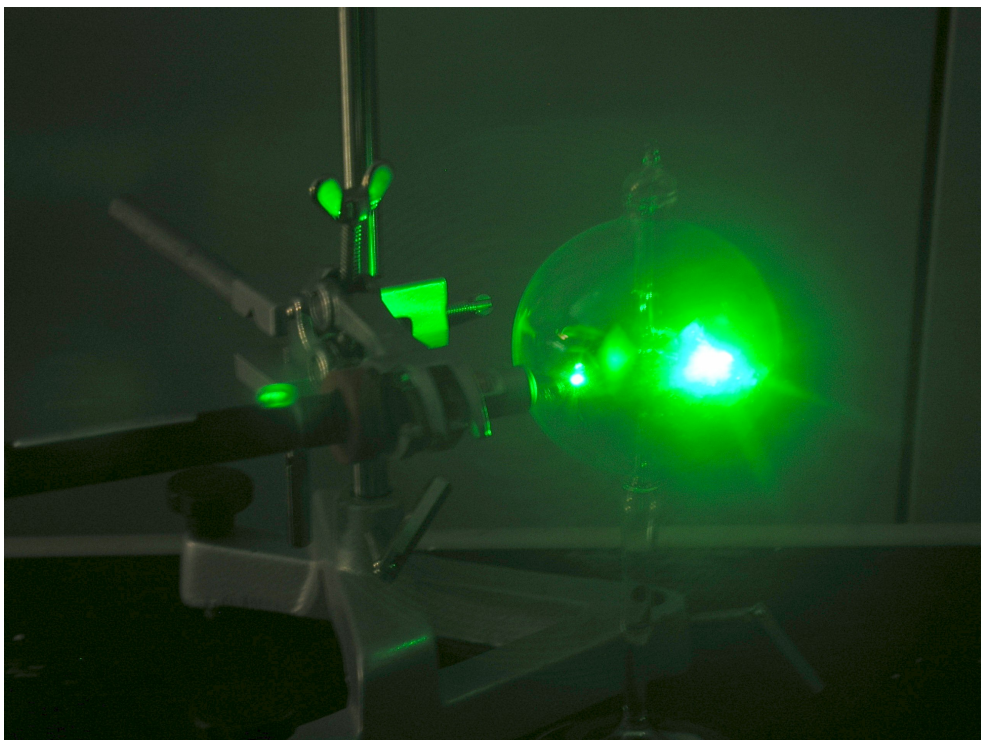


Abb. 3: Beleuchtung der reflektierenden Seite (Laserschutz beachten!)

Bemerkungen:

Licht der Wellenlänge λ trägt den Impuls $p = h/\lambda$. Die Beschreibung von elektromagnetischen Wellen beinhaltet die Verknüpfung der Wellenlänge (oder Frequenz) mit einem Impuls. Wird das Licht als klassisches Teilchen angesehen, genügt die Erklärung des Antriebs dem Bild einer Platte auf die mit Bällen geworfen wird. Für die geschwärzte Seite wird ein Impulsübertrag von h/λ durch Absorption

der Lichtenergie erwartet während für die reflektierende Seite ein Übertrag von $2h/\lambda$ gilt. Dieses reicht aber nur zum Antreiben, wenn das Flügelrad sehr gut gelagert ist, und das Vakuum gut genug ist denn:

Durch Absorption findet eine Erwärmung statt die für die geschwärzte Seite größer ist und die im Kolben befindlichen Gasmoleküle an dieser Seite durch erhöhte kinetische Energie stärker beschleunigt. Die Stöße dieser Gasmoleküle sind aufgrund ihrer Masse wesentlich Energie(Impuls-)reicher als die Impulse der Photonen, die auf die reflektierende Seite fallen.

Als kleine Einschätzung kann die mittlere kinetische Energie je Teilchen E bei Raumtemperatur T herangezogen werden $E = \frac{3}{2}kT$ (k : Boltzmannkonstante), die in diesem Fall ca. $4 \cdot 10^{-21} \text{ J}$ oder $2 \cdot 10^{-3} \text{ eV}$ beträgt. Damit ergibt sich ein mittlerer Teilchenimpuls für ein Stickstoffmolekül der Masse $m_s \approx 4,65 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$ zu $p = \sqrt{2mE} \approx 1,9 \cdot 10^{-23} \text{ kg m/s}$. Der Impuls von Laserphotonen der Wellenlänge $\lambda = 530 \text{ nm}$ beträgt mit dem Planckschen Wirkungsquantum h : $p = h/\lambda \approx 1,25 \cdot 10^{-27} \text{ kg m/s}$ und ist somit schon mal um Faktor 10^4 kleiner.

Zeitaufwand zum Vorführen min. 10 min, da die Vakuumpumpe länger in Betrieb sein sollte.

Zum Schutz der Zuhörerschaft befindet sich der gesamte Aufbau bei eingeschaltetem Laser hinter Schutzwänden und die Beobachtung findet über Kamera statt.