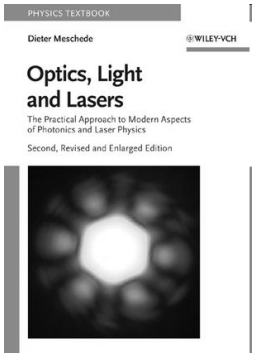
Master‘s Program in Medical Physics

Basics of LASER

Dr. Melanie Heilmann

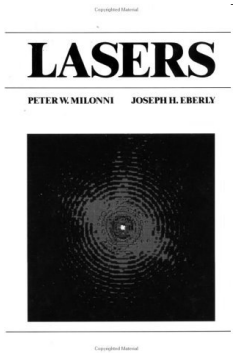
Chair in Computer Assisted Clinical Medicine
Faculty of Medicine Mannheim
University of Heidelberg
Theodor-Kutzer-Ufer 1-3
D-68167 Mannheim, Germany
Melanie.Heilmann@MedMa.Uni-Heidelberg.de
www.ma.uni-heidelberg.de/inst/cbtm/ckm/

Literature



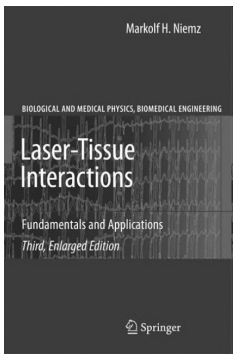
Optics, Light and Lasers: The Practical Approach to Modern Aspects of Photonics and Laser Physics, 2nd, Revised and Enlarged Edition
Dieter Meschede

ISBN: 978-3-527-40628-9
Paperback
559 pages
January 2007



Milonni, Peter W. / Eberly, Joseph H.
Laser Physics

2. Auflage - Juli 2009
125,- Euro
2009. 848 Seiten, Hardcover
- Fachbuch -
ISBN-10: 0-470-38771-8
ISBN-13: 978-0-470-38771-9 - John Wiley & Sons



ISBN: 3540721916
EAN: 9783540721918
Libri: 4195604

Springer-Verlag GmbH
August 2007 - kartoniert - XVI308

Fundamentals and Applications.
'Biological and Medical Physics, Biomedical Engineering'.
3rd enlarged ed. 2003. 2nd printing.
175 illus. , 33 tab.
Sprache: Englisch.

What do you know about LASER ?

Acronym

LASER

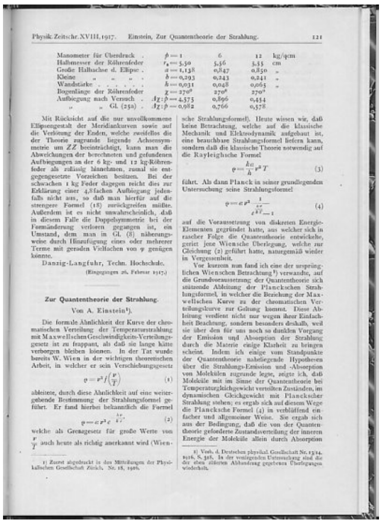
Light **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation

RUPRECHT-KARLS-
UNIVERSITY HEIDELBERG

Computer Assisted Clinical Medicine
Dr. Melanie Heilmann

11/12/2009 | Page 5

1916 Discovery of stimulated emission



Physik. Zeitschr. XVIII, 1917. Einstein, Zur Quantentheorie der Strahlung. 121

Manometer für Überdruck .	$p = 1$	6	12	kg/qcm
Halbmesser der Röhrenfeder	$r_0 = 5{,}50$	5,56	5,55	cm
Große Halbachse d. Ellipse .	$a = 1{,}138$	0,847	0,850	„
Kleine „ „ „ .	$b = 0{,}293$	0,243	0,241	„
Wandstärke	$h = 0{,}031$	0,048	0,065	„
Bogenlänge der Röhrenfeder	$\chi = 270^0$	270^0	270^0	
Aufbiegung nach Versuch .	$\Delta\chi : p = 4{,}575$	0,896	0,454	
„ „ Gl. (25a) .	$\Delta\chi : p = 0{,}982$	0,766	0,578	

Mit Rücksicht auf die nur unvollkommene Ellipsengestalt der Meridiankurven sowie auf die Verlötung der Enden, welche zweifellos die der Theorie zugrunde liegende Achsensymmetrie um ZZ beeinträchtigt, kann man die Abweichungen der berechneten und gefundenen Aufbiegungen an der 6 kg- und 12 kg-Röhrenfeder als zulässig hinnehmen, zumal sie entgegengesetzte Vorzeichen besitzen. Bei der schwachen 1 kg Feder dagegen reicht dies zur Erklärung einer 4,8fachen Aufbiegung jedenfalls nicht aus, so daß man hierfür auf die strengere Formel (18) zurückgreifen müßte. Außerdem ist es nicht unwahrscheinlich, daß in diesem Falle die Doppelsymmetrie bei der Formänderung verloren gegangen ist, ein Umstand, dem man in Gl. (8) näherungsweise durch Hinzufügung eines oder mehrerer Terme mit geraden Vielfachen von φ genügen könnte.

Danzig-Langfuhr, Techn. Hochschule.

(Eingegangen 26. Februar 1917.)

Zur Quantentheorie der Strahlung.

Von A. Einstein[1]).

Die formale Ähnlichkeit der Kurve der chromatischen Verteilung der Temperaturstrahlung mit Maxwellschen Geschwindigkeits-Verteilungsgesetz ist zu frappant, als daß sie lange hätte verborgen bleiben können. In der Tat wurde bereits W. Wien in der wichtigen theoretischen Arbeit, in welcher er sein Verschiebungsgesetz

$$\varrho = \nu^3 f\left(\frac{\nu}{T}\right) \qquad (1)$$

ableitete, durch diese Ähnlichkeit auf eine weitergehende Bestimmung der Strahlungsformel geführt. Er fand hierbei bekanntlich die Formel

$$\varrho = \alpha \nu^3 e^{-\frac{h\nu}{kT}}, \qquad (2)$$

welche als Grenzgesetz für große Werte von $\frac{\nu}{T}$ auch heute als richtig anerkannt wird (Wiensche Strahlungsformel). Heute wissen wir, daß keine Betrachtung, welche auf die klassische Mechanik und Elektrodynamik aufgebaut ist, eine brauchbare Strahlungsformel liefern kann, sondern daß die klassische Theorie notwendig auf die Rayleighsche Formel

$$\varrho = \frac{k\alpha}{h} \nu^2 T \qquad (3)$$

führt. Als dann Planck in seiner grundlegenden Untersuchung seine Strahlungsformel

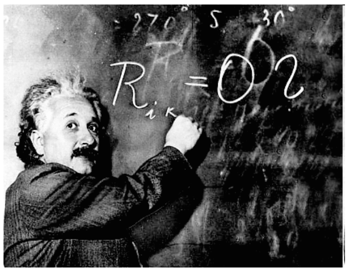
$$\varrho = \alpha \nu^3 \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \qquad (4)$$

auf die Voraussetzung von diskreten Energie-Elementen gegründet hatte, aus welcher sich in rascher Folge die Quantentheorie entwickelte, geriet jene Wiensche Überlegung, welche zur Gleichung (2) geführt hatte, naturgemäß wieder in Vergessenheit.

Vor kurzem nun fand ich eine der ursprünglichen Wienschen Betrachtung[2]) verwandte, auf die Grundvoraussetzung der Quantentheorie sich stützende Ableitung der Planckschen Strahlungsformel, in welcher die Beziehung der Maxwellschen Kurve zu der chromatischen Verteilungskurve zur Geltung kommt. Diese Ableitung verdient nicht nur wegen ihrer Einfachheit Beachtung, sondern besonders deshalb, weil sie über den für uns noch so dunklen Vorgang der Emission und Absorption der Strahlung durch die Materie einige Klarheit zu bringen scheint. Indem ich einige vom Standpunkte der Quantentheorie naheliegende Hypothesen über die Strahlungs-Emission und -Absorption von Molekülen zugrunde legte, zeigte ich, daß Moleküle mit im Sinne der Quantentheorie bei Temperaturgleichgewicht verteilten Zuständen, im dynamischen Gleichgewicht mit Planckscher Strahlung stehen; es ergab sich auf diesem Wege die Plancksche Formel (4) in verblüffend einfacher und allgemeiner Weise. Sie ergab sich aus der Bedingung, daß die von der Quantentheorie geforderte Zustandsverteilung der inneren Energie der Moleküle allein durch Absorption

1) Zuerst abgedruckt in den Mitteilungen der Physikalischen Gesellschaft Zürich. Nr. 18, 1916.

2) Verh. d. Deutschen physikal. Gesellschaft Nr. 13/14, 1916, S. 318. In der vorliegenden Untersuchung sind die der eben zitierten Abhandlung gegebenen Überlegungen wiederholt.



Albert EINSTEIN

* 14.3.1879, Ulm / Germany

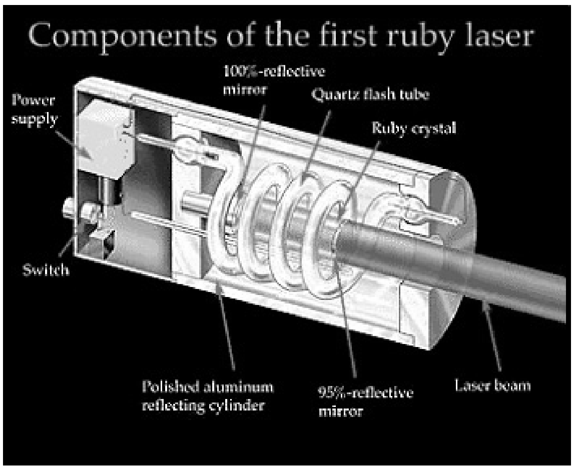
† 18.4.1955, Princeton / USA

RUPRECHT-KARLS-
UNIVERSITY HEIDELBERG

Computer Assisted Clinical Medicine
Dr. Melanie Heilmann

11/12/2009 | Page 6

1960 First LASER constructed



Theodore Harold
MAIMAN

* 11.7.1927, Los Angeles / USA

† 5.5.2007, Vancouver / Canada

1964 Nobel Prize in Physics

„for fundamental work in the field of quantum electronics, which has led to the construction of oscillators and amplifiers based on the maser-laser principle“

Charles Hard
TOWNES

* 28.7.1915, Greenville / USA

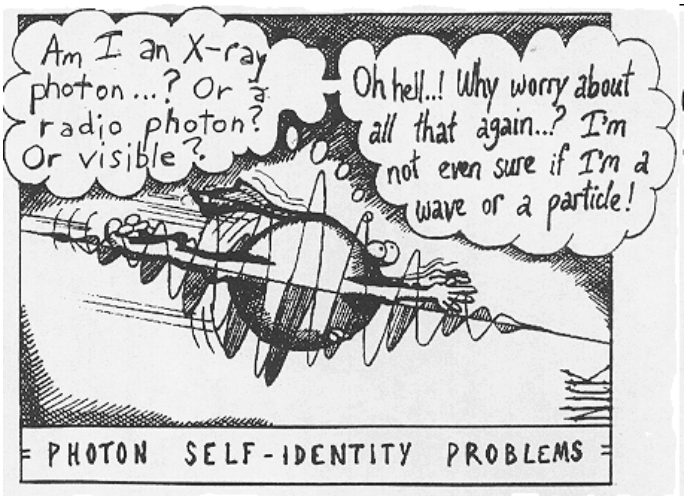
Nikolay Gennadiyevich
BASOV

•14.12.1922, Usman / Russia
† 1.7.2001, Russia

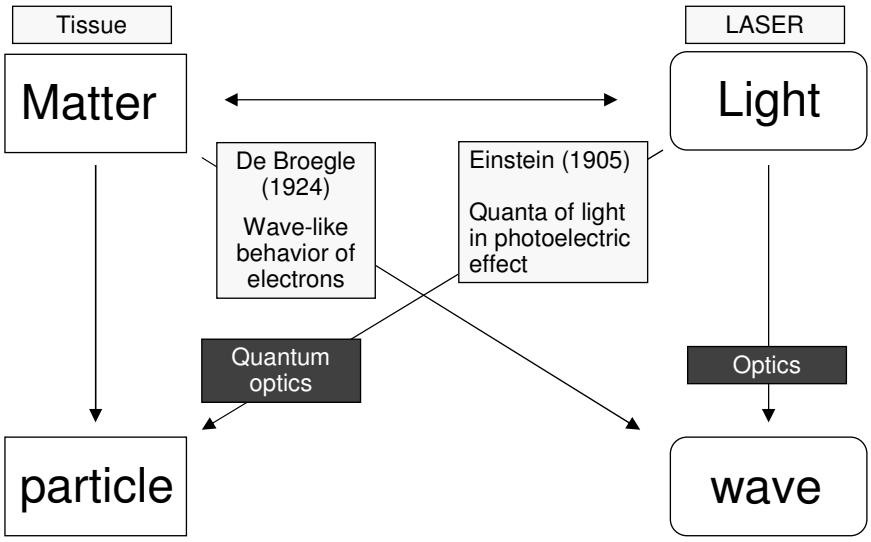
Aleksandr Mikhailovich
PROKHOROV

•11.7.1916, Australia
† 8.1.2002, Moscow / Russia

Physical basics



Wave – Particle Dualism



Terminology

Light quanta

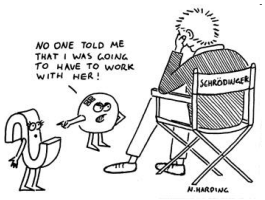
Photons (γ)

$E = h\nu$

E: energy

h: Planck's constant

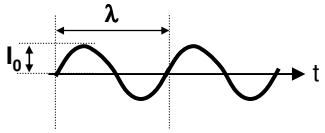
$E = hc / \lambda$



ν: frequency

El.magn.waves

$\psi(t)=I_0 \cdot e^{i\phi}$

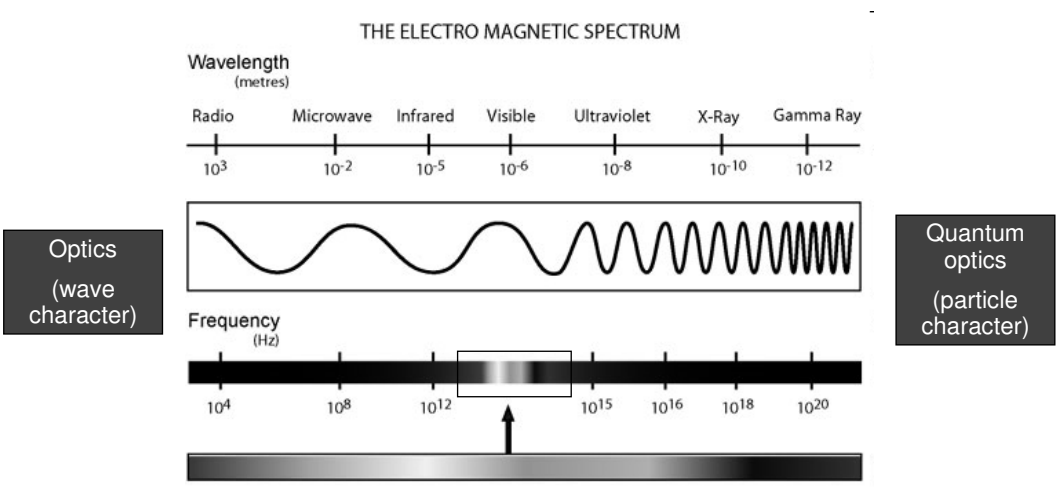


$\lambda = c / \nu$

$c = 3 \cdot 10^8$ m/s (light velocity)

λ: wave length

Electromagnetic spectrum



Optics (wave character)

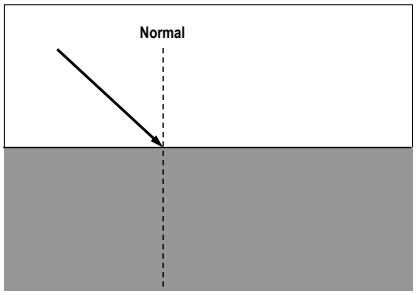
Quantum optics (particle character)

Visible spectrum: $\lambda = 400 – 700$ nm, $\nu = 7{,}5 – 4 \cdot 10^{14}$ Hz

Geometric optics

At a planar dielectric surface

- (Total) Reflection
- Transmission
- Refraction

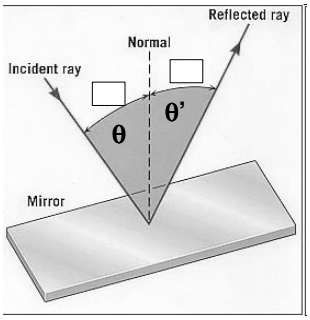


media: air, water, glass, …

dielectric: insulating, non-conducting

Reflection

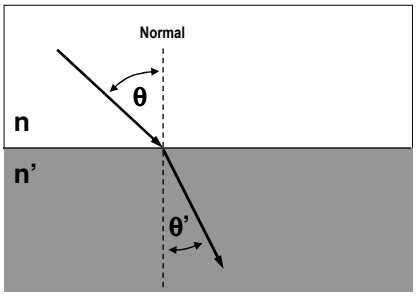
angle of incidence = angle of reflection



$$\theta = \theta'$$

Refraction

Light transmission



$$n \cdot \sin(\theta) = n' \cdot \sin(\theta')$$

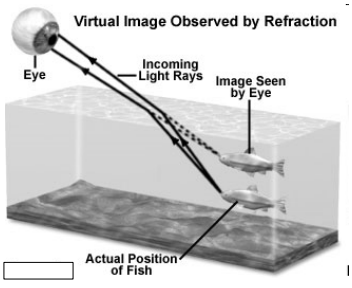
refractive index n

vacuum: 1

air: 1.0003

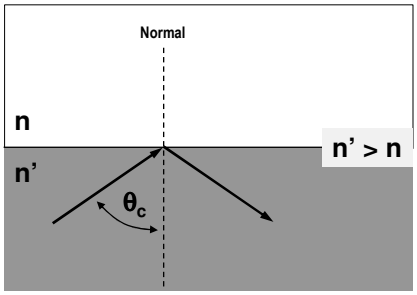
water: 1.333

crown glass: 1.5



Total reflection

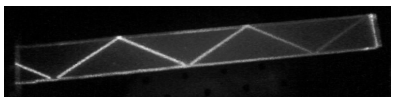
$\theta > \theta_c$



Critical angle: $\theta_c = \arcsin\left(\frac{n}{n'}\right)$

Examples:

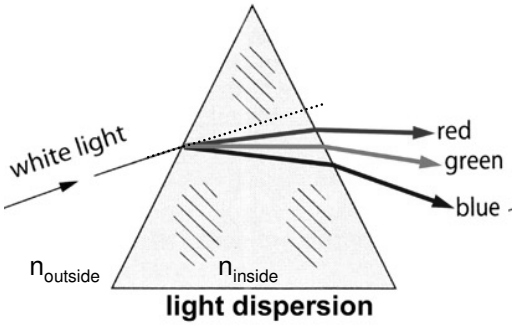
Water tank



Fiber optic cable

Dispersion

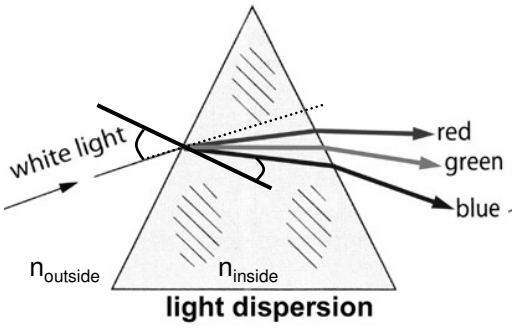
- refractive index is wavelength dependent: n(λ)



$n_{outside}$ higher or lower than n_{inside} ?

Dispersion

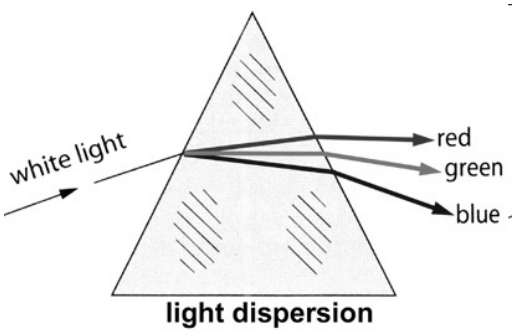
- refractive index is wavelength dependent: n(λ)



$n_{outside}$ higher or lower than n_{inside} ?

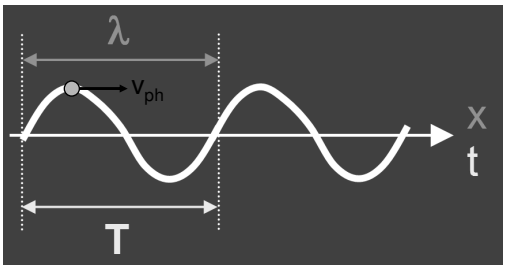
Dispersion

- refractive index is wavelength dependent: n(λ)
- phase velocity ≠ group velocity: Dispersion



Wave optics

Wavelength



Period

Frequency: $\nu = \frac{1}{T}$

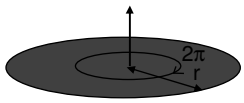
Phase velocity
(EM radiation: light velocity c = $3 \cdot 10^8$ m/s)

$$v_{ph} = \frac{\lambda}{T} = \begin{cases} c & \text{vacuum} \\ c/n(\lambda) & \text{media} \end{cases}$$

Angular frequency:
(velocity in radians per second)

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot \nu$$

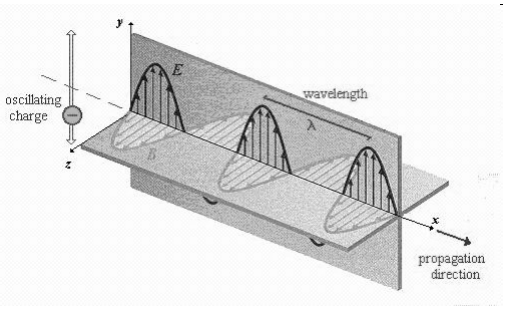
$360° \triangleq 2\pi$



Light: An Electromagnetic (EM) Field

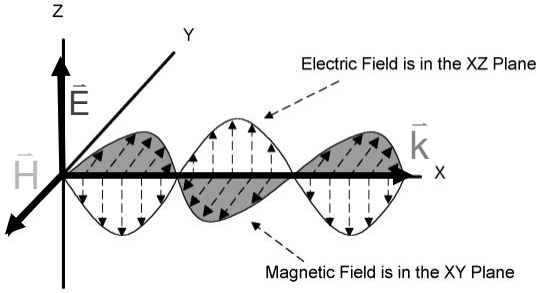
EM Fields:

- defined by two vector fields:
  - Electric Field $\vec{E}(\vec{r},t)$
  - Magnetic Field $\vec{H}(\vec{r},t)$
- caused by
  - Electric charges
  - Electric currents



EM wave

- Electric Field $\vec{E}(\vec{r},t)$
- Magnetic Field $\vec{H}(\vec{r},t)$
- Wave vector $\vec{k}(\vec{r},t)$



In dielectric / magnetized media

Electric displacement field:

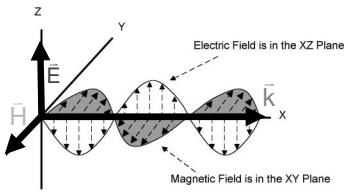
$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$$

Electric field — Polarization

Magnetic induction:

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \vec{M}$$

Magnetic field — Magnetization



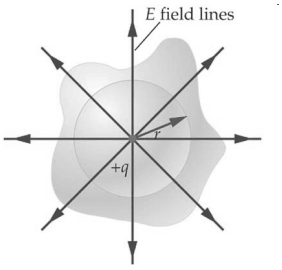
Maxwell's equations (static fields)

1. Charges are the sources of electric fields

$$\nabla \vec{D} = \rho$$

$$\oiint_{\partial V} \vec{D} \cdot dA = q(V)$$

Divergence of electric field is affected by charges



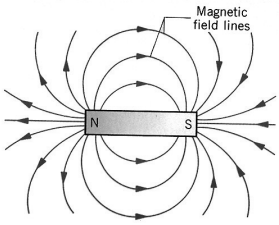
2. Magnetic monopols do not exist

$$\nabla \vec{B} = 0$$

$$\oiint_{\partial V} \vec{B} \cdot dA = 0$$

Opposite magnetic field divergences are created from magnetic dipoles.

In the absence of magnetic monopoles, divergence of the magnetic field lines is always zero.

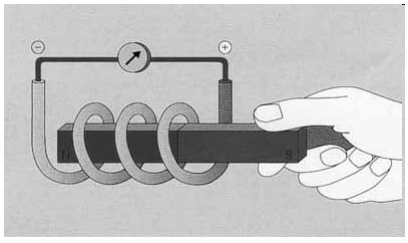


Maxwell's equations (dynamic fields)

3. A changing magnetic field creates an electric field

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

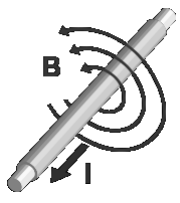
$$\oint_{\partial S} \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{\partial \Phi_{B,S}}{\partial t}$$



4. Magnetic fields are created by electrical current and by changing electric fields

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J}_f + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\oint_{\partial S} \vec{H} \cdot d\vec{l} = I_{f,S} + \frac{\partial \Phi_{D,S}}{\partial t}$$

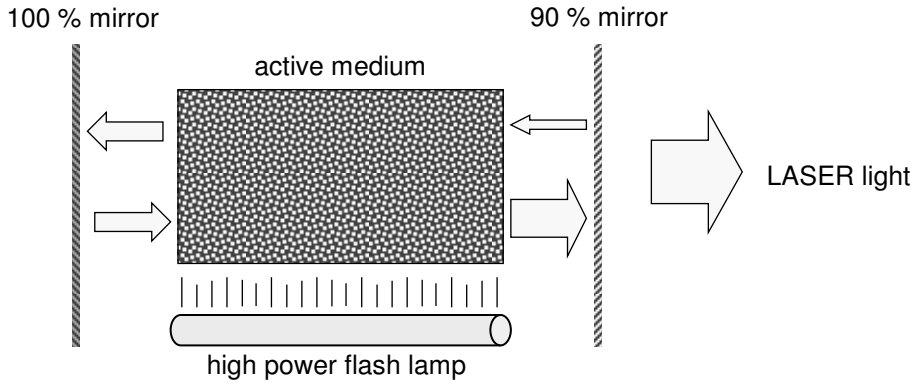


Acronym

LASER

Light **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation

LASER principle



Next Lecture

2. LASER Systems I