

## Übungsaufgaben Lasertechnik (V2023)

Die jeweilige Bewertung am Ende der Aufgabe bedeutet:

- ++ sehr relevant für die Klausur
- + geeignet für die Klausur
- nicht sehr geeignet für die Klausur

0.1) Mit welcher Frequenz schwingt das E-Feld folgender elektromagnetischer Wellen im Vakuum?

- a. Lichtwelle eines Lasers der Wellenlänge = 600 nm
- b. Lichtwelle UV-Licht der Wellenlänge = 300 nm
- c. Radiowelle der Wellenlänge = 50 m
- d. Gamma-Strahlung Wellenlänge = der  $10^{-12}$  m

(++)

0.2) Wieviel % der Vakuum-Lichtgeschwindigkeit erreicht die Ausbreitungsgeschwindigkeit eines Lichtstrahls in einem Glaswürfel mit dem Brechungsindex  $n = 1,5$ ?

- a. Lichtgeschwindigkeit in Glas?
- b. Wie ist die zugehörige Permittivitätszahl  $\epsilon_r$ ?

(++)

0.3) Zeigen Sie, dass Zahlen und Einheiten in der Formel

$$c_{\text{vakuum}} = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}} = 2,99792458 * 10^8 \text{ m/s stimmen.}$$

$$(\epsilon_0 = 8,854 * 10^{-12} \text{ As V}^{-1}\text{m}^{-1}; \mu_0 = 1,256 * 10^{-6} \text{ N A}^{-2})$$

(+)

0.4) Checken Sie Einheit für die Intensität  $I$  in der Formel  $I = \frac{1}{2} c \epsilon_0 E_0^2$

$$\text{Mit } c = 2,998 * 10^8 \text{ m/s und } \epsilon_0 = 8,854 * 10^{-12} \text{ As V}^{-1}\text{m}^{-1}$$

Tipp: Einheit von  $E_0$ ? Denken Sie an den Plattenkondensator

(+)

0.5) Wie groß ist die elektrische Feldstärke eines Laserstrahls mit der Leistung  $P = 10 \text{ mW}$  und einer Fokusfläche von  $a = 5 \text{ mm}^2$ ?

$$\text{(mit } I = \frac{1}{2} c \epsilon_0 E_0^2 \text{ ; } c = 2,998 * 10^8 \text{ m/s und } \epsilon_0 = 8,854 * 10^{-12} \text{ As V}^{-1}\text{m}^{-1})$$

(+)

- 0.6) Der Helium-Neon-Laser liefert Laserlicht der Wellenlänge  $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ .
- A) Bestimmen Sie die zugehörige Lichtfrequenz.
  - B) Durch den Effekt der „Dopplerverbreiterung“ (dazu später mehr) ergibt sich eine Linienbreite von  $\Delta f \sim 1,5 \text{ GHz}$ .
  - C) Was bedeutet dieses (in %) in Relation zur Grundfrequenz?
  - D) Welchem  $\Delta\lambda$  würde das entsprechen?
- (++)

1.) Zwei identische Ladungen  $q = 2,8 \cdot 10^{-7} \text{ C}$  und Masse  $m = 1 \text{ g}$  hängen am gleichen Aufhängungspunkt an Fäden der Länge  $l = 20 \text{ cm}$ . Wie groß ist im Gleichgewichtszustand der Winkel des Fadens mit der Vertikalen?

[Lösung:  $43,5^\circ$ ] (+)

2.) Zwei Punktladungen von  $2 \cdot 10^{-7} \text{ C}$  und  $-3 \cdot 10^{-7} \text{ C}$  sind  $0,1 \text{ m}$  voneinander entfernt. Wo auf der Verbindungslinie ist das elektrische Feld Null?

[Lösung:  $0,4449 \text{ m}$ ] (+)

3.) Berechnen Sie die elektrische Abstoßungskraft zwischen zwei Protonen in einem Wasserstoffmolekül. Ihr Abstand beträgt  $0,74 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ . Geben Sie das Verhältnis dieser Kraft zu der anziehenden Gravitationskraft an.

[Lösung:  $4,20 \cdot 10^{-8} \text{ N}$ ,  $-1,24 \cdot 10^{36}$ ] (+)

4.) Licht von einer Wellenlänge von  $300 \text{ nm}$  falle auf Kalium. Die emittierenden Elektronen haben eine maximale kinetische Energie von  $2,03 \text{ eV}$ . a) Wie groß ist die Energie der einfallenden Photonen? b) Wie groß ist die Austrittsarbeit für Kalium? c) Wie groß ist die maximale Bremsspannung, wenn das einfallende Licht eine Wellenlänge von  $430 \text{ nm}$  besitzt? d) Wie groß ist die Grenzwellenlänge des Photoeffekts für Kalium?

[Lösung:  $4,14 \text{ eV}$  ;  $2,11 \text{ eV}$  ;  $0,78 \text{ V}$  ;  $589 \text{ nm}$ ] (++)

5.) Die Grenzwellenlänge des Photoeffekts für Silber liegt bei  $262 \text{ nm}$ .

a) Berechnen Sie die Austrittsarbeit für Silber.

b) Berechnen Sie die maximale Bremsspannung für einfallende Strahlung der Wellenlänge  $175 \text{ nm}$ .

[Lösung:  $4,74 \text{ eV}$  ;  $2,36 \text{ V}$ ] (++)

6.) Können Photoelektronen aus einer Kupferoberfläche, deren Austrittsarbeit  $4,4 \text{ eV}$  beträgt, emittiert werden, wenn sie mit sichtbarem Licht bestrahlt wird?

[Lösung: -] (++)

7.) Mit welcher Geschwindigkeit werden die schnellsten Photoelektronen aus einer Oberfläche emittiert, deren Schwellenwellenlänge 600 nm beträgt, wenn die Oberfläche mit Licht der Wellenlänge 400 nm bestrahlt wird?

[Lösung:  $6,03 \cdot 10^5$  m/s] (++)

8.) Durch ultraviolettes Licht der Wellenlänge 150 nm werden Elektronen mit einer maximalen kinetischen Energie von 3 eV aus einer Metalloberfläche herausgeschlagen. Bestimmen Sie die Austrittsarbeit für das Metall, die Grenzwellenlänge des Metalls und die Gegenspannung, die erforderlich ist, um die Elektronenemission zu beenden.

[Lösung: 5,28 eV ; 235 nm ; 3 V] (++)

8b) Wie ist die Energiedifferenz  $E_{\text{gap}}$  zwischen Valenz- und Leitungsband einer Photodiode, die für Wellenlängen von 1100 nm oder kürzer geeignet ist?

a)  $E_{\text{gap}}$  in Joule

b)  $E_{\text{gap}}$  in eV

[ $1,8 \cdot 10^{-19}$  J; 1,12 eV], (+)

9.) Ein Elektron und ein Positron bewegen sich mit einer Geschwindigkeit von  $3 \cdot 10^6$  m/s aufeinander zu und vernichten sich, wobei zwei Photonen gleicher Energie entstehen. Wie groß ist die de Broglie Wellenlänge des Elektrons bzw. Positrons? Berechnen Sie die Energie, Impuls und Wellenlänge der beiden Photonen.

[Lösung:  $2,42 \cdot 10^{-10}$  m ; 0,513 MeV ;  $2,73 \cdot 10^{-22}$  kgm/s ;  $2,42 \cdot 10^{-12}$  m] (+)

10.)

a) Berechnen Sie die de Broglie Wellenlänge eines Baseballs der Masse 0,145 kg und der Geschwindigkeit 30 m/s.

b) Wie groß ist die de Broglie Wellenlänge eines Elektrons, das die Potentialdifferenz von  $1,024 \cdot 10^6$  V durchlaufen hat?

c) Welche Frequenz ist dem Teilchen zuzuordnen?

d) Muß man relativistisch rechnen? Was kommt klassisch für den Impuls des Elektrons heraus?

e) Wie groß ist die Geschwindigkeit des Elektrons?

[Lösung:  $1,52 \cdot 10^{-34}$  m ;  $8,59 \cdot 10^{-13}$  m ;  $3,7 \cdot 10^{20}$  Hz ;  $5,46 \cdot 10^{-22}$  kgm/s ;  $2,83 \cdot 10^8$  m/s] (-)

11.) Wie viele Photonen werden in einer Sekunde von einer gelben Lampe (Wellenlänge = 600 nm) von 10 W Leistung emittiert (Annahme: Lichtausbeute beträgt 10% der Gesamtleistung)?

[Lösung:  $3 \cdot 10^{17}$ ] (++)

12.) Welche Energie muß ein Photon besitzen, um den gleichen Impuls wie ein Proton der kinetischen Energie von 10 MeV zu haben?

[Lösung: 137,4 MeV] (+)

13.) Wie groß ist die Geschwindigkeitsunschärfe einer Kugel mit dem Durchmesser von 1 cm und der Masse 100 g?

Angenommen ein ruhender Wasserstoffkern habe den Durchmesser von  $10^{-13}$  m. Wie groß ist seine Geschwindigkeitsunschärfe?

[Lösung:  $3,2 \cdot 10^5$  m/s] (-)

14.) Wieviel mal größer als seine Impulsunschärfe ist der Impuls eines Teilchens, wenn die Ortsunschärfe eines Wellenpakets, durch das das Teilchen beschrieben wird, gleich dessen de Broglie Wellenlänge ist?

[Lösung: 12,6] (-)

15.) Berechnen Sie die Energie und die Wellenlänge der Photonen für die langwelligste Linie der Balmer-Serie (n: 3→2, 4→2, 5→2, 6→2,...) .

[Lösung: 658 nm] (++)

16.) Berechnen Sie die Energie und die Wellenlänge der Photonen für die kurzwelligste Linie der Paschen-Serie (n:4→3, 5→3, 6→3,...) ..

[Lösung: 823 nm] (++)

17.) Ein Wasserstoffatom befinde sich in seinem zehnten angeregten Zustand. Es wird das Bohr'sche Atommodell vorausgesetzt. Wie groß ist der Radius der entsprechenden Kreisbahn des Elektrons? Wie groß ist der Drehimpuls des Elektrons? Wie groß ist seine kinetische -, potentielle - und Gesamtenergie?

[Lösung: 6,4 nm ;  $1,16 \cdot 10^{-33}$  kgm<sup>2</sup>/s ; 0,113 eV ; -0,225 eV ; -0,112 eV] (++)

18.) Wie groß ist die Bindungsenergie eines Elektrons a) für ein Wasserstoffatom b) für He<sup>+</sup> und c) für Li<sup>++</sup>?

[Lösung: 13,6 eV ; 54,4 eV ; 122,4 eV] (-)

19.) In einem Wasserstoffatom befinde sich das Elektron zunächst im Zustand n=2 und gehe dann in den Grundzustand über. Welche Energie hat das emittierte Photon nach dem Bohr'schen Atommodell? Wie groß ist der Drehimpuls des Photons? Wie groß ist der Impuls des Atoms? Berechnen Sie die Geschwindigkeit und kinetische Energie des Atoms nach Aussendung des Photons.

[Lösung: 10,2 eV ;  $-1,05 \cdot 10^{-34}$  Js ;  $5,44 \cdot 10^{-27}$  kgm/s ; 3,26 m/s ;  $5,55 \cdot 10^{-8}$  eV] (-)

20.) Welche Elemente haben die Elektronenkonfigurationen:

$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$  ,  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$ .

Lösen Sie die Frage mit zwei verschiedenen Methoden. (-)

21.) Wie lauten die möglichen Elektronenkonfigurationen des ersten angeregten Zustands von Wasserstoff, Natrium und Helium? (-)

22.) Die Hauptquantenzahl sei 3. Listen Sie die einzelnen möglichen Zustände eines Elektrons im Atom auf. Wie groß ist die Gesamtanzahl?

[Lösung: 18] (-)

23.) E1.5

Berechnen Sie die Energiezustände von atomarem Wasserstoff sowie die Wellenlängen der Übergänge  $E_2 \rightarrow E_1$  sowie  $E_3 \rightarrow E_2$  als Zahlenwerte.

[Lösung: -; 122 nm; 656 nm] (+)

24.) E2.5

Berechnen Sie die Dopplerverbreiterung im He-Ne-Laser (bei 100 °C) und vergleichen Sie das Ergebnis mit der gemessenen Linienbreite von 1,5 GHz.

[Lösung: 1,4 GHz] (++)

25.) E5.1

Berechnen Sie die Zahl der Neon-Atome in einem He-Ne-Laser mit einem Kapillardurchmesser von 1 mm und einer Länge von 20 cm. Wieviele Photonen pro Sekunde werden von einem Atom bei einer Ausgangsleistung von 1 mW emittiert? (Fülldruck  $p = 500$  Pa,  $p_{\text{He}}/p_{\text{Ne}} = 5:1$ , Avogadrokonstante  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ , Molvolumen bei 1 bar ( $10^5$  Pa) = 22,4 Liter)

[Lösung:  $3,5 \cdot 10^{15}$ ; 1] (+)

25b.)

Geben Sie für den HeNe Laser aus Aufgabe 25.) die Teilchendichte der Neon Atome (Atome /  $\text{cm}^3$ ) an und vergleichen Sie den Wert mit der  $\text{Cr}^{3+}$  Konzentration (Teilchen /  $\text{cm}^3$ ) eines Rubin Lasers bei einer Dotierung von 0,03% (der Al Atome ersetzt durch Cr)  
Dichte:  $\rho_{\text{Al}_2\text{O}_3} \sim 3,95 \text{ g/cm}^3$

Atomgewichte in: Al  $\sim 27$ u; O  $\sim 16$ u; atomare Masseneinheit: 1 u =  $1.66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

[Lösung:  $n_{\text{Ne}} \sim 2,3 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ;  $n_{\text{Cr}^{3+}} \sim 1.37 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ]

26.) E1.2

Wieviele Photonen pro Sekunde strahlt eine He-Ne-Laser ( $\lambda = 633 \text{ nm}$ ) mit  $P = 1 \text{ mW}$  ab? Wie hoch ist die Photonenenergie in Joule und in Elektronenvolt?

[Lösung:  $3,2 \cdot 10^{15}$ ;  $3,1 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ; 1,9 eV] (+)

27.) E20.1

Die theoretische Grenze für die Linienbreite eines He-Ne-Lasers beträgt  $5 \cdot 10^{-2} \text{ Hz}$ . Wie groß dürfen die Schwankungen des Spiegelabstandes sein, damit dieser Wert erreicht wird?

[Lösung:  $1 \cdot 10^{-16} \text{ m}$ ] (+)

28.) E13.1

Welche Längenänderungen dürfen bei einem 50 cm langen He-Ne-Laser auftreten, damit die Frequenzschwankung höchstens 1 MHz beträgt?

[Lösung: 1 nm] (+)

29.) E13.2

Wie lang darf der Resonator eines He-Ne-Lasers, mit einem Doppler-verbreiterten Laserübergang von 1,5 GHz sein, damit nur ein longitudinaler Mode auftritt?

[Lösung: 0,1 m] (+)

30.) E13.8

Ein Resonator wird aus zwei Spiegeln mit den Radien  $R_1 = -0,8$  m und  $R_2 = 1,2$  m gebildet. Geben Sie den Spiegelabstand an, ab welchem der Resonator instabil wird?

[Lösung:  $L > 1,2$  m und  $L < 0,4$  m] (++)

31.)

Wie groß ist für einen He/Ne - Laser (Resonatorspiegel  $R_1 = 800$  mm und  $R_2 = 1000$  mm, Resonatorlänge 1,5 m) der Strahltaillenradius, und wo liegt die Strahltaille?

Geben Sie zusätzlich die Laserstrahlradien am Ort der Spiegel an.

Zeichnen Sie eine Skizze der Strahlgeometrie.

[Lösung: 0,258 mm ; 625 mm ; 0,552 mm ; 0,730 mm] (++)

32.) E12.1

Beweisen Sie für den TEM<sub>00</sub>-Mode, daß an der Stelle des Strahlradius  $w_0$  die Intensität auf 13,5 % gefallen ist. Wie groß ist die Intensität bei  $r = 2w_0$ ?

[Lösung: 0,03%] (+)

33.) Ein Laserstrahl schwingt in seinem transversalen Grundmode. Sein Strahldurchmesser beträgt 0,8 mm. Wie breit ist der Laserstrahl bei 60% der maximalen Intensität?

[Lösung: 0,404 mm] (++)

34.) E12.2

Beweisen Sie: Bei einem Gaußstrahl liegt 86,5 % der Laserleistung innerhalb des Strahlradius  $w_0$ .

(-)

35.) E12.5

Ein He-Ne-Laser von 1 m Länge besitzt am Ausgangsspiegel einen Strahlradius von  $w = 0,6$  mm. Der Resonator besteht aus zwei Spiegeln mit gleichen Krümmungsradien.

Wie groß ist die Strahltaille?

[Lösung: 0,574 mm oder 0,175 mm] (++)

36.) Im Laserlabor kann man einen Resonator mit zwei Spiegeln der Krümmungsradien

$R_1 = 700$  mm und  $R_2 = 1000$  mm aufbauen. Schwingt ein Laser bei den folgenden Spiegelabständen  $L$  an? Antworten Sie nicht nur mit ja/nein, sondern geben Sie die Rechnung dazu an!

a.)  $L = 60$  cm, b.)  $L = 80$  cm, c.)  $L = 1$  m, d.)  $L = 1,5$  m e.)  $L = 1,8$  m. (++)

37.) E13.3

Wie groß ist die Divergenz eines He-Ne-Lasers (TEM00-Mode) mit einem Strahltaillendurchmesser von  $0,7$  mm? Welcher Strahldurchmesser tritt in einem Abstand von  $10$  m vom Laser auf?

[Lösung:  $0,58 \cdot 10^{-3}$  rad ;  $11,5$  mm] (++)

37b.)

Ein frequenzverdoppelter Nd:YAG Laser besitzt eine Wellenlänge  $\lambda = 532$  nm. Wie groß wären der Divergenzwinkel  $\Theta$  und (ohne Einsatz zusätzlicher Linsen) der Strahldurchmesser in  $10$  km Entfernung, wenn die Strahltaille im Resonator  $w_0 = 1$  mm beträgt? [Lösung:  $1,7 \cdot 10^{-4}$  rad ;  $3,38$  m] (++)

38) E13.5

Berechnen Sie die charakteristischen Strahlradien ( $w_0$ ,  $w_1$ ,  $w_2$  für TEM<sub>00</sub>) für einen Ar-Laser einer Wellenlänge  $\lambda = 514$  nm und einem Resonator mit  $R_1 = 6$  m;  $R_2 = 2$  m und  $L = 0,5$  m.

[Lösung:  $w_1=0,35$  mm,  $w_2=0,4$  mm,  $w_0=0,36$  mm,  $t_1=107$  mm] (++)

39.) E13.6

Berechnen Sie bei einem 1 m langen He-Ne-Laser mit fokalem Resonator die Strahldurchmesser in der Mitte und am Ausgang des Lasers ( $\lambda = 632,8$  nm).

[Lösung: 0,84 mm ; 0,96 mm] (++)

40.) E12.7

Wie groß ist der Divergenzwinkel eines He-Ne-Lasers (TEM<sub>00</sub>) mit einem Strahltaillendurchmesser von 0,7 mm? Skizzieren Sie das Strahlprofil und zeichnen Sie den Strahldurchmesser ein.

[Lösung:  $5,8 \cdot 10^{-4}$  rad] (++)

41.) H13.28

Ein He-Ne-Laser ( $\lambda = 632,8$  nm) hat einen minimalen Querschnitt von 0,6 mm. Berechnen Sie die Divergenz des Strahls.

[Lösung:  $6,7 \cdot 10^{-4}$  rad] (++)

42.) H13.26

Ein kontinuierlicher He-Ne-Laser hat bei 632,8 nm eine dopplerverbreiterte Übergangsbandbreite von ungefähr 1,4 GHz. Der Brechungsindex  $n$  ist gleich 1. Wie lang darf der Resonator höchstens sein, damit ein axialer Einmodenbetrieb möglich ist? Skizzieren Sie die Linienbreite des Übergangs und die zugehörigen Resonatormoden.

[Lösung: 0,1 m] (++)

43.) E4.5

Ein CO<sub>2</sub>-Laser erzeugt 0,1  $\mu$ s-Pulse mit einer Energie von 10 J/l. Das aktive Volumen besitzt einen Querschnitt von 1 cm<sup>2</sup> und eine Länge von 10 cm. Berechnen Sie die Spitzenleistung und die mittlere Leistung bei einer Pulsfolgefrequenz von 2 kHz.

[Lösung: 10<sup>6</sup> W, 200 W] (++)

44.) E6.4

Ein Au-Laser besitzt eine Pulsenergie von 2 mJ, eine Pulsdauer von 20 ns und eine Pulsfrequenz von 6 kHz. Berechnen Sie die mittlere Leistung und die Spitzenleistung.

[Lösung: 12 W ; 100 kW] (++)

45.) E7.3

Die Pulsdauer eines Excimer-Lasers beträgt 20 ns.

Wieviele Umläufe macht die Laserwelle in einem 1,2 m langen Resonator?

[Lösung: 5] (+)

46.) E7.5

In einer Tabelle werden für einen kommerziellen Laser folgende Daten angegeben: Pulsenergie = 1 J; Pulsdauer = 20 ns; Spitzenleistung = 15 MW; Pulsfrequenz = 100 Hz; Durchschnittsleistung = 20 W. Prüfen Sie, ob diese Angaben miteinander konsistent sind.

[Lösung: nein] (++)

47.) Ein Argon-Laser mit 3000 K Gastemperatur besitzt die Wellenlänge 488 nm.

Die spektrale Linienbreite ist durch den Doppler-Effekt verursacht.

Die Molmasse von Argon beträgt 39,95 g/mol und 1 Mol Gas enthält genau  $6,023 \cdot 10^{23}$  Atome (Loschmidtsche Zahl).

Wie groß muß die Resonatorlänge sein, damit höchstens drei longitudinale Moden existieren?

Welche Voraussetzung muß noch erfüllt sein, damit sie anschwingen?

[Lösung: ~125 cm] (+)

47a.) Ein Argon-Laser mit der Wellenlänge 514 nm besitzt eine durch den Doppler-Effekt bestimmte spektrale Linienbreite von  $\Delta f_{\text{Dop}} = 3$  GHz.

Wieviele longitudinale Moden können anschwingen, wenn der Resonator eine Länge von 1,50 m hat?

[Lösung: ~15] (+)

47b.) Berechnen Sie die durch den Doppler-Effekt verursachte spektrale Linienbreite eines Argon-Ionenlasers bei einer Gastemperatur von 2000 K und der Laserwellenlänge 514 nm.

[Lösung: ~ 3 GHz] (+)

47c.) Wie hoch sind für einen Laser-Resonators der Länge von  $L = 0,5$  m und einem Auskoppelspiegel mit einem Reflexionsgrad von  $R = 95$  %

a) der freie Spektralbereich

b) die Finesse

c) die Linienbreite der longitudinalen Resonatormoden?

[ Lösung: 300 MHz; 61,2; 4,9 MHz ]

48.) E8.6

Ein gepulster Nd-Laser wandelt 1,5 % der Energie der Blitzlampe in Laserstrahlung um. Berechnen Sie:

a.) Pulsenergie, Pulsleistung und mittlere Leistung der Laserstrahlung bei einer Pulsdauer von 0,2 ms, einer Pumpenergie von 1 J und einer Wiederholrate von 20 Hz sowie

b.) die gleichen Größen bei Güteschaltung (ohne Verluste) mit einer Pulsdauer von 5 ns.

[Lösung: 15 mJ, 75 W, 0,3 W, 15 mJ, 3 MW, 0,3 W] (++)

9.5 Ein Nd-Festkörperlaser wird mit einem Kondensator von  $10\ \mu\text{F}$  und einer Spannung von  $1\ \text{kV}$  betrieben. Der Wirkungsgrad beträgt  $1\ \%$ .

- (a) Wie hoch sind Pulsenergie und Pulsleistung für normale Pulse von  $0,1\ \text{ms}$  Dauer?
- (b) Berechnen Sie die mittlere Leistung bei einer Pulsfrequenz von  $10\ \text{Hz}$ .

49.) E17.1

Ein Festkörperlaser liefert normale Pulse von  $0,5\ \text{ms}$  Dauer mit  $10\ \text{mJ}$ .

- a.) Wie groß ist die Pulsleistung?
  - b.) Wie steigt die Leistung im Q-switch-Betrieb an (Pulsdauer  $5\ \text{ns}$ )?
  - c.) Wie groß ist die mittlere Leistung bei einer Pulsfrequenz von  $100\ \text{Hz}$ ?
- [Lösung:  $20\ \text{W}$ ,  $2\ \text{MW}$ ,  $1\ \text{W}$ ] (++)

50.) E17.2

Schätzen Sie die minimale Pulsdauer im Q-switch-Betrieb zweier Festkörperlaser mit Resonatoren von  $1\ \text{m}$  und  $0,3\ \text{m}$  Länge ab.

[Lösung:  $7\ \text{ns}$ ,  $2\ \text{ns}$ ] (+)

50-b) D9.5

Ein Nd-Festkörperlaser wird mit einem Kondensator von  $10\ \mu\text{F}$  und einer Spannung von  $1\ \text{kV}$  betrieben. Der Wirkungsgrad beträgt  $1\ \%$ . (Hilfe:  $C = Q/U$ ;  $W_c = 1/2 * Q U^{**2}$ )

- a) Wie hoch sind Pulsenergie und Pulsleistung für normale Pulse von  $0,1\ \text{ms}$  Dauer?
  - b) Berechnen Sie die mittlere Leistung bei einer Pulsfrequenz von  $10\ \text{Hz}$
- [ $50\ \text{mJ}$ ,  $500\ \text{W}$ ,  $500\ \text{mW}$ ] ++

51.) D1

Ein Resonator der Länge  $L=2\ \text{m}$  habe einen konvexen Spiegel mit dem Radius  $R_1 = -6\ \text{m}$ . Wie müsste der Radius  $R_2$  des zweiten, konkaven Spiegels gewählt werden, damit der Resonator stabil ist?

[Lösung:  $2\ \text{m} \leq R_2 \leq 8\ \text{m}$ ] (++)

52.) (D, Kap 2.2, Aufg 2)

Ein Nd-YAG-Laser bestehe aus zwei gleichen Konkavspiegeln mit Radius  $R$ . Die Strahltaile liegt somit in der Mitte des  $1,5\ \text{m}$  langen Resonators. Wie groß ist der Radius  $R$ , wenn der Strahlradius in der Strahltaile  $w_0 = 0,6633\ \text{mm}$  ist?

[Lösung:  $3\ \text{m}$ ] (+)

53.) D3

Ein Laserresonator bestehe aus zwei unterschiedlichen konkaven Spiegeln. Die Strahltaile teilt den Resonator im Verhältnis  $2:1$ . Für die Spiegelparameter gilt  $g_1 g_2 = 0,5$ . Berechnen Sie die Radien  $R_1$  und  $R_2$  in Abhängigkeit von  $L$ .

[Lösung:  $R_1=2,78L$  ;  $R_1'=0,72L$  ;  $R_2=4,56L$  ;  $R_2'=0,438L$ ] (++)

54.) D4

Ein symmetrischer Resonator habe die Spiegelradien  $R=3L/2$ . Werden die Spiegelradien auf den Wert  $R'=kL$  geändert, vergrößert sich der Strahlradius auf den Spiegeln um den Faktor  $\sqrt{2}$ .

Wie groß ist  $k$ ?

[Lösung: 0,531 oder 8,47] (++)

55.) D17

Ein Konkav - Konvex Resonator eines ND-YAG Lasers habe die Länge  $L=3m$ . Der Konkavspiegel habe den Radius  $4m$ , der Konvexspiegel einen von  $1,5m$ .

a.) Ist der Resonator stabil?

b.) Wo liegt die Strahltaile?

c.) Berechnen Sie die Strahlradien auf den Spiegeln und die Strahltaile.

d.) Zeichnen Sie eine Skizze.

e.) Wie groß ist der Divergenzwinkel  $\Theta$ ? Welche Besonderheit liegt vor?

[Lösung: ja; 3,857m; 2,65mm; 0,766mm; 0,501mm; 0,675mrad] (++)

56.) D7

Ein CO<sub>2</sub> - Laser besitze einen plan-konkaven Resonator der Länge  $2m$ . Der Laserstrahl hat einen Divergenzwinkel  $\Theta$  von  $0,916$  mrad. Wie groß ist der Krümmungsradius des konkaven Spiegels?

[Lösung: 10,08m] (++)

**60.) E10.7**

Welchen Reflexionsgrad besitzt die Grenzfläche GaAs/Luft? ( $n_{\text{GaAs}} = 3.6$ )

Lösung: 32%

**62.)**

Für einen gängigen Diodenlaser sind im Datenblatt folgende Werte angegeben:

Ausgangsleistung  $P_{\text{aus}} = 5$  mW, Schwellstromstärke  $I_{\text{Schwell}} = 25$ mA, Betriebsstromstärke  $I_{\text{Betr}} = 30$ mA, Betriebsspannung  $U_{\text{Betr}} = 2,2$ V

a) Berechnen Sie die aufgenommene Pumpleistung

b) Berechnen Sie den Wirkungsgrad

c) Berechnen Sie den Schwellstromdichte (in A/cm<sup>2</sup>) durch die pn-Schicht, wenn diese die Abmessungen  $0,5$  mm x  $0,01$  mm hat

Lösung: a) 66mW; b) 7,6%; 500 A/cm<sup>2</sup>

## NEU 2023 - Materialbearbeitung

E23.3

Ein 100 W-CO<sub>2</sub>-Laser mit einem Durchmesser von  $D = 1$  cm strahlt auf einen Vorhang (0,5 mm dick, Plastik). In welcher Zeit entflammt der Vorhang (Wärmeenergie:  $Q = m c_Q \Delta T$ ; Zündtemperatur = 400 °C, Dichte  $\rho = 1$  g/cm<sup>3</sup>, Wärmekapazität  $c_Q = 4,2$  kJ/(kg K))?

Lösung:  $t = 0.63$  s

E23.5

Ein Excimerlaser wird zur Korrektur der Hornhautkrümmung eingesetzt. Welche Tiefe  $x$  wird mit einem 100 mJ-Puls bei einem Strahldurchmesser von  $d \sim 6$  mm abgetragen? (Verdampfungswärme  $L \approx 2,2 \cdot 10^6$  kJ / kg, Dichte  $\sim 1200$  kg/m<sup>3</sup>)

Tipp: Die Laserenergie  $E$  wird auf das Volumen  $V$  übertragen, es gilt  $E = \rho V L$ , mit  $V = d^2 \pi x/4$ .

Lösung:  $x = 1,3$  Mikrometer

## NEU 2023 - CD/DVD

E23.8

Wie viel bit können auf einer Compact-Disc mit einer Fläche von 10 cm<sup>2</sup> mit einem Laser der Wellenlängen a)  $\lambda = 800$  nm und b)  $\lambda = 400$  nm gespeichert werden?

Tipp: Der Fokusradius eines (zuvor aufgeweiteten) Laserstrahls durch eine Linse der Brennweite  $f$  berechnet sich gemäß  $w' = \lambda f / (\pi w)$ . Für ein optimales Objektiv darf  $f \sim w$  angenommen werden.

Lösung: a)  $4 \cdot 10^9$  bit;  $1,6 \cdot 10^{10}$  bit

65.) E2.2

In einem 5 cm langen Nd-Laserkristall tritt Strahlung mit einer Leistung von 1 W ein und mit 3 W aus. Wie groß sind

(a) der Verstärkungsfaktor  $G$  und

(b) die differentielle Verstärkung  $g$ ?

( $G = 3$ ,  $g = 0,22$  cm<sup>-1</sup>)

66.) E2.3

Ein Lasermedium besitzt eine differentielle Verstärkung von 0,05 cm<sup>-1</sup>. Um welchen Faktor wird das Licht nach 12 cm verstärkt?

( $G = 1,82$ )

## NEU 2023 - LIDAR

67.) TH

Ein Time-of-Flight Lasersensor soll Entfernungen im Bereich 0.5m mit einer Genauigkeit von 0.5 cm messen. Hierzu werden Lichtpulse/Photonen ausgesendet und die Zeitdifferenz der zurückreflektierten Pulse/Photonen gemessen.

- a) Nach welcher Zeit würde ein zurückreflektierter Puls von einem Objekt in 50 cm Entfernung gemessen?
- b) Wie genau muss die Zeitmessung sein um die gewünschte Genauigkeit von 0.5 cm erreichen zu können?

( $t_{\text{refl}} = 3.3 \text{ ns}$ ;  $dt = 0.033 \text{ ns}$ )

68.) TH

Der gepulste Strahl eines frequenzverdoppelten Nd:YAG Lasers ( $\lambda = 532 \text{ nm}$ ) im TEM<sub>00</sub> Mode wird auf von der Erde auf den Mond gerichtet (Entfernung Erde-Mond = 384.000km). Im Resonator beträgt Strahltaille  $w_0 = 1 \text{ mm}$  (Radius). In einer zweiten Variante des Experiments wird der Laserstrahl dann durch eine Aufweitungsoptik auf einen Radius  $w_0' = 10 \text{ mm}$  aufgeweitet.

- a) Berechnen Sie die Divergenzwinkel des Laserstrahls ohne und mit der Strahlaufweitung.
- b) Berechnen Sie den Strahldurchmesser des Laserstrahls auf dem Mond ebenfalls ohne und mit Berücksichtigung der Strahlaufweitung.
- c) Berechnen Sie Anzahl der pro Puls ausgesendeten Laserphotonen, wenn die Energie eines Pulses 0,2 J beträgt.
- d) Wieviele Photonen sind das pro  $\text{m}^2$  auf dem Mond (nur für den aufgeweiteten Strahl)?