

# A Lézerfizika, lézeres mérőberendezések GEFIT004M

## c. tárgy ütemterve

### II. évfolyamos Energetikai mérnöki mesterszakos (MSc) hallgatóknak

2017/2018. tanév, 2. félév

7. hét: Összefoglaló a hullámoptikából: a monokromatikus síkhullám fázissebessége, transzverzálitása, spektruma. A polarizáció, hullámkésleltetők. Az elektromágneses hullámok intenzitása, az interferencia és a diffrakció jelenségei. A Doppler-effektus. Interferométerek, feladatok az interferencia témaköréből.
8. hét: A geometriai optika áttekintése (törés, visszaverődés, diszperzió, kettős törés), tükrök és lencsék képalkotása, egyszerű optikai eszközök (nagyító, Kepler-távcső). A hullámoptika és a geometriai optika viszonya. Feladatok a geometriai optika témaköréből.
9. hét: A lézerműködés atomfizikai alapjai: atomok színképe, a kvantummechanikai tárgyalásmód, a határozatlansági reláció. Az abszorpció, spontán emisszió és indukált emisszió folyamatainak elemzése, az Einstein-összefüggések.
10. hét: A populáció inverzió és létrehozásának módjai. Lézerek működési elve, általános felépítésük. A gerjesztés módjai, a tükrörezonátor. A lézerek longitudinális és transzverzális módusai. A lézerfény legfontosabb tulajdonságai.
- 1. laboratóriumi demonstráció (A, B)**
11. hét: A fontosabb lézertípusok konkrét konstrukciói, működésük és jellemzőik. Gázlézerek atomokkal (a He-Ne lézer), molekulákkal (a CO<sub>2</sub> lézer) és ionokkal (az argon-ion lézer).
12. hét: Rektori szünet (hétfő, kedd)
13. hét: A szilárdtestfizika alapjai. Szilárdtest lézerek: a rubinlézer és a Nd:YAG lézer. A félvezető lézerek. **1. zárthelyi dolgozat (A, B)**
14. hét: (Húsvét hétfő) Néhány különleges lézer (festék, excimer, szabadelektron-, stb.). Rövid impulzusok előállítása: Q-kapcsolás, módusszinkronizáció.)
15. hét: A nemlineáris optika elemei, frekvencia átalakítás. ELI, a szegedi szuperlézer.  
A precíziós lézerinterferometrius elmozdulásmérés. A lézer Doppler sebességmérés (LDV), a Bragg-cella.
16. hét: A lézeres anyagmegmunkálás alapjai: lézeres vágás, hegesztés, hőkezelés.  
Az áramlás és hőtechnikában alkalmazott lézeres méréstechnikai módszerek (LDA, LDV, PIV, stb.) ismertetése. **2. laboratóriumi demonstráció (B, A)**
17. hét: A lézergyártmányok sugárzásbiztonsági előírásairól. A holográfia és alkalmazásai. További informatikai (CD, nyomtató, üvegszál-optika) felhasználások.
18. hét: pihenőnap és Május 1.
19. hét: Tudományos (lézeres fúzió és hűtés) és egészségügyi (műtét, fogászat, kozmetika) felhasználások. **2. zárthelyi dolgozat (B, A)**
20. hét: Összefoglaló a lézeralkalmazásokról. Beszámolók. **Pótzárthelyi dolgozat.**

A tárgyhoz kapcsolódóan tanulmányi kirándulást is tervezünk Budapestre (Wigner + BAYATI) valószínűleg a 16. héten.

**A tárgy lezárásának módja:** aláírás + kollokvium

**Az aláírás megszerzésének feltételei:**

A szorgalmi időszak végén azok a hallgatók kapnak aláírást, akik az alábbi két feltételnek megfelelnek,

- a, a tanóráknak legalább az 50 %-án részt vettek és ott elfogadhatóan szerepeltek,
- b, legalább az egyik zárthelyi dolgozatokat legalább elégségesre megírták, vagy a választott témából a beszámolót a tanár által meghatározott módon elkészítették, és azt határidőre beadták.

**Az aláírás pótlásának feltételei:**

Azok a hallgatók, akik az a, feltételnek nem felelnek meg az aláírást a vizsgaidőszak erre kijelölt részében az egész félév anyagából tett írásbeli beszámolóval szerezhetik meg. Akik a b, feltételnek nem felelnek meg, azoknak az aláírásért a tanár által meghatározott témából és módon beszámolót kell határidőre készíteniük.

**A félév során teljesítendő zárthelyik:**

2 db 50 perces zárthelyi a 13. és a 19. héten tartott gyakorlaton az előadó által megadott témákból. A 2 db zárthelyi a tananyaghoz kapcsolódó kidolgozandó kérdéseket és az órán megoldott feladatokhoz hasonló számítási feladatokat tartalmaz.

**A vizsga letételének módja:**

A vizsgaidőszakban letett vizsga írásbeli, amelyen az előre kiadott vizsgakérdések közül néhányat ki kell dolgozni. Az elégségeshez a lehetséges pontoknak legalább a 50%-át kell megszerezni. Két sikeres zárthelyivel megajánlott jegy szerezhető, más esetekben a vizsga végső érdemjegyebe a szorgalmi időszakban végzett munka 1/3 súllyal számít bele.

**Kötelező irodalom:**

1. Paripás B., Szabó Sz., Kocsisné Baán M., Tolvaj B., Bencs P.: Lézeres mérési- és megmunkálási eljárások a gépészetben, Elektronikus jegyzet, <http://miskolc.infotec.hu/>
- 2, Az oktató honlapjára ([http://www.uni-miskolc.hu/~www\\_fiz/paripas/32.htm](http://www.uni-miskolc.hu/~www_fiz/paripas/32.htm)) feltett aktualizált tananyagok.

**Ajánlott irodalom:**

1. Budó - Mátrai: Kísérleti Fizika III.
2. Csillag – Kroó: A lézerek titkai
3. Ábrahám: Optika
4. Charschan: Lasers in Industry

Miskolc, 2018. február 12.

**Dr. Paripás Béla**  
tszv. egyetemi tanár

## **Kérdések és feladatok lézerfizikából 2017/2018. tanév 2. félév**

### **1. témakör**

#### **Kérdések**

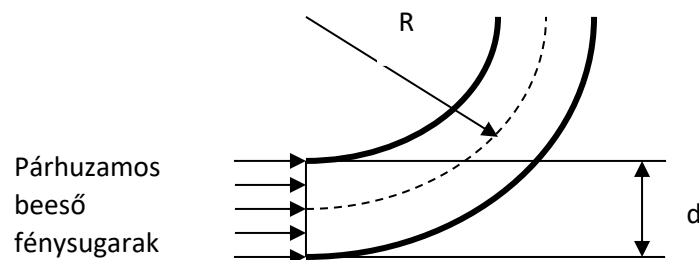
1. Az elektromágneses hullámok leírása (hullámegyenlet, síkhullám), összefüggések a hullámjellemzők ( $\varphi$ ,  $\omega$ ,  $f$ ,  $\lambda$ ,  $n$ ) között
2. Az elektromágneses hullámok intenzitása ( $w$ ,  $S$ ,  $I$  összefüggései), transzverzálitása és spektruma
3. A Doppler-effektus
4. A polarizáció, hullámkésleltetők
5. Az interferencia, koherencia feltételek, maximális erősítés és gyengítés
6. Példák az interferenciára: vékony réteg, optikai rács. Interferométerek
7. A fény visszaverődése és törése, polarizáció visszaverődésnél és törésnél, a kettős törés.
8. A diszperzió (színbontás). A teljes visszaverődés (példákkal), a Fermat-elv
9. Tükrök és optikai lencsék képalkotása
10. Egyszerű optikai eszközök: a nagyító és a Kepler-távcső
11. Atomok színe, a Bohr-posztulátumok
12. A határozatlansági reláció és alkalmazása a minimális nyalábdivergencia és a gerjesztett állapotok élettartamának becslésére
13. Az abszorpció, a spontán emisszió és az indukált emisszió összehasonlítása, Einstein-féle valószínűségek és összefüggéseik
14. A populációinverzió, a lézerek négy energiaszintje
15. A lézerek gerjesztésének a módjai. A tükrörezonátor, hatása a lézerfény frekvencia kiszélesedésére
16. A lézerek longitudinális és transzverzális módusai
17. Gázlézerek: a He-Ne-lézer, az argon ion lézer és a CO<sub>2</sub> lézer működése

#### **Feladatok**

- 1) A Föld minden, a napsugárzásra merőleges négyzetméterét másodpercenként 1370 J energiájú elektromágneses sugárzás éri el ( $S = 1370 \text{ W/m}^2$ ; szoláris állandó, ez a légkör tetején mérhető). Számítsuk ki a napsugárzásban az elektromágneses energiasűrűséget, az elektromos térerősség és a mágneses indukció négyzetátlagát! ( $4,55 \mu\text{J/m}^3$ ;  $5,16 \cdot 10^5 \text{ V}^2/\text{m}^3$ ;  $5,7 \cdot 10^{-12} \text{ T}^2$ )
- 2) Egy úszómedence 8 m széles. A medence egyik oldalán álló ember szeme 2 m magasan van a vízfelület felett. Ha a medence közvetlenül vele szemben levő, túlparti alját nézi, úgy

látja, mintha az egyvonalban lenne az ő oldalától 6 m-re úszó parafa dugóval. Milyen mély a medence? (Kb. 2 m)

- 3) Egy domború gömbtükör görbületi sugara 10 cm. Hová helyezzük a tárgyat, ha azt akarjuk, hogy a kép 4 cm távolságra keletkezzen a tükörtől? Szerkesszük meg a képet! ( $t=0,2$  m, a kép látszólagos!)
- 4) Valamely tárgy 4-szeres lineáris nagyítású képét akarjuk előállítani a tőle 1 m-re elhelyezett ernyőn. Milyen fókustávolságú vékony lencsét kell használnunk? Mekkora a választott tárgy távolságát? ( $f=0,16$  m;  $t=0,2$  m)
- 5)  $30^\circ$ -os törésszögű prizma, egyik oldalapjára merőlegesen, keskeny fehér fénynyalábot ejtünk. A vörös színű fény kilépési pontja és az ernyő merőleges távolsága 20 cm. A prizma anyagának törésmutatója a vörös színű fényre 1,772, az ibolya színű fényre 1,798. Adjuk meg a látható színek hosszát!
- 6) A CD lemezen a track távolság  $1,6 \mu\text{m}$ . Számítsuk ki, hogy a merőlegesen beeső zöld fény ( $\lambda=532$  nm) milyen visszaverődési szögekre ad intenzitás maximumot! ( $19,4^\circ$ ,  $41,7^\circ$ ,  $\sim 86^\circ$ )
- 7) Szappanhártyára ( $n = 1,33$ ) merőlegesen fehér fény esik. Mekkora legyen a hártya legkisebb vastagsága, hogy visszavert fényben zöldnek ( $\lambda=0,5\mu\text{m}$ ) lássuk? (94 nm)
- 8) Az 500 nm hullámhosszúságú fényvel kétréses interferenciaképet hozunk létre az egymástól 0,50 mm távolságú függőleges réspártól 1,5 m-re. Adjuk meg az interferenciamaximumok számát a főmaximum és a tőle balra 1.00 cm-re lévő hely között.
- 9) Sebességellenőrző radar-rendszer 3 cm hullámhosszúságú mikrohullámokat sugároz. Ennek a sugárzásnak egy széles nyalábja egymástól 5 cm távolságban elhelyezett függőleges rudakból készült kerítésbe ütközik. Adjuk meg a beeső sugár és az első diffrakciós minimum közti szöget a kerítés mögött!
- 10) Egy rácsnak 20000 vonala van 5,5 cm-en. Adjuk meg azt a fényhullámhosszat, amire a két másodrendű maximum között a szögtávolság  $60^\circ$ ! (688 nm)
- 11) Az ábrán látható optikai szál üvegből készült ( $n = 1,63$ ) és  $d = 0,060$  mm átmérőjű. Adjuk meg annak az  $R$  sugárnak a legkisebb értékét, mellyel a szál még el lehet hajlítani úgy, hogy a fonal tengelyével párhuzamosan beeső és a szál egész keresztmetszeti területén eloszló sugarakra még mindig fennálljon a teljes visszaverődés feltétele! (0,125 mm)



- 12) Mekkora a fényképezőgép-objektív gyújtótávolsága, ha a 60m távolságban lévő 15m magas épületről 2mm magasságú valódi képet állít elő a CCD-chipen?

- 13) A He-Ne lézer 633 nm hullámhosszúságú, a berendezésnél 1 mm átmérőjű nyalábját a Földről a Hold felé irányítjuk. A határozatlansági reláció alapján becsüljük meg a Holdon megvilágított terület minimális átmérőjét! A Hold - Föld távolságot vegyük 384000 km-nek! Mekkora kezdeti nyalábátmérő mellett lehetséges elvileg a legkisebb területet a Holdon megvilágítani? Mennyi ekkor a megvilágított folt átmérője?
- 14) Az emberi szem már alig veszi észre azt a sárga fényt ( $0,6 \mu\text{m}$ ), amely  $1,7 \cdot 10^{-6} \text{ W}$  teljesítménnyel érkezik a retinához. Hány foton érkezik 1 s alatt a szembe?
- 15) Egy adott gerjesztett állapot energiája (az alapállapothoz képest) 2 eV, élettartama  $10^{-8} \text{ s}$ . Mekkora az alapállapotba történő átmenet során kibocsájtott fotonok hullámhossza és hullámhossz kiszélesedése?
- 16) Egy rács 1100 karcolást tartalmaz milliméterenként. Hány fokos szögben vetíti ki a rajta áthaladó látható fény elsőrendű spektrumát? A látható fény hullámhosszhatárait vegyük 430 nm és 680 nm-nek!
- 17) Az argonion lézer 514 nm hullámhosszúságú, a berendezésnél 1 mm átmérőjű nyalábjával egy műholdról a Földet pásztázzuk. A határozatlansági reláció alapján becsüljük meg a Földön megvilágított terület minimális átmérőjét, amikor a műhold 200 km magasságban van! Mekkora kezdeti nyalábátmérő mellett lehetséges elvileg a legkisebb területet a Földön megvilágítani? Mennyi ekkor a megvilágított folt átmérője?
- 18) Egy tárgyat egy 15 cm fókusztávolságú vékony lencsétől 25 cm-re helyezek el. Hol és milyen kép keletkezik? Szerkesszük meg!
- 19) Egy tárgyat  $t = 0,8 \text{ m}$  távolságra helyezünk el egy  $D = 5$  dioptriás lencsétől. Hol keletkezik a kép, milyen a típusa? Mekkora a nagyítás? Szerkesszük meg a képet! ( $k=0.2666\text{m}$ ,  $N=1/3$ )
- 20) Egy csillámból készült fázistoló lemezben a két polarizációs irányra vonatkozó törésmutató  $n_x=1,594$  és  $n_y=1,599$ . Számítsuk ki egy félhullámú ( $\lambda/2$ ) lemez (tehát a két polarizációs irányra  $\pi$  relatív fázistolást végző) vastagságát! ( $63,3 \mu\text{m}$ )

## 2. témakör

### Kérdések

1. A szilárdtestfizika alapjai, a sáv szerkezet, a Fermi-Dirac-statisztika
2. Szilárdtest lézerek: a rubinlézer, a Nd:YAG lézer működése
3. A félvezető lézerek működése, heteroátmenetes lézerek
4. További lézertípusok: szabadelektron lézer, festéklézer, szállézer
5. Rövid lézerimpulzusok előállítása: aktív és passzív Q-kapcsolás, módusszinkronizáció
6. A nemlineáris optika alapjai, a frekvencia kettőzés, az ELI ALPS
7. Lézerbiztonság, a szem károsodása, veszélyességi osztályok
8. A Bragg-cella, a lézer Doppler rezgésmérés (LDV)
9. A precíziós lézer-interferometrius elmozdulás mérés

10. Az áramlástechnikában alkalmazott lézeres mérési módszerek (LDA, PIV)

11. A lézeres anyagmegmunkálás alapjai: lézeres vágás, hegesztés, hőkezelés

12. A holográfia elve és alkalmazásai, sík- és vastag hologramok készítése

13. Néhány informatikai lézeralkalmazás: CD (DVD), fénytávközlés

14. Lézeres fúzió és hűtés

2018. március 27.

## A

### Kidolgozandó kérdések

1. A Doppler-effektus (17 pont)
2. Az interferencia, koherencia feltételek, maximális erősítés és gyengítés. Példák az interferenciára (legalább egy „hétköznapi” példa és egy interferométer) (38 pont)

### Feleletválasztós kérdés

3. Melyik állítás jellemző a He-Ne lézerre? (Három betűt kell megadni!) (3, 8, 15 pont)
  - a. működése közben a hélium atomok két energiaszintje között populációinverzió áll fenn
  - b. három energiaszintű lézer
  - c. az első Magyarországon működő lézer ilyen volt
  - d. az egyik legnagyobb hatásfokú lézer
  - e. a gerjesztési energia átadása a két gáz között másodfajú ütközéssel történik
  - f. a közeli infravörösben sugároz
  - g. gerjesztése gázkisüléssel történik

### Feladatok

- 1) Valamely tárgy 4-szeres lineáris nagyítású képét akarjuk előállítani a tőle 1,2 m-re elhelyezett ernyőn (t+k). Milyen fókusztávolságú vékony lencsét kell használnunk? Mekkora a tárgytávolság? Szerkesszük meg a képet! (15 pont)
- 2) A He-Ne lézer 633 nm hullámhosszúságú, a berendezésnél 2 mm átmérőjű nyalábját egy 2 km-re lévő épület felé irányítjuk. A határozatlansági reláció alapján becsüljük meg az épületen megvilágított terület minimális átmérőjét! (15 pont)

### FIZIKAI ÁLLANDÓK

Coulomb-állandó:  $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Vm/As } (=1/4\pi\epsilon_0)$ Fénysebesség vákuumban:  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ Az elemi töltés:  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$

Az elektron nyugalmi tömege:  $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

Planck-állandó:  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

Avogadro-állandó:  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ /mol}$

Stefan-Boltzmann-állandó:  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$



