

# ФИЗИКА

## Час број 13

12. јануар 2015.

- Оптика

1

---

---

---

---

---

---

---

---

## План рада до краја семестра

- Термини за наставу
  - 28. 12. 2014.
  - 12.01.2015.
  - 15.01.2015. надокнада? Или понедељак? 19.1.2015.
- Треба да се организују
  - Термин за колоквијум из задатака ?1.2015.
  - Други колоквијум из градива, 16. 1.2015. (петак)
  - Поправни колоквијум, 23.1.2015.
- 09.02.2015. у 09.00, испит

2

---

---

---

---

---

---

---

---

## Геометријска оптика

- Светлост је ЕМ талас
- Ако је таласна дужина светлости неколико пута мања од величине препрека
  - Светлост се понаша као зрак - област физике је геометријска оптика
- Ако светлост интерагује са “малим” телима
  - Светлост се понаша као талас – област физике је таласна оптика

3

---

---

---

---

---

---

---

---

- Брзина светлости
  - Галилеј
  - Оле Ремер – 1676. Јупитерови сателити
  - $c=2,9972458 \times 10^8 \text{m/s} \approx 3 \times 10^8 \text{m/s}$

4

---

---

---

---

---

---

---

---

## Закони геометријске оптике. Одбијање и преламање

- Угао под којим се светлост рефлектује је једнак њеном упадном углу.
- Упадни зрак, нормала и одбојни зрак леже у истој равни а углови се мере у односу на нормалу
- То важи и за глатке и за неравне површине (за сваки њихов приближно раван део)
  - Зато неравне површине видимо са свих страна (ми, одећа, лишће, ) а равне само са једне (огледало)

5

---

---

---

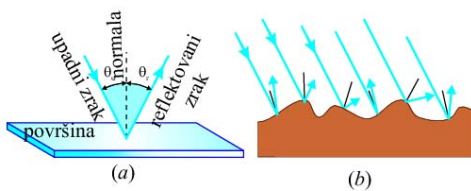
---

---

---

---

---



Slika 12.1: Ilustracija zakona odbijanja (a) koji важи за сваки (ravni) deo neravne površine (b).

6

---

---

---

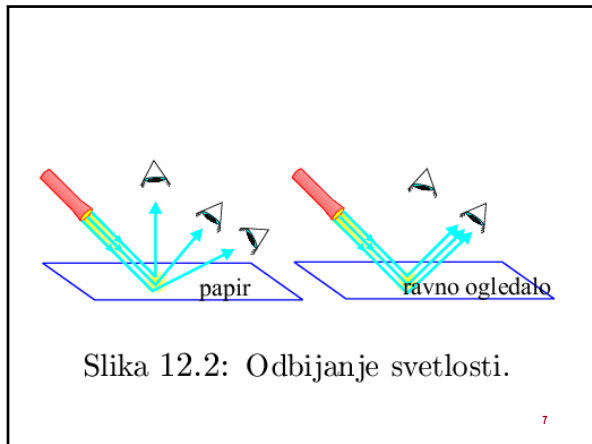
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

- Брзина светлости зависи од структуре средине
- Индекс преламања је:  $n=c/v$

- Увек је  $n \geq 1$
- За гасове  $n \approx 1$
- За воду  $n=1,33$
- За лед  $n=1,309$

Slika 12.3: Efekat prelamanja svetlosti.

---

---

---

---

---

---

---

---

Slika 12.4: Ilustracija zakona prelamanja.

- Снелијусов закон преламања  $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ . (12.2)

---

---

---

---

---

---

---

---

## Тотална унутрашња рефлексција

- Огледала рефлектују до 90%
  - Где је остатак?
- Потпуна рефлексција се догађа када светлост наилази из средине у којој је спорија (већи индекс преламања) а треба да пређе у средину у којој је бржа (мањи индекс преламања)
- Под одређеним условима се догађа тотална рефлексција
- Угао под којим се догађа је **критични угао**

10

---

---

---

---

---

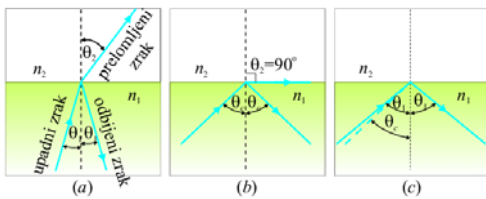
---

---

---

---

---



Slika 12.5: Uz objašnjenje efekta totalne refleksije.

$$n_1 \sin \theta_c = n_2 \quad \theta_c = \arcsin(n_2/n_1), \quad n_1 > n_2. \quad (12.3)$$

- Критични угао за дијамант 24,4°
- Светлост када уђе тешко излази из дијаманта

11

---

---

---

---

---

---

---

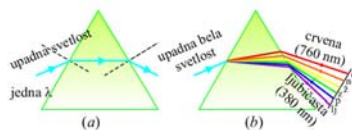
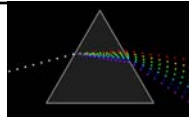
---

---

---

## Дисперзија (разлагање) светлости

- Њутн 1672. – разложио Сунчеву светлост на боје
- Дисперзија – процес промене правца кретања светлости услед разлике у таласној дужини



Slika 12.6: Prelamanje (a) svetlosti jedne talasne dužine, (b) složene svetlosti – disperzija.

12

---

---

---

---

---

---

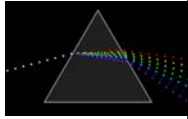
---

---

---

---

- Преломни угао зависи од индекса преламања (брзине) а он зависи од таласне дужине светлости
- Индекс преламања расте са смањењем таласне дужине
  - Највећи је за љубичасту светлост – она више скреће од црвене



	crvena	narandžasta	žuta	zelena	plava	ljubičasta
Sredina	660 nm	610 nm	580 nm	550 nm	470 nm	410 nm
voda	1,331	1,332	1,333	1,335	1,338	1,342
dijamant	2,410	2,415	2,417	2,426	2,444	2,458

Tabela 12.1: Indeks prelamanja za vodu i dijamant za različite talasne dužine

13

---

---

---

---

---

---

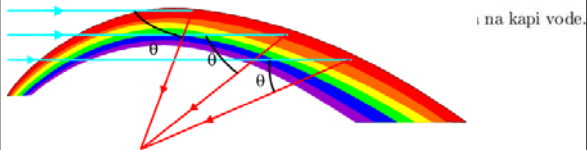
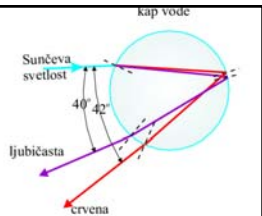
---

---

---

---

- Дуга се види на супротној страни од Сунца када је позадина тамна (олујно небо)



Slika 12.8: Objašnjenje lučnog izgleda duge.

14

---

---

---

---

---

---

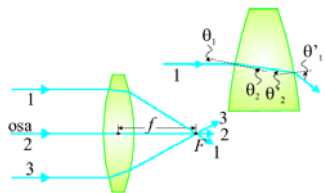
---

---

---

---

### Сочива



Slika 12.9: Sabirno sočivo.

$$\omega = 1/f. \quad (12.4)$$

- Име од поврха које личи на **конвексна** – сабирна сочива
- Праве се од стакла или провидних пластика
- Индекс преламања је већи него у ваздуху
- **Фокус (жижа) сочива**
- Што је жижа ближе сочиву сочиво је моћније – већа му је **оптичка моћ**

15

---

---

---

---

---

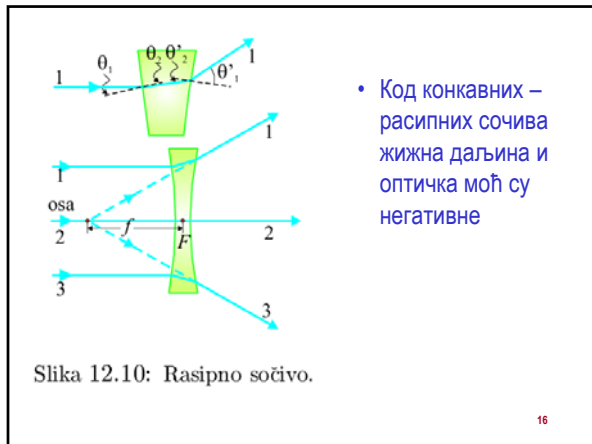
---

---

---

---

---




---

---

---

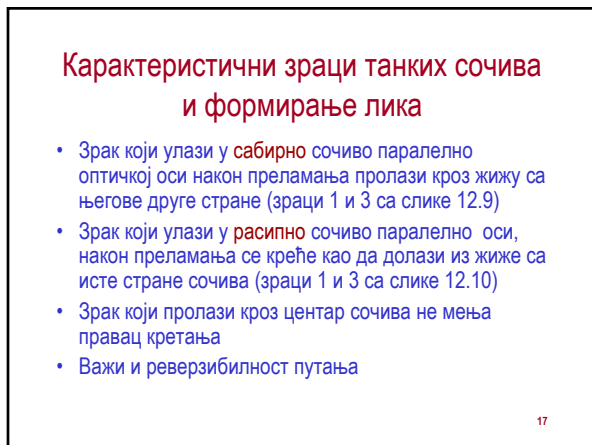
---

---

---

---

---




---

---

---

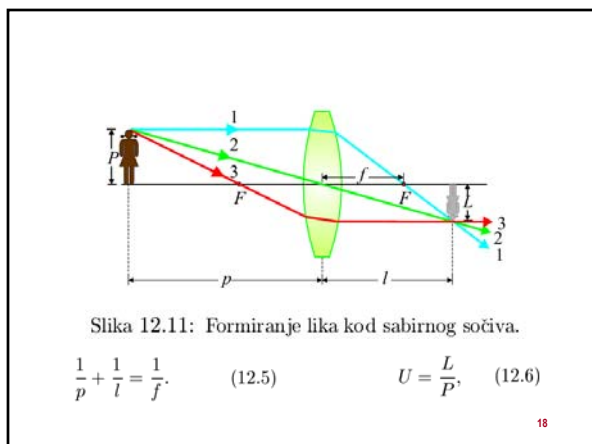
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

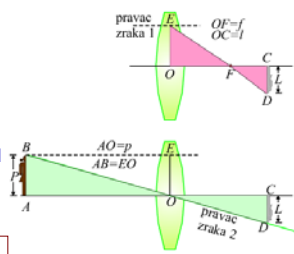
---

---

---

- EOF и FDC су слични
  - $CD/CF=EO/OF$
  - $CD/EO=CF/OF=(l-f)/f$
- ABO и CDO су слични
  - $AB/AO=CD/OC$
  - $CD/EO=l/p$

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{l} = \frac{1}{f} \quad (12.5)$$

$$U = L/P = l/p$$


Slika 12.12: Sabirno sočivo.

19

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

- Реалан лик
  - Може да се пројектује на екран, филм, ретину
  - Код сабирних сочива када је  $p > f$ , лик је
    - обрнут,
    - умањен и
    - реалан
- Виртуелан (имагинаран) лик
  - Не може ...
  - Нпр. кад лупу приближимо предмету, тј. буде  $p < f$ , лик је
    - усправан
    - увећан
    - виртуелан

20

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Формирање имагинарног лика код лупе



Slika 12.13: Konstrukcija lika predmeta koji je između žiže i centra sabirnog sočiva.

- Виртуелан лик не може да се пројектује на екран, филм, ретину, ...
- А зашто га онда видимо?
- Сочиво у нашем оку сакупља дивергентне зраке, сабира их и они падају на ретину

21

---

---

---

---

---

---

---

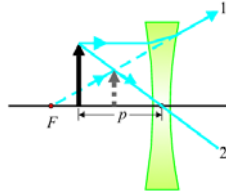
---

---

---

## Формирање лика расипним сочивом, 12.1.2015.

- Користе се за наочаре за кратковиде особе
- Ликови су усправни али мањи од објекта
- Са исте су стране сочива где је и предмет
- не могу да се пројектују – виртуелни су



Slika 12.14: Konstrukcija lika kod rasipnog sočiva.

22

---

---

---

---

---

---

---

---

Tip	formira se kada je	tip lika	$l$	$U$
slučaj 1	$f > 0, p > f$	realan	pozitivno	negativno
slučaj 2	$f > 0, p < f$	virtuelan	negativno	pozitivno, $U > 1$
slučaj 3	$f < 0$	virtuelan	negativno	pozitivno, $U < 1$

Tabela 12.2: Tri tipa likova formiranih tankim sočivima

- Реални ликови су увек изврнути а могу да буду и већи и мањи од објекта
- Виртуелни ликови су усправни и не могу да се пројектују

23

---

---

---

---

---

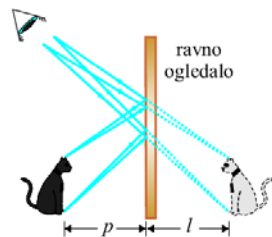
---

---

---

## Огледала

- Равна кућна, огледала за надзор, код зубара, за шминку, ...
- Рефлектују светлост
- Равно огледало – лик на истом растојању са друге стране огледала – имагинаран/виртуелан (не може да се пројектује – не постоји иза огледала)



Slika 12.15: Konstrukcija lika kod ravnog ogledala.

---

---

---

---

---

---

---

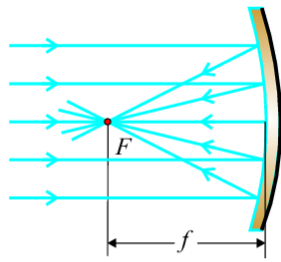
---



- Сабирно огледало – жижна даљина је позитивна
- Што је жижка ближе моћније је

$$\omega = 1/f$$

$$f = \frac{R}{2}, \quad (12.7)$$



Slika 12.16: Konkavno sferno ogledalo.

---

---

---

---

---

---

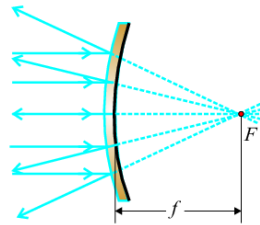
---

---

- Расипно огледало, фокус је иза њега па је жижна даљина негативна

• правила:

- Зрак који се приближава сабирном огледалу паралелно са оптичком осом, након одбијања пролази кроз његов фокус који је на истој страни огледала
- Зрак који се приближава расипном огледалу паралелно са оптичком осом, након одбијања се крећу као да им је почетак у жижи која се налази иза огледала
- Важи и обрнуто



Slika 12.17: Konveksno sferno ogledalo.

26

---

---

---

---

---

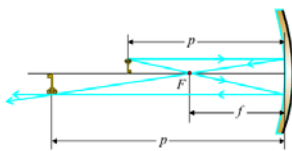
---

---

---

- Из сличности троуглова следи да важе релације облика (12.5) и (12.6)

- Конструкција lika за  $p > f$  (12.18)
- Лик је реалан, умањен и изврнут (увећање негативно) – случај 1 код сочива



Slika 12.18: Konstrukcija lika kod sabirnog ogledala za  $p > f$ .

27

---

---

---

---

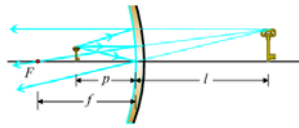
---

---

---

---

- Конструкција лика за  $p < f$  (12.19)
- Лик је имагинаран, увећан и усправан (огледала за шминку, код зубара) – случај 2 код сочива



Slika 12.19: Konstruksiја lika kod sabirnog ogledala за  $p < f$ .

28

---

---

---

---

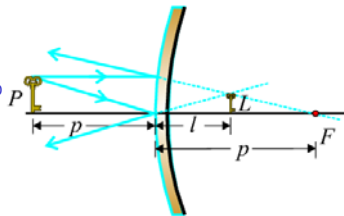
---

---

---

---

- Конвексна огледала – расипна (жижна даљина негативна) - формирају само један тип ликова (тип 3) - као код расипних сочива, усправан и мањи од објекта.
- Лик је иза огледала – виртуелан је
- Конкавна огледала делују као конвексна сочива
- Конвексна огледала делују као конкавна сочива



Slika 12.20: Konstruksiја lika kod rasipnih ogledala.

29

---

---

---

---

---

---

---

---

## Микроскоп

- Користи светлост и систем сочива за добијање увећане слике малих узорака.
- Моћ раздвајања
  - ока је око 0,1 мм (ограничена даљином јасног вида од 25 цм)
  - Лупе око 0,01 мм
  - Микроскопа 0,0001мм, тј. 0,1 микрометар
- Најједноставнији микроскоп (два сабирна сочива – објектив и окулар) конструиран пре око 400 година
  - (Ханс и Захаријас Јенсен (1580-1638) – холанђани, Галилеј, Хајгенс, Левенхук (1632-1723))

30

---

---

---

---

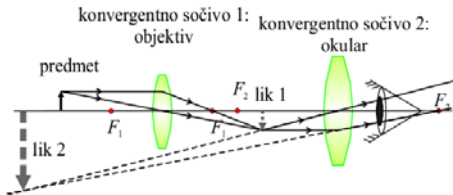
---

---

---

---

- Објектив – систем сочива која се понашају као једно сабирно сочиво које увећава предмет и даје реалан лик предмета мало даље од жиже
- Окулар – систем сочива која имају улогу лупе која увећава додатно лик
  - Коначни лик је увећан, имагинаран и изврнут.




---

---

---

---

---

---

---

---

## Увећање микроскопа

$$u = u_{ob}u_{ok}$$

$$u_{ob} = \frac{l_1}{p_1}$$

$$u_{ok} = \frac{d}{f_{ok}} + \frac{d}{l_2}$$

$$u = \frac{ld}{f_{obj}f_{ok}}, \quad (12.8)$$

- Укупно увећање једнако је производу увећања објектива и окулара
- $d$  – даљина јасног вида
- (12.8) апроксимативна формула  $l$  – дужина тубуса окулара (обично је око 18 цм)
- Ограничавајући фактори
  - Таласна природа светлости
  - Одступа од праволијског простирања и даје више ликова који се преклапају
  - Дешава се када су делови структуре посматраног објекта реда величине таласне дужине употребљене светлости

32

---

---

---

---

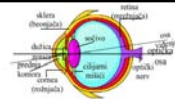
---

---

---

---

## Људско око



Slika 12.22: Sematski prikaz preseka oka.

- Око 90% информација примамо видом
- Око је сферног облика, пречника око 25 мм
- Сложен оптички систем са неколико сферних површина на којима се прелама светлост
- Спољни слој ока је непрозиран – **беоњача** – са предње стране је испупчен и провидан – кроз њега улази светлост – предњи испупчени део се зове **рожњача** (дебљина 0,5 мм, полупречник закривљености око 7,8 мм)
- Иза рожњаче је комора испуњена **очном течношћу** индекса преламања 1,336
- Обојени део ока се назива **дујица** (ирис) са отвором на средини – **зеницом**.
- Иза зенице је **очно сочиво**, индекса преламања 1,413. Сочиво прилагођава жижну даљину променом облика помоћу цилијарних мишића – **акомодација** ока

33

---

---

---

---

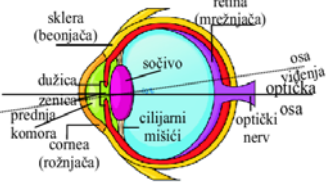
---

---

---

---

- Унутрашњости ока се налази **стакласто тело**. Индекс преламања као и очне течности
- **Мрежњача** облаже унутрашњост ока – богата крвним судовима и нервима те осетљива на светлост
- **Жута мрља** – најосетљивија тачка
- У њој се налазе ћелије нервних завршетака у облику **штапића** и **челића** – претварају светлост у електричне импулсе
- **Fovea centralis** садржи само челиће – најоштрије виђење – мишићи окрећу јабучицу тако да светлост пада на њу.
- Место где очни нерв улази у мрежњачу нема ни челића ни штапића – **слеп мрља**
- Оштрина се постиже променом жижних даљина преломних површина
- У ненапрегнутом стању око има тавку жижну даљину да се јасно види предмет удаљен 25 до 35 цм.
- Стога је **даљина јасног вида** 25 цм



Slika 12.22: Šematski prikaz preseka oka.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

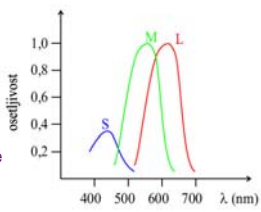
---

---

---

## Боје и људско око

- Боје – у вези са таласном дужином ВИС ЕМ зрачења
- Два типа фотосензитивних ћелија (њихова супстанца се разлике под дејством светлости)
  - Штапићи, 1000 пута осетљивији - служе за ноћно виђење и перифериски вид
  - Челићи, одговорни за дневно виђење и оштрину вида
    - Црвени (L), плави (S) и зелени (M) – одговарају примарним бојама



Slika 12.23: Relativna osetljivost tri tipa čepića na različite talasne dužine.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Боје тела које видимо

- Права боја – одређена апсорптивним и рефлективним особинама
  - Бела (сложена) светлост падне на тело плаве боје само се ова боја рефлектује а остале се апсорбују
  - Бела тела рефлектују све боје а црна апсорбују све
- Ако тело осветлимо светлошћу која није бела?
  - Шта видимо уколико плаво тело осветлимо црвеном светлошћу?
- Боја светлосних извора је одређена таласном дужином светлости коју емитују
  - He-Ne ласер емитује црвену светлост
  - Сунце – жућкасту,
  - Флуоресцентне сијалице плавасто – белу
  - Сијалице са усијаном нити црвенкасто- белу (видимо их ако гледамо директно у извор или осветлимо њима бело тело)

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Таласна оптика

- Светлост је ЕМ талас на који је наше око осетљиво ( $380 \text{ nm} < \lambda < 760 \text{ nm}$ )
- Када наилази на "мала" тела њена таласна својства долазе до изражаја
- Када прелази из ваздуха у другу средину мења јој се брзина. Фреквенција се не мења (јер се боја не мења) следи да се таласна дужина мења

$$\left. \begin{aligned} v &= c/n \\ c/n &= v = \lambda\nu/n \end{aligned} \right\} \begin{aligned} v &= \lambda_n \nu, \\ \lambda_n &= \frac{\lambda}{n} \end{aligned}$$

Таласна дужина светлости у материјалној средини је мања од таласне дужине у вакууму

---

---

---

---

---

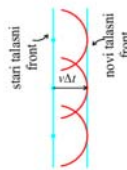
---

---

---

## Хајгенсов принцип. Дифракција

- Хајгенс – развио технику за одређивање позиције новог таласног фронта на основу познавања његове претходне позиције.
- Свака тачка таласног фронта је извор нових сферних секундарних таласа који се шире из ње одговарајућом брзином. Након неког времена нова позиција таласног фронта је површ (линија) која је тангентна на фронтове секундарних таласа.
- Важи за све врсте таласа. На основу њега се могу објаснити
  - одбијање и преламање (геометријска оптика)
  - интерференција (чисто таласни феномен).



Slika 12.24: Хајгенсов принцип.

38

---

---

---

---

---

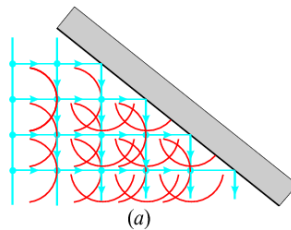
---

---

---

## Објашњење закона одбијања уз помоћ Хајгенсовог принципа

- Секундарни таласи се емитују прво из тачака огледала која су прва погођена таласом.
- Секундарни таласи из ближег дела огледала стога прелазе веће растојање од оних из даљих.
- Правац преношења је нормалан у односу на таласни фронт
- Положај таласних фронта пре и после рефлексије показује да је нови таласни фронт рефлектован под углом који је једнак упадном



39

---

---

---

---

---

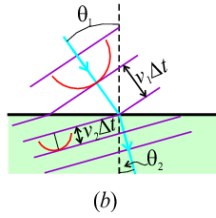
---

---

---

## Објашњење преламања уз помоћ Хајгенсовог принципа

- Свака тачка раздвојене површине је извор секундарних таласа.
- Уколико је брзина у доњој средини мања секундарни таласи ће у њој за исто време прећи мање растојање него у првој па таласни фронт мења правац.



40

---

---

---

---

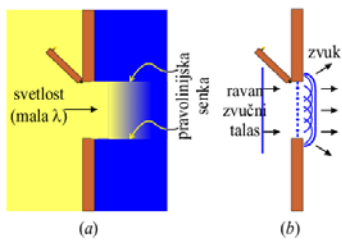
---

---

---

---

## Пролазак светлости и звука кроз врата. (Колика је таласна дужина звука?)



Slika 12.26: Prolazak svetlosti (a) i zvuka (b) kroz isti otvor.

41

---

---

---

---

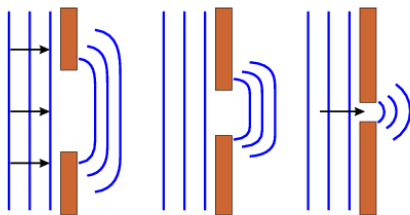
---

---

---

---

## Пролазак светлости кроз мали отвор и савијање (дифракција)



Slika 12.27: Хајгенсов принцип и објашњење дифракције.

42

---

---

---

---

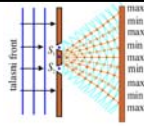
---

---

---

---

## Јангов експеримент са два прореза



- Њутново честично гледиште на светлост
- Хајгенсово – таласно
- 1801. Јангов експеримент дифракције на два прореза
- Зашто то не региструјемо у свакодневним околностима?
  - Светлост мора да интерагује са нечим малим – упоредивим са њеном таласном дужином
  - Светлост није кохерентна. Јанг је направио кохерентну светлост (фазна разлика је константна) пропуштајући је прво кроз један прорез
  - Након проласка кроз два прореза долази до интерференције секундарних таласа
  - Сложена светлост интерферира по свакој боји појединачно – боље је да се узме монохроматски извор
  - Након пролаза кроз прорезе дифрактује у семициркуларне таласе
  - На местима где се поклопе брегови (или доље) долази до појачања, ...

43

---

---

---

---

---

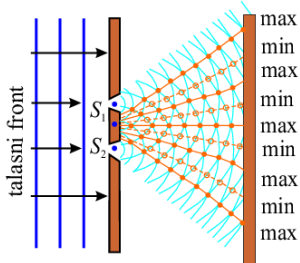
---

---

---

---

---



Slika 12.28: Širenje svetlosti iz dva proreza i njena interferencija.

44

---

---

---

---

---

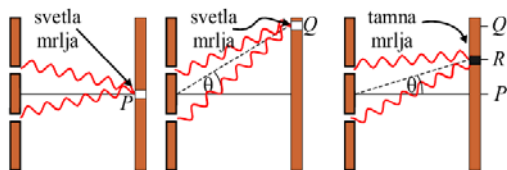
---

---

---

---

---



Slika 12.29: Skica formiranja centralnog maksimuma i prve tamne i svetle mrlje od njega.

45

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

- Заклон је на растојању много већем од удаљености прореза па је угао исти за све зраке који иду у исту тачку.

- Разлика пређених путева је

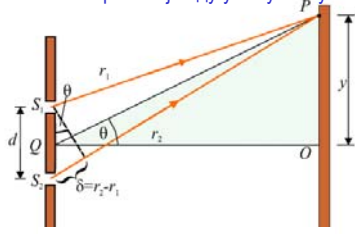
$$\delta = d \sin \theta.$$

Појачање – конструктивна интерференција

$$d \sin \theta = m\lambda, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

Слабљење – деструктивна интерференција

$$d \sin \theta = (m + \frac{1}{2})\lambda, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$



Slika 12.30: Razlika pređenih puteva talasa iz dva proreza koji dolaze u istu tačku na zaklonu.

46

---

---

---

---

---

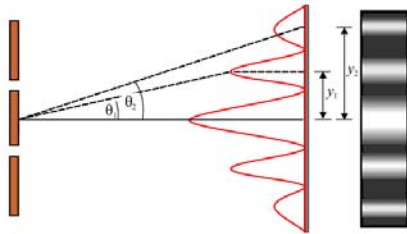
---

---

---

---

---



Slika 12.31: Intenzitet svetlih linija opada sa povećanjem ugla difrakcije.

$$d \sin \theta = m\lambda, \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (12.9)$$

$$d \sin \theta = (m + \frac{1}{2})\lambda, \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (12.10)$$

47

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Дифракција на више прореза и дифракција на једном прорезу

- Исти процес се дешава и када је у питању један отвор али и када их је више
- Оптички систем са више отвора – дифракциона решетка
- На решетци се добија слика слична оној на два прореза али је израженија
- Формуле за дифракцију на решетци су исте као и за дифракцију на два прореза.

48

---

---

---

---

---

---

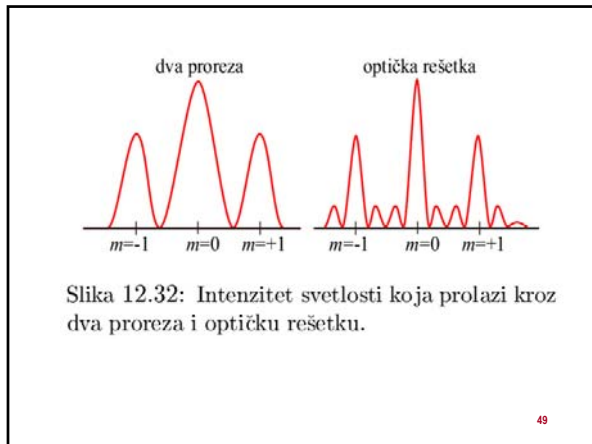
---

---

---

---






---

---

---

---

---

---

---

---




---

---

---

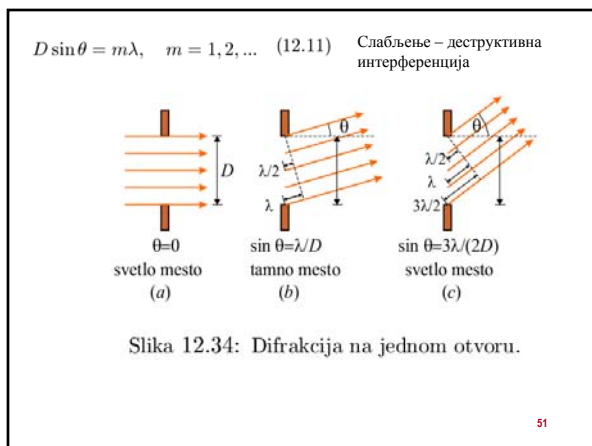
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

## Ограничење увећања. Рејлијев критеријум

- Једна од последица дифракције на малим отворима је што уместо слика његових оштрих ивица се добија светла тачка нејасних ивица окружена светлим и тамним прстеновима
- Таласне особине светлост такође лимитирају резолуцију инструмента којим гледамо објекте

52

---

---

---

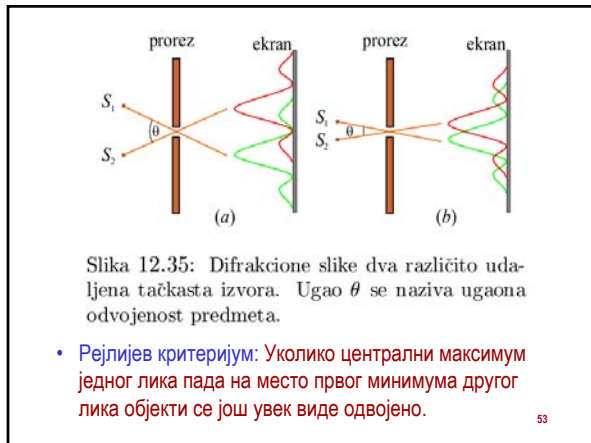
---

---

---

---

---



53

---

---

---

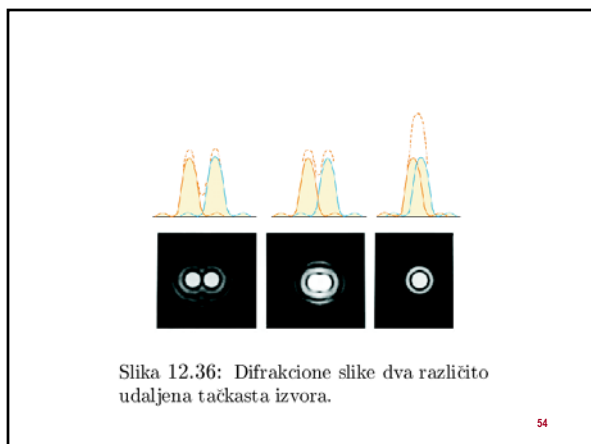
---

---

---

---

---



54

---

---

---

---

---

---

---

---

- Колика је угаона одвојеност  $\theta_{\min}$  за коју се ликови два предмета још увек разликују?
- Први минимум се појављује на месту за које важи

$$\sin \theta = \frac{\lambda}{D}$$

- Како је  $\lambda \ll D$ ,  $\sin \theta$  има малу вредност па важи апроксимација  $\sin \theta \approx \theta$
- Минимална угаона резолуција је стога  $\theta_{\min} = \lambda/D$
- Прецизнија анализа даје резултат

$$\theta_{\min} = 1,22 \frac{\lambda}{D} \quad (12.12)$$

55

---

---

---

---

---

---

---

---