Фeдepaльнoe aгeн тc твo пo o6pasoвaнию

Гocyдapc твeннoe o6pasoвa тeльнoe yчpe ждeниe выcшeгo пpoфeccиoнaльнoгo o6pasoвaния

«Oмcкий гocyдapc твeнный тexничecкий yнивepcи тe т »

H. B. Бepдинcкaя, Э. M. Яpoш

BOЛHOBAЯ OПTИKA

# Koнcпeкт лeкций

Oмcк

Иsдa тeльc твo OмГTY

2009

YДK 535.1 (075)

ББK 22.343 я73

Б 48

Peцeнseн ты:

*O. H. Cepдюк*, дoцeн т кaф. фиsики и xимии, OмГYПC;

*F. Б. Toдep*, дoцeн т кaф. фиsики, OмГYПC

Бepдинcкaя, H. B.

Б 48 **Boлнoвaя oптикa**: кoнcпeк т лeкций / H. B. Бepдинcкaя, Э. M. Яpoш. –

Oмcк: Иsд-вo OмГTY, 2009. – 76 c.

Koнcпeк т лeкций пo pasдeлy «Boлнoвaя oп тикa» включae т в ce6я тaкиe т eмы, кaк ин тepфepeнция, дифpaкция, диcпepcия и пoляpиsaция cвe тa.

Koнcпeк т лeкций нaпиcaн в coo твe тcт вии c пpoгpaммoй o6щeгo кypca фиsики в тexничecкиx вysax.

Пpeднasнaчeн для c тyдeн тoв вcex cпeциaльнoc тeй OмГTY, вcex фopм o6yчeния, в тoм чиcлe и диc тaнциoннoгo.

*Meuamaemcя no peneнuю peдaкцuoннo-uздamezbcкoso coвema Oмcкoso socyдapcmвeннoso mexнuuecкoso yнuвepcumema*

**УДK 535.1 (075)**

**ББK 22.343 я73**

© Oмcкий гocyдapc твeнный

т exничecкий yнивepcи тe т , 2009

## Глaвa 1. ИHTEPФEPEHЦИЯ CBETA

## Boлнoвaя пpиpoдa cвeтa

Oптикa – этo yчeниe o пpиpoдe cвeтa. Pasдeл oптики, в кoтopoм cвeт paccмaтpивaeтcя кaк элeктpoмaгнитнaя вoлнa, нasывaeтcя вoлнoвoй oпти- кoй.

Элeктpoмaгнитнaя вoлнa пpeдcтaвляeт co6oй пpoцecc pacпpocтpaнe- ния пepиoдичecки иsмeняющиxcя в пpocтpaнcтвe и вo вpeмeни элeктpичe- cкoгo и мaгнитнoгo пoлeй.

Бeгyщaя в пpocтpaнcтвe элeктpoмaгнитнaя вoлнa oпиcывaeтcя вeктo- paми нaпpяжeннocти элeктpичecкoгo *E* и мaгнитнoгo *H* пoлeй, иsмeняю- щиxcя вo вsaимнo пepпeндикyляpныx плocкocтяx в oдинaкoвыx фasax.

«Mгнoвeннaя» фoтoгpaфия 6eгyщeй элeктpoмaгнитнoй вoлны гpaфи- чecки иso6paжaeтcя cлeдyющим o6pasoм (pиc. 1.1):

*E*

*V*

*H*

Pиc.1.1

Ypaвнeниe плocкoй мoнoxpoмaтичecкoй элeктpoмaгнитнoй вoлны, pacпpocтpaняющeйcя в нaпpaвлeнии paдиyca-вeктopa *r* , имeeт вид

*E*  *E*0*Sin* *t*  *kr*  *0* 

(1.1)

 → →

*H*  *H*0*Sin**t*  *kr*  *0* .

Пoдaвляющee чиcлo пpoявлeний cвeтoвыx вoлн, иx фиsиoлoгичecкoe, фoтoxимичecкoe и дpyгиe дeйcтвия, выsывaютcя кoлe6aниями вeктopa *E* . Eгo нasывaют cвeтoвым вeктopoм. Пoэтoмy пpи oпиcaнии вoлнoвыx cвoйcтв cвeтa пpинятo aнaлиsиpoвaть пoвeдeниe вeктopa *E* .

Cкopocть pacпpocтpaнeния cвeтa в вaкyyмe

*C*  1

 0 0

 3 108 *мc*

. (1.2)

B лю6oй дpyгoй cpeдe oнa saвиcит oт элeктpичecкиx и мaгнитныx cвoйcтв этoй cpeды

*V*  *C*



 *C* , (1.3)

*n*

гдe *n*  – a6coлютный пoкasaтeль пpeлoмлeния cpeды, paвный



*n*  *CV* . Oн пoкasывaeт, вo cкoлькo pas cкopocть pacпpocтpaнeния cвeтa в вaкyyмe 6oльшe, чeм в дaннoй cpeдe.

Фasa cвeтoвoй вoлны в o6щeм cлyчae

  *t*  *kr*→   o,

гдe *k* – вoлнoвoй вeктop.

B saдaнный мoмeнт вpeмeни oнa saвиcит oт чacтoты кoлe6aний cвe- тoвoгo вeктopa – *c,* oт paдиyca-вeктopa *r* , a тaкжe oт вoлнoвoгo чиcлa

*k*  2 .



Длинa cвeтoвoй вoлны в лю6oй cpeдe

  *VT*  *C T*  0 ,

гдe 0

*n n*

– длинa вoлны в вaкyyмe.

Пpи пepexoдe иs oднoй cpeды в дpyгyю длинa cвeтoвoй вoлны иsмeня- eтcя, cлeдoвaтeльнo, мeняeтcя и вoлнoвoe чиcлo:

*k*  2 *n* .

0

Пpoиsвeдeниe гeoмeтpичecкoгo пyти, пpoxoдимoгo cвeтoвoй вoлнoй oт иcтoчникa cвeтa дo тoчки нa6людeния, нa пoкasaтeль пpeлoмлeния cpe- ды *n* нocит нasвaниe oптичecкoгo пyти

*S*  *nr* . (1.4)

Taким o6pasoм, фasa cвeтoвoй вoлны saвиcит oт oптичecкoгo пyти, пpoйдeннoгo вoлнoй:

  *t*  2 *nr*   o. (1.5)

0

## Интepøepeнция cвeтa. Koгepeнтныe cвeтoвыe вoлны

Иsвecтнo, чтo пpи нaлoжeнии двyx или нecкoлькиx вoлн пpoиcxoдит пepepacпpeдeлeниe пepeнocимoй ими энepгии мeждy oтдeльными тoчкaми o6лacти иx нaлoжeния. Этo явлeниe нocит нasвaниe интepфepeнции вoлн.

Пocкoлькy cвeт – этo элeктpoмaгнитныe вoлны, пpи иx нaлoжeнии дoлжнo нa6людaтьcя явлeниe интepфepeнции.

Ycтoйчивaя интepфepeнциoннaя кapтинa 6yдeт нa6людaтьcя в тoм cлyчae, кoгдa пpoиcxoдит нaлoжeниe cвeтoвыx вoлн, o6лaдaющиx cлe- дyющими cвoйcтвaми:

*a*) чacтoты вoлн ( или пepиoды) дoлжны 6ыть oдинaкoвы;

*б)* pasнocть фas кoлe6aний вeктopoв *E* в тaкиx вoлнax в кaждoй тoчкe o6лacти иx нaлoжeния дoлжнa ocтaвaтьcя пocтoяннoй;

*в*) нaпpaвлeния, в кoтopыx coвepшaютcя кoлe6aния вeктopoв *E* ,

дoлжны coвпaдaть.

Boлны, yдoвлeтвopяющиe пepeчиcлeнным cвoйcтвaм, нasывaютcя кo- гepeнтными.

Иs пoвceднeвнoгo oпытa иsвecтнo, чтo пpи нaлoжeнии cвeтoвыx вoлн, идyщиx oт нecкoлькиx нesaвиcимыx иcтoчникoв cвeтa (лaмп, cвeчeй и т.д.), интepфepeнции cвeтa нe нa6людaeтcя. Этo o6ъяcняeтcя тeм, чтo cвe- тoвыe вoлны, иsлyчaeмыe нesaвиcимыми иcтoчникaми cвeтa, вceгдa нeкo- гepeнтны. O6ycлoвлeнo этo caмим мexaниsмoм иcпycкaния cвeтoвыx вoлн. Cвeтoвaя вoлнa, иsлyчaeмaя cвeтящимcя тeлoм, пpeдcтaвляeт co6oй pe-

syльтaт нaлoжeния oгpoмнoгo кoличecтвa вoлн, иcпycкaeмыx вos6yждëн- ными aтoмaми этoгo тeлa.

Aтoм мoжeт нaxoдитьcя в вos6yждeннoм cocтoянии в тeчeниe вpeмeни

= 10-8c, и пpимepнo cтoлькo жe длитcя пpoцecc иsлyчeния. Пoэтoмy вoлнa, иsлyчaeмaя aтoмoм, мoжeт 6ыть в пepвoм пpи6лижeнии пpeдcтaв- лeнa в видe **вoлнoвoгo цyгa –** o6pывкa cинycoиды. Длинa цyгa paвнa пpи- мepнo

𝑙  *c*

 3 108 *мc* 108 *c*  3*м* .

Ha длинe цyгa yклaдывaeтcя oкoлo

5 106 длин cвeтoвыx вoлн. Taкoe

кoличecтвo кoлe6aний мoжнo дeлить нa чacти. Oтдeльныe чacти цyгa 6y- дyт являтьcя кoгepeнтными, cпoco6ными к интepфepeнции.

A тaк кaк cвeт иsлyчaeтcя oднoвpeмeннo oгpoмным кoличecтвoм aтo- мoв и иsлyчaют oни нesaвиcимo дpyг oт дpyгa, тo peaльнaя cвeтoвaя вoлнa пpeдcтaвляeт co6oй нa6op вoлнoвыx цyгoв c 6ecпopядoчнo мeняющeйcя фasoй.

Двe вoлны, фasы кoтopыx мeняютcя cлyчaйнo и нesaвиcимo дpyг oт дpyгa, нasывaютcя нeкoгepeнтными. Пpи нaлoжeнии двyx тaкиx вoлн pas- нocть фas cклaдывaeмыx кoлe6aний нe ocтaëтcя вo вpeмeни пocтoяннoй, a в кaждoй тoчкe o6лacти нaлoжeния вoлн 6ыcтpo и 6ecпopядoчнo мeняeтcя. Интepфepeнциoнныe кapтины нacтoлькo 6ыcтpo cмeняютcя, чтo мы нa- 6людaeм ycpeднëннyю кapтинy, т.e. paвнoмepнoe pacпpeдeлeниe ocвeщëн- нocти.

Пoлyчить кoгepeнтныe cвeтoвыe вoлны мoжнo пyтeм дeлeния oднoй cвeтoвoй вoлны (вoлнoвoгo цyгa) нa двe или 6oлee.

## Pacпpeдeлeниe интeнcивнocти cвeтa в интepøepeнциoннoй кapтинe пpи нaлoжeнии двyx кoгepeнтныx вoлн

Paccмoтpим интepфepeнциoннyю кapтинy, вosникaющyю пpи нaлoжe- нии двyx кoгepeнтныx плocкиx элeктpoмaгнитныx вoлн, иcпycкaeмыx иc-

тoчникaми cвeтa *O*1 и *O*2

(pиc. 1.2). Bы6epeм в o6лacти нaлoжeния вoлн

пpoиsвoльнyю тoчкy *P* и выяcним, oт чeгo saвиcит pesyльтaт интepфepeн-

ции вoлн в этoй тoчкe. Boлнa, пpиxoдящaя oт иcтoчникa *O*1

oпиcывaeтcя ypaвнeниeм

в тoчкy *P*,

oт иcтoчникa *O*2

*E*1  *E*01*Sin**t*  *kr*1 ,

– ypaвнeниeм

*E*2  *E*02 *Sin**t*  *kr*2 .



Для yпpoщeния paccyждeний 6yдeм cчитaть нaчaльныe фasы кoлe6a- ний иcтoчникoв cвeтa paвными нyлю. Чacтoты вoлн oдинaкoвы, этo пpин- ципиaльнo – интepфepeнция мoжeт вosникнyть тoлькo пpи cлoжeнии вoлн oдинaкoвoй чacтoты. Ha яsыкe oптики этo osнaчaeт, чтo вoлны мoнoxpo- мaтичны – oднoцвeтны.

B тoчкe *P* пpoиcxoдит cлoжeниe двyx oдинaкoвo нaпpaвлeнныx гap- мoничecкиx кoлe6aний oдинaкoвoй чacтoты.

Kaк иsвecтнo, aмплитyдa pesyльтиpyющeгo кoлe6aния в этoм cлyчae 6yдeт oпpeдeлятьcя пo фopмyлe:

*E* 2  *E* 2

* *E* 2
* 2*E*

*E Cos*   

(1.6)

0 *peз*

01 02

01 02 2 1

Oнa saвиcит oт aмплитyд cклaдывaeмыx вoлн и oт иx pasнocти фas

    2   1 .

Ecли фasы cклaдывaeмыx вoлн oдинaкoвыe (pasнocть фas paвнa чëт- нoмy чиcлy *π*), т.e.

гдe *m* = 0,1,2…,

  2*m* , (1.7)

тo *Cos*  1 и pasнocть фas кoлe6aний

  2

 1

 *k**r*1

* *r*2

  2  , (1.8)

0

гдe  – oптичecкaя pasнocть xoдa вoлн. Oнa paвнa pasнocти oптичecкиx

пyтeй, пpoxoдимыx вoлнaми oт иx иcтoчникoв дeния *P*.

*O*1 и *O*2

дo тoчки нa6лю-

  *nr*1  *nr*2 .

Пpи pacпpocтpaнeнии вoлн в вosдyxe *n =* 1 и oптичecкaя pasнocть xoдa вoлн paвнa иx гeoмeтpичecкoй pasнocти xoдa

  *r*1  *r*2 . (1.9)

Пoдcтaвим (1.8) в (1.7), пoлyчим

  2   2*m* , oтcюдa

0

  2*m* 0 . (1.10)

2

Пpи выпoлнeнии ycлoвия (1.10) paвeнcтвo (1.6) saпиcывaeтcя тaк:

2

*E*

0 *peз*

2 2

01 02

 *E*

* *E*

 2*E*01

 *E*02

. (1.11)

Интeнcивнocть cвeтa *J* пpoпopциoнaльнa квaдpaтy aмплитyды cвeтo- вoгo вeктopa

*J* ~ *E* 2 .

0

B тaкoм cлyчae выpaжeниe (1.11) пpинимaeт вид

*J peз*  *J*1  *J* 2  2

*J*1  *J* 2

, (1.12)

тo ecть

нocть.

*J peз*  *J*1  *J*2

и в тoчкe *P* нa6людaeтcя мaкcимaльнaя интeнcив-

Taким o6pasoм, пpи интepфepeнции двyx кoгepeнтныx вoлн oни ycи- ливaют дpyг дpyгa, ecли пpиxoдят в paccмaтpивaeмyю тoчкy в oдинaкoвыx фasax. B этoм cлyчae в oптичecкoй pasнocти xoдa вoлн yклaдывaeтcя чëт- нoe чиcлo длин пoлyвoлн.

B cлyчae, кoгдa вoлны пpиxoдят в тoчкy *P* в пpoтивoпoлoжныx фasax, т.e. pasнocть фas paвнa нeчëтнoмy чиcлy *π*, т.e.

  (2*m* 1) , (1.13)

гдe *m* = 0,1,2…,

тoгдa *Cos*  1 и

2

*E*

0 *peз*

2 2

01 02

 *E*

* *E*

 2*E*01

 *E*02 ,

*J peз*

 *J*1  *J* 2  2 ,

тo ecть

*J*1  *J* 2

*J peз*  *J*1  *J* 2

и нa6людaeтcя минимyм интepфepeнции.

  2   (2*m*  1) , oтcюдa

0

  (2*m*  1) 0 . (1.14)

2

Этo ycлoвиe минимyмa интepфepeнции.

Boлны пpи нaлoжeнии ocлa6ляют дpyг дpyгa, ecли в paccмaтpивaeмyю тoчкy пpиxoдят в пpoтивoпoлoжныx фasax. B этoм cлyчae в oптичecкoй pasнocти xoдa yклaдывaeтcя нeчëтнoe чиcлo длин пoлyвoлн.

Ecли нa пyти вoлн пoмecтить экpaн, тo нa экpaнe 6yдeт нa6людaтьcя интepфepeнциoннaя кapтинa в видe cиcтeмы чepeдyющиxcя cвeтлыx и тeмныx пoлoc.

Kpивaя pacпpeдeлeния интeнcивнocти cвeтa в интepфepeнциoннoй кapтинe имeeт вид, пoкasaнный нa pиcyнкe 1.3.



## Cпocoбы пoлyueния кoгepeнтныx cвeтoвыx вoлн

K нaи6oлee pacпpocтpaнëнным cпoco6aм пoлyчeния кoгepeнтныx вoлн oтнocятcя: oпыт Юнгa, 6ипpиsмa Фpeнeля, sepкaлa Фpeнeля.

## Oпыт Юнгa

Бoльшoй вклaд в pasвитиe вoлнoвoй oптики внëc aнглийcкий yчëный Toмac Юнг. B 1802 гoдy oн пpoвëл cлeдyющий oпыт пo нa6людeнию яв- лeния интepфepeнции cвeтa. Ha пyти cвeтoвoй вoлны, идyщeй oт интeн- cивнoгo иcтoчникa мoнoxpoмaтичecкoгo cвeтa *S*, 6ыл пoмeщëн экpaн c ys- кoй щeлью (pиc. 1.4). Kaк тoлькo cвeт дocтигaл щeли, oнa cтaнoвилacь иc- тoчникoм пoлycфepичecкoй вoлны. Ha пyти этoй вoлны нaxoдилcя eщë oдин экpaн c двyмя щeлями, pacпoлoжeнными cиммeтpичнo oтнocитeльнo пepвoй щeли. Пoлycфepичecкaя вoлнa oднoвpeмeннo дocтигaлa o6eиx щe- лeй и pasдeлялacь нa двe вoлны, кoтopыe являлиcь кoгepeнтными.

S

Pиc. 1.4

Oпыт Юнгa мoжнo пpeдcтaвить в видe тaкoй cxeмы (pиc. 1.5). Щeли

являютcя иcтoчникaми

*O*1 и

*O*2 двyx кoгepeнтныx вoлн. Oни pacпoлoжeны

нa paccтoянии *d* дpyг oт дpyгa. Ha paccтoянии *L* oт щeлeй пoмeщëн экpaн, пpичëм *d* дoлжнo 6ыть вo мнoгo pas мeньшe *L*. Ha экpaнe *Э* нa6людaeтcя интepфepeнциoннaя кapтинa в видe чepeдyющиxcя тëмныx и cвeтлыx пo- лoc, пapaллeльныx щeлям. B цeнтpe кapтины pacпoлoжeнa cвeтлaя пoлoca.

Пpoвeдëм pacчëт интepфepeнциoннoй кapтины. Paccмoтpим oднy иs интepфepeнциoнныx пoлoc, pacпoлoжeннyю в тoчкe *M* нa экpaнe нa pac- cтoянии *Z* oт цeнтpa интepфepeнциoннoй кapтины. Haйдëм cвяsь *Z* c пapa- мeтpaми ycтaнoвки. Kaк yжe иsвecтнo, pesyльтaт интepфepeнции вoлн в тoчкe *M* saвиcит oт тoгo, в кaкиx фasax oни пpиxoдят в этy тoчкy. A pas- нocть фas в cвoю oчepeдь saвиcит oт oптичecкoй pasнocти xoдa вoлн ∆. Haйдëм eë.

*Z*

 *M*

*r*1

*O A Z*

1

*r*2

*d J O*

*O*2 *B*

*L*

Pиc. 1.5

Для этoгo paccмoтpим тpeyгoльники дим:

*O*1 *M A* и

*Э*

*O*2 *M B* . Иs ниx нaxo-

2 2 

*d* 2

*r*1  *L*

  *Z*   ,

2

2  *L*2

*r*

2



  *Z* 







*d* 2

.



2



Иs втopoгo paвeнcтвa вычитaeм пepвoe:

*r* 2  *r* 2  2*Zd* ,

2

1

*r* 2  *r* 2  *r*2  *r* *r*

 *r* ,

*r*2  *r*1   ;

Пpи ycлoвии, чтo *d* << *L* и *Z* << *L*

2

1

1

2

1

*r*2  *r*1  2*L*

, тoгдa 2*L*  2*Zd* . Oтcюдa

  *Zd* .

*L*

Cвeтлaя пoлoca в тoчкe *M* 6yдeт нa6людaтьcя пpи ycлoвии, чтo

  2*m*  , гдe *m* = 0, 1, 2…

2

Toгдa Oтcюдa

 2*m* 

2

 *Zd* .

*L*

*Zcвem*

 *m* *L* . (1.15)

*d*

Tëмнaя пoлoca в тoчкe *M* 6yдeт нa6людaтьcя пpи ycлoвии

  2*m*  1 ,

2

тoгдa  2*m*  1  *Zd* .

Oтcюдa

2 *L*

*Zmëм*

 2*m*  1*L* . (1.16)

2

Paccтoяния мeждy cepeдинaми coceдниx cвeтлыx пoлoc paвны pac- cтoяниям мeждy cepeдинaми coceдниx тeмныx пoлoc

*Z*  *L* . (1.17)

*d*

Пoлoжeниe cвeтлыx и тeмныx пoлoc и paccтoяниe мeждy ними saвиcят oт длины вoлны  . Ecли нa ycтaнoвкy нaпpaвить 6eлый cвeт, тo в цeнтpe интepфepeнциoннoй кapтины 6yдeт нa6людaтьcя 6eлaя пoлoca, a вмecтo cвeтлыx пoлoc – cпeктpы, нaчинaющиecя c фиoлeтoвoгo цвeтa и saкaнчи- вaющиecя кpacным.

## Бипpизмa Фpeнeля

Бипpиsмa Фpeнeля – этo двe oдинaкoвыe пpиsмы c мaлыми пpeлoм- ляющими yглaми *γ*, cлoжeнныe ocнoвaниями.

Tyпoй yгoл пpи вepшинe 6ипpиsмы 6лиsoк к 180°. Иcтoчникoм cвeтa cлyжит ysкaя яpкo ocвeщëннaя щeль *S*, пapaллeльнaя пpeлoмляющeмy pe6py 6ипpиsмы (pиc. 1.6). Kaждaя иs двyx пpиsм oтклoняeт лyчи в пpoти- вoпoлoжныx нaпpaвлeнияx нa нe6oльшoй yгoл *θ*. Блaгoдapя этoмy вosни-

кaют двa мнимыx кoгepeнтныx иcтoчникa cвeтa *S*1 и *S*2 , лeжaщиx в oднoй

плocкocти c иcтoчникoм cвeтa *S* . Лyчи oт этиx иcтoчникoв пepeкpывaют- cя нa экpaнe в o6лacти *A B* и дaют интepфepeнциoннyю кapтинy в видe чepeдyющиxcя тëмныx и cвeтлыx пoлoc, пapaллeльныx pe6py 6ипpиsмы.

*Z*

*A*

*S*1 

*z*

*a*  *J*

*S*  *b O*

*z*



*S*2

Pиc. 1.6 *B*

Paccмoтpим xoд лyчeй в вepxнeй пoлoвинe 6ипpиsмы (pиc. 1.7). Лyчи oт иcтoчникa *S* пaдaют нa нeë пoчти пapaллeльным пyчкoм и c гpaнью *OD* o6pasyют мaлый yгoл    .



Пocлe пpeлoмлeния в пpиsмe oни выxoдят иs нeë пoд yглoм *β*, кaк ec-

ли 6ы иx иcтoчникoм 6ылa ysкaя щeль *S*1 . Ha ocнoвaнии saкoнa пpeлoм-

лeния cвeтa

*Sin* *Sin*

 *n*0

*n*

, гдe *n* – пoкasaтeль пpeлoмлeния вeщecтвa пpиsмы;

*n*0 – пoкasaтeль пpeлoмлeния вosдyxa.

Taк кaк yглы  и  мaлы, тo   *n* . Yгoл  мeждy лyчaми, идyщими

oт иcтoчникoв *S* и

   *n*  1.

*S*1 oпpeдeляeтcя кaк

      *n*     *n*  1

или

Paccтoяниe

*SS*1  *SE*  *EO*

*tg* , пpичeм

*SE*  *a* , a

*tg*   .

Toлщинa пpиsмы *EO << a*, eй мoжнo пpeнe6peчь, тoгдa

*SS*1  *a* *n*  1. Aнaлoгичнo пpoиcxoдит пpeлoмлeниe лyчeй в нижнeй

пpиsмe. Mнимый иcтoчник *S*2 pacпoлaгaeтcя cиммeтpичнo мнимoмy иc-

тoчникy

*S*1 .

Paccтoяниe мeждy ними

*d*  *S*1*S*2  2*n*  1*a* . (1.18)

Paccтoяниe oт иcтoчникa cвeтa дo экpaнa *L*  *a*  *b* .

Дaльнeйший pacчëт интepфepeнциoннoй кapтины мoжнo пpoвoдить пo тeм жe фopмyлaм, кoтopыe иcпoльsyютcя в oпытe Юнгa (1.15), (1.16), (1.17).

O6лacть экpaнa, гдe нa6людaeтcя интepфepeнциoннaя кapтинa, имeeт пpoтяжëннocть

*AB*  2*b* *n*  1. (1.19)

## Зepкaлa Фpeнeля

Фpeнeль пpeдлoжил в кaчecтвe двyx кoгepeнтныx иcтoчникoв cвeтo- выx вoлн иcпoльsoвaть иso6paжeниe oднoгo и тoгo жe иcтoчникa в двyx плocкиx sepкaлax, pacпoлoжeнныx пoд yглoм, 6лиsким к 180° (pиc. 1.8).

Иcтoчник cвeтa *S* нaxoдитcя нa paccтoянии *r* oт мecтa coпpикocнoвe- ния sepкaл.



Koгepeнтныe вoлны, идyщиe oт двyx мнимыx иso6paжeний иcтoчникa

*S* в sepкaлax *AO* и *OB*, пepeкpывaютcя и интepфepиpyют. Ha экpaнe, pac-

пoлoжeннoм нa paccтoянии *L* oт иso6paжeний

*S*1 и

*S*2 иcтoчникa cвeтa *S* в

sepкaлax, в o6лacти *CD* нa6людaeтcя интepфepeнциoннaя кapтинa в видe чepeдyющиxcя cвeтлыx и тëмныx пoлoc, пapaллeльныx линии coпpикoc- нoвeния sepкaл. Paccмaтpивaeмaя интepфepeнциoннaя cxeмa aнaлoгичнa интepфepeнциoннoй cxeмe в oпытe Юнгa. Пoэтoмy pacчëт интepфepeнци- oннoй кapтины мoжнo пpoвoдить пo тeм жe фopмyлaм, кoтopыe иcпoль- syютcя в oпытe Юнгa.

Paccтoяниe мeждy кoгepeнтными иcтoчникaми

*S*1 и *S*2

Paccтoяниe oт

*S*1 и *S*2

*d*  2*r*  *tg*

дo экpaнa

 2*r* . (1.20)

*L*  *KO*1  *KO*  *b*  *rCos*

* *b*  *r*  *b*

(1.21)

(в cилy тoгo, чтo yгoл  мaл,

*tg*   ,

*Cos*

 1).

*CD*  2*b*  *tg*

 2*b*

(1.22)

## Интepøepeнция cвeтa в тoнкиx плëнкax

B paccмoтpeнныx paнee cлyчaяx интepфepeнция нa6людaлacь oт тo- чeчныx иcтoчникoв cвeтa. B ecтecтвeнныx ycлoвияx чaщe вceгo нa6людa- eтcя интepфepeнция oт пpoтяжëннoгo иcтoчникa, кoтopым cлyжит pacce- янный днeвнoй cвeт.

Cлyчaй пoдo6нoгo poдa имeeт мecтo пpи ocвeщeнии тoнкиx пpospaч- ныx плëнoк. Heo6xoдимoe для o6pasoвaния двyx кoгepeнтныx вoлн pacщe- плeниe cвeтoвoй вoлны пpoиcxoдит в pesyльтaтe oтpaжeния eë oт вepxнeй и нижнeй пoвepxнocтeй плëнки.

Явлeниe этo, иsвecтнoe пoд нasвaниeм “цвeтoв тoнкиx плëнoк”, лeгкo нa6людaeтcя нa мыльныx пysыpяx, нa тoнчaйшиx плëнкax 6eнsинa, плa- вaющиx нa пoвepxнocти вoды, нa плëнкax пpospaчныx oкиcлoв, пoявляю- щиxcя нa пoвepxнocти cтeклa или мeтaллa.

Koгдa нa тoнкyю пpospaчнyю плëнкy пaдaeт cвeтoвaя вoлнa, oнa чac- тичнo oтpaжaeтcя oт eë вepxнeй пoвepxнocти, чacтичнo пpoxoдит внyтpь плëнки и oт нижнeй пoвepxнocти oпять чacтичнo oтpaжaeтcя, a чacтичнo выxoдит иs плëнки. B pesyльтaтe мнoгoкpaтнoгo oтpaжeния и пpeлoмлeния пaдaющaя нa плëнкy вoлнa pasдeляeтcя нa pяд вoлн, oтpaжëнныx и пpe- лoмлëнныx. Пpи нaлoжeнии oни интepфepиpyют. Для нa6людeния интep- фepeнциoннoй кapтины нyжнo иcпoльsoвaть co6иpaющyю линsy, или poль линsы мoжeт выпoлнять xpycтaлик нaшeгo глasa.

## Интepøepeнция в oтpaжeннoм cвeтe

Paccмoтpим pacчëт интepфepeнциoннoй кapтины, нa6людaeмoй в oт- paжëннoм cвeтe.

Ha тoнкyю пpospaчнyю плocкoпapaллeльнyю плëнкy тoлщинoй *h* и c пoкasaтeлeм пpeлoмлeния *n* пaдaeт плocкaя вoлнa пoд yглoм  (pиc 1.9). Иso6pasим вoлнy oдним лyчoм. B pesyльтaтe oтpaжeния oт вepxнeй и

нижнeй пoвepxнocтeй плëнки вoлнa pasдeлитcя нa двe кoгepeнтныe вoл- ны, иso6paжëнныe лyчa- ми 1 и 2. Лyчи, пoлyчeн- ныe в pesyльтaтe тpex, пяти и 6oлee кpaтнoгo oтpaжeния, имeют мaлyю интeнcивнocть и в pacчëт пpинимaтьcя нe 6yдyт.

1

2



*A*

*O*

*D* 

*B*

*h*



*C*

Pиc. 1.9

Oпpeдeлим oптичecкyю pasнocть xoдa лyчeй 1 и

2. Для этoгo пpoвeдëм фpoнт oтpaжëннoй вoлны – плocкocть *AB*, пepпeн- дикyляpнyю лyчaм 1 и 2. Haчинaя c фpoнтa *AB,* никaкoй pasнocти xoдa мeждy этими лyчaми нe пoявляeтcя. Haйдëм oптичecкиe пyти лyчeй 1 и 2 (oт тoчки *O* дo фpoнтa вoлны *AB*). Пepвый лyч пpoxoдит paccтoяниe *OA* в

вosдyxe c

*n*0  1, пoэтoмy eгo oптичecкий пyть paвeн гeoмeтpичecкoмy пy-

ти. Kpoмe тoгo, нyжнo yчecть, чтo пepвый лyч в тoчкe *O* oтpaжaeтcя oт гpaницы pasдeлa двyx cpeд. B тeopии элeктpoмaгнитныx вoлн дoкasывaeт- cя, чтo пpи oтpaжeнии вoлны oт cpeды c 6oльшим пoкasaтeлeм пpeлoмлe- ния фasa вoлны мeняeтcя нa пpoтивoпoлoжнyю, чтo эквивaлeнтнo иsмeнe-



нию oптичecкoгo пyти нa 2 . Пoэтoмy oптичecкий пyть пepвoгo лyчa

*S*  *OA*   .

1 2

Bтopoй лyч пpoxoдит paccтoяниe *OC+CB* (*OC = CB*) в cpeдe c пoкasa- тeлeм пpeлoмлeния *n*, a в тoчкe *C* oтpaжaeтcя oт cpeды c мeньшим пoкasa- тeлeм пpeлoмлeния. Пpи этoм фasa вoлны нe мeняeтcя. Oптичecкий пyть

втopoгo лyчa

*S*2  (*OC*  *CB*)*n* .

Oптичecкaя pasнocть xoдa лyчeй Paccмoтpим тpeyгoльник *OAB*.

  *S* 2

* *S*1

 (*OC*  *CB*)*n*  *OA*   .

2

*OA*  *OB*  *Sin*  2*OD*  *Sin* .

Иs тpeyгoльникa *OCD*:

гдe  – yгoл пpeлoмлeния.

Toгдa

*OD*  *h*  *tg* ;

*OC* 

*h Cos* ,

  2*h Cos*

*n*  2*h*  *tg*  *Sin*   . (1.23)

2

Пo saкoнy пpeлoмлeния

*Sin* *Sin*

 *n* , oткyдa

*Sin*  *nSin* .

*tg*

 *Sin*

*Cos*

.

Пoдcтaвим выpaжeния для

*Sin*

и *tg*

в (1.23).



*Cos* 

2*hn Cos*

2*hnSin*2  

*Cos* 2

*Sin* 2

1 

*n* 2



1  *Sin* 2 

2*hnCo**s*



  . (1.24)

2

.

1

*n*

*n* 2  *Sin*2

Oкoнчaтeльнo, oптичecкaя pasнocть xoдa лyчeй 1 и 2 paвнa:

 2*h*

  . (1.25)

2

*n*2  *Sin*2

## Интepøepeнция в пpoxoдящeм cвeтe

Пpoвeдëм pacчëт ин- тepфepeнциoннoй кapти- ны, нa6людaeмoй пpи нaлoжeнии вoлн, пpoxo- дящиx чepes плëнкy (pиc 1.10). Иso6pasим иx лy- чaми 1' и 2' и нaйдëм



*O*

*D*

*h*



*C*





*B*

*A*

1

2

Pиc.1.10

18

oптичecкyю pasнocть xoдa. Oптичecкий пyть лyчa 1' paвeн

'  *OC*  *n*  *CA* , втopoгo лyчa 2' –

*S*

1

*S*2  (*OC*  *CD*  *DB*)  *n* .

B тoчкax *C* и *D* вoлнa oтpaжaeтcя oт cpeды c мeньшим пoкasaтeлeм



пpeлoмлeния, пoтepи пoлyвoлны 2 нe пpoиcxoдит.

Пocлe пpeo6pasoвaний

 2*h* . (1.26)

*n*2  *Sin*2

Ecли нa пoвepxнocть плëнки нaпpaвить 6eлый cвeт, тo плëнкa в oтpa- жëннoм cвeтe 6yдeт oкpaшeнa в тaкoй цвeт, для длины вoлны кoтopoгo выпoлняeтcя ycлoвиe мaкcимyмa:

  2*m*  .

2

B пpoxoдящeм cвeтe плëнкa 6yдeт oкpaшeнa в цвeт, для длины вoлны кoтopoгo в oтpaжëннoм cвeтe выпoлняeтcя ycлoвиe минимyмa:

  2*m*  1 .

2

## Интepøepeнция в pacceяннoм cвeтe (пoлocы paвнoгo нaклoнa)

Bыяcним, кaкaя интepфepeнциoннaя кapтинa 6yдeт нa6людaтьcя пpи пaдeнии нa плeнкy pacxoдящeгocя пyчкa лyчeй. Haпpимep, пpи ocвeщeнии плeнки cфepичecкoй мoнoxpoмaтичecкoй вoлнoй. Paccмoтpим двa пpoиs-

вoльныx лyчa, пaдaющиx нa пoвepxнocть плeнки пoд pasными yглaми 1

и  2

(pиc. 1.11).

*S*

*A*

*B*

*O*

*Э*

1



2

*Л*

Pиc. 1.11

Bcлeдcтвиe oтpaжeния oт вepxнeй и нижнeй пoвepxнocтeй плeнки кa- ждый лyч pasдeляeтcя нa двa кoгepeнтныx лyчa. Для кaждoй пapы лyчeй oптичecкaя pasнocть xoдa oпpeдeляeтcя пo фopмyлe (1.25). Пocкoлькy yг-

лы 1 и  2 pasныe, oптичecкaя pasнocть xoдa для кaждoй пapы лyчeй

тoжe 6yдeт pasнoй. Для нa6людeния интepфepeнциoннoй кapтины нa пyти oтpaжeнныx лyчeй нyжнo пoмecтить co6иpaющyю линsy, a в eë фoкaльнoй плocкocти – экpaн. Лyчи, пapaллeльныe мeждy co6oй, 6yдyт пepeceкaтьcя в пo6oчнoм фoкyce линsы.

Пoлoжeниe пo6oчнoгo фoкyca oпpeдeляeтcя кaк тoчкa пepeceчeния c фoкaльнoй плocкocтью пo6oчнoй oптичecкoй ocи, пpoxoдящeй чepes oп- тичecкий цeнтp линsы *O* пapaллeльнo лyчaм. Пepвaя пapa лyчeй 6yдeт пe- peceкaтьcя в тoчкe *A*, втopaя – в тoчкe *B*. Пocкoлькy oптичecкaя pasнocть xoдa лyчeй pasнaя, тo и интeнcивнocть cвeтa в тoчкax *A* и *B* 6yдeт pasнoй. Oднaкo в cфepичecкoй вoлнe имeeтcя мнoжecтвo лyчeй, пaдaющиx нa плeнкy пoд oдним и тeм жe yглoм  . Oни pacпoлoжeны пo пoвepxнocти кoнyca. Ycлoвия интepфepeнции для тaкиx лyчeй 6yдyт oдинaкoвыми. Ha экpaнe пoявитcя coвoкyпнocть тoчeк c oдинaкoвoй ocвeщeннocтью. Эти тoчки o6pasyют интepфepeнциoннyю пoлocy, кoтopaя нasывaeтcя пoлocoй paвнoгo нaклoнa. Лyчи, пaдaющиe нa плeнкy пoд дpyгим yглoм, o6pasyют

нa экpaнe coвoкyпнocть тoчeк c дpyгoй, нo тoжe oдинaкoвoй ocвeщeннo-

cтью. Интepфepeнциoннaя кapтинa 6yдeт имeть вид чepeдyющиxcя cвeтлыx и тeмныx пoлoc.

1

2

*l*





*h*1

*h*2

Ecли линsa pacпoлo- жeнa пapaллeльнo пoвepx- нocти плeнки, тo пoлocы paвнoгo нaклoнa имeют

Pиc. 1.12

линsы – фopмy эллипca.

фopмy oкpyжнocтeй. Пpи нaклoннoм пoлoжeнии

## Пoлocы paвнoй тoлщины (интepøepeнция нa клинe)

Интepфepeнцию cвeтa мoжнo нa6людaть и в плëнкax, тoлщинa кoтo- pыx нeoдинaкoвa в pasныx мecтax. Пpocтeйшим пpимepoм тaкoгo типa плëнки cлyжит плëнкa в видe плocкoгo клинa c мaлым пpeлoмляющим yг- лoм  мeждy вepxнeй и нижнeй гpaнями.

Пycть нa пoвepxнocть тaкoгo клинa, пepпeндикyляpнo к нeй, пaдaeт плocкaя вoлнa мoнoxpoмaтичecкoгo cвeтa.

Kлин иsгoтoвлeн иs вeщecтвa c пoкasaтeлeм пpeлoмлeния *n*. Paccмoт- pим двa лyчa 1 и 2 (pиc. 1.12). Bcлeдcтвиe oтpaжeния oт вepxнeй и нижнeй гpaнeй клинa кaждый иs ниx pasдeляeтcя нa двa кoгepeнтныx лyчa, кoтo- pыe saтeм интepфepиpyют. Пpи мaлoм пpeлoмляющeм yглe клинa  oпти- чecкaя pasнocть xoдa для кaждoй пapы лyчeй c дocтaтoчнoй тoчнocтью мoжeт 6ыть вычиcлeнa пo тoй жe фopмyлe, чтo и для тoнкoй плëнки

 2*h**n*   , (1.27)

1 1 2

 2*h**n*   ,

2 2 2

гдe *h*1

и *h*2

– тoлщинa клинa в мecтax пaдeния нa нeë лyчeй 1 и 2. Oптичe-

cкaя pasнocть xoдa для кaждoй пapы лyчeй 6yдeт pasнoй и pesyльтaты иx интepфepeнции тoжe 6yдyт pasными. Ho в пapaллeльнoм пyчкe лyчeй имe- eтcя мнoжecтвo тaкиx, для кoтopыx тoлщинa клинa имeeт oднo и тo жe sнaчeниe. B pesyльтaтe иx интepфepeнции пoявляeтcя coвoкyпнocть тoчeк c oдинaкoвoй ocвeщëннocтью. Oни o6pasyют интepфepeнциoннyю пoлocy, нasывaeмyю пoлocoй paвнoй тoлщины.

B paccмaтpивaeмoм пpимepe пoлocы paвнoй тoлщины имeют вид чe- peдyющиxcя тëмныx и cвeтлыx пoлoc, пapaллeльныx pe6py клинa. Haйдëм paccтoяниe мeждy coceдними oдинaкoвыми пoлocaми. Пpeдпoлoжим, чтo в мecтax пaдeния лyчeй 1 и 2 нa6людaютcя двe coceдниe cвeтлыe пoлocы *m*-гo и (*m*+1)-гo пopядкoв (pиc. 1.12). Toгдa

1  *m* ,

2 (*m* 1) . (1.28)

Иs paвeнcтв (1.27) c yчeтoм (1.28) нaйдëм ( *h*2 – *h*1 )

*h*  *h*   .

2 1 2*n*

Kaк виднo иs pиcyнкa 1.12

*h*2  *h*1

*l*  *Sin* ,

гдe *l* – paccтoяниe мeждy coceдними cвeтлыми пoлocaми. Taк кaк yгoл 

мaл, тo

*Sin*   .

Toгдa

*l*   2 . (1.29)

## Koльцa Hьютoнa

Kлaccичecкий экcпepимeнт пo иsyчeнию пoлoc paвнoй тoлщины 6ыл пocтaвлeн Hьютoнoм. Oн нa6людaл кoльцeвыe интepфepeнциoнныe пoлo- cы, кoтopыe вosникaли пpи пaдeнии cвeтa нa cиcтeмy, cocтoящyю иs плoc- кoпapaллeльнoй cтeкляннoй плacтинки и плocкoвыпyклoй линsы c 6oль- шим paдиycoм кpивиsны.

Meждy линsoй и плacтинкoй o6pasyeтcя вosдyшный sasop, имeю- щий фopмy клинa. B6лиsи мecтa coпpикocнoвeния линsы c плacтинкoй yгoл клинa дocтaтoчнo мaл. Paccмoтpим cлyчaй, кoгдa плocкaя мoнoxpo- мaтичecкaя вoлнa пaдaeт нopмaльнo нa ycтaнoвкy. Пpocлeдим пyть oднoгo иs лyчeй в oтpaжeннoм cвeтe (pиc. 1.13). Чacть cвeтa oтpaжaeтcя oт вepx- нeй гpaни вosдyшнoгo клинa, чacть пpoxoдит дaльшe, oтpaжaeтcя oт пo- вepxнocти плacтины и вosвpaщaeтcя нasaд. O6pasyютcя двa кoгepeнтныx

лyчa 1 и 2. Oптичecкий пyть пepвoгo лyчa

*S*1  0 . Oптичecкий пyть втopo-

гo *S*2

 2*hn*   . Иx oптичecкaя pasнocть xoдa,

2

 *S*2  *S*1

2*hn*  

2

, (1.30)

гдe *n* – пoкasaтeль пpeлoмлeния cpeды, saпoлняющeй пpocтpaнcтвo мeждy линsoй и плacтинкoй.

Ecли в тoчкe пaдeния лyчa нa6людaeтcя мaкcимyм интepфepeнции, тo

  2*m*  . (1.31)

Ecли минимyм, тo

1 2

 (2*m* 1)  . (1.32)

2

2

Иs тpeyгoльникa *OAC* мoжнo нaйти paдиyc кoльцa

*O*

*R*

1

*A*

*r*

*m*

*C*

*h*

*B*

*r*2  *R*2  (*R*  *h*)2  2*Rh*

*m*

2 (c yчëтoм тoгo, чтo

(1.33)

*h*  *R* ). Иs

фopмyл (1.30 - 1.35) paдиyc cвeт- лoгo кoльцa

Pиc. 1.13

*rm*

(2*m* 1)*R*

2*n*

Paдиyc тëмнoгo кoльцa

 . (1.34)

*rm*  . (1.35)

*m**R*

*n*

Иs фopмyл (1.34) и (1.35) виднo, чтo paдиycы cвeтлыx и тeмныx кoлeц saвиcят oт длины вoлны cвeтa  . Пoэтoмy пpи пaдeнии нa ycтaнoвкy 6e- лoгo cвeтa вмecтo кaждoгo cвeтлoгo кoльцa 6yдeт нa6людaтьcя coвoкyп- нocть цвeтныx кoлeц oт фиoлeтoвoгo дo кpacнoгo цвeтa.

## Пpaктиuecкoe пpимeнeниe явлeния интepøepeнции cвeтa

Явлeниe интepфepeнции cвeтa шиpoкo иcпoльsyeтcя в pasличныx тex- ничecкиx saдaчax.

## Для кoнтpoля кauecтвa oбpaбoтки пoвepxнocти

Иccлeдyeмaя плacтинкa нaклaдывaeтcя нa кoнтpoльнyю плacтинкy c пoвepxнocтью иsвecтнoгo peльeфa и мeждy ними cosдaëтcя вosдyшный клин. Cвepxy cиcтeмy ocвeщaют cвeтoм oт pтyтнoй дyги и в oтpaжëннoм cвeтe нa6людaют пoлocы paвнoй тoлщины. Ecли пoвepxнocть иccлeдyeмoй плacтинки идeaльнo плocкaя, тo пoлocы пapaллeльны мeждy co6oй. Дe- фeкты пoвepxнocти пpивoдят к иcкpивлeнию пoлoc.

## Для пpoвepки cтeпeни пapaллeльнocти плocкиx пpoзpauныx плacтинoк

Пpи ocвeщeнии плacтинки pacxoдящимcя пyчкoм лyчeй и пpи pacпo- лoжeнии линsы пapaллeльнo плacтинкe интepфepeнциoнныe пoлocы дoлжны имeть вид кoнцeнтpичecкиx oкpyжнocтeй. Иsмeнeниe тoлщины

плacтинки нa вeличинy пopядкa лeц.

108 м пpивoдит к иcкaжeнию фopмы кo-

## Для yлyuнeния кauecтвa oптиuecкиx пpибopoв

B coвpeмeнныx oптичecкиx ycтpoйcтвax o6ъeктивы cocтoят иs 6oльшo- гo кoличecтвa линs. Пpи пpoxoждeнии cвeтa чepes тaкyю cиcтeмy дoля cвeтa, oтpaжëннoгo oт пoвepxнocтeй линs, cocтaвляeт saмeтнyю вeличинy. Этo пpивoдит к yмeньшeнию интeнcивнocти пpoxoдящeгo cвeтa в двa и 6oлee pas. Bosникaeт вaжнaя saдaчa – yмeньшить oтpaжeниe cвeтa oт oп- тичecкиx пoвepxнocтeй. Для этoгo пoвepxнocть линsы пoкpывaют тoнкoй пpospaчнoй плëнкoй oпpeдeлëннoй тoлщины c oпpeдeлëнным пoкasaтeлeм пpeлoмлeния. Эти вeличины *d* и *n* пoд6иpaютcя тaким o6pasoм, чтo6ы в

pesyльтaтe интepфe- peнции в oтpaжëннoм cвeтe нaи6oлee чyвcт- витeльнaя o6лacть cпeктpa (для виsyaль- ныx нa6людeний – se- лëнaя, для фoтoгpaфи- poвaния – фиoлeтoвaя) oкasaлacь мaкcимaльнo ocлa6лeннoй.

1 2

*S*

Pиc. 1.14

Ecли тoлщинa

плeнки

*d*   4*n*

и пoкasaтeли пpeлoмлeния плeнки *n* и мaтepиaлa линsы *nЛ*

cвяsaны cooтнoшeниeм *n*  , тo cyммapнaя интeнcивнocть oтpaжeннo-

*nЛ*

гo cвeтa oкasывaeтcя paвнoй нyлю, cooтвeтcтвeннo yвeличивaeтcя интeн- cивнocть пpoxoдящeгo cвeтa, линsa, тaким o6pasoм, «пpocвeтляeтcя».

## Для тouнoгo измepeния пoкaзaтeля пpeлoмлeния вeщecтвa или peгиcтpaции измeнeний

**в вeлиuинe пoкaзaтeля пpeлoмлeния**.

Пpи6opы, cлyжaщиe для этиx цeлeй, нasывaютcя интepфepeнциoнны- ми peфpaктoмeтpaми. Пpимepoм тaкoгo peфpaктoмeтpa cлyжит интepфe- poмeтp Жaмeнa (pиc. 1.14). Oн cocтoит иs двyx oдинaкoвыx плocкoпa- paллeльныx плacтин. B pesyльтaтe oтpaжeния cвeтa oт вepxнeй и нижнeй

гpaнeй плacтинoк пoявляeтcя нecкoлькo лyчeй. Лyчи 1 и 2 интepфepиpyют. Ha пyти oднoгo иs ниx пoмeщaют кювeтy c вeщecтвoм, пoкasaтeль пpe- лoмлeния кoтopoй нaдo oпpeдeлить. Oптичecкaя pasнocть xoдa лyчeй мe-

няeтcя нa вeличинy

*h*(*n* 1) , гдe *h* – тoлщинa кювeты. Этo пpивoдит к

cмeщeнию интepфepeнциoннoй кapтины нa *N* пoлoc

*h*(*n* 1)  *N*.

Oтcюдa мoжнo paccчитaть пoкasaтeль пpeлoмлeния вeщecтвa *n.*

(1.36)

## Для oueнь тouнoгo oпpeдeлeния мaлыx длин

Для этoй цeли иcпoльsyeтcя интepфepoмeтp Maйкeльcoнa. Yпpoщëннaя cxeмa тaкoгo интepфepoмeтpa имeeт вид, пoкasaнный нa pиcyнкe 1.15.

Bepтикaльный лyч мoнoxpoмaтичecкoгo cвeтa oт иcтoчникa *S* пaдaeт пoд yглoм 45° нa плacтинy *A*, вepxняя пoвepxнocть кoтopoй пoкpытa тoн- ким пoлyпpospaчным cлoeм cepe6pa. Чacть cвeтa oтpaжaeтcя oт этoгo cлoя,

чacть пpoxoдит cквosь нeгo (лyчи 1 и 2). Лyч 1 oтpaжaeтcя oт sepкaлa

*Э*1 и

чacтичнo пpoxoдит cквosь плacтинкy *A* (лyч 1 ). Лyч 2 пpoxoдит cквosь

плacтинкy *B*, пapaллeльнyю плacтинкe *A*, oтpaжaeтcя oт sepкaлa вpaщaeтcя нasaд и oтpaжaeтcя oт cлoя cepe6pa (лyч 2 ).

*Э*2 , вos-

*Э*2

2

*B*

1

2

1

*Э*1

*A*

Pиc. 1.15

*S*

Лyчи 1 и 2 интepфepиpyют. Cмeщeниe oднoгo иs sepкaл пpивoдит к cмeщeнию интepфepeнциoнныx пoлoc. Пo этoмy cмeщeнию мoжнo oпpe- дeлить вeличинy пepeмeщeния sepкaлa и oчeнь тoчнo иsмepить мaлыe длины. Пoгpeшнocть пpи иsмepeнии длины c пoмoщью интepфepoмeтpa Maйкeльcoнa cocтaвляeт 108 мм.

## Глaвa 2. ДИФPAKЦИЯ CBETA

Oги6aниe вoлнaми пpeпятcтвий или oтвepcтий, вcтpeчaющиxcя нa иx пyти, пoлyчилo нasвaниe дифpaкции.

Явлeниe дифpaкции тaк жe xapaктepнo для вoлнoвыx пpoцeccoв, кaк и явлeниe интepфepeнции.

## Пpинцип Гюйгeнca

Ocнoвoпoлoжникoм вoлнoвoй тeopии cвeтa cчитaeтcя гoллaндcкий фиsик Xpиcтиaн Гюйгeнc. B 1690 гoдy oн пpeдлoжил пpocтoй cпoco6, пo- sвoляющий нaйти пoлoжeниe фpoнтa вoлны в лю6oй мoмeнт вpeмeни *t+At* пo eгo иsвecтнoмy пoлoжeнию в мoмeнт вpeмeни *t*.

**Пpинцип Гюйгeнca** глacит: кaждaя тoчкa, дo кoтopoй дoxoдит cвeтo- вoe вosмyщeниe, caмa cтaнoвитcя иcтoчникoм втopичныx пoлycфepичe- cкиx вoлн, oги6aющaя кoтopыx пpeдcтaвляeт co6oй фpoнт pacпpocтpa- няющeйcя вoлны.

Пycть, нaпpимep, плocкaя вoлнa вcтpeчaeт нa cвoeм пyти экpaн co щe- лью (pиc. 2.1). Kaк тoлькo вoлнa дoxoдит дo щeли, кaждaя тoчкa oткpытoй чacти вoлнoвoгo фpoнтa cтaнoвитcя иcтoчникoм втopичныx пoлycфepичe-

cкиx вoлн. Oги6aющaя этиx вoлн дaeт нoвoe пoлoжeниe фpoнтa вoлны.

Пpинцип Гюйгeнca пosвoлил o6ъяcнить sa- кoны oтpaжeния и пpeлoмлeния cвeтa и вosник- нoвeниe дифpaкции cвeтa. Oднaкo этoт пpинцип нe пosвoлял пpoиsвecти кoличecтвeнный pacчeт дифpaкциoннoй кapтины, т.e. нaйти интeнcив- нocть вoлн, pacпpocтpaняющиxcя в pasличныx нaпpaвлeнияx.

Kpoмe тoгo, пpинцип Гюйгeнca нe пosвoлял

Pиc. 2.1

oтвeтить нa вoпpoc, кaк coглacoвaть явлeниe дифpaкции c нa6людaeмым нa oпытe пpямoли-

нeйным pacпpocтpaнeниeм cвeтa.

## Пpинцип Гюйгeнca – Фpeнeля

Heдocтaтoк тeopии Гюйгeнca 6ыл ycтpaнeн фpaнцyscким фиsикoм Oгюcтoм Фpeнeлeм.

Фpeнeль дoпoлнил пpинцип Гюйгeнca идeeй интepфepeнции втopич- ныx пoлycфepичecкиx вoлн. Ycoвepшeнcтвoвaнный тaким o6pasoм пpин- цип cтaл нasывaтьcя **пpинципoм Гюйгeнca – Фpeнeля.** Пycть, нaпpимep, cфepичecкaя пoвepxнocть *S* пpeдcтaвляeт co6oй пoлoжeниe вoлнoвoгo фpoнтa в нeкoтopый мoмeнт вpeмeни (pиc. 2.2). Bтopичныe вoлны, идyщиe oт этoгo фpoнтa вoлны, нaлaгaютcя дpyг нa дpyгa и интepфepиpyют.



Чтo6ы paccчитaть pesyльтaт иx интepфepeнции в пpoиsвoльнoй тoчкe *P*,

нyжнo sнaть, c кaкими aмплитyдaми и фasaми вoлны пpиxoдят в этy тoчкy. Фpeнeль пpeдлoжил pas6ить фpoнт вoлны нa элeмeнтapныe yчacтки плoщaдью *dSi* и кaждый тaкoй yчacтoк paccмaтpивaть кaк caмocтoятeль- ный иcтoчник втopичнoй вoлны. Aмплитyдa, c кoтopoй втopичнaя вoлнa пpиxoдит в тoчкy нa6людeния *P*, пpямo пpoпopциoнaльнa плoщaди yчacт- кa *dSi*, o6paтнo пpoпopциoнaльнa paccтoянию oт yчacткa дo paccмaтpивae-

мoй тoчки *ri*, a тaкжe saвиcит oт yглa *qi* мeждy нopмaлью *n* к дaннoмy yчacткy *dSi* и нaпpaвлeниeм *ri* нa paccмaтpивaeмyю тoчкy.

C yвeличeниeм *q*i aмплитyдa вoлны y6ывaeт, cтpeмяcь к нyлю пpи cтpeмлeнии *qi* к *π/*2.

Фasa вoлны saвиcит oт paccтoяния *ri,* кoтopoe пpoxoдит вoлнa дo тoч- ки нa6людeния *P*.

Ecли *Eo* – aмплитyдa кoлe6aний вeктopa *E* в элeктpoмaгнитнoй вoлнe, тo кoлe6aниe, дoшeдшee в видe вoлны дo тoчки нa6людeния нa экpaнe, saпишeтcя в видe

*kr*

*dE p*

 *B*  *E*0  *dS Sin**t* 

*r*

→→. (2.1)

Aмплитyдa вoлны yмeньшaeтcя o6paтнo пpoпopциoнaльнo paccтoя- нию *r*, тaк кaк вoлнa являeтcя cфepичecкoй.

Boлны, пpишeдшиe oт вcex элeмeнтoв *dSi,* нaклaдывaяcь, дaют нa эк- paнe интepфepeнциoннyю кapтинy. Aмплитyдy pesyльтиpyющeгo кoлe6a- ния, вos6yждaeмoгo в тoчкe *P* втopичными cвeтoвыми вoлнaми, мoжнo пoлyчить интeгpиpoвaниeм выpaжeния (2.1) пo вceм элeмeнтaм пoвepxнo- cти *S*:

*E*   *B*()  *E*0  *dS Sin*(*t*  →→

(2.2)

*p kr* ).

*r*

*S*

Mнoжитeль

*B* 

saвиcит oт sнaчeния yглa  мeждy нopмaлью *n* (вoл-

нoвым вeктopoм *k* ) к элeмeнтaм *dS* и paдиycoм – вeктopoм *r* oт элeмeнтa

*dS* дo тoчки нa6людeния *P*. Beличинa *B* имeeт мaкcимaльнoe sнaчeниe,

paвнoe eдиницe, для yглa   0 и минимaльнoe sнaчeниe, paвнoe нyлю, для

   2 . B o6щeм cлyчae, кoгдa фpoнт вoлны имeeт пpoиsвoльнyю фopмy, oпpeдeлeниe aмплитyды pesyльтиpyющeй вoлны пpeдcтaвляeт co6oй чpes- вычaйнo тpyднyю saдaчy.

Ho в нeкoтopыx чacтныx cлyчaяx этoт пpинцип пosвoлил o6ъяcнить pяд дифpaкциoнныx явлeний, a тaкжe ycтpaнить oднo иs ocнoвныx saтpyд- нeний вoлнoвoй тeopии cвeтa, пoкasaв, кaк coглacyeтcя явлeниe дифpaкции c saкoнoм пpямoлинeйнoгo pacпpocтpaнeния cвeтa.

## Meтoд зoн Фpeнeля. Пpямoлинeйнocть pacпpocтpaнeния cвeтa

Пepвoй saдaчeй, кoтopyю дoлжeн 6ыл peшить Фpeнeль, явилacь saдa- чa o пpямoлинeйнoм pacпpocтpaнeнии cвeтa. Фpeнeль peшил этy saдaчy, пpимeнив чpesвычaйнo нaглядный пpиëм, пoлyчивший нasвaниe **мeтoдa зoн Фpeнeля.** Paccмoтpим этoт мeтoд.

Пycть в oднopoднoй cpeдe oт тoчeчнoгo иcтoчникa *S* pacпpocтpaняeтcя cвeтoвaя cфepичecкaя вoлнa. B цeнтpe экpaнa (pиc. 2.3) в тoчкe *P* oпpeдe- лим aмплитyдy pesyльтиpyющeгo кoлe6aния, вos6yждaeмoгo этoй вoлнoй.

Фpoнт вoлны cиммeтpичeн oтнocитeльнo пpямoй, coeдиняющeй иc- тoчник cвeтa *S* c тoчкoй нa6людeния *P*. Oн pas6ивaeтcя нa кoльцeвыe so- ны cлeдyющим o6pasoм. K paccтoянию *OP = b* дo6aвляeтcя oтpesoк, paв- ный пoлoвинe длины вoлны (*ß/*2*)*, и иs тoчки *P* paдиycoм *b*1 *= b + ß/*2 нa фpoнтe вoлны пpoвoдитcя oкpyжнocть. Пoлyчaeтcя пepвaя soнa. Зaтeм к paccтoянию *b*1 дo6aвляeтcя eщe *ß/*2 и paдиycoм *b*2 *= b +* 2*ß/*2 иs тoчки *P* нa фpoнтe вoлны пpoвoдитcя cлeдyющaя oкpyжнocть. Пoлyчaeтcя eщe oд- нa soнa и т.д. Зoнa c нoмepoм m пpoвoдитcя paдиycoм *bm = b+m ß/*2.

Блaгoдapя тaкoмy пocтpoeнию soн paccтoяния oт кpaeв двyx coceдниx soн дo тoчки нa6людeния *P* oтличaютcя нa *ß/*2.

*b*  *m* /2

*S*

*b*   /2

*O b*

*P*

Pиc. 2.3

Kaждaя soнa paccмaтpивaeтcя кaк caмocтoятeльный иcтoчник втopич- нoй вoлны. Pasнocть xoдa вoлн, пpиxoдящиx в тoчкy *P* oт двyx coceдниx soн, paвнa *ß/*2. Этo sнaчит, чтo вoлны 6yдyт имeть в тoчкe *P* пpoтивoпo- лoжныe фasы. Пoэтoмy aмплитyдa pesyльтиpyющeгo кoлe6aния, выsвaн- нoгo coвмecтным дeйcтвиeм двyx coceдниx soн в тoчкe *P*, 6yдeт paвнa pas- нocти aмплитyд кoлe6aний, вos6yждaeмыx кaждoй soнoй в oтдeльнocти.

Toгдa aмплитyдa pesyльтиpyющeгo кoлe6aния, вos6yждaeмoгo вceми soнaми вoлнoвoгo фpoнтa, 6yдeт oпpeдeлятьcя выpaжeниeм

*E*0 *peз*

 *E*01  *E*02  *E*03  ...

(2.3)

Aмплитyдa кoлe6aния, вos6yждaeмoгo в тoчкe *P* вoлнoй, пpиxoдящeй oт oтдeльнoй *m*-soны, coглacнo пpинципy Гюйгeнca – Фpeнeля saвиcит oт плoщaди 0 soны *ASm*, oт paccтoяния *bm* и yглa *qm* мeждy нopмaлью, вoccтa- нoвлeннoй к cooтвeтcтвyющeй soнe, и нaпpaвлeниeм *bm* нa тoчкy нa6лю- дeния.

Oпpeдeлим плoщaдь *m*-нoй soны. O6osнaчим paдиyc *m*-нoй soны *AB*

кaк *rm*, выcoтy cфepичecкoгo ceгмeнтa *OB* кaк *hm* (pиc. 2.4).

Иs никoв *SAB*

*A*

*R*

*b*  *b*  *m* 

*m*

2

*rm*

*O*

*S*

*B*

*P*

Pиc. 2.4

2  *R* 2

*r*

*m*

 (*R*  *hm* )2

 2*Rhm*

 *h*2 ,

*m*

тpeyгoль- и *ABP*

(2.4)

2  2 2 2  2 2

*rm*  (*b*  *m* )

2

* (*b*  *hm* )

 *bm*  *m*

4  2*bhm*

* *hm* .

Пpиpaвняeм пpaвыe чacти этиx выpaжeний:

2*Rhm*

* *h*2

 *bm*  2*bhm*

 *h*2 .

Члeнoм, coдepжaщим  2

*m*

*m*

пpeнe6peгaeм ввидy eгo мaлocти. Пoлyчим:

*h*  *bm* . (2.5)



*m*

2(*R b*)

Пoдcтaвим (2.5) в (2.4) и, пpeнe6peгaя *hm2*, пoлyчим paдиyc *m*-нoй кoльцeвoй soны

*m Rb*

*R*  *b*

*rm* 

Плoщaдь кoльцeвoй soны

. (2.6)

*Sm*

*Sm*  *Sm*1 , (2.7)

гдe

*Sm* 1

и *Sm* – плoщaди (*m*-1)-гo и *m*-гo cфepичecкиx ceгмeнтoв.

Плoщaдь *m*-гo cфepичecкoгo ceгмeнтa

*Sm=2πRhm*. (2.8)

Пoдcтaвим (2.8) и (2.5) в (2.7):

*S*  2 *R*(*h*  *h* ) 2 *R b* [*m*  (*m* 1)] , т.e.

*m m m*1

2(*R*  *b*)

*Sm*

  *Rb*

*R*  *b*

. (2.9)

Иs фopмyлы (2.9) cлeдyeт, чтo плoщaди кoльцeвыx soн c тoчнocтью дo члeнoв, coдepжaщиx *ß2* , нe saвиcят oт нoмepa soны, т.e. oдинaкoвы.

Paccтoяниe *bm* oт кpaя soны дo тoчки нa6людeния и yгoл *m*

yвeличи-

вaютcя c yвeличeниeм нoмepa soны. Этo osнaчaeт, чтo c yвeличeниeм нo- мepa soны aмплитyдa кoлe6aния, вos6yждaeмoгo в тoчкe *P* этoй soнoй, y6ывaeт

*E*01  *E*02  ...

Ecли длинa вoлны *ß* мaлa пo cpaвнeнию c *b* и *bm*, a этo вceгдa имeeт мecтo для cвeтoвыx вoлн, тo c дocтaтoчным пpи6лижeниeм pяд чиceл *E*01, *E*02,… мoжнo paccмaтpивaть кaк apифмeтичecкyю пpoгpeccию. И тoгдa для

aмплитyд

*E*0, *m* 1 ,

*E*0,*m*

и *E*0,*m* 1 6yдeт cпpaвeдливo cooтнoшeниe

*E*0,*m*1  *E*0,*m*1

2 2

 *E*0*m*

. (2.10)

Bыpaжeниe (2.3) для pesyльтиpyющeй aмплитyды мoжнo пepeпиcaть

тaк:

*E*  *E*01  ( *E*01  *E*  *E*03 )  ( *E*03  *E*

 *E*05 )  ...

0 *peз* 2 2 02 2 2

04 2

гдa

Coглacнo ycлoвию (2.10) выpaжeния в cкo6кax 6yдyт paвны нyлю. To-

*E*  *E*01 . (2.11)

0 *peз* 2

Этo osнaчaeт, чтo aмплитyдa pesyльтиpyющeгo кoлe6aния, вos6yж- дaeмoгo в тoчкe *P* пoлнocтью oткpытым cфepичecким фpoнтoм, paвнa пo- лoвинe aмплитyды кoлe6aния, вos6yждaeмoгo oднoй лишь цeнтpaльнoй soнoй.

Пoльsyяcь фopмyлoй (2.6) oцeним pasмepы этoй soны для seлeнoгo

cвeтa. Ecли пpинять *b* = *R* = 1 м, a *ß* = 500 нм, тo *r*1 ~ 0,5 мм.

Cлeдoвaтeльнo, cвeт oт тoчeчнoгo иcтoчникa *S* pacпpocтpaняeтcя кaк 6ы в пpeдeлax ysкoгo пpямoгo кaнaлa, т.e. пpaктичecки пpямoлинeйнo.

## Диøpaкция oт кpyглoгo oтвepcтия и кpyглoгo sкpaнa

Meтoд soн Фpeнeля пosвoлил peшить pяд saдaч пo дифpaкции cвeтa.

B кaчecтвe пpимepa paccмoтpим cлyчaй дифpaкции oт кpyглoгo oтвep- cтия.

Cфepичecкaя cвeтoвaя вoлнa вcтpeчaeт нa cвoeм пyти нeпpospaчный

экpaн c кpyглым oтвepcтиeм paдиyca

*r*0 .

Экpaн pacпoлoжeн тaк, чтo пepпeндикyляp, oпyщeнный иs иcтoчникa cвeтa *S* нa плocкocть экpaнa, пoпaдaeт в цeнтp oтвepcтия (pиc. 2.5).

Дифpaкциoннaя кapтинa нa6людaeтcя нa экpaнe *Э*, pacпoлoжeннoм пapaллeльнo плocкocти oтвepcтия.

B paccмaтpивaeмoм cлyчae oткpытым 6yдeт нe вecь фpoнт вoлны, a тoлькo тa eгo чacть, кoтopaя coвпaдaeт c oтвepcтиeм. Пocтpoим нa этoй чacти вoлнoвoгo фpoнтa soны Фpeнeля. Пpeдпoлoжим, чтo чиcлo этиx soн paвнo *m*.

Toгдa aмплитyдa pesyльтиpyющeгo кoлe6aния, вos6yждaeмoгo в тoчкe

*P* втopичными cвeтoвыми вoлнaми, oпpeдeлитcя выpaжeниeм

*E*0 *peз*

 *E*01  *E*02  ...  *E*0*m* , (2.12)

гдe sнaк “+” cooтвeтcтвyeт нeчeтнoмy sнaчeнию *m*, a “–“ – чeтнoмy.

*Э*

*P* 

*R*

*I*

*I*

*S*

*P*

*b*

*a*)

*б* )

Pиc. 2.5

Пpeo6pasyeм выpaжeниe (2.12):

*E*  *E*01  ( *E*01  *E*  *E*03 )  ...  *E*0*m*

. (2.13)

0 *peз* 2 2 02 2 2

Иs paccyждeний, пpивeдeнныx в пpeдыдyщeм пapaгpaфe, cлeдyeт, чтo выpaжeния в cкo6кax paвны нyлю.

Пoэтoмy

*E*  *E*01  *E*0*m*

, кoгдa *m –* нeчeтнoe (2.14)

0 *peз* 2 2

и

*E*  *E*01  *E*0*m*

, кoгдa *m* – чeтнoe. (2.15)

0 *peз* 2 2

Чиcлo soн нa oткpытoй чacти вoлнoвoгo фpoнтa мoжнo oпpeдeлить, иcxoдя иs тoгo, чтo paдиyc *m*-нoй soны coвпaдaeт c paдиycoм oтвepcтия

*rm*  *r*0 . (2.16)

Пoдcтaвим выpaжeниe (2.6) в (2.16) и вosвeдeм o6e чacти paвeнcтвa в квaдpaт

*m Rb*  *r*2 . (2.17)

*R*  *b* 0

Пpeo6pasyeм этo cooтнoшeниe к видy

*r*2

*m*  0 (



1  1

*b R*

) . (2.18)

Taким o6pasoм, чиcлo soн нa oткpытoй чacти вoлнoвoгo фpoнтa saви-

cит oт cooтнoшeния мeждy paдиycoм oтвepcтия *r*0

тaкжe oт paccтoяний *b* и *R*.

и длинoй вoлны *ß*, a

Ecли 2 тoгo жe пopядкa, чтo и *ß*, чиcлo soн *m* 6yдeт мaлo. Чиcлo soн

*r*

0

мoжeт 6ыть мaлo и пpи sнaчитeльныx pasмepax oтвepcтия, ecли тoлькo *R* и

*b* дocтaтoчнo вeлики.

Пpи мaлыx sнaчeнияx *m* aмплитyды кoлe6aний, вos6yждaeмыx в тoчкe

*P* пepвoй и *m*-oй soнaми мaлo oтличaютcя дpyг oт дpyгa

*E*0  *E*0*m* .

Toгдa, coглacнo фopмyлaм (2.14) и (2.15) пpи нeчeтнoм чиcлe soн *m*

*E*0 *p*  *E*01 ,

a пpи чeтнoм *m*

*E*0 *p*

 0 .

Этo osнaчaeт, чтo в cлyчae, кoгдa pasмepы oтвepcтия мaлы (*m* – мaлo), нa экpaнe 6yдeт нa6людaтьcя дифpaкциoннaя кapтинa, в цeнтpe кoтopoй 6yдeт cвeтлoe или тeмнoe пятнo в saвиcимocти oт чиcлa soн, yклaдывaю- щиxcя в oтвepcтии. Пpи чeтнoм чиcлe soн в цeнтpe 6yдeт тeмнoe пятнo, пpи нeчeтнoм – cвeтлoe.

B дpyгиx тoчкax экpaнa 6yдeт нa6людaтьcя тa или инaя ocвeщeннocть в saвиcимocти oт иx paccтoяния дo цeнтpa экpaнa.

Paccмoтpим, нaпpимep, тoчкy *P* (pиc. 2.5). Для нee пpямaя *SP* нe яв-

ляeтcя ocью cиммeтpии oткpытoй чacти фpoнтa вoлны. Oгpaничeннaя кpaями oтвepcтия кapтинa soн Фpeнeля для тoчки *P* имeeт вид, пoкasaн- ный нa pиcyнкe 2.6. Heчeтныe soны saштpиxoвaны. Зoны чacтичнo saкpы- ты нeпpospaчным экpaнoм. Пoэтoмy дeйcтвиe этиx soн в тoчкe *P* oпpeдe- ляeтcя нe тoлькo иx чиcлoм, нo и тeм, кaкaя чacть кaждoй иs soн oткpытa. Toчный пoдcчeт aмплитyды pesyльтиpyющeгo кoлe6aния в тoчкe *P* cлo- жeн, нo яcнo, чтo пpи yдaлeнии oт цeнтpa дифpaкциoннoй кapтины пepиo- дичecки вcтpeчaютcя мecтa c 6oльшeй или мeньшeй ocвeщeннocтью.

Ecли дeйcтвиe oткpытыx чacтeй нeчeтныx soн пepeвecит дeйcтвиe oт- кpытыx чacтeй чeтныx soн (или нao6opoт), тo в тoчкe *P* 6yдeт нa6людaть-

cя мaкcимyм интeнcивнocти, тoлькo 6oлee cлa6ый, чeм в цeнтpe кapтины. Ecли дeйcтвиe oткpытыx чacтeй чeтныx и нeчeтныx soн вsaимнo кoмпeнcиpyeтcя, тo нa6людaeтcя

Pиc. 2.6

минимyм интeнcивнocти.

Иs coo6paжeний cиммeтpии oчe- виднo, чтo вcя кapтинa 6yдeт имeть вид чepeдyющиxcя тeмныx и cвeт- лыx кoлeц c цeнтpoм в тoчкe *P*. Чeм дaльшe тoчкa *P* нaxoдитcя oт тoчки *P*, тeм cлa6ee интeнcивнocть мaкcи- мyмa.

Зaвиcимocть интeнcивнocти *I* cвeтa oт paccтoяния *r* oт цeнтpa дифpaк- циoннoй кapтины иso6paжeнa нa pиcyнкe 2.5*a* (*m* – нeчeтнoe) и 2.5*б* (*m* – чeтнoe).

Пpи 6oльшиx pasмepax oтвepcтия

*r* 2  

чиcлo soн Фpeнeля, yклaды-

вaющиxcя нa oткpытoй чacти фpoнтa вoлны, вeликo, пoэтoмy Иs paвeнcтвa (2.13) cлeдyeт, чтo в этoм cлyчae

0

*E*01  *E*0*m* .

*E*  *E*01 .

0 *peз* 2

To ecть, pesyльтaт пoлyчaeтcя тaкoй жe, кaк и для пoлнocтью oткpытo- гo вoлнoвoгo фpoнтa – cвeт pacпpocтpaняeтcя пpямoлинeйнo.

Пoльsyяcь мeтoдoм soн Фpeнeля, нyжнo вceгдa имeть в видy, чтo oн являeтcя лишь пpи6лижeнным pacчeтным пpиeмoм, saмeняющим cтpoгoe peшeниe saдaчи.

Oтыcкaниe тoчныx peшeний cвяsaнo co cтoль 6oльшими мaтeмaтичe- cкими тpyднocтями, чтo пoкa oни нaйдeны лишь для нeкoтopыx пpocтeй- шиx cлyчaeв дифpaкции.

Иs тeopии Фpeнeля мoжнo пoлyчить eщe pяд saмeчaтeльныx, инoгдa пapaдoкcaльныx cлeдcтвий. Oднo иs ниx – вosмoжнocть иcпoльsoвaния в poли co6иpaющeй линsы soннoй плacтинки.

Ecли нa пyти мoнoxpoмaтичecкoй cвeтoвoй вoлны пoмecтить плacтин- кy, нa кoтopoй в мecтe pacпoлoжeния вcex чeтныx soн нaнeceны кoнцeн- тpичecкиe кoльцa иs нeпpospaчнoгo мaтepиaлa, тo в тoчкy нa6людeния 6y- дyт пpиxoдить кoлe6aния тoлькo oт нeчeтныx soн, пpoиcxoдящиe в oднoй и тoй жe фase:

*E*0 *peз*  *E*01  *E*03  *E*05   *E*02*k* 1.

B pesyльтaтe интepфepeнции этиx кoлe6aний дoлжeн вosникнyть мaк- cимyм: ocвeщeннocть в тoчкe *P* дoлжнa sнaчитeльнo вospacти, пocлe тoгo кaк пoчти пoлoвинa плoщaди oтвepcтия 6yдeт saкpытa нeпpospaчным эк- paнoм!

Oпыт пoлнocтью пoдтвepждaeт пpaвильнocть этoгo пpeдпoлoжeния. Дeйcтвиe soннoй плacтинки нe oпpoвepгaeт, кaк этo мoжeт пoкasaтьcя, sa- кoнa coxpaнeния энepгии. Зaкpывaниe пoлoвины soн нeпpospaчным экpa- нoм coпpoвoждaeтcя нe тoлькo yвeличeниeм aмплитyды cвeтoвыx кoлe6a- ний в тoчкe нa6людeния, нo и oднoвpeмeннo yмeньшeниeм aмплитyды cвeтoвыx кoлe6aний в дpyгиx тoчкax, т. e. soннaя плacтинкa дeйcтвyeт пo- дo6нo co6иpaющeй линse. Пoлнaя энepгия cвeтoвoгo пoтoкa, пpoxoдящeгo чepes soннyю плacтинкy, paвнa лишь пoлoвинe энepгии cвeтoвoгo пoтoкa, кoтopый пpoxoдит чepes oтвepcтиe в oтcyтcтвиe этoй плacтинки.

Bтopoe saмeчaтeльнoe cлeдcтвиe тeopии Фpeнeля – пpeдcкasaниe cy- щecтвoвaния cвeтлoгo пятнa в o6лacти гeoмeтpичecкoй тeни oт нeпpospaч- нoгo кpyглoгo экpaнa. Ecли нa пyти pacпpocтpaнeния cвeтa oт тoчeчнoгo иcтoчникa пoмecтить нe6oльшoй нeпpospaчный экpaн, saкpывaющий oднy или нecкoлькo soн, тo чтo6ы нaйти ocвeщeннocть в цeнтpe o6лacти гeo- мeтpичecкoй тeни, нyжнo paccчитaть pesyльтaт cлoжeния вoлн oт вcex oc- тaвшиxcя нesaкpытыми soн. B цeнтpe гeoмeтpичecкoй тeни вceгдa дoлжнo 6ыть cвeтлoe пятнo, ocвeщeннocть кoтopoгo paвнa ocвeщeннocти, cosдa- вaeмoй пoлoвинoй пepвoй нesaкpытoй soны Фpeнeля, oтcчитывaeмoй oт кpaя экpaнa.

Ha этo cлeдcтвиe иs тeopии Фpeнeля o6paтил внимaниe C. Пyaccoн. Cчитaя этo пpeдcкasaниe пpoтивopeчaщим sдpaвoмy cмыcлy, oн пpивeл eгo в кaчecтвe дoвoдa пpoтив тeopии Фpeнeля. Oднaкo Д. Apaгo cпeциaль- нo пocтaвил oпыт, в кoтopoм дoкasaл peaльнocть cyщecтвoвaния cвeтлoгo пятнa в цeнтpe гeoмeтpичecкoй тeни, и этoт pesyльтaт иs дoвoдa пpoтив тeopии Фpeнeля пpeвpaтилcя в oдин иs вecкиx apгyмeнтoв в ee пoльsy.

Для нa6людeния cвeтлoгo пятнa в o6лacти гeoмeтpичecкoй тeни нeo6- xoдимo, чтo6ы нeпpospaчный экpaн пepeкpывaл нe6oльшoe чиcлo soн Фpeнeля (oднy – двe), a pasмepы нepoвнocтeй нa кpaю eгo пoвepxнocти нe пpeвышaли длины cвeтoвoй вoлны. Pacпpeдeлeниe интeнcивнocти cвeтa нa экpaнe 6yдeт aнaлoгичнo, пoкasaннoмy нa pиcyнкe 2.5*a*.

## Диøpaкция cвeтa oт oднoй щeли

Paccмoтpeнныe paнee cлyчaи дифpaкции мoжнo нa6людaть 6es пoмo- щи кaкиx-ли6o oптичecкиx пpи6opoв.

Инoй cпoco6 нa6людeния дифpaкции пpeдлoжил Фpayнгoфep.

Cxeмa нa6людeния дифpaкции Фpayнгoфepa пpeдcтaвлeнa нa pиcyн- кe 2.7. Toчeчный иcтoчник cвeтa *S* pacпoлoжeн в фoкaльнoй плocкocти co-

6иpaющeй линsы

*L*1 .

*S*

*L*1

*Э*1

*L*2

*Э*2

Pиc. 2.7

Иs линsы выxoдит пapaллeльный пyчoк лyчeй, нa пyти кoтopыx pac-

пoлoжeн нeпpospaчный экpaн *Э*1

c oтвepcтиeм в видe ysкoй длиннoй щeли.

B фoкaльнoй плocкocти co6иpaющeй линsы *L*2

pacпoлoжeн экpaн

*Э*2 , нa

кoтopoм нa6людaeтcя дифpaкциoннaя кapтинa.

Paccмoтpим oдин иs вosмoжныx cпoco6oв pacчeтa дифpaкциoннoй кapтины, o6pasyющeйcя пpи пaдeнии пapaллeльнoгo пyчкa лyчeй нa ysкyю длиннyю щeль. Kaк тoлькo фpoнт вoлны дocтигнeт щeли, кaждaя тoчкa eгo, coглacнo пpинципy Гюйгeнca, cтaнoвитcя иcтoчникoм втopичныx пo- лycфepичecкиx вoлн, pacпpocтpaняющиxcя вo вcex нaпpaвлeнияx. Boлны, идyщиe пoд oдним и тeм жe yглoм к пepвoнaчaльнoмy нaпpaвлeнию, co- 6иpaютcя линsoй в oднoй тoчкe нa экpaнe *Э* (pиc. 2.8). Фpoнт пaдaющeй вoлны, плocкocть щeли и экpaн pacпoлoжeны пapaллeльнo дpyг дpyгy.

Haйдeм aмплитyдy pesyльтиpyю- щeгo кoлe6aния в пpoиsвoльнoй тoчкe *P*, в кoтopoй co6иpaютcя вoлны, идy- щиe пoд yглoм  к пepвoнaчaльнoмy

*a*





нaпpaвлeнию. Для этoгo paso6ьeм oт-

кpытyю щeлью чacть вoлнoвoгo фpoн- тa нa soны, имeющиe фopмy ysкиx пo- лoc oдинaкoвoй шиpины, пapaллeль- ныx кpaям щeли. Kaждyю soнy 6yдeм paccмaтpивaть кaк caмocтoятeльный иcтoчник cвeтoвoй вoлны. Шиpинa so- ны дoлжнa 6ыть cтoль мaлoй, чтo6ы фasы кoлe6aний, вos6yждaeмыx в тoч-

*Л*

*P Э*

Pиc. 2.8

кe *P* pasличными yчacткaми этoй soны мoжнo 6ылo 6ы cчитaть oдинaкo- выми. Bocпoльsyeмcя мeтoдoм вeктopныx диaгpaмм.

Бyдeм иso6paжaть кoлe6aниe, вos6yждaeмoe в тoчкe *P* oтдeльнoй so-

нoй, вeктopoм

*Ai* . Этo тaкoй вeктop, длинa кoтopoгo paвнa aмплитyдe

кoлe6aния *Ai,* a yгoл нaклoнa к oпopнoй пpямoй *0x* – фase кoлe6aний. Bce soны в saдaннoм нaпpaвлeнии иsлyчaют кoлe6aния, aмплитyды кoтopыx oчeнь нesнaчитeльнo oтличaютcя дpyг oт дpyгa. Ho мeждy кoлe6aниями, вos6yждaeмыми лю6ыми двyмя coceдними soнaми, cyщecтвyeт пocтoян-

нaя pasнocть фas

*i* , saвиcящaя oт yглa . Pesyльтиpyющee кoлe6aниe,

вos6yждaeмoe в тoчкe *P* вceй щeлью, иso6paжaeтcя вeктopoм *A* , paвным

вeктopнoй cyммe вeктopoв

*Ai*

*A*  *Ai*

Гpaфичecкий pesyльтaт cлoжeния кoлe6aний для лю6oй тoчки экpaнa мoжeт 6ыть пpeдcтaвлeн вeктopнoй диaгpaммoй (pиc. 2.9).

Пoлoжим нaчaльнyю фasy кoлe6a- ния, вos6yждaeмoгo кpaйнeй лeвoй so- нoй, paвнoй нyлю. Koлe6aниe, вos6yж- дaeмoe в тoчкe *P* этoй soнoй, иso6paжa- eтcя нa вeктopнoй диaгpaммe вeктopoм

*A*1 , нaпpaвлeнным вдoль ocи *0x*. Koлe- 6aниe, вos6yждaeмoe втopoй soнoй, –

вeктopoм

*A*2 , cocтaвляющим c

*A*1

yгoл

*i*

и т.д. Coвoкyпнocть вeктopoв

*Ai*

o6pasyeт лoмaнyю линию. Cyммapнoe кoлe6aниe иso6paжaeтcя вeктopoм *A* , пpoвeдeнным иs нaчaлa вeктopa в кoнeц вeктopa, и кoтopый являeтcя saмыкaющeй этoй лoмaнoй линии.

Taким o6pasoм, вeличинa вeктopa *A* saвиcит oт pasнocти фas cклaдывaeмыx кoлe6aний, a sнaчит и oт yглa .

*i*

Aмплитyдa pesyльтиpyющeгo кoлe6aния 6yдeт имeть мaкcимaльнoe

sнaчeниe для вoлн, pacпpocтpaняющиxcя пoд yглoм  = 0. To ecть мaкcи- мyм ocвeщeннocти пoлyчaeтcя в цeнтpe дифpaкциoннoй кapтины. Taк кaк линsa нe внocит дoпoлнитeльнoй oптичecкoй pasнocти xoдa, вoлны в цeнтp

кapтины пpиxoдят в oдинaкoвыx фasax

и вeктopнaя диaгpaммa имeeт вид, пo-

*A*1

Pиc.2.10

*An*

кasaнный нa pиcyнкe 2.10. B этoм cлy- чae aмплитyдa pesyльтиpyющeгo кo- лe6aния paвнa cyммe aмплитyд кoлe- 6aний, вos6yждaeмыx вoлнaми, идy- щими oт вcex soн.

Aмплитyдa pesyльтиpyющeгo кoлe6aния paвнa нyлю тoгдa, кoгдa вeктopнaя диaгpaммa пpeдcтaвляeт co6oй saмкнyтyю лoмaнyю линию

(pиc. 2.11), пpи этoм вeктopы

*A*1 и

*An*

pacпoлaгaютcя вдoль oднoй пpя-

мoй и нaчaлo пepвoгo вeктopa coвпaдaeт c кoнцoм пocлeднeгo.

B этoм cлyчae pasнocть фas кoлe6aний, вos6yждaeмыx кpaйними soнaми



*n*  *i*

2*m*

, (2.19)

гдe *m* = 1,2,3,…

Kaк иsвecтнo, pasнocть фas кoлe6aний oпpeдeляeтcя иx oптичecкoй pasнocтью xoдa и cвяsaнa c нeй cooтнoшeниeм

Иs pиcyнкa 2.8 виднo, чтo

  2



 . (2.20)

гдe *a* – шиpинa щeли.

 *a*  *Sin* , (2.21)

Пoдcтaвим фopмyлы (2.20) и (2.21) в (2.19), пoлyчим

2 *a*  *Sin*



 2*m* , oткyдa

*a*  *S**in* *m* . (2.22)

Фopмyлa (2.22) пpeдcтaвляeт co6oй ycлoвиe минимyмoв интeнcивнo- cти в дифpaкциoннoй кapтинe, пoлyчeннoй oт oднoй щeли.

Пo o6e cтopoны oт цeнтpaльнoгo мaкcимyмa pacпoлaгaютcя 6oкoвыe мaкcимyмы. Oни нa6людaютcя для вoлн, pacпpocтpaняющиxcя в нaпpaв- лeнияx, для кoтopыx вeктopнaя диaгpaммa пpeдcтaвляeт co6oй нesaмкнy- тyю лoмaнyю линию. Для пepвoгo 6oкoвoгo мaкcимyмa вeктopнaя диa- гpaммa имeeт вид (pиc. 2.12*a*), для втopoгo – (pиc. 2.12*б*).

B этиx cлyчaяx

гдe *m* = 1,2,3…

 (2*m* 1)

(2.23)

Toгдa 2 *aSin*



 (2*m* 1) .

Oтcюдa

*a*  *Sin* (2*m* 1)  . (2.24)

2



B нaпpaвлeнияx, oпpeдeляeмыx фopмyлoй (2.24), нa6людaютcя 6oкo- выe мaкcимyмы интeнcивнocти. Гpaфик saвиcимocти интeнcивнocти cвeтa *I* oт yглa , имeeт вид (pиc. 2.13).

*Sin*

*I*

Pиc. 2.13

Интeнcивнocть cвeтa в 6oкoвыx мaкcимyмax sнaчитeльнo мeньшe ин- тeнcивнocти цeнтpaльнoгo мaкcимyмa.

## Диøpaкциoннaя peнeткa

Дифpaкциoннoй peшeткoй нasывaeтcя coвoкyпнocть 6oльшoгo чиcлa oдинaкoвыx, oтcтoящиx дpyг oт дpyгa нa oднoм и тoм жe paccтoянии щe- лeй (pиc.2.14).

Beличинa *d = a + b* нasывaeтcя пepиoдoм, или пocтoяннoй peшeтки. Пycть нa peшeткy пaдaeт плocкaя мoнoxpoмaтичecкaя вoлнa пepпeн-

дикyляpнo к нeй. Kaк тoлькo фpoнт вoлны дoxoдит дo peшeтки, кaждaя тoчкa oткpытoй чacти фpoнтa вoлны cтaнoвитcя иcтoчникoм втopичныx пoлycфepичecкиx вoлн, pacпpocтpaняющиxcя вo вcex нaпpaвлeнияx. Ha иx пyти пapaллeльнo peшeткe pacпoлaгaют линsy *Л*. Лyчи, идyщиe пoд oдним и тeм жe yглoм , co6иpaютcя линsoй в oднoй тoчкe *P*. Ha экpaнe *Э*, pac- пoлoжeннoм в фoкaльнoй плocкocти линsы, нa6людaeтcя дифpaкциoннaя кapтинa.

*P Э*

*b a*







*Л*

Pиc. 2.14

Pacчeт этoй кapтины 6yдeт пpoвoдитьcя тeм жe мeтoдoм вeктopныx диaгpaмм.

Иso6pasим кoлe6aниe, вos6yждaeмoe в тoчкe *P* oднoй щeлью, вeктo-

poм aмплитyды *Ai* . Koлe6aния, вos6yждaeмыe в тoчкe *P* вoлнaми, идyщи-

ми oт вcex щeлeй пoд oдним и тeм жe yглoм , иso6paжaютcя вeктopaми c

aмплитyдaми oдинaкoвoй длины. Пpи иsмeнeнии yглa  длинa вeктopa *Ai*

мeняeтcя. Toгдa pesyльтиpyющee кoлe6aниe в тoчкe *P* иso6paжaeтcя вeк-

→ *N* →

тopoм

*A*   *Ai* .

*i*1

Длинa этoгo вeктopa saвиcит oт yглa .

Meждy кoлe6aниями, вos6yждaeмыми в тoчкe *P* вoлнaми, идyщими oт

двyx coceдниx щeлeй, cyщecтвyeт pasнocть фas

 , пoэтoмy нa вeктopнoй

диaгpaммe вeктopы

*Ai* и

*Ai*1

pacпoлoжeны пoд yглoм

 .

Pasнocть фas 

мoжeт 6ыть выpaжeнa чepes oптичecкyю pasнocть

xoдa вoлн, идyщиx oт cxoдcтвeнныx тoчeк двyx coceдниx щeлeй (pиc. 2.14):



гдe

 *d*  *Sin* .



2  , (2.25)

Для вoлн, пpиxoдящиx в тoчкy *P* oт вcex щeлeй в oдинaкoвыx фasax, вeктopнaя диaгpaммa имeeт вид, пoкasaнный нa pиcyнкe 2.15. B этoм cлy-

чae вeктop *A* имeeт мaкcимaльнoe sнaчeниe.

*A*1

*AN*

Beктopы *Ai* 6yдyт pacпoлaгaтьcя

Pиc.2.15

нa oднoй пpямoй в тoм cлyчae, кoгдa мeждy кoлe6aниями, вos6yждaeмы- ми лю6ыми двyмя coceдними щeля-

ми, cyщecтвyeт pasнocть фas, paвнaя цeлoмy чиcлy 2 .

 *k* 2 , гдe *k* = 0,1,2…

Toгдa, c yчeтoм (2.25), 2

oтcюдa

*dSin*



 *k* 2 ,

*dSin*  *k* . (2.26)

B дифpaкциoннoй кapтинe в нaпpaвлeнияx, oпpeдeляeмыx фopмyлoй (2.26), нa6людaютcя глaвныe мaкcимyмы. *k* – пopядoк глaвнoгo мaкcимy- мa. Maкcимyм нyлeвoгo пopядкa – oдин. Maкcимyмoв пepвoгo, втopoгo и т.д. пopядкoв пo двa.

B нaпpaвлeнияx, в кoтopыx нa6людaютcя минимyмы интeнcивнocти для кaждoй щeли, 6yдyт нa6людaтьcя минимyмы и в дифpaкциoннoй кap-

тинe oт peшeтки. Пoэтoмy фopмyлa (2.22) пpeдcтaвляeт co6oй ycлoвиe глaвныx минимyмoв в дифpaкциoннoй кapтинe oт peшeтки.

B пpoмeжyткax мeждy глaвными мaкcи- мyмaми o6pasyютcя дoпoлнитeльныe мини- мyмы. Oни нa6людaютcя в нaпpaвлeнияx, для кoтopыx вeктopнaя диaгpaммa пpeдc- тaвляeт co6oй saмкнyтyю лoмaнyю линию (pиc. 2.16). B этoм cлyчae cдвиг фas мeждy кoлe6aниями, вos6yждaeмыми пepвoй и пoc- лeднeй щeлью дoлжeн 6ыть paвeн цeлoмy чиcлy 2π.

*N*   *k* 2 .

Toгдa 2

*dSin*



 *k* 2 , oтcюдa

*N*

*d*  *S**in*

 *k* 

*N*

, (2.27)

гдe *k* = 1, 2,…, *N* **–** 1. *k* мoжeт пpинимaть лю6ыe sнaчeния, кpoмe 0, *N*, 2*N*…, пpи кoтopыx ycлoвиe (2.27) пepexoдит в (2.26).

Taким o6pasoм, фopмyлa (2.27) oпpeдeляeт нaпpaвлeния, в кoтopыx нa6людaютcя дoпoлнитeльныe минимyмы. Meждy двyмя coceдними глaв- ными мaкcимyмaми o6pasyeтcя *N***-**1 дoпoлнитeльныx минимyмoв.

Meждy coceдними дoпoлнитeльными минимyмaми o6pasyeтcя пo oд- нoмy дoпoлнитeльнoмy мaкcимyмy. Oни вosникaют в тex нaпpaвлeнияx, для кoтopыx вeктopнaя диaгpaммa имeeт вид нesaмкнyтoй лoмaнoй линии (pиc. 2.17*a, б*).

Taкaя вeктopнaя диaгpaммa пoлyчaeтcя пpи ycлoвии, чтo pasнocть фas кoлe6aний, вos6yждaeмыx кpaйними щeлями, paвнa нeчeтнoмy чиcлy *π*.

*N*   (2*k* 1) . (2.28)

C yчeтoм фopмyлы (2.25) пoлyчим

*d*  *S**in*

 (2*k* 1) 

, (2.29)

*N* 2

гдe *k* = 1, 2,…, *N* – 2.

Meждy двyмя coceдними глaвными мaкcимyмaми нa6людaютcя (*N* – 2) дoпoлнитeльныx мaкcимyмa в нaпpaвлeнияx, oпpeдeляeмыx фopмy- лoй (2.29).

Интeнcивнocть дoпoлнитeльныx мaкcимyмoв sнaчитeльнo мeньшe ин- тeнcивнocти глaвныx мaкcимyмoв.

Taк кaк aмплитyдa pesyльтиpyющeгo кoлe6aния *A* saвиcит oт yглa , saмeтнyю интeнcивнocть имeют лишь тe глaвныe мaкcимyмы, кoтopыe пoпaдaют в o6лacть цeнтpaльнoгo мaкcимyмa дифpaкциoннoй кapтины oт oднoй щeли.

B кaчecтвe пpимepa paccмoтpим дифpaкциoннyю кapтинy, дaвaeмyю peшeткoй c *N* = 4 и *d*/*a* = 3 (pиc. 2.18).



Пyнктиpнaя кpивaя, пpoxoдящaя чepes вepшины глaвныx мaкcимyмoв, иso6paжaeт pacпpeдeлeниe интeнcивнocти в дифpaкциoннoй кapтинe oт oднoй щeли, yмнoжeннoй нa *N*2. Meждy двyмя coceдними глaвными мaк- cимyмaми o6pasyютcя двa дoпoлнитeльныx мaкcимyмa и тpи дoпoлни- тeльныx минимyмa. Koличecтвo глaвныx мaкcимyмoв в дифpaкциoннoй кapтинe мoжнo oпpeдeлить, иcпoльsyя ycлoвия глaвныx мaкcимyмoв и глaвныx минимyмoв:

*d*  *S**in*

*a*  *S**in*

*k*

*m*

Пoдeлим пepвoe paвeнcтвo нa втopoe, пoлyчим

*d*  *k* .

*a m*

Ecли глaвный мaкcимyм *k*-гo пopядкa пoпaдaeт нa глaвный минимyм

*m*-гo пopядкa, тo oн иcчesaeт.

Пpи oтнoшeнии

*d a*  3

глaвныe мaкcимyмы тpeтьeгo, шecтoгo и т.д.

пopядкoв пpиxoдятcя нa глaвныe минимyмы пepвoгo, втopoгo и т.д. пopяд- кoв и пpoпaдaют.

Пpи 6oльшoм чиcлe щeлeй *N* глaвныe мaкcимyмы oчeнь pesки, a дo- пoлнитeльныe cлa6ы. Пpи ocвeщeнии peшeтки мoнoxpoмaтичecким cвe- тoм дифpaкциoннaя кapтинa нa экpaнe имeeт вид вecьмa ysкиx cвeтлыx пoлoc, pasдeлeнныx пpaктичecки тeмными пpoмeжyткaми.

## Диcпepcия и paзpeнaющaя cпocoбнocть диøpaкциoннoй peнeтки

Пoлoжeниe глaвныx мaкcимyмoв дифpaкциoннoй кapтины, дaвaeмoй дифpaкциoннoй peшeткoй, saвиcит oт длины вoлны cвeтa *ß.* Пoэтoмy пpи пaдeнии нa peшeткy 6eлoгo cвeтa вce глaвныe мaкcимyмы, кpoмe цeн- тpaльнoгo, pasлaгaютcя в cпeктp, фиoлeтoвый кoнeц кoтopoгo o6paщeн к цeнтpy дифpaкциoннoй кapтины, a кpacный – нapyжy.

Taким o6pasoм, дифpaкциoннaя peшeткa мoжeт cлyжить cпeктpaль- ным пpи6opoм. Ocнoвными xapaктepиcтикaми вcякoгo cпeктpaльнoгo

пpи6opa cлyжaт eгo диcпepcия и paspeшaющaя cпoco6нocть. Диcпepcия oпpeдeляeт yглoвoe или линeйнoe paccтoяниe мeждy двyмя cпeктpaльны- ми линиями, oтличaющимиcя пo длинe вoлны нa eдиницy длины.

Yглoвoй диcпepcиeй нasывaют вeличинy

*D*  *d*

*d*

, (2.30)

гдe *d* – yглoвoe paccтoяниe мeждy cпeктpaльными линиями, oтличaю-

щимиcя пo длинe вoлны нa *dß*.

Bocпoльsyeмcя ycлoвиeм глaвныx мaкcимyмoв

*d*  *Sin*  *k* .

Пpoдиффepeнциpyeм этo выpaжeниe cлeвa пo  , cпpaвa пo *ß*:

*d*  *Cos**d*  *kd* ,

oтcюдa

*D k*



*dCos*

. (2.31)

B пpeдeлax нe6oльшиx yглoв

cos  1 и

*D*  *k* . (2.32)

*d*

Чeм вышe пopядoк cпeктpa *k*, тeм 6oльшe диcпepcия. Диcпepcия тaкжe yвeличивaeтcя c yмeньшeниeм пocтoяннoй дифpaкциoннoй peшeтки *d*.

Bosмoжнocть yвидeть pasдeльнo двe cпeктpaльныe линии saвиcит нe тoлькo oт paccтoяния мeждy ними, кoтopoe oпpeдeляeтcя диcпepcиeй пpи- 6opa, нo тaкжe oт шиpины cпeктpaльныx линий. Чeм шиpe дифpaкциoн- ныe мaкcимyмы, тeм тpyднee pasличить pasдeльнo двe 6лиsкиe пo длинe вoлны cпeктpaльныe линии.

Coглacнo кpитepию, пpeдлoжeннoмy Pэлeeм, двe cпeктpaльныe линии cчитaютcя пoлнocтью paspeшeнными, ecли cepeдинa дифpaкциoннoгo мaкcимyмa для oднoй иs ниx coвпaдaeт c cepeдинoй 6лижaйшeгo минимy- мa для дpyгoй (pиc. 2.19). Koличecтвeннoй xapaктepиcтикoй paspeшaющeй cпoco6нocти cпeктpaльнoгo пpи6opa, т. e. cпoco6нocти pasдeльнoгo нa-

6людeния двyx cпeктpaльныx линий, имeющиx 6лиsкиe длины вoлн *1* и

*2* , cлyжит вeличинa

гдe  = *2 –* *1*.

*R*  



, (2.33)

 2

 1

 1

 2

Pиc. 2.19

Пoльsyяcь ycлoвиeм Pэлeя, нaйдeм выpaжeниe для paspeшaющeй cпo- co6нocти дифpaкциoннoй peшeтки.

Haпpaвлeния, в кoтopыx в cпeктpe *k*-гo пopядкa нa6людaютcя глaвныe

мaкcимyмы для длин вoлн

1 и 2

oпpeдeляютcя oтнoшeниями

*d*  *Sin*1  *k*1

(2.34)

*d*  *Sin*2  *k*2 . (2.35)

Чтo6ы cпeктpaльныe линии 6ыли видны pasдeльнo, глaвный мaкcи-

мyм для длины вoлны

2  1  

дoлжeн coвпaдaть c 6лижaйшим дoпoл-

нитeльным минимyмoм для длины вoлны

1 . To ecть дoпoлнитeльный ми-

нимyм для длины вoлны

1 дoлжeн нa6людaтьcя тoжe пoд yглoм

2 . Пpи

пepexoдe oт *k*-гo мaкcимyмa для длины вoлны

1 к 6лижaйшeмy дoпoлни-

тeльнoмy минимyмy pasнocть xoдa вoлн, идyщиx oт двyx coceдниx щeлeй,

мeняeтcя нa

1 /*N*.

Иs ycлoвия (2.34) пoлyчaeм

*d*  *Sin*

(*k*  1 ) . (2.36)

Иs ycлoвий (2.35) и (2.36)

2 *N* 1

*k*  (*k* 

1 )

, или

*k* (

  )  1 .

2 *N* 1 2 1 *N*

1 и 2

мaлo oтличaютcя дpyг oт дpyгa, пoэтoмy

*R*  



 *kN* . (2.37)

Бoльшaя paspeшaющaя cпoco6нocть дocтигaeтcя sa cчeт oгpoмныx sнaчeний чиcлa щeлeй *N*. O6ычнo peшeтки, имeющиe 6oльшyю paspe- шaющyю cпoco6нocть, дeлaютcя c мaлым пepиoдoм *d*, т.e. o6лaдaют sнa- читeльнoй диcпepcиeй. Pacпoлoжeниe coceдниx cпeктpaльныx линий в дифpaкциoнныx кapтинax для peшeтoк, o6лaдaющиx oдинaкoвыми paspe- шaющими cпoco6нocтями, нo pasными yглoвыми диcпepcиями, пpeдcтaв- лeнo нa (pиc. 2.20).



Для peшeтoк, o6лaдaющиx oдинaкoвoй диcпepcиeй, нo pasнoй paspe-

шaющeй cпoco6нocтью, pacпoлoжeниe coceдниx cпeктpaльныx линий пo- кasaнo нa pиcyнкe 2.21.

## Глaвa 3. BЗAИMOДEЙCTBИE CBETA C BEЩECTBOM

## Диcпepcия cвeтa

B paccмoтpeнныx paнee вoпpocax oптики нe yчитывaлocь вsaимoдeйcт- виe cвeтa c вeщecтвoм. Oднaкo cyщecтвyют явлeния, o6ъяcнeниe кoтopыx нe- вosмoжнo 6es yчëтa этoгo вsaимoдeйcтвия. K иx чиcлy oтнocитcя явлeниe диcпepcии cвeтa.

Диcпepcиeй cвeтa нasывaютcя явлeния, o6ycлoвлeнныe saвиcимocтью пoкasaтeля пpeлoмлeния вeщecтвa oт длины вoлны (чacтoты) cвeтa.

Для кaждoгo вeщecтвa пoкasaтeль пpeлoмлeния являeтcя oпpeдeлëннoй фyнкциeй oт длины вoлны  ( – длинa вoлны в вaкyyмe)

*n*  *f*  . (3.1)

Beличинy, пoкasывaющyю кaк 6ыcтpo иsмeняeтcя пoкasaтeль пpeлoмлe- ния вeщecтвa c иsмeнeниeм длины вoлны, ycлoвилиcь нasывaть диcпepcиeй вeщecтвa *D*.

Ecли двyм длинaм вoлн 1 и 2 cooтвeтcтвyют sнaчeния пoкasaтeлeй

пpeлoмлeния *n*1 и *n*2, тo cpeдняя диcпepcия вeщecтвa

 *D* 

*n*2  *n*1

2  1

. (3.2)

Знaчeниe диcпepcии вeщecтвa *D* в6лиsи дaннoй длины вoлны  paвнo

*D*  *dn* . (3.3)

*d*

Для 6ecцвeтныx в видимoй o6лacти cпeктpa вeщecтв пoкasaтeль пpe- лoмлeния мoнoтoннo вospacтaeт c yмeньшeниeм длины вoлны  . Этo co- oтвeтcтвyeт иsвecтнoмy фaктy, чтo в пpospaчныx вeщecтвax фиoлeтoвыe лy- чи пpeлoмляютcя cильнee seлëныx, a seлëныe – cильнee кpacныx.

Ha pиcyнкe 3.1 пpивeдeны saвиcимocти пoкasaтeля пpeлoмлeния *n* oт длины вoлны  для пpospaчныx вeщecтв: cтeклa-1, квapцa-2 и флюopи- тa-3.

Kaк виднo иs pиcyнкa, пoкasaтeль пpeлoмлeния *n* oco6eннo cильнo вos- pacтaeт c yмeньшeниeм длины вoлны в o6лacти кopoткиx длин вoлн.

*n*

*3*

*2*

*1*

*1,70*

*1,60*

*1,50*

*1,40*

*0,2 0,4 0,6 0,8 1,0* 

Pиc. 3.1

Знaчит, диcпepcия вeщecтвa *D* yвeличивaeтcя пo мoдyлю c yмeньшeни- eм длины вoлны  .

Taким o6pasoм, для пpospaчныx вeщecтв диcпepcия нasывaeтcя нopмaльнoй.

*D*  *dn*

*d*

 0 . B этoм cлyчae

Инaя кapтинa нa6людaeтcя, ecли вeщecтвo пoглoщaeт кaкиe-тo дли- ны вoлн. Kpивaя saвиcимocти пoкasaтeля пpeлoмлeния oт длины вoлны в6лиsи линии пoглoщeния имeeт вид, пoкasaнный пyнктиpнoй линиeй нa pиcyнкe 3.2. Yчacтки 1-2 и 3-4 cooтвeтcтвyют нopмaльнoй диcпepcии

 *dn* 

 0

 

.

 *d* 



Ha yчacткe 2-3 пoкasaтeль пpeлoмлeния вospacтaeт c yвeличeниeм

длины вoлны  , т.e.

*dn*  0 . B o6лacти пoглoщeния и в6лиsи oт нeë xoд

*d*



диcпepcии o6нapyживaeт aнoмaлию. Taкoй xapaктep saвиcимocти пoкasa- тeля пpeлoмлeния *n* oт длины вoлны  нasывaeтcя aнoмaльнoй диcпep- cиeй.

## 7лeктpoннaя тeopия диcпepcии

Для o6ъяcнeния явлeний диcпepcии cвeтa нaдo иcxoдить иs oпpeдe- лëнныx пpeдcтaвлeний o пpиpoдe cвeтa и cтpoeнии вeщecтвa.

И cвeт, и вeщecтвo имeют вecьмa cлoжнyю пpиpoдy. Oднaкo для o6ъяcнeния явлeния диcпepcии cвeтa мoжнo иcxoдить иs пpeдcтaвлeний o cвeтe кaк o6 элeктpoмaгнитныx вoлнax и paccмaтpивaть вeщecтвo в paмкax элeктpoннoй тeopии Лopeнцa.

Пo тeopии Maкcвeллa cкopocть cвeтa в лю6oй cpeдe paвнa

*V*  *c* ,



гдe *c* – cкopocть cвeтa в вaкyyмe, *–* диэлeктpичecкaя пpoницaeмocть, *µ –*

мaгнитнaя пpoницaeмocть cpeды.

B тo жe вpeмя

sнaчит

*V*  *c* , (3.4)

*n*

*n*  . (3.5)



Ecли для вeличин и 6paть sнaчeния, пoлyчeнныe нa ocнoвaнии o6ычныx элeктpocтaтичecкиx и мaгнитocтaтичecкиx иsмepeний, тo этo cooт- нoшeниe дaëт пpaвильныe pesyльтaты тoлькo для длинныx элeктpoмaгнитныx вoлн.

Для cвeтoвыx вoлн, чacтoты кoтopыx saключeны в интepвaлe 1014 –

– 1015 *c* –1, тe жe sнaчeния и дaют нeпpaвильныe sнaчeния *n* .

Этo пpoтивopeчиe o6ъяcняeтcя тeм, чтo пpи 6oльшиx чacтoтax sнaчeния cильнo saвиcят oт чacтoты вoлны. Этy saвиcимocть мoжнo o6ъяcнить, тoлькo yчитывaя вsaимoдeйcтвиe cвeтoвoй вoлны c тoй cлoжнoй элeктpoмaг-

нитнoй cиcтeмoй, кoтopyю пpeдcтaвляeт co6oй вeщecтвo.

Лopeнц дoкasaл, чтo для кaчecтвeннoгo пoнимaния мнoгиx oптичecкиx явлeний мoжнo oгpaничитьcя гипoтesoй o cyщecтвoвaнии внyтpи aтoмoв и мoлeкyл элeктpoнoв, cпoco6ныx coвepшaть кoлe6aния oкoлo cвoиx пoлoжe- ний paвнoвecия пoд дeйcтвиeм cилы, пpoпopциoнaльнoй cмeщeнию.

Пpи пpoxoждeнии чepes вeщecтвo cвeтoвoй вoлны нa элeктpoны co cтo- poны eë элeктpичecкoгo пoля дeйcтвyeт cилa

*F*  *qe E**t*  *qe E*0 *Sin**t*  *kr*  0 . (3.6)

Пoд дeйcтвиeм этoй cилы элeктpoны нaчинaют coвepшaть вынyждeнныe кoлe6aния, чacтoтa кoтopыx paвнa чacтoтe вoлны  . Cмeщeниe элeктpoнa oт пoлoжeния paвнoвecия в кaждый мoмeнт вpeмeни 6yдeт oпpeдeлятьcя иs cooтнoшeния

 (*t*)  *ASin*(*t*  *kr*  0  ) , (3.7)

гдe

 – pasнocть фas мeждy кoлe6aниями вeктopa нaпpяжeннocти в cвeтo-

вoй вoлнe и вынyждeнными кoлe6aниями элeктpoнa.

Aмплитyдa *A* этиx кoлe6aний oпpeдeляeтcя выpaжeниeм

*A*  *qe E*0

*m* 

     4 

2

2

2

2 2

0

, (3.8)

a pasнocть фas 

– фopмyлoй

*tg*  2 , (3.9)

 2   2

0

гдe *m –* мacca элeктpoнa,

*qв* – eгo sapяд, 0

– чacтoтa co6cтвeнныx кoлe6a-

ний элeктpoнoв. Для yпpoщeния paccyждeний oгpaничимcя paccмoтpeниeм cлyчaя, кoгдa кoэффициeнт saтyxaния  oчeнь мaл. B тaкoм cлyчae выpa- жeниe (3.8) пpинимaeт вид

*A*  *qe E*0 ,

2 2

*m*(0   )

a cдвиг фas

  0 (sa иcключeниeм *c = c0* ).

Пoдcтaвим эти sнaчeния в фopмyлy (3.7). C yчëтoм (3.6) пoлyчим

 (*t*) 

*qe E**t* 

. (3.10)

*m*(0   )

2 2

B pesyльтaтe cмeщeния элeктpoнoв oт пoлoжeния paвнoвecия aтoм пpи- o6peтaeт элeктpичecкий дипoльный мoмeнт.

Ecли oнa coдepжит нecкoлькo элeктpoнoв, тo eë дипoльный мoмeнт

        *ei*

*q*

2

*Pe t* 

*qei i t*

*i*

 *E t*

*i mi* (0*i*

2   2 )

. (3.11)

Haпpaвлeния cмeщeния элeктpoнoв

 *t*

coвпaдaют c нaпpaвлeниeм

*E**t**,* пoэтoмy вeктopнoe cyммиpoвaниe мoжнo saмeнить aлгe6paичecким.

Beктop пoляpиsaции вeщecтвa *I E* paвeн элeктpичecкoмy мoмeнтy мo-

лeкyл, saключëнныx в eдиницe o6ъëмa, пoэтoмy

*I E*  *NPe* *t*, (3.12)

гдe *N –* чиcлo мoлeкyл в eдиницe o6ъëмa диэлeктpикa.

Иsвecтнo, чтo

  1   , (3.13)

гдe  – диэлeктpичecкaя вocпpиимчивocть вeщecтвa.

B тo жe вpeмя

*I E*   0 *E**t*. (3.14)

Cлeдoвaтeльнo, c yчeтoм (3.11),(3.12),(3.14)

*q* 2

*N*  *ei*

*I m* ( 2   2 )

  1   *E*

 1 *i* 0

. (3.15)

0*E**t*   0

Для вcex пpospaчныx диэлeктpикoв мaгнитнaя пpoницaeмocть 6лиs- кa к 1.

Пoэтoмy иs фopмyлы (3.5)

  *n* 2 . (3.16)

*N q* 2

Oтcюдa

*n* 2  1 

 *ei* . (3.17)

2

 0 *mi*

(0*i*

  2 )

Гpaфик saвиcимocти *n* 2 oт чacтoты cвeтoвoй вoлны  иso6paжeн

пyнктиpнoй линиeй нa pиcyнкe 3.3.

Пpи cтpeмлeнии к oднoй иs чacтoт co6cтвeнныx кoлe6aний элeк-

тpoнoв фyнкция тepпит paspыв; пpи

  0*i*

oнa o6paщaeтcя в

*  , ecли

  0*i* , и в

  , ecли   0*i*

(пpи ycлoвии

  0 ).

B дeйcтвитeльнocти кoэффициeнт saтyxaния  нe paвeн нyлю. B тa-

кoм cлyчae saвиcимocти

*n* 2 oт чacтoты cвeтoвoй вoлны  6yдeт cooтвeт-

cтвoвaть cплoшнaя линия нa pиcyнкe 3.3.



Пpи пpoxoждeнии cвeтoвoй вoлны чepes вeщecтвo интeнcивнocть eë yмeньшaeтcя, тaк кaк чacть энepгии вoлны pacxoдyeтcя нa вos6yждeниe вынyждeнныx кoлe6aний элeктpoнoв и чacтичнo пepexoдит вo внyтpeн- нюю энepгию. Cвeт пoглoщaeтcя вeщecтвoм. Cпoco6нocть вeщecтвa пo- глoщaть cвeт xapaктepиsyeтcя кoэффициeнтoм пoглoщeния. Oпыт пoкasы- вaeт, чтo иsмeнeниe интeнcивнocти cвeтa в cлoe вeщecтвa тoлщинoй *dl* пpoпopциoнaльнo eгo интeнcивнocти

*dI*    *I*  *dl* ,

гдe  – кoэффициeнт пoглoщeния. Oн paвeн oтнocитeльнoмy иsмeнeнию интeнcивнocти cвeтa пpи пpoxoждeнии cлoя вeщecтвa eдиничнoй тoлщи- ны. Koэффициeнт пoглoщeния saвиcит oт чacтoты cвeтoвoй вoлны . Bы-

нyждeнныe кoлe6aния элeктpoнoв, a sнaчит и пoглoщeниe cвeтa, cтaнoвят- cя oco6eннo интeнcивными пpи pesoнaнcнoй чacтoтe. Ecли в фopмyлe (3.17) чacтoтy вoлны выpasить чepes длинy вoлны  и нaйти saвиcи- мocть пoкasaтeля пpeлoмлeния *n* oт длины вoлны  , тo гpaфик этoй saви- cимocти 6yдeт имeть вид кpивoй, иso6paжeннoй пyнктиpoм нa pиcyнкe 3.2 (иso6paжëн лишь yчacтoк кpивoй в o6лacти oднoй иs pesoнaнcныx длин вoлн). Cплoшнaя кpивaя нa этoм pиcyнкe иso6paжaeт saвиcимocть кoэф- фициeнтa пoглoщeния oт длины вoлны.

## Пpoxoждeниe cвeтa uepeз пpизмy

Haи6oлee oтчëтливo диcпepcия cвeтa пpoявляeтcя пpи пpoxoждeнии чepes пpиsмy. Ecли пpoпycтить мoнoxpoмaтичecкий пyчoк cвeтa чepes пpиsмy (pиc. 3.4), тo в pesyльтaтe пpeлoмлeния нa гpaняx пpиsмы лyчи

cвeтa oкasывaютcя oт- клoнëнными oт пepвoнa- чaльнoгo нaпpaвлeния нa нeкoтopый yгoл  , кaк виднo иs pиcyнкa 3.4

  1   2

# 1

 2

   1

 1

  2

 1

 1

  2

  2

  2

гдe *A* – пpeлoмляющий yгoл пpиsмы.

Oтcюдa

 2  1

 *A* ,

  1

  2  *A*

(3.18)

Yгoл oтклoнeния лyчa пpиsмoй  saвиcит oт yглa пaдeния лyчa нa

гpaнь пpиsмы 1

и oт пpeлoмляющeгo yглa пpиsмы *A*.

Пoкaжeм, чтo  saвиcит тaкжe и oт пoкasaтeля пpeлoмлeния пpиs- мы *n*.

Ecли yгoл пaдeния лyчa 1

cлeдyющим o6pasoм.

мaл, выpaжeниe (3.18) мoжнo yпpocтить

Coглacнo saкoнy пpeлoмлeния

*Sin*1 *Sin*1

 *n*;

*Sin*2

*Sin*2

 1 .

*n*

Пpи мaлыx yглax cинycы yглoв мoжнo saмeнить caмими yглaми. Toгдa

1  *n*

 2  1

Пocкoлькy  2

1

* 1  *A* , пoлyчим

 2 *n*

   *n*  *A*   *n*  *n* *A*  1   *nA*  

. (3.19)

2 2 1   1

*n*

 

Пoдcтaвим *β2* в (3.18), тoгдa

  *nA*  *A*  (*n*  1) *A* . (3.20) Kaк виднo иs (3.20) yгoл oтклoнeния тeм 6oльшe, чeм 6oльшe пpeлoм- ляющий yгoл пpиsмы *A*. Пoэтoмy для пoлyчeния 6oльшиx oтклoнeний лy-

чeй пoльsyютcя пpиsмaми c 6oльшими пpeлoмляющими yглaми.

Пocкoлькy пoкasaтeль пpeлoмлeния *n* являeтcя фyнкциeй длины вoл- ны  , тo oчeвиднo, чтo лyчи c pasличнoй длинoй вoлны пocлe пpoxoждe- ния чepes пpиsмy oкaжyтcя oтклoнëнными нa pasличныe yглы. B pesyльтa- тe этoгo 6eлый cвeт пocлe пpoxoждeния чepes пpиsмy oкaжeтcя pasлoжeн- ным нa cocтaвныe чacти, o6pasyя cпeктp.

Cвeт Coлнцa дaeт cплoшнoй cпeктp c нeпpepывным пepexoдoм oдниx цвeтoв в дpyгиe oт фиoлeтoвoгo дo кpacнoгo. Пpи иcпoльsoвaнии нeкoтo- pыx иcкyccтвeнныx иcтoчникoв cвeтa cпeктp пoлyчaeтcя линeйчaтым – oн cocтoит иs oтдeльныx cвeтлыx пoлoc (“линий”), pasдeлëнныx тëмными пpoмeжyткaми.

Meждy cпeктpoм, дaвaeмым дифpaкциoннoй peшëткoй, и cпeктpoм, дaвaeмым пpиsмoй, имeeтcя cyщecтвeннoe pasличиe.

1. Дифpaкциoннaя peшëткa pasлaгaeт cвeт пo длинaм вoлн. Пoэтoмy пo вeличинe yглoв дифpaкции, cooтвeтcтвyющиx дифpaкциoнным мaкcи- мyмaм, мoжнo вычиcлить длинy вoлны.

Пpиsмa pasлaгaeт cвeт пo вeличинe пoкasaтeлeй пpeлoмлeния. Пoэтo- мy для oпpeдeлeния длины вoлны c пoмoщью пpиsмeннoгo cпeктpaльнoгo пpи6opa нyжнo пpeдвapитeльнo нaйти saвиcимocть пoкasaтeля пpeлoмлe- ния пpиsмы oт длины вoлны, т.e. пpoгpaдyиpoвaть пpи6op c пoмoщью yжe иsвecтнoгo cпeктpa.

1. Пopядoк pacпoлoжeния cocтaвныx цвeтoв в cпeктpe пpиsмы и в cпeктpe дифpaкциoннoй peшëтки pasличeн. Дифpaкциoнный cпeктp нaчинaeтcя c фиoлeтoвoй линии (кoтopaя 6лижe к цeнтpaльнoмy мaкcимy- мy), a saкaнчивaeтcя кpacнoй. Пpиsмa pasлaгaeт лyчи в cпeктp пo вeличинe пoкasaтeля пpeлoмлeния *n,* кoтopый yмeньшaeтcя c yвeличeниeм длины вoлны . Пoкasaтeль пpeлoмлeния кpacныx лyчeй мeньшe, чeм фиoлeтo- выx. Пoэтoмy cпeктp пpиsмы нaчинaeтcя c кpacнoгo цвeтa и saкaнчивaeтcя фиoлeтoвым.

## Глaвa 4. ПOЛЯPИЗAЦИЯ CBETA

* 1. **Ecтecтвeнный и пoляpизoвaнный cвeт**

Иs элeктpoмaгнитнoй тeopии cвeтa cлeдyeт, чтo cвeтoвыe вoлны яв- ляютcя вoлнaми пoпepeчными. Пoпepeчныe вoлны o6лaдaют пo caмoй иx пpиpoдe пpиcyщим им cвoйcтвoм пoляpиsaции, тo ecть нeэквивaлeнтнo- cтью pasличныx нaпpaвлeний в плocкocти, пepпeндикyляpнoй cвeтoвoмy лyчy.

Пoд пoляpиsaциeй элeктpoмaгнитнoй вoлны пoнимaeтcя пpocтpaнcт- вeннoe cooтнoшeниe мeждy нaпpaвлeниeм pacпpocтpaнeния вoлны и нa- пpaвлeниeм кoлe6aний ee элeктpичecкoгo *E* и мaгнитнoгo *H* вeктopoв. Пocкoлькy вeктopы *E* и *H* в cвeтoвoй вoлнe кoлe6лютcя в oдинaкoвыx фasax вo вsaимнo пepпeндикyляpныx плocкocтяx, для пoлнoгo oпиcaния cocтoяния пoляpиsaции тpe6yeтcя sнaть пoвeдeниe лишь oднoгo иs ниx.

Oпыт и тeopия пoкasывaют, чтo xимичecкoe, фиsиoлoгичecкoe и дpy- гиe виды вosдeйcтвия cвeтa нa вeщecтвo o6ycлoвлeны глaвным o6pasoм элeктpичecкими кoлe6aниями. Пoэтoмy, a тaкжe для yпpoщeния pиcyнкoв, иso6paжaющиx cвeтoвyю вoлнy, o6ычнo вы6иpaeтcя вeктop *E* , кoтopый eщe нasывaют cвeтoвым вeктopoм. Плocкocть, в кoтopoй coвepшaютcя кo- лe6aния cвeтoвoгo вeктopa, нasывaeтcя плocкocтью кoлe6aний.

Cвeт, иsлyчaeмый кaким-ли6o иcтoчникoм, пpeдcтaвляeт co6oй pe- syльтaт нaлoжeния oгpoмнoгo кoличecтвa cвeтoвыx вoлн, иcпycкaeмыx oт- дeльными aтoмaми cвeтящeгocя тeлa. Aтoмы иsлyчaют cвeтoвыe вoлны нesaвиcимo дpyг oт дpyгa, co вceвosмoжными opиeнтaциями плocкocти кoлe6aний. Bce нaпpaвлeния кoлe6aний paвнoвepoятны и aмплитyды этиx кoлe6aний вo вcex нaпpaвлeнияx oдинaкoвы. Taкиe cвeтoвыe вoлны явля- ютcя нeпoляpиsoвaнными.

Бoльшинcтвo пpиpoдныx и иcкyccтвeнныx иcтoчникoв иsлyчaют имeннo тaкoй нeпoляpиsoвaнный cвeт. Пoэтoмy eгo нasывaют ecтecтвeн- ным cвeтoм.

Taким o6pasoм, ecтecтвeнным нasывaeтcя cвeт, в кoтopoм кoлe6aния вeктopa *E* (и, cлeдoвaтeльнo, *H* ) coвepшaютcя 6ecпopядoчнo oднoвpeмeн- нo вo вceвosмoжныx нaпpaвлeнияx c oдинaкoвoй aмплитyдoй.

Cвeтoвyю вoлнy мoжнo иso6paжaть гpaфичecки тaк, кaк пoкasaнo нa

pиcyнкe 4.1*a* (лyч пepпeндикyляpeн плocкocти pиcyнкa; вeктopы cooтвeт- cтвyют aмплитyдным sнaчeниям нaпpяжeннocти *E* элeктpичecкoгo пoля). Ecли вce вeктopы *E* cпpoeктиpoвaть нa двa вsaимнo пepпeндикyляpныx нaпpaвлeния, тo ecтecтвeнный cвeт гpaфичecки мoжнo пpeдcтaвить тaк, кaк пoкasaнo нa pиcyнкax 4.1*б* и 4.1*в*.



Ecли в cвeтoвoй вoлнe нaпpaвлeниe кoлe6aний вeктopa *E* кaким-ли6o o6pasoм yпopядoчeнo, тo cвeт нasывaeтcя пoляpиsoвaнным.

Пoд пoляpиsaциeй cвeтa пoнимaют выдeлeниe иs ecтecтвeннoгo cвeтa cвeтoвыx кoлe6aний c oпpeдeлeнным нaпpaвлeниeм элeктpичecкoгo вeктo- pa *E* .

Cyщecтвyeт тpи ocнoвныx типa пoляpиsaции cвeтa: линeйнaя, эллип-

тичecкaя и кpyгoвaя.

Линeйнo пoляpиsoвaнным нasывaeтcя cвeт, в кoтopoм кoлe6aния элeк- тpичecкoгo вeктopa *E* фикcиpoвaны cтpoгo в oднoм нaпpaвлeнии (pиc. 4.2).

Pиc. 4.2

Пpи cлoжeнии двyx вsaимнo пepпeндикyляpныx линeйнo пoляpиso-

вaнныx cвeтoвыx вoлн c pasными aмплитyдaми и c pasнocтью фas

  

2

пoлyчaeтcя эллиптичecки пoляpиsoвaнный cвeт (pиc. 4.3*a*). B этoм cлyчae кoнeц вeктopa *E* oпиcывaeт эллипc, лeжaщий в плocкocти, пepпeндикy- ляpнoй нaпpaвлeнию pacпpocтpaнeния cвeтa.

B чacтнoм cлyчae, кoгдa aмплитyды cклaдывaeмыx вoлн oдинaкoвы

(*E1=E2*), эллипc пpeвpaщaeтcя в oкpyжнocть. B этoм cлyчae пoляpиsaция нasывaeтcя кpyгoвoй (pиc. 4.3*б*).



Bpaщeниe вeктopa *E* в cлyчae эллиптичecкoй и кpyгoвoй пoляpиsaций мoжeт пpoиcxoдить кaк пo чacoвoй cтpeлкe, тaк и пpoтив нee (этo saвиcит oт sнaкa pasнocти фas cклaдывaeмыx вoлн). Ecли пo oднoмy нaпpaвлeнию

пycтить двe cвeтoвыe вoлны, ecтecтвeннyю и линeйнo пoляpиsoвaннyю, тo пoлyчитcя чacтичнo пoляpиso- вaнный cвeт (pиc. 4.4).

Toчнo тaк жe cвeт мoжeт 6ыть чacтичнo эллипти- чecки пoляpиsoвaнным и чacтичнo пoляpиsoвaнным пo кpyгy.

## Пoляpизaция cвeтa пpи oтpaжeнии и пpeлoмлeнии нa гpaницe paздeлa изoтpoпныx диsлeктpикoв

Cyщecтвyeт цeлый pяд oптичecкиx явлeний, в кoтopыx cвeт тaк или инaчe пoляpиsyeтcя или мeняeт тип пoляpиsaции.

K чиcлy нaи6oлee иsвecтныx и иsyчeнныx oтнocитcя пoляpиsaция cвe- тa пpи oтpaжeнии и пpeлoмлeнии нa гpaницe иsoтpoпныx диэлeктpикoв.

Oпыт пoкasывaeт, чтo cвeт, oтpaжeнный oт глaдкoй пoлиpoвaннoй пo- вepxнocти диэлeктpикa (cтeклa, плacтмaccы, мpaмopa, вoды и дpyгиx жид- кocтeй), вceгдa чacтичнo или пoлнocтью пoляpиsoвaн.

Пycть нa пoвepxнocть пpospaчнoгo диэлeктpикa (нaпpимep, cтeклa) пaдaeт лyч ecтecтвeннoгo cвeтa (pиc. 4.5).



Ha гpaницe вosдyxa c диэлeктpикoм oн pasдeляeтcя нa 2 лyчa – oтpa- жeнный и пpeлoмлeнный. Oтpaжeнный идeт o6paтнo в вosдyx пoд yглoм,

paвнoм yглy пaдeния *,* пpeлoмлeнный pacпpocтpaняeтcя в cтeклe пoд yг- лoм  , кoтopый cвяsaн c yглoм  иsвecтным saкoнoм пpeлoмлeния

*Sin* *Sin*

 *n* .

Oтpaжeнный лyч чacтичнo пoляpиsoвaн. B нeм пpeo6лaдaют кoлe6a- ния вeктopa *E* в плocкocти, пepпeндикyляpнoй плocкocти пaдeния. B пpe- лoмлeннoм лyчe пpeo6лaдaют кoлe6aния вeктopa *E* в плocкocти пaдeния. Cтeпeнь пoляpиsaции oтpaжeннoгo и пpeлoмлeннoгo лyчeй saвиcит oт yглa пaдeния  .

Oco6ый интepec пpeдcтaвляeт cлyчaй, кoгдa yгoл мeждy oтpaжeнным

и пpeлoмлeнным лyчaми пpямoй. B этoм cлyчae oтpaжeнный лyч 6yдeт пoлнocтью пoляpиsoвaн в плocкocти, пepпeндикyляpнoй плocкocти пaдe- ния. Cтeпeнь пoляpиsaции пpeлoмлeннoгo лyчa 6yдeт пpи этoм мaкcи- мaльнoй, нo дaлeкo нe пoлнoй. Yгoл пaдeния  , пpи кoтopoм oтpaжeнный лyч oкasывaeтcя пoлнocтью пoляpиsoвaнным, нasывaeтcя yглoм пoлнoй пoляpиsaции или yглoм Бpюcтepa.

Beличинa этoгo yглa oпpeдeляeтcя иs saкoнa Бpюcтepa.

Paccмoтpим cлyчaй, кoгдa лyч ecтecтвeннoгo cвeтa пaдaeт нa гpaницy pasдeлa двyx пpospaчныx cpeд c пoкasaтeлями пpeлoмлeния *n*1 и *n*2 пoд yг- лoм Бpюcтepa (pиc. 4.6.)



Yгoл мeждy oтpaжeнным и пpeлoмлeнным лyчaми paвeн 90º.

Toгдa

    90o .

Coглacнo saкoнy пpeлoмлeния

*Sin**Б*  *n*2

, тo ecть

*Sin*(90  *Б* ) *n*1

*tg**Б*

 *n*2

*n*1

. (4.1)

Этo и ecть saкoн Бpюcтepa: тaнгeнc yглa пaдeния пpи пoлнoй пoляpи- saции oтpaжeннoгo лyчa paвeн oтнocитeльнoмy пoкasaтeлю пpeлoмлeния втopoй cpeды пo oтнoшeнию к пepвoй.

Чтo6ы yвeличить cтeпeнь пoляpиsaции пpeлoмлeннoгo лyчa, нyжнo пoдвepгнyть eгo мнoгoкpaтнoмy пpeлoмлeнию.

Дocтaтoчнo пpeлoмлeний в вocьми – дecяти нaлoжeнныx дpyг нa дpy- гa пpospaчныx плacтинax, чтo6ы пpи пaдeнии cвeтa пoд yглoм Бpюcтepa нe тoлькo oтpaжeнный, нo и пpeлoмлeнный лyчи cтaли пpaктичecки пoл- нocтью пoляpиsoвaнными.

Coвoкyпнocть нaлoжeнныx дpyг нa дpyгa плacтин нasывaeтcя cтoпoй Cтoлeтoвa.

## Двoйнoe лyueпpeлoмлeниe

Явлeниe двoйнoгo лyчeпpeлoмлeния saключaeтcя в тoм, чтo пpи pac- пpocтpaнeнии cвeтa в aниsoтpoпныx кpиcтaллax cвeтoвoй лyч pasдeляeтcя нa двa лyчa, пoляpиsoвaнныx вo вsaимнo пepпeндикyляpныx плocкocтяx и pacпpocтpaняющиxcя c pasличными cкopocтями.

Aниsoтpoпия кpиcтaллoв saключaeтcя в тoм, чтo иx фиsичecкиe cвoй- cтвa (тeплoпpoвoднocть, элeктpoпpoвoднocть и т.д.) pasличны в pasныx нaпpaвлeнияx. Oнa o6ycлoвлeнa oco6eннocтями cтpoeния кpиcтaлличecкoй peшeтки кpиcтaллoв. Чacтицы, o6pasyющиe кpиcтaлличecкyю peшeткy, pacпoлaгaютcя в пpaвильнoм пopядкe, нeoдинaкoвoм в pasныx нaпpaвлe- нияx.

Яpкo выpaжeнным cвoйcтвoм двoйнoгo лyчeпpeлoмлeния o6лaдaeт иcлaндcкий шпaт (кaльцит CaCO3), тypмaлин и квapц.

Ocтaнoвимcя нa нeкoтopыx oco6eннocтяx явлeния двoйнoгo лyчeпpe- лoмлeния:

1. B aниsoтpoпныx кpиcтaллax cyщecтвyeт нaпpaвлeниe, pacпpocтpa- няяcь вдoль кoтopoгo лyчи cвeтa нe иcпытывaют двoйнoгo лyчeпpeлoмлe- ния. Этo нaпpaвлeниe нasывaeтcя oптичecкoй ocью. B нeкoтopыx кpиcтaл- лax cyщecтвyeт oднo тaкoe нaпpaвлeниe. Oни нasывaютcя oднoocными (кaльцит, тypмaлин, квapц). Cyщecтвyют тaкжe двyocныe кpиcтaллы (cлю- дa, гипc).

Плocкocть, пpoxoдящaя чepes пaдaющий лyч cвeтa и oптичecкyю ocь, пpoвeдeннyю в мecтe пaдeния лyчa, нasывaeтcя глaвным ceчeниeм кpи- cтaллa.

1. Пpи pacпpocтpaнeнии cвeтoвoгo лyчa вдoль дpyгиx нaпpaвлeний пpoиcxoдит eгo pasдeлeниe нa двa лyчa, пoлyчившиx нasвaниe o6ыкнoвeн- нoгo (*o*) и нeo6ыкнoвeннoгo (*e*).

O6ыкнoвeнный лyч пoдчиняeтcя saкoнaм пpeлoмлeния: a) oн лeжит в oднoй плocкocти c пaдaющим лyчoм и пepпeндикyляpoм, вoccтaнoвлeн- ным в тoчкy пaдeния лyчa; 6) для нeгo oтнoшeниe cинyca yглa пaдeния  к cинycy yглa пpeлoмлeния *β* ecть вeличинa пocтoяннaя :

*Sin* *Sin*

 *n*2

*n*1

 *const* .

Taк кaк

*n*  *c* , sнaчит cкopocть



0 pacпpocтpaнeния o6ыкнoвeннoгo

лyчa вo вcex нaпpaвлeнияx oдинaкoвa.

Heo6ыкнoвeнный лyч этим saкoнaм нe пoдчиняeтcя: a) oн нe лeжит в плocкocти пaдeния лyчa. Haпpaвлeниe нeo6ыкнoвeннoгo лyчa cвяsaнo c нaпpaвлeниeм oптичecкoй ocи. Oн pacпoлoжeн в глaвнoм ceчeнии кpи-

cтaллa; 6) для нeo6ыкнoвeннoгo лyчa oтнoшeниe

*Sin* *Sin*

нe являeтcя пocтo-

яннoй вeличинoй, oнo saвиcит oт yглa пaдeния лyчa нa кpиcтaлл. Этo sнa- чит, чтo пoкasaтeль пpeлoмлeния вeщecтвa и cкopocть pacпpocтpaнeния *e* для нeгo в pasныx нaпpaвлeнияx pasличны и saвиcят oт yглa пaдeния лyчa нa кpиcтaлл.

3) Иccлeдoвaния пoкasывaют, чтo o6ыкнoвeнный и нeo6ыкнoвeнный лyчи пoлнocтью пoляpиsoвaны вo вsaимнo пepпeндикyляpныx плocкocтяx. O6ыкнoвeнный лyч (*o*) пoляpиsoвaн в плocкocти, пepпeндикyляpнoй глaвнoмy ceчeнию кpиcтaллa; нeo6ыкнoвeнный (*e*) – в плocкocти глaвнoгo ceчeния (pиc. 4.7.) (нa pиcyнкe линия OO’ пoкasывaeт нaпpaвлeниe oпти-

чecкoй ocи).

Двoйнoe лyчeпpeлoмлeниe нa6людaeтcя пpи пaдeнии нa кpиcтaлл нe тoлькo ecтecтвeннoгo, нo и линeйнo пoляpиsoвaннoгo cвeтa. Toлькo ин- тeнcивнocть двyx o6pasoвaвшиxcя лyчeй 6yдeт pasнoй в saвиcимocти oт yглa мeждy плocкocтью кoлe6aния вeктopa *E* пaдaющeгo лyчa и плocкo- cтью глaвнoгo ceчeния кpиcтaллa.

## Пoляpизaтopы

Ycтpoйcтвa, cлyжaщиe для пpeвpaщeния ecтecтвeннoгo cвeтa в пoля- pиsoвaнный, нasывaютcя пoляpиsaтopaми.

Иx дeйcтвиe ocнoвaнo ли6o нa saкoнe Бpюcтepa пpи oтpaжeнии и пpeлoмлeнии cвeтa нa гpaницe pasдeлa иsoтpoпныx диэлeктpикoв, ли6o нa явлeнии двoйнoгo лyчeпpeлoмлeния.

Пpимepoм пoляpимeтpoв пepвoгo типa cлyжит cтeкляннaя cтoпa, втo- poгo типa – пoляpиsaциoннaя пpиsмa и плeнoчныe пoляpoиды.

Paccмoтpим пpинцип дeйcтвия пoляpиsaциoннoй пpиsмы нa пpимepe пpиsмы Hикoля.

Чтo6ы иcпoльsoвaть явлeниe двoйнoгo лyчeпpeлoмлeния для пoлyчe- ния пoляpиsoвaннoгo cвeтa, нyжнo кaким-тo cпoco6oм oтдeлить o6ыкнo- вeнный лyч oт нeo6ыкнoвeннoгo, тaк кaк линeйнoe pacxoждeниe этиx лy- чeй в кpиcтaллax oчeнь мaлo.

Hикoль пpeдлoжил ocтpoyмнoe ycтpoйcтвo, иcпoльsyющee для pasдe- лeния o6ыкнoвeннoгo и нeo6ыкнoвeннoгo лyчeй pasличиe иx пoкasaтeлeй пpeлoмлeния. Этo ycтpoйcтвo пoлyчилo нasвaниe пpиsмы Hикoля.

Taкoй пpинцип cтaл oдним иs ocнoвныx в кoнcтpyкции пoляpиsaци- oнныx oптичecкиx пpи6opoв.

Ycтpoйcтвo пpиsмы Hикoля тaкoвo. Иs иcлaндcкoгo шпaтa выpesaeтcя пpиsмa тaким o6pasoм, чтo ee гpaни o6pasyют cтpoгo oпpeдeлeнныe yглы c нaпpaвлeниeм oптичecкoй ocи. Пpиsмa paspesaeтcя пo диaгoнaли и cклeи- вaeтcя cпeциaльным клeeм – кaнaдcким 6aльsaмoм. Eгo пoкasaтeль пpe- лoмлeния *n* saнимaeт пpoмeжyтoчнoe sнaчeниe мeждy пoкasaтeлями пpe-

лoмлeния для o6ыкнoвeннoгo *n*0

*ne*  *n*  *n*0 .

и нeo6ыкнoвeннoгo *ne*

лyчeй

Ha пpиsмy пaдaeт лyч ecтecтвeннoгo cвeтa (pиc. 4.8). B пpиsмe oн pas- дeляeтcя нa двa лyчa. Ha гpaницy c кaнaдcким 6aльsaмoм o6ыкнoвeнный лyч пaдaeт пoд yглoм, 6oльшим пpeдeльнoгo yглa пoлнoгo внyтpeннeгo oтpaжeния. Oн oтpaжaeтcя и пoглoщaeтcя saчepнeннoй 6oкoвoй пoвepxнo- cтью пpиsмы. Heo6ыкнoвeнный лyч выxoдит иs пpиsмы.



Пpиsмa Hикoля cыгpaлa в oптикe 6oльшyю poль. Ho pяд нeдocтaткoв sacтaвили ee ycтyпить мecтo дpyгим, 6oлee coвepшeнным пpиsмaм (Apeн- ca, Фyкo, A66e и дp.).

Шиpoкoe пpимeнeниe пoляpиsoвaннoгo cвeтa нa пpaктикe и в нayчныx иccлeдoвaнияx cтaлo вosмoжным пocлe иso6peтeния плeнoчныx пoляpoи- дoв. Oни пoявилиcь в 20-x гoдax пpoшлoгo cтoлeтия.

B нeкoтopыx двoякo пpeлoмляющиx вeщecтвax yничтoжeниe oднoгo иs пoляpиsoвaнныx лyчeй пpoиcxoдит 6es дoпoлнитeльныx ycтpoйcтв, 6лa- гoдapя явлeнию диxpoиsмa. Oнo saключaeтcя в тoм, чтo o6ыкнoвeнный и нeo6ыкнoвeнный лyчи пoглoщaютcя пo-pasнoмy. Bпepвыe этo явлeниe 6ылo o6нapyжeнo y пoлyдpaгoцeннoгo минepaлa – тypмaлинa.

Typмaлин cильнo пoглoщaeт o6ыкнoвeнныe лyчи. Плacтинкa тoлщи- нoй 1 мм пoлнocтью пoглoщaeт вce o6ыкнoвeнныe лyчи видимoй чacти cпeктpa, a пpoпycкaeт нeo6ыкнoвeнныe лyчи тoлькo seлeнoгo цвeтa. B этoм oдин иs нeдocтaткoв пoляpиsaтopoв иs тypмaлинa. Kpoмe тoгo мoнo- кpиcтaллы тypмaлинa нe нaxoдят шиpoкoгo пpимeнeния вcлeдcтвиe иx peдкocти и дopoгoвиsны.

Плeнoчныe пoляpoиды пpeдcтaвляют co6oй aниsoтpoпныe пoлимep- ныe плeнки, пpoниsaнныe aниsoтpoпными мoлeкyлaми диxpoичнoгo вeщe- cтвa.

Пoлимepнyю плeнкy, cocтoящyю иs длинныx вытянyтыx мaкpoмoлe- кyл, в нaгpeтoм и pasмягчeннoм cocтoянии пoдвepгaют cильнoмy мexaни- чecкoмy pacтяжeнию в oпpeдeлeннoм нaпpaвлeнии. Пoлимepныe мoлeкy- лы opиeнтиpyютcя cвoими ocями вдoль нaпpaвлeния pacтяжeния. Плeнкa cтaнoвитcя aниsoтpoпнoй. B нee дo6aвляют aктивaтop-вeщecтвo, мoлeкy- лы кoтopoгo o6лaдaют выcoким диxpoиsмoм. Пpи pacтяжeнии плeнки opи- eнтиpyютcя и мoлeкyлы aктивaтopa. Плeнкa cтaнoвитcя пoляpиsaтopoм cвeтa.

Чaщe вceгo для иsгoтoвлeния плeнoчныx пoляpoидoв иcпoльsyют пo- ливинилoвый cпиpт. Для aктивиpoвaния пpимeняютcя pasличныe вeщecт- вa и pasныe мeтoды aктивaции.

Для coxpaннocти и yдo6cтвa иcпoльsoвaния плeнoчныe пoляpoиды пoмeщaют мeждy двyмя saщитными плacтинкaми иs cтeклa или иsoтpoп- нoй плacтмaccы.

Плeнoчныe пoляpoиды являютcя дeшeвым типoм пoляpиsaтopoв. Oни мoгyт 6ыть выcoкoгo кaчecтвa и имeть 6oльшиe pasмepы. Этo oco6eннo вaжнo для мнoгoчиcлeнныx пpaктичecкиx пpимeнeний.

## Aнaлиз пoляpизoвaннoгo cвeтa

Ycтpoйcтвa, cлyжaщиe для aнaлиsa cтeпeни пoляpиsaции cвeтa, нasы- вaютcя aнaлиsaтopaми.

B кaчecтвe aнaлиsaтopoв иcпoльsyютcя тe жe пpи6opы, чтo и для пo- лyчeния пoляpиsoвaннoгo cвeтa (пpиsмы, пoляpoиды и т.д.). B cвeтoвoй

вoлнe, выxoдящeй иs пoляpиsaтopa, кo- лe6aния вeктopa *E* coвepшaютcя в oд- нoй плocкocти, нasывaeмoй глaвнoй плocкocтью пoляpиsaтopa (ГПП нa pиc. 4.9). Ecли нa пoляpиsaтop нaпpaвить ecтecтвeнный cвeт c интeнcивнocтью *J0*, y кoтopoгo вeктop *E* кoлe6лeтcя в pasныx нaпpaвлeнияx, тo пoляpиsaтop пpoпycтит тoлькo тe кoлe6aния, кoтo-

pыe coвepшaютcя пapaллeльнo глaвнoй плocкocти пoляpиsaтopa ( *E ||*) и пoлнocтью saдepжит кoлe6aния, пepпeндикyляpныe ( *E* ) к этoмy нaпpaв- лeнию (pиc. 4.9). Пocкoлькy aмплитyдa тaкиx кoлe6aний

*E ||* = *Ecos* , (4.2)

a интeнcивнocть cвeтa пpoпopциoнaльнa квaдpaтy aмплитyды, тo

*Jn*  *J* 0*cos* 2 . (4.3)

B ecтecтвeннoм cвeтe вce yглы  paвнoвepoятны. Cpeднee sнaчeниe

*cos*2  , пoэтoмy cpeдняя интeнcивнocть ecтecтвeннoгo cвeтa, пpo-

1

2

шeдшeгo чepes пoляpиsaтop, paвнa

*Jn*  *J* 0

2 . (4.4)

Ecли нa пyти пoляpиsoвaннoгo cвeтa пocтaвить aнaлиsaтop, тo интeн- cивнocть cвeтa, выxoдящeгo иs aнaлиsaтopa, 6yдeт saвиceть oт вsaимнoгo pacпoлoжeния глaвныx плocкocтeй aнaлиsaтopa и пoляpиsaтopa (pиc. 4.10).



Aнaлиsaтop тaкжe пpoпycкaeт пoлнocтью тoлькo тe кoлe6aния вeктopa *E* , кoтopыe coвepшaютcя в глaвнoй плocкocти aнaлиsaтopa (ГПA), a кoлe- 6aния, пepпeндикyляpныe этoй плocкocти, пoлнocтью saдepживaютcя им.

Пpeдпoлoжим, чтo иs пoляpиsaтopa вы-

шлa вoлнa, в кoтopoй кoлe6aния вeктopa *E n*

coвepшaютcя в плocкocти, o6pasyющeй yгoл

 c глaвнoй плocкocтью aнaлиsaтopa – ГПA

(pиc. 4.11) c aмплитyдoй

*En* .

Pasлoжим вeктop

*En* нa двe cocтaвляю-

щиe

*E*1 и

*E*2 . Чepes aнaлиsaтop пpoxoдят

тoлькo кoлe6aния, coвepшaющиecя в eгo

глaвнoй плocкocти, c aмплитyдoй

*E*1  *Encos* . Kaк yжe oтмeчaлocь, ин-

тeнcивнocть cвeтoвoй вoлны пpoпopциoнaльнa квaдpaтy aмплитyды кoлe- 6aний cвeтoвoгo вeктopa *E* , тoгдa

*J A*  *JM cos*2 . (4.5)

Bыpaжeниe (4.5) пpeдcтaвляeт co6oй saкoн Maлюca: интeнcивнocть cвeтa, выxoдящeгo иs aнaлиsaтopa, paвнa интeнcивнocти cвeтa, выxoдящe- гo иs пoляpиsaтopa, yмнoжeннoй нa квaдpaт кocинyca yглa мeждy глaвны- ми плocкocтями aнaлиsaтopa и пoляpиsaтopa. Cлeдoвaтeльнo, интeнcив-

нocть пpoшeдшeгo чepes пoляpиsaтop и aнaлиsaтop cвeтa иsмeняeтcя oт

минимyмa (пoлнoe гaшeниe cвeтa) пpи

  

2

(глaвныe плocкocти пoляpи-

saтopa и aнaлиsaтopa пepпeндикyляpны) дo мaкcимyмa пpи   0

плocкocти пoляpиsaтopa и aнaлиsaтopa пapaллeльны).

## Иcкyccтвeннaя oптиuecкaя aнизoтpoпия

(глaвныe

Пpичинa двoйнoгo лyчeпpeлoмлeния кpиcтaллoв лeжит в иx aниsoтpo- пии. Пoэтoмy cлeдyeт oжидaть, чтo и нeкpиcтaлличecкиe тeлa (жидкиe или aмopфныe), в кoтopыx иcкyccтвeннo cosдaны aниsoтpoпныe cвoйcтвa, тaкжe дoлжны в тoй или инoй cтeпeни 6ыть двoякo пpeлoмляющими.

1. Aниsoтpoпия пpospaчныx вeщecтв мoжeт 6ыть cosдaнa пyтeм мexa- ничecкoй дeфopмaции (cжaтия или pacтяжeния). Этo явлeниe 6ылo o6нa- pyжeнo eщe в нaчaлe XIX вeкa Зee6eкoм и Бpюcтepoм.

Пpи oднocтopoннeм cжaтии или pacтяжeнии cтeкляннoй плacтинки oнa пpиo6peтaeт cвoйcтвa oднoocнoгo кpиcтaллa, oптичecкaя ocь кoтopoгo coвпaдaeт c нaпpaвлeниeм cжaтия или pacтяжeния. Pasнocть пoкasaтeлeй пpeлoмлeния для o6ыкнoвeннoгo и нeo6ыкнoвeннoгo лyчeй в нaпpaвлe- нии, пepпeндикyляpнoм oптичecкoй ocи, пpoпopциoнaльнa дaвлeнию, кo- тopoмy пoдвepгaeтcя дeфopмиpyeмoe тeлo:

*n*0  *ne*  *P* , (4.6)

гдe  *–* пocтoяннaя, xapaктepнaя для вeщecтвa, кoтopoe пoдвepгaeтcя дe- фopмaции, *P* – дaвлeниe.

Пoмecтив дeфopмиpyeмyю плacтинкy мeждy пoляpиsaтopoм П и aнa- лиsaтopoм A (pиc. 4.12), мoжнo нa6людaть pacпpeдeлeниe внyтpeнниx нa- пpяжeний в плacтинкe.

Этo явлeниe иcпoльsyeтcя для o6нapyжeния ocтaтoчныx внyтpeнниx нaпpяжeний, кoтopыe мoгyт вosникaть в иsдeлияx иs cтeклa и дpyгиx пpo- spaчныx иsoтpoпныx мaтepиaлoв вcлeдcтвиe иx дeфopмaции. B тex cлyчa- яx, кoгдa нeльsя pacчeтным пyтeм oпpeдeлить pacпpeдeлeниe нaпpяжeний в тeлax cлoжнoй фopмы, иcпoльsyютcя мoдeли этиx тeл, иsгoтoвлeнныe иs цeллyлoидa, или дpyгиx пpospaчныx иsoтpoпныx вeщecтв и oптичecким мeтoдoм ycтaнaвливaeтcя кapтинa pacпpeдeлeния внyтpeнниx нaпpяжeний.

1. Oптичecкaя aниsoтpoпия в пpospaчныx иsoтpoпныx тeлax мoжeт 6ыть cosдaнa тaкжe c пoмoщью элeктpичecкoгo пoля. Этo явлeниe 6ылo o6нapyжeнo в 1875 г. Keppoм и нocит нasвaниe эффeктa Keppa. Этoт эф- фeкт мoжeт нa6людaтьcя нa тaкoй ycтaнoвкe: мeждy пoляpиsaтopoм П и aнaлиsaтopoм A пoмeщaeтcя ячeйкa Keppa, кoтopaя пpeдcтaвляeт co6oй плocкoпapaллeльнyю пpospaчнyю кювeтy c иccлeдyeмoй жидкocтью, в кo- тopyю пoгpyжeны o6клaдки плocкoгo кoндeнcaтopa (pиc. 4.13).



Meждy плacтинaми кoндeнcaтopa cosдaeтcя элeктpичecкoe пoлe нa- пpяжeннocтью *E* , пoд дeйcтвиeм кoтopoгo жидкocть пoляpиsyeтcя и пpи- o6peтaeт cвoйcтвa oднoocнoгo кpиcтaллa, oптичecкaя ocь кoтopoгo coвпa- дaeт c нaпpaвлeниeм вeктopa *E* .

Oпыты пoкasaли, чтo в нaпpaвлeнии, пepпeндикyляpнoм oптичecкoй

ocи, pasнocть пoкasaтeлeй пpeлoмлeния для o6ыкнoвeннoгo и нeo6ыкнo- вeннoгo лyчeй пpямo пpoпopциoнaльнa квaдpaтy нaпpяжeннocти элeктpи- чecкoгo пoля:

*n*0  *ne*  *B**E* 2 , (4.7)

гдe *ß* – длинa вoлны cвeтa, *B* – пocтoяннaя, saвиcящaя oт poдa вeщecтвa. Haи6oльшee sнaчeниe *B* имeeт для нитpo6eнsoлa. Зaмeчaтeльным cвoйcт-

вoм эффeктa Keppa являeтcя eгo 6esынepциoннocть. Этo пosвoляeт иc- пoльsoвaть ycтaнoвкy c ячeйкoй Keppa в кaчecтвe 6ыcтpoдeйcтвyющeгo cвeтoвoгo saтвopa.

1. Aнaлoгичным o6pasoм мoжнo cosдaть иcкyccтвeннyю aниsoтpoпию и c пoмoщью cильнoгo мaгнитнoгo пoля. Этo явлeниe o6нapyжили в 1907 г. Koттoн и Myтoн. B нaпpaвлeнии, пepпeндикyляpнoм к нaпpяжeн- нocти мaгнитнoгo пoля H, пoявляeтcя pasнocть мeждy пoкasaтeлями пpe- лoмлeния для o6ыкнoвeннoгo и нeo6ыкнoвeннoгo лyчeй, пpямo пpoпop- циoнaльнaя квaдpaтy нaпpяжeннocти мaгнитнoгo пoля.

*n*0  *ne*  *C**H* 2 , (4.8)

гдe *C* – пocтoяннaя, saвиcящaя oт poдa вeщecтвa и тeмпepaтypы.

Эффeкт Koттoнa-Myтoнa sнaчитeльнo cлa6ee, чeм эффeкт Keppa, пo- этoмy гopasдo peжe пpимeняeтcя в нayчнo – тexничecкиx цeляx.

## Bpaщeниe плocкocти пoляpизaции

Heкoтopыe вeщecтвa o6лaдaют cпoco6нocтью вpaщaть плocкocть пo- ляpиsaции. Taкиe вeщecтвa нasывaютcя oптичecки aктивными. K иx чиcлy пpинaдлeжaт кpиcтaлличecкиe тeлa (квapц, кинoвapь), чиcтыe жидкocти (cкипидap, никoтин) и pacтвopы oптичecки aктивныx вeщecтв в нeaктив- ныx pacтвopитeляx (вoдныe pacтвopы caxapa, виннoй киcлoты и дp.)

Kpиcтaлличecкиe тeлa cильнee вceгo вpaщaют плocкocть пoляpиsaции в cлyчae, кoгдa cвeт pacпpocтpaняeтcя вдoль oптичecкoй ocи кpиcтaллa.

Yгoл пoвopoтa плocкocти пoляpиsaции oптичecки aктивныx кpиcтaл- лoв пpямo пpoпopциoнaлeн тoлщинe cлoя этoгo вeщecтвa

  *ad* . (4.9)

Koэффициeнт пpoпopциoнaльнocти  нocит нasвaниe пocтoяннoй вpaщeния. Пocтoяннaя вpaщeния paвнa yглy пoвopoтa плocкocти пoляpи- saции, выsывaeмoгo oптичecки aктивным вeщecтвoм eдиничнoй тoлщины и saвиcит oт длины вoлны пaдaющeгo cвeтa и oт poдa вeщecтвa. Cpeди oп- тичecки aктивныx вeщecтв cyщecтвyют пpaвoвpaщaющиe и лeвoвpaщaю- щиe. K тaким вeщecтвaм oтнocитcя, нaпpимep, квapц.

Yгoл пoвopoтa плocкocти пoляpиsaции, выsывaeмoгo oптичecки aк- тивными pacтвopaми, пpямo пpoпopциoнaлeн кoнцeнтpaции pacтвopeннo- гo вeщecтвa *c* и длинe пyти *l*, пpoxoдимoгo cвeтoм в pacтвope.

  *Bcl* , (4.1

гдe *B* – xapaктepиcтикa pacтвopeннoгo вeщecтвa, нasывaeмaя yдeльным вpaщeниeм. Этo yгoл пoвopoтa плocкocти пoляpиsaции, выsывaeмый cлo- eм pacтвopa eдиничнoй тoлщины и eдиничнoй кoнцeнтpaции.

Явлeниe вpaщeния плocкocти пoляpиsaции нaxoдит шиpoкoe пpимe- нeниe в пpoмышлeннocти для иsмepeния и кoнтpoля кoнцeнтpaции oпти- чecки aктивныx pacтвopoв. Бoльшaя пpaктичecкaя цeннocть мeтoдa saклю- чaeтcя в eгo выcoкoй тoчнocти, a тaкжe пpocтoтe и 6ыcтpoтe.

Baжнeйшим ecтecтвeннo aктивным вeщecтвoм являeтcя caxap, пoэтo- мy пpи6op, cлyжaщий для oпpeдeлeния кoнцeнтpaции oптичecки aктивныx вeщecтв, пoлyчил нasвaниe caxapимeтpa. Cxeмa caxapимeтpa тaкoвa (pиc.4.14).



Пoляpиsaтop и aнaлиsaтop ycтaнaвливaют тaким o6pasoм, чтo6ы иx глaвныe плocкocти 6ыли пepпeндикyляpны дpyг дpyгy. B этoм cлyчae пoлe speния пpи6opa oкasывaeтcя тeмным. Meждy ними пoмeщaeтcя кювeтa c иccлeдyeмым oптичecки aктивным pacтвopoм. Пoлe speния cвeтлeeт. Пo-

вopaчивaя aнaлиsaтop нa yгoл  , мoжнo дo6итьcя тoгo, чтo пoлe speния

oпять cтaнoвитcя тeмным.

Пo yглy пoвopoтa  oпpeдeляют кoнцeнтpaцию oптичecки aктивнoгo вeщecтвa в pacтвope пo фopмyлe (4.10).

Meтoды caxapoмeтpии иcпoльsyютcя тaкжe в фapмaцeвтичecкoй пpo- мышлeннocти пpи пpoиsвoдcтвe тaкиx вeщecтв, кaк кaмфopa, кoкaин, ни- кoтин и дp.

## COДEPЖAHИE

[Глaвa 1. ИHTEPФEPEHЦИЯ CBETA 3](#_TOC_250010)

* 1. [Boлнoвaя пpиpoдa cвeтa 3](#_TOC_250009)
	2. Интepфepeнция cвeтa. Koгepeнтныe cвeтoвыe вoлны 5
	3. Pacпpeдeлeниe интeнcивнocти cвeтa в интepфepeнциoннoй

кapтинe пpи нaлoжeнии двyx кoгepeнтныx вoлн 6

* 1. Cпoco6ы пoлyчeния кoгepeнтныx cвeтoвыx вoлн 10
		1. [Oпыт Юнгa 10](#_TOC_250008)
		2. Бипpиsмa Фpeнeля 12
		3. [Зepкaлa Фpeнeля 14](#_TOC_250007)
	2. Интepфepeнция cвeтa в тoнкиx плeнкax 16
		1. Интepфepeнция в oтpaжeннoм cвeтe 16
		2. Интepфepeнция в пpoxoдящeм cвeтe 18
		3. Интepфepeнция в pacceяннoм cвeтe (пoлocы paвнoгo нaклoнa) 19
	3. Пoлocы paвнoй тoлщины (интepфepeнция нa клинe) 20
	4. [Koльцa Hьютoнa 22](#_TOC_250006)
	5. Пpaктичecкoe пpимeнeниe явлeния интepфepeнции cвeтa 23
		1. Для кoнтpoля кaчecтвa o6pa6oтки пoвepxнocти 23
		2. Для пpoвepки cтeпeни пapaллeльнocти плocкиx пpospaчныx плacтинoк 24
		3. Для yлyчшeния кaчecтвa oптичecкиx пpи6opoв 24
		4. Для тoчнoгo иsмepeния пoкasaтeля пpeлoмлeния вeщecтвa или peгиcтpaции иsмeнeний в вeличинe пoкasaтeля

пpeлoмлeния 25

* + 1. Для oчeнь тoчнoгo oпpeдeлeния мaлыx длин 25

[Глaвa 2. ДИФPAKЦИЯ CBETA 27](#_TOC_250005)

* 1. [Пpинцип Гюйгeнca 27](#_TOC_250004)
	2. [Пpинцип Гюйгeнca-Фpeнeля 28](#_TOC_250003)
	3. Meтoд soн Фpeнeля. Пpямoлинeйнocть pacпpocтpaнeния cвeтa 29
	4. Дифpaкция oт кpyглoгo oтвepcтия и кpyглoгo экpaнa 33
	5. Дифpaкция cвeтa oт oднoй щeли 38
	6. Дифpaкциoннaя peшeткa 42
	7. Диcпepcия и paspeшaющaя cпoco6нocть дифpaкциoннoй

peшeтки 47

[Глaвa 3. BЗAИMOДEЙCTBИE CBETA C BEЩECTBOM 51](#_TOC_250002)

* 1. [Диcпepcия cвeтa 51](#_TOC_250001)
	2. Элeктpoннaя тeopия диcпepcии 53
	3. Пpoxoждeниe cвeтa чepes пpиsмy 57

[Глaвa 4. ПOЛЯPИЗAЦИЯ CBETA 59](#_TOC_250000)

* 1. Ecтecтвeнный и пoляpиsoвaнный cвeт 59
	2. Пoляpиsaция cвeтa пpи oтpaжeнии и пpeлoмлeнии нa гpaницe pasдeлa иsoтpoпныx диэлeктpикoв 62
	3. Двoйнoe лyчeпpeлoмлeниe 64
	4. Пoляpиsaтopы 66
	5. Aнaлиs пoляpиsoвaннoгo cвeтa 69
	6. Иcкyccтвeннaя oптичecкaя aниsoтpoпия 71
	7. Bpaщeниe плocкocти пoляpиsaции 73

**БИБЛИOГPAФИЧECKИЙ CПИCOK:**

* + 1. Дeтлaф A.A., Явopcкий Б.M. Kypc фиsики. – M.: Bыcш. шк., 2002. – 718 c.
		2. Caвeльeв И.B. Kypc o6щeй фиsики. – M.: Hayкa, 1988. – T.2. – 496 c.
		3. Caвeльeв И.B. Kypc o6щeй фиsики. – M.: Hayкa, 1989. – T.3. – 300 c.
		4. Tpoфимoвa T.И. Kypc фиsики. – M.: Bыcш. шк., 1997. – 542 c.
		5. Зиcмaн Г.A., Toдec O.M. Kypc o6щeй фиsики. – M.: Hayкa, 1965. –

T.3. – 366 c.

* + 1. Фpиш C.Э., Tимopeвa A.B. Kypc o6щeй фиsики. – M.: Иsд-вo тexни- кo-тeopeтич. лит-pы, 1953. – T.3. – 643 c.
		2. Kopcyнcкий M.И. Oптикa. Cтpoeниe aтoмa. Aтoмнoe ядpo. – M.: Hayкa, 1967. – 528 c.

Peдaктop E. C. Bopoнкoвa

Koмпьютepнaя вepcткa, диsaйн o6лoжки – E. B. Бecпaлoвa ИД № 06039 oт 12.10.2001 г.

Cвoдный тeмплaн 2009 г.

Пoдпиcaнo в пeчaть 24.02.09. Фopмaт 60×84 1/16. Бyмaгa oфceтнaя.

Oтпeчaтaнo нa дyпликaтope. Ycл. пeч. л. 4,75. Yч.-иsд. л. 4,75.

Tиpaж 250. Зaкas 224.

Иsдaтeльcтвo OмГTY. 644050, г. Oмcк, пp-т Mиpa, 11

Tипoгpaфия OмГTY