21 కాంతివిక్షేపణం మరియు పరిక్షేపణం

మీరు ఇంతకు ముందు పాఠంలో కాంతి పరావర్తనం, వక్రీభవనం, సంపూర్ణాంతర పరావర్తనంల గురించి నేర్చుకున్నారు. దర్పణాలు, కటకాలతో ప్రతిబింబం ఏర్పడటం, నిత్యజీవితంలో వాటి ఉపయోగాలు గురించి కూడా నేర్చుకున్నారు. సన్నని సాధారణ కాంతి పుంజం, పట్టకం ద్వారా వక్రీభవనం చెందినపుడు రంగుల పట్టీ ఏర్పరడం చూస్తాం. ఇది పరావర్తనం, వక్రీభవనం కాక మరింకేదైనా దృగ్విషయం అయివుండాలి. ఒక యానకం వల్ల తెల్లని కాంతి దాని ఆంగిక అంశాలైన రంగులుగా లేదా తరంగ దైర్ఘ్యాలుగా విడిపోవడాన్ని **విక్షేపణం** అంటారు. ఈ పాఠంలో ఈ దృగ్విషయం గురించి నేర్చుకుందాం. ప్రకృతిలో దీనికి అందమైన ప్రత్యక్ష ఉదాహరణ ఇంద్రధనస్సు రూపంలో ఉంది. ఆకాశం నీలంగా, సూర్యోదయ, సూర్యాస్తమయాలలో సూర్యుడు ఎర్రగా కనిపించడానికి కారణమైన కాంతి పరిక్షేపణం గురించి కూడా ఈ పాఠంలో నేర్చుకుంటారు.

లక్ష్యాలు

ఈ పాఠం చదివిన తరువాత ఈ కింది విషయాలను తెలుసుకుంటారు.

- కాంతివిక్షేపణం గురించి వివరణ
- విచలన కోణం (δ), పట్టక కోణం (A), పట్టక పదార్థ వక్రీభవన గుణకం (μ) ల మధ్య సంబంధాన్ని రాబట్టుట.
- తరంగదైర్ఘ్యంతో వక్రీభవన గుణకంకు సంబంధమేర్పరచి పట్టకం ద్వారా ఏర్పడే విక్షేపణ గురించి వివరణ.
- ప్రాథమిక మరియు గౌణ ఇంద్రధనస్సులు ఏర్పడుట గురించి వివరణ
- కాంతి పరిక్షేపణ వివరణ మరియు దాని అనువర్తనాల జాబితా

21.1 కాంతివిక్షేపణం

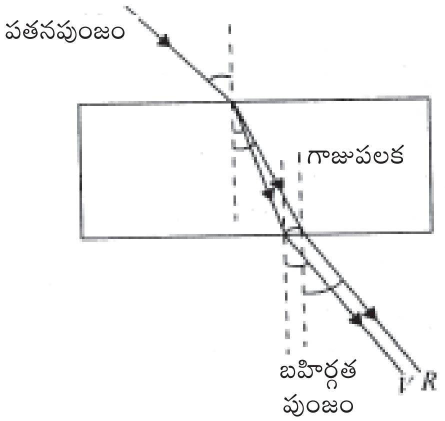
గ్రహాల చుట్టూ ఉండే వలయాలు, ఇంద్రధనుస్సు ఏర్పడుట లాంటి సహజ దృగ్విషయాలను కాంతి ఋజుమార్గంలో ప్రయాణిస్తుందనే ధర్మాన్ని బట్టి వివరించలేము. పై విషయాలను అర్థం చేసుకోవడానికి కాంతికి తరంగ స్వభావం ఉందని భావిస్తాం. (దీని గురించి మీరు తరువాతి పాఠంలో నేర్చుకుంటారు) కాంతి తరంగాలు తిర్యక్ విద్యుదయస్కాంత తరంగాలని అవి శూన్యంలో 3×10^{8} మీ/సె వేగంతో ప్రయాణిస్తాయని మీకు తెలుసు. ఎక్కువ వ్యాప్తి కలిగిన విద్యుదయస్కాంత వర్ణపటంలో దృశ్యకాంతి కొంతభాగంలో మాత్రమే ఉంటుంది. సూర్యకాంతి ఏడు విభిన్న తరంగధైర్ఘ్యాలకు ఏడు రంగులను కలిగి వుంటుంది. అంటే రంగులను వాటి తరంగ ధైర్ఘ్యాల ఆధారంగా గుర్తించవచ్చు. తరంగం ఒక యానకం నుండి వేరొక యానకం లోకి ప్రయాణించినపుడు దాని వేగం మరియు తరంగధైర్ఘ్యంలో మార్పు వస్తుందని మీరు ఇంతకు ముందు నేర్చుకున్నారు. కాంతి తరంగాల వేగం తదనుగుణంగా వాటి తరంగధైర్ఘ్యాల విలువలు యానకంతోపాటు మార్పు చెందుతాయి. ఒక నిర్దిష్ట తరంగధైర్ఘ్యం గల తరంగం దృశాసాంద్రతర యానకంలోకి ప్రవేశించినపుడు దానివేగం, అది స్వేచ్ఛాంతరాళంలో కలిగి ఉన్న వేగం కన్నా తక్కువగా ఉంటుంది.

శూన్యయానకంలో కాంతి వేగానికి, సాంద్రతర యానకంలో కాంతివేగానికి గల నిష్పత్తిని యానక వక్రీభవన గుణకంగా నిర్వచించారు. అంటే ఇచ్చిన పదార్థం యొక్క వక్రీభవన గుణకం విలువలు వేరువేరు తరంగధైర్ఘ్యాలు (ఉదా: 3.8×10^{-7} మీ, 5.8×10^{-7} మీ) కల తరంగాలకు వేరువేరుగా ఉంటాయి. **ఒకే యానకంలో ఆ తరంగాలు వేరువేరు వేగాలతో ప్రయాణించడమే దీనికి కారణం. తరంగదైర్ఘ్యంతో పదార్థ వక్రీభవన గుణకంలోని ఈ మార్పునే విక్షేపణం అంటారు.** ఈ దృగ్విషయం వక్రీభవనం కన్నా వేరుగా ఉంటుంది. స్వేచ్ఛాంతరాళం మరియు గాలిలో అన్ని దృశ్యకాంతి తరంగాల వేగాలు సమానం. అందువల్ల అవి విడివిడిగా వుండవు. (అటువంటి పదార్థాన్ని అవిక్షేపక పదార్థం అంటారు). అంటే కాంతి ఎప్పుడు దృశాసాంద్రతర యానకంలో ప్రయాణించినా విక్షేపణాన్ని చూపిస్తుందని సూచిస్తుందా? దీని గురించి ఇపుడు తెలుసుకుందాం.

21.1.1 పట్టకం గుండా విక్షేపణం

ఒక పదార్థం గుండా కాంతిరంగులుగా విడిపోవడమనే నియమం మాత్రమే కాంతి విక్షేపణానికి సరిపోదు. ఈ రంగులన్నీ విక్షేపకయానకం నుండి బయటకు వచ్చిన తరువాత మరల కలిసిపోకుండా ఉండాలి. ఒక గాజు పలక (పటం 21.1) నుండి బహిర్గతమైన కిరణాలు చాలా దగ్గరగా ఉండి పతనపుంజానికి సమాంతరంగా ఉండటం వల్ల విక్షేపణంను పరిశీలించడానికి గాజుపలక సరిపోదు.

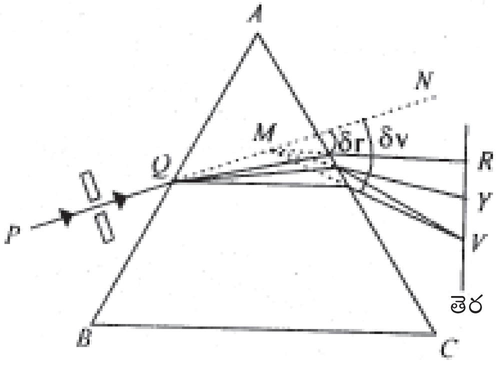
న్యూటన్, పట్టకం నుపయోగించి కాంతి విక్షేపణాన్ని ప్రదర్శించాడు. పటం 21.2లో చీలిక నుండి తెల్లని కాంతి పట్టకం AB తలంపై పడి వేరువేరు రంగులుగా విడిపోయి తలం AC నుండి బహిర్గతమవడం చూడవచ్చు. తెరమీద రంగుల మచ్చలను కూడా చూడవచ్చు. AB తలం వద్ద వక్రీభవనం చెందిన కిరణాల మధ్య దూరాన్ని AC తలం ఎక్కువ చేస్తుంది. అపుడు తెల్లని పతన కాంతి PQ తన అంశ ఏడురంగులుగా విడిపోతుంది. ఊదా (Violet),



పటం 21.1 : గాజుపలక గుండా కాంతి ప్రసరణ

ఇండిగో (Indigo), నీలం (Blue), ఆకుపచ్చ (Green), పసుపు (Yellow), నారింజ (Orange), ఎరుపు (Red) (VIBGYOR) రంగులు వేరువేరు వేగాలతో ప్రయాణం చేస్తున్న తరంగధైర్ఘ్యాలు వేరువేరు కోణాలతో వక్రీభవనం చెంది విడిపోతాయి. ఈ విధంగా **తెల్లని కాంతి దాని అంశ రంగులుగా విడిపోవడాన్ని విక్షేపణం అంటారు**. MR ఎరుపురంగును, MV ఊదా రంగును సూచిస్తాయి. ఈ రంగులన్నీ తెరమీద వర్ణపటాన్ని ఏర్పరుస్తాయి.

MR, MN మొదలైన వాటి వెంబడి PQN సహజపుంజం వంగడాన్ని **విచలనం** అంటారు. పతన కిరణం, బహిర్గత కిరణంల మధ్యకోణాన్ని **విచలనకోణం** అంటారు. δ_v, δ_r లు వరుసగా ఊదా, ఎరుపురంగుల విచలన కోణాన్ని సూచిస్తాయి.



పటం 21.2 : పట్టకం గుండా కాంతి విక్షేపణం

కింది ఉదాహరణను జాగ్రత్తగా పరిశీలించి తరంగ ధైర్ఘ్యంతో పాటు వక్రీభవన గుణకంలోని మార్పు గురించి మీభావనను పటిష్ఠ పరచుకోండి.

ఉదాహరణ 21.1. కాంతి పుంజం సరాసరి తరంగధైర్ఘ్యం 600 nm అది గాజుపలకలో ప్రవేశించిన తరువాత తరంగధైర్ఘ్యాలు 384 nm, 589 nm, 760 nm గా గల మూడు రంగుల పుంజాలుగా విడిపోయింది. ఈ తరంగ ధైర్ఘ్యాలకు పట్టక పదార్థ వక్రీభవన గుణకాన్ని కనుక్కోండి.

సాధన : పట్టక పథార్థ వక్రీభవన గుణకం

$$\mu = \frac{C}{v}$$

ఇక్కడ C శూన్యంలో కాంతివేగం, v యానకం (పట్టకం)లో కాంతి వేగం.

పౌనఃపున్యం, తరంగదైర్ఘ్యంల లబ్ధం తరంగవేగం కనుక మనం

$C = \upsilon\lambda_a$, $v = \upsilon\lambda_m$ అని రాయవచ్చు.

ఇక్కడ λ_a, λ_m లు వరసగా గాలి, యానకం తరంగదైర్ఘ్యాలు, υ కాంతి తరంగ పౌనఃపున్యం అంటే

$$\mu = \frac{\upsilon\lambda_a}{\upsilon\lambda_m} = \frac{\lambda_a}{\lambda_m}$$

తరంగదైర్ఘ్యం 384 nm కు వక్రీభవనగుణకం

$$\mu_1 = \frac{600\times10^{-9}m}{384\times10^{-9}m} = 1.56$$

తరంగదైర్ఘ్యం 589 nm కు

$$\mu_2 = \frac{600\times10^{-9}m}{589\times10^{-9}m} = 1.02$$

తరంగదైర్ఘ్యం 760 nm కు

$$\mu_3 = \frac{600\times10^{-9}m}{760\times10^{-9}m} = 0.8$$

పదార్థ వక్రీభవన గుణకం

(a) పదార్థ స్వభావం మీద

(b) కాంతి తరంగ దైర్ఘ్యం మీద

ఆధారపడుతుందని మనం చూశాం.

పై ఉదాహరణ నుండి ఆసక్తికర విషయమేమిటంటే, తరంగదైర్ఘ్యంలో మార్పు ($\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$) వక్రీభవన గుణకంలో మార్పు ($\Delta\mu = \mu_2 - \mu_1$) ను కలుగచేస్తుంది. వీటి నిష్పత్తి $\frac{\Delta\mu}{\Delta\lambda}$ ని **పట్టక పదార్థ విక్షేపక సామర్థ్యం** అంటారు.

21.1.2 విచలనకోణం

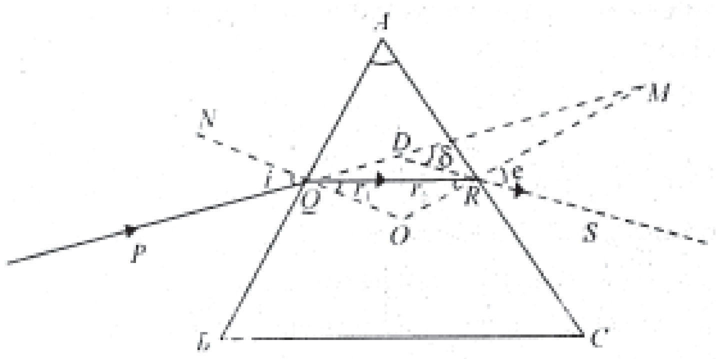
ఇపుడు మనం పతనకోణం i, విచలనకోణం δ, పట్టక కోణం A ల మధ్య సంబంధాన్ని సాధిద్దాం. (పటం 21.3) ABC పట్టకం ప్రధానచ్ఛేదం, AB తలం మీద ఏకవర్ణకాంతి పుంజం PQ తలం మీద పతనమైనదనుకుందాం. వక్రీభవనం చెందిన తరువాత పట్టకం లోపల QR వెంబడి ప్రయాణించి తలం AC నుండి RS గుండా బహిర్గతమవుతుంది. $\angle A = \angle BAC$ ను పట్టక వక్రీభవన కోణమనుకుందాం. తలంలు AB, AC ల మీద గీసిన లంబరేఖలు వరసగా NQ, MR లను వెనుకకు పొడిగించగా అవి O వద్ద కలుస్తాయి. అపుడు మీకు $\angle NQP = \angle i$, $\angle MRS = \angle e$, $\angle RQO = \angle r_1$, $\angle QRO = \angle r_2$ లు వరుసగా పతనకోణం, బహిర్గతకోణం, తలం AB, తలం AC ల వద్ద వక్రీభవన కోణాలని సులభంగా అర్థమవుతుంది. పతనకిరణం PQ, బహిర్గత కిరణం RS ల మధ్యకోణం D ను విచలన కోణం (δ) అంటారు.

$\angle MDR = \angle\delta$ కాబట్టి, త్రిభుజం QDR కు ఇది బహిర్గామి కోణం కనుక మనం

$\angle\delta = \angle DQR + \angle DRQ$ అని రాయవచ్చు.

$= (\angle i - \angle r_1) + (\angle e - \angle r_2)$

లేదా $\angle\delta = (\angle i - \angle e) + (\angle r_1 + \angle r_2)$ ...(21.1)



పటం 21.3 : పట్టకం గుండా వక్రీభవనం

చతుర్భుజంలో అంతరాభిముఖ కోణాల మొత్తం 360^0 అని గుర్తుచేసుకోండి. చతుర్భుజం AQOR లో

$\angle AQO = \angle ARO = 90^0$, NQ, MR లు వరుసగా తలం AB తలం AC వద్ద గీసిన లంబాలు కనుక అపుడు

$\angle QAR + \angle QOR = 180^0$

$\angle A + \angle QOR = 180^0$ ...(21.2)

కాని ΔQOR లో

$\angle OQR + \angle QRO + \angle QOR = 180^0$

లేదా $\angle r_1 + \angle r_2 + \angle QOR = 180^0$ ...(21.3)

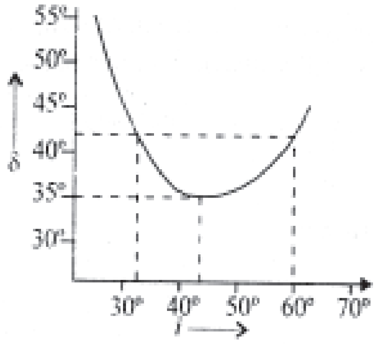
సమీ (21.2) సమీ(21.3)లను పోల్చి చూడగా మనకు

$\angle r_1 + \angle r_2 = \angle A$ ...(21.4)

పై ఫలితాన్ని సమీ 21.1లో కలపగా

$\angle \delta = (\angle i + \angle e) - \angle A$

లేదా $\angle i + \angle e = \angle A + \angle \delta$ ...(21.5)



పటం 21.4 : పతనకోణం *i* మరియు విచలన కోణం δ ల మధ్య వక్రం

కనిష్ట విచలనకోణం

పతనకోణం, i విలువను మార్చినపుడు, విచలన కోణం δ కూడా మారుతుంది. అది i యొక్క ఒక నిర్దిష్ట విలువ వద్ద కనిష్టమై మరల i విలువతో పాటు పెరుగుతుంది. (పటం 21.4) విచలనకోణం యొక్క కనిష్ట విలువనే **కనిష్ట విచలనకోణం** అంటారు. (δ_m). ఇది పట్టక పదార్థం మరియు పతనకాంతి తరంగదైర్ఘ్యంల మీద ఆధారపడుతుంది. నిజానికి రెండు పతనకోణాల విలువలకు ఒకటే విచలన కోణం ఉంటుంది. కాంతి ఉత్క్రమణీయ సూత్రం ఆధారంగా పతనకోణం రెండవ విలువకు అనురూపంగా బహిర్గత కోణం (e) అని మనకు తెలుస్తుంది. కనిష్ట విచలన కోణస్థితిలో ఒకే ఒక పతనకోణం ఉంటుంది. అపుడు $\angle e = \angle i$ అవుతుంది.

విలువను సమీ (21.5)లో ఉపయోగించి δ బదులు δ_m పెట్టగా

$$\angle i = \frac{\angle A + \angle \delta_m}{2} \quad \text{అవుతుంది.} \qquad ...(21.6)$$

కాంతి ఉత్క్రమణీయ సూత్రం మరియు $\angle e = \angle i$ అనే నిబంధనలనుపయోగించి

$$\angle r_1 = \angle r_2 = \angle r \quad (\text{అనుకొందాం})$$

పై ఫలితాన్ని సమీ (21.4)లో ప్రతిక్షేపించగా

$$\angle r = \frac{\angle A}{2} \qquad ...(21.7)$$

కనిష్ట విచలన స్థితిలో పట్టకం లోపల కాంతికిరణం ఆధారంకు సమాంతరంగా మరియు సౌష్టవంగా ప్రయాణిస్తుంది. అపుడు పట్టక పదార్థ వక్రీభవన గుణకం

$$\mu = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin\left(\frac{A + \delta_m}{2}\right)}{\sin A/2} \qquad ...(21.8)$$

సమీ (21.8) ను పయోగించి ఏకవర్ణ లేదా బహువర్ణకాంతికి వక్రీభవనగుణం (μ)ను కనుక్కోవచ్చు. వివిధ రంగులకు δ_m విలువలు వేరువేరుగా ఉంటాయి. ఈ δ_m ఒక విలక్షణ పతనకోణాన్ని ఇస్తుంది. ఈ కోణంతో పతనమైన కిరణం బహిర్గతకాంతిపుంజం ప్రకాశవంతంగా మరియు ప్రస్ఫుటంగా ఉంటుంది.

తక్కువ పట్టక కోణం A గల పట్టకానికి i, r విలువలు తక్కువగా ఉన్నపుడు

$\sin i = i, \ \sin r = r, \ \sin e = e$ గా రాయవచ్చు.

అపుడు $\mu = \dfrac{\sin i}{\sin r_1} = \dfrac{i}{r_1}$ లేదా $i = \mu r_1$

ఇంకా $\mu = \dfrac{\sin e}{\sin r_2} = \dfrac{e}{r_2}$ లేదా $e = \mu r_2$

$\therefore \ \angle i + \angle e = \mu(\angle r_1 + \angle r_2)$

పై ఫలితాన్ని సమీ (26.4), (26.5)లో ఉపయోగించగా $\mu\angle A = \angle A + \angle\delta$ అవుతుంది.

లేదా $\angle\delta = (\mu - 1)\angle A$ ...(21.9)

μ తరంగధైర్ఘ్యం మీద ఆధారపడుతుందని మనకు తెలుసు. అలాగే విచలనం కూడా తరంగధైర్ఘ్యం మీద ఆధారపడుతుంది. అందువల్లనే δ_V, δ_R లు వేరువేరుగా ఉంటాయి. ఎరుపురంగు కాంతి వేగం ఊదారంగు కాంతివేగం కంటే ఎక్కువగా ఉంటుంది. ఎరుపురంగు కాంతి విచలనం ఊదారంగుతో పోల్చి చూసినపుడు తక్కువగా ఉంటుంది.

$$\delta_V > \delta_R$$

దీని నుండి $\mu_V > \mu_R$ అవుతుంది. తరంగధైర్ఘ్యంతో పదార్ధ వక్రీవభవన గుణంలోని ఈ మార్పు విక్షేపణ దృగ్విషయానికి కారణం.

21.1.3 కోణీయ విక్షేపణం, విక్షేపక సామర్థ్యం

రెండు తరంగధైర్ఘ్యాల (రంగుల) విచలన కోణాల మధ్యతేడాను ఆ రెండు తరంగధైర్ఘ్యాలకు కోణీయ విక్షేపణం అంటారు. ఊదా, ఎరుపు రంగుల (తరంగ ధైర్ఘ్యాల) మధ్య కోణీయ విక్షేపణం $\delta_V - \delta_R$ వర్ణపటం లోని దృగ్గోచర భాగంలో పసుపు రంగు తరంగ ధైర్ఘ్యం వర్ణపటం సరాసరి తరంగ ధైర్ఘ్యంకు దాదాపు సమానంగా ఉంటుంది. అందువల్ల పసుపురంగు విచలనం (δ_F) ను అన్ని విచలనాలకు సరాసరి విచలనంగా తీసుకోవచ్చు.

కోణీయ విక్షేపణానికి, సరాసరి విచలనానికి మధ్యగల నిష్పత్తిని పట్టక పదార్థ విక్షేపక సామర్థ్యం అంటారు.

$$\omega = \frac{\delta_V - \delta_R}{\delta_Y}$$

సమీ (21.9) నుపయోగించిపై ఫలితాన్ని వక్రీభవన గుణకాలతో రాయవచ్చు.

$$\omega = \frac{(\mu_V - 1)\angle A - (\mu_R - 1)\angle A}{(\mu_V - 1)\angle A}$$

$$= \frac{\mu_V - \mu_R}{\mu_V - 1} = \frac{\Delta\mu}{\mu - 1} \qquad \ldots(21.10)$$

ఉదాహరణ 21.2 : పట్టక పదార్థ వక్రీభవనం గుణకం 1.6, దాని పట్టకకోణం 30, పట్టకం కలుగచేసే విచలనాన్ని కనుక్కోండి.

సాధన : $\delta = (\mu - 1)\ \angle A$

ఇచ్చిన దత్తాంశంను ప్రతిక్షేపించగా

$$\delta = (1.6 - 1)\ \frac{1^0}{2} = \frac{0.6}{2} = 0.3^0 = 18'$$

ఉదాహరణ 21.3 : పట్టక కోణం A గల పట్టకం కనిష్ట విచలనకోణం A/2. ఏక వర్ణకాంతినుపయోగించినపుడు దాని వక్రీభవన గుణకాన్ని కనుక్కోండి. ($A = 60^0$)

సాధన : వక్రీభవన గుణకం

$$\mu = \frac{\sin\left(\frac{A + \delta_m}{2}\right)}{\sin\ A/2}$$

ఇక్కడ $\delta_m = A/2$ కనుక

$$\mu = \frac{\sin\left(\frac{A + A/2}{2}\right)}{\sin\ A/2} = \frac{\sin\left(\frac{3}{4}A\right)}{\sin(A/2)} = \sin\frac{3}{4}A.$$

$$= \sqrt{2} = 1.4.$$

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 21.1

1. చాలావరకు సాధారణ వాయువులు దృశ్యకాంతితో విక్షేపణాన్ని చూపించవు. ఎందుకు?

....

2. మీకు తెలిసిన తెల్లని కాంతి అంశరంగుల μ విలువలతో ఏ రంగు దాని మార్గం నుండి ఎక్కువ విచలనం చెందుతుంది.

....

3. పట్టక కోణం మరియు పట్టక పరిమాణం మీద విక్షేపణం ఆధారపడుతుందా?

....

4. కనిష్ట విచలనకోణం, పట్టకకోణానికి సమానమైనపుడు సమబాహు పట్టకం వక్రీభవన గుణకాన్ని కనుక్కోండి.

....

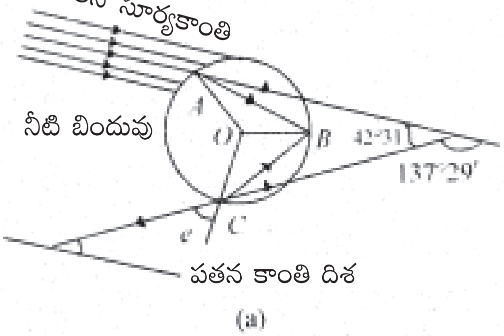
ఇంద్రధనుస్సు ఏర్పడుట

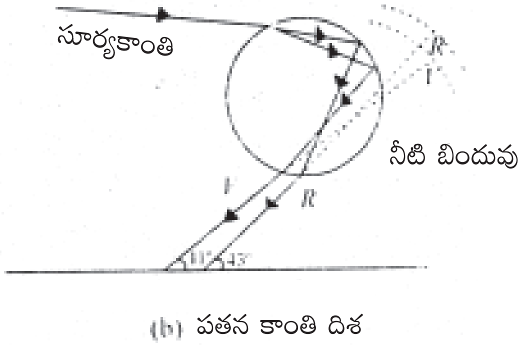
వర్షం పడిన రోజు గాలిలో ఉన్న నీటిబిందువుల ద్వారా సూర్యకాంతి విక్షేపణ చెందినపుడు ఏర్పడే ఇంద్రధనుస్సు ప్రకృతిలో అగుపించే అద్భుతమైన ప్రక్రియ. మన వెనుక సూర్యుడు ఉన్నపుడు ప్రకాశవంతమైన ఇంద్రధనుస్సు ఒకటి, అస్పష్టమైన ఇంద్రధనుస్సు ఇంకొకటి కనిపిస్తాయి. ప్రకాశవంతంగా ఉన్న ఇంద్రధనుస్సును **ప్రాథమిక ఇంద్రధనుస్సు** అని, ఇంకొక దానిని **గౌణఇంద్రధనుస్సు** అంటారు. కొన్నిసార్లు మనం ఒకే ఇంద్రధనుస్సును చూస్తాం. ఇంద్రధనుస్సులోని వంపులు రంగుచాపముల వలే ఉంటాయి. మనకన్ను, సూర్యుడిని కలిపే ఊహారేఖపై వీటి ఉమ్మడి కేంద్రం ఉంటుంది. ఉదయం లేదా సాయంత్రం వేళల్లో సూర్యకిరణాలు ఫౌంటెన్‌లోని నీటి బిందువుల మీద ఒక ప్రత్యేకకోణంతో పతనమైనప్పుడు ఆ పౌంటెన్ నీటిపై కూడా ఇంద్రధనుస్సును చూడవచ్చు.

ప్రాథమిక ఇంద్రధనుస్సు

నీటి బిందువు లోపల సూర్యకాంతి రెండు వక్రీభవనాలు, ఒక అంతరపరావర్తనం చెందటం వల్ల ప్రాథమిక ఇంద్రధనుస్సు ఏర్పడుతుంది. (పటం 21.5(ఎ) చూడండి) తక్కువ విచలనం చెందిన కిరణాల ద్వారా ఇంద్రధనుస్సును చూడవచ్చునని డెస్‌కార్ట్స్ (Descartes) వివరించాడు. సూర్యుని నుండి వెలువడే సమాంతర కిరణాలు నీటిబిందువు నుండి $137^0 29'$ విచలనం చెంది లేదా పతనకిరణంతో కంటివద్ద $42^0 31'$ కోణం చేస్తూ బహిర్గతమయినపుడు ప్రకాశవంతమైన మెరుస్తున్న రంగులు చాపంలో ఏర్పడుతాయి.

నీటివల్ల విచలనం, వివిధ రంగులు (ఎరుపు నుండి ఊదావరకు) తమస్వంత ఛాపములను ఏర్పరచుకొనునట్లు చేస్తుంది. ఎరుపురంగు వల్ల ఏర్పడిన చాపం 43^0 కోణంతో ఉన్న శంఖం తోనూ (బయటివైపు) ఊదారంగు వల్ల ఏర్పడిన చాపం 41^0 కోణంతో ఉన్న శంఖంతోనూ (లోపలివైపు) ఉంటాయి. పటం (21.5(b)).

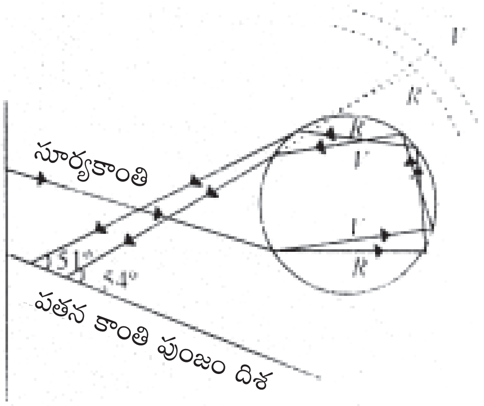




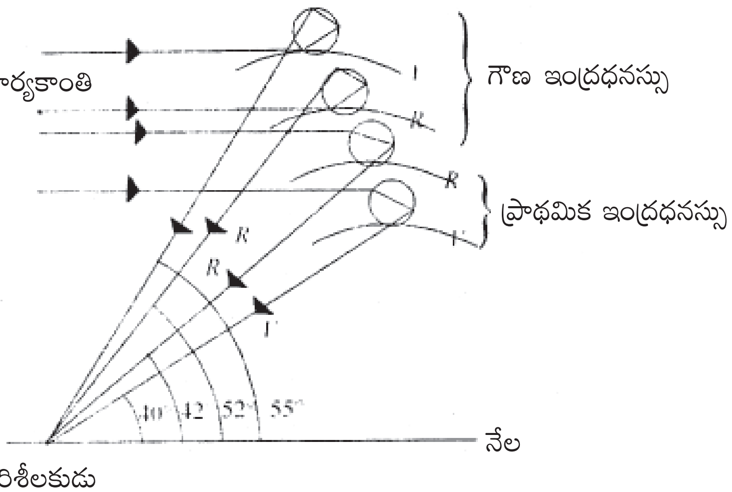
పటం 21.5: (a) నీటి బిందువు లోపల రెండు వక్రీభవనములు ఒక అంతర పరావర్తనం. సరాసరి కనిష్ట విచలన కోణం $137^0 29'$ (b) నీటి బిందువు ద్వారా విచలనం.

గౌణ ఇంద్రధనస్సు

నీటి బిందువుపై రెండు వక్రీభవనాలు, రెండు అంతర పరావర్తనాల వల్ల గౌణ ఇంద్రధనస్సు ఏర్పడుతుంది. ఎరుపు, ఊదారంగులకు కనిష్ఠ విచలన కోణాలు వరుసగా 231^0, 234^0, కనుక అవి ఎరుపుకు 51^0 శంఖంను, ఊదారంగుకు 54^0 శంఖంను ఏర్పరుస్తాయి.



ఇంద్రధనస్సుకు లోపలివైపు ఎరుపురంగు, ఊదారంగు వెలుపలివైపు ఉంటాయని పటం 21.6 ద్వారా తెలుస్తుంది. ప్రాథమిక, గౌణ ఇంద్రధనస్సులు ఒకేసారి ఏర్పడటం పటం 21.7లో చూపబడింది. రెండు ధనస్సుల మధ్య చీకటి అంతరం ఉంటుంది. గౌణఇంద్రధనస్సు, ప్రాథమిక ఇంద్రధనస్సు పైన ఏర్పడుతుంది.



పటం 21.7 : ప్రాథమిక, గౌణ ఇంద్రధనస్సులు ఒకేసారి ఏర్పడుట

21.2 వాతావరణంలో కాంతి విక్షేపణం

ఆకాశం నిర్మలంగా ఉన్నప్పుడు అది నీలంరంగులో కనిపిస్తుంది. కాని మేఘాలు తెల్లగా కనిపిస్తాయి. అలాగే నగలు లేదా స్ఫటికముల మీద సూర్యకాంతి పడినప్పుడు ఏర్పడే ప్రకాశవంతమైన రంగులు మన దృష్టిని ఆకర్షిస్తాయి. అది ఎందుకలా జరుగుతుందని తెలుసుకోవాలని ఉందికదా! ఈ దృగ్విషయాలను కాంతి పరిక్షేపణంతో వివరించవచ్చు. మలిన లేదా కణ రహిత బెంజీన్‌ను సూర్యకాంతికి గురిచేసి (exposed) ప్రక్కల నుండి చూసినపుడు బెంజీన్ ప్రకాశవంతమైన నీలం రంగును ఏర్పరుస్తుంది.

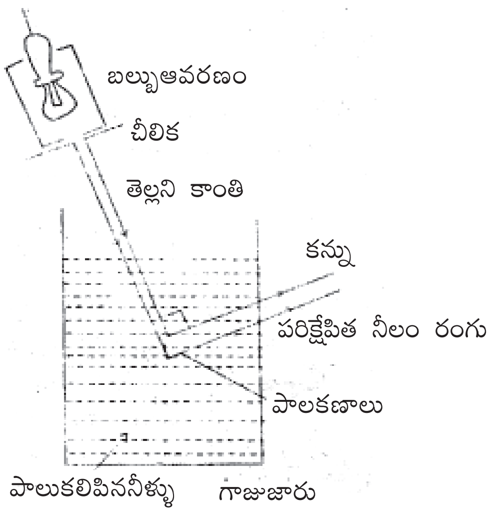
21.2.1 కాంతి పరిక్షేపణం

ఈ దృగ్విషయంలో వికిరణం పదార్థంతో అన్యోన్యచర్య నొందటం ఇమిడి ఉంది, భూవాతావరణంలో అతి చిన్న ధూళిక కణాలు ఉంటాయి. సూర్యకాంతి వాటి మీద పడినపుడు అవి అన్ని దిశలలోకి వ్యాప్తి చెందుతుంది అందువల్ల కాంతి, జనక స్థానం నుండి తిన్నగా చేరలేని ప్రదేశాలకు కూడా చేరుతుంది.

ఒక సరళకృత్యాన్ని చేసిచూద్దాం.

కృత్యం 21.1:

ఒక గాజు జార్‌గానీ పొడవైన నీళ్ళతొట్టెను గాని తీసుకొని దానిని పాలు కలిపిన నీటితో నింపండి. తెల్లని బల్బు నుండి వచ్చే సన్నని కాంతిపుంజం ఆ నీటిమీద పడేవిధంగా ఏర్పాటు చెయ్యండి. 90^0 ల వద్ద (లంబంగా) కాంతిని గమనించండి.



పటం 21.8

నీటినుండి చూసినపుడు నీలి రంగు పుంజాన్ని గమనిస్తాము. ఈ ప్రయోగం నుండి పరిక్షేపణం తర్వాత ఒక ప్రత్యేక దిశలో కాంతి తరంగధైర్ఘ్యం అసాధారణంగా ఉండటాన్ని గమనిస్తాం. (పటం 21.8)

పరిక్షేపణం రెండంచెల పద్ధతి : మొదటగా పరిక్షేపకకణం కాంతిని శోషించుకొనుట, రెండవది తక్షణమే అన్ని దిశలలోకి ఉద్గారం చేయుటం. కనుక ఈ పద్ధతి పరావర్తనం నుండి వేరుగా ఉంటుంది. పరిక్షేపిత కాంతి, పరావర్తన నియమాలను పాటించదు. ఇక్కడ గమనించాల్సిన ముఖ్య విషయం కణపరిమాణం పతన కాంతి తరంగధైర్ఘ్యం కన్నా తక్కువగా ఉండాలి. ఎక్కువ పరిమాణం కల కణం అన్ని తరంగధైర్ఘ్యాలను సమానంగా పరిక్షేపణం చేస్తుంది. పరిక్షేపిత కాంతి తీవ్రతను రాలీస్ పరిక్షేపణ నియమం ఇస్తుంది. ఈ నియమం ప్రకారం **పరిక్షేపిత కాంతి తీవ్రత, తరంగ ధైర్ఘ్యం నాల్గవ ఘాతానికి విలోమానుపాతంలో ఉంటుంది.**

$$I \propto \frac{1}{\lambda^4}$$

ఇక్కడ I పరిక్షేపిత కాంతి తీవ్రత, λ తరంగధైర్ఘ్యం అంటే పరిక్షేపణ కణం మీద తెల్లని కాంతి పతనమైనపుడు నీలరంగు ఎక్కువగా ఎరుపురంగు తక్కువగా పరిక్షేపణం చెందుతాయి.

ఉదాహరణ 21.4 : చిమ్నిపొగలోని సన్నని పొర మీద సూర్యకాంతి పడినపుడు పరిక్షేపిత పుంజం 3934 ^{0}A, 5890 ^{0}A మరియు 6867 ^{0}A తరంగధైర్ఘ్యాలను కలిగి ఉంది. వీటిలో ఏది ఎక్కువ తీవ్రతతో పరిక్షేపణం చెందింది.

సాధన : పరిక్షేపిత కాంతి తీవ్రత $I \propto \frac{1}{\lambda^4}$ కనుక మూడు తరంగాలలో 3934 ^{0}A తక్కువ తరంగధైర్ఘ్యం కనుక అది ఎక్కువ తీవ్రతతో పరిక్షేపణం చెందుతుంది.

ఆకాశం నీలంగా, మేఘాలు తెల్లగా, సూర్యోదయ. సూర్యాస్తమయాల్లో సూర్యుడు ఎర్రగా కనిపించడానికి కాంతి పరిక్షేపణం ద్వారా వివరించవచ్చు.

సి.వి. రామన్
(1888–1970)

నేటివరకు చంద్రశేఖర్ వెంకటరామన్ మాత్రమే భౌతిక శాస్త్రంలో నోబుల్ బహుమతి (1930) తీసుకున్న భారతీయ పౌరుడు. అతనికి భౌతిక శాస్త్రం మీద ఉన్న ఇష్టంతో భారతీయ ఆర్థికశాఖలో చేసే ఉద్యోగానికి రాజీనామా చేసి కలకత్తా విశ్వవద్యాలయంలో భౌతికశాస్త్ర విభాగంలో ఆచార్య పదవిని స్వీకరించాడు. పరిక్షేపణంలో రామన్ ఫలితం, కాంతి అణువివర్తనం, వంగిన తీగల యాంత్రిక సిద్దాంతం, x- కిరణ వివర్తనం, సంగీత వాయిద్యాల సిద్ధాంతం, స్ఫటికశాస్త్రంలు ఆయన యొక్క ముఖ్య పరిశోధనాంశాలు. ఇండియన్ ఇనిస్టిట్యూట్ ఆఫ్ సైన్సు, బెంగుళూరు. IIS (Indian Institute of Science, Bangalore) అధ్యక్షుడిగా, రామన్ రీసెర్చ్ ఇనిస్టిట్యూట్ వ్యవస్థాపక అధ్యక్షుడిగా శాస్త్ర సాంకేతిక ఉన్నతికి దృఢమైన పునాది వేశాడు.

A. నీలాకాశం

వాతావరణంలో ఉన్న గాలి అణువులు, నీటి బిందువులు లేదా ధూళికణాల వల్ల కాంతి పరిక్షేపణాన్ని రాలీస్ నియమంతో వివరించవచ్చునని మనకు తెలుసు. ఎక్కువ తరంగదైర్ఘ్యాల కన్నా, తక్కువ తరంగదైర్ఘ్యాలు ఎక్కువ పరిక్షేపణం చెందుతాయి. నీలి కాంతి తరంగదైర్ఘ్యం ఎరుపు రంగు కాంతి తరంగదైర్ఘ్యం కన్నా సుమారుగా 0.7 రెట్లు ఎక్కువగా ఉండటం వలన ఇది ఆరు రెట్లు ఎక్కువ పరిక్షేపణం చెందుతుంది. తక్కువ తరంగ దైర్ఘ్యాలైన ఊదా, నీలం, ఆకుపచ్చ రంగుల్లో పరిక్షేపణం ఎక్కువగా ఉంటుంది. మరింత పరిక్షేపణం చెందిన తరువాత మనకన్ను నీలం, దాని పక్క తరంగదైర్ఘ్యాలకు ప్రతిస్పందించినంతగా ఊదారంగుకు ప్రతిస్పందించదు. అందువల్ల ఊదారంగు కాంతి పరిశీలకుడి కన్నును చేరదు. కనుక దూరం నుండి మనం ఆకాశంను చూసినపుడు అది నీలంరంగులో కనబడుతుంది.

ఉదాహరణ 21.5 : ఎక్కువ ఎత్తులో ఎగురుతున్న రోదసినౌకలోని ఖగోళ శాస్త్రజ్ఞుడికి ఆకాశం ఏ రంగులో కనిపిస్తుంది.

సాధన : ఎక్కువ ఎత్తులో ధూళి కణాలు, గాలి అణువులు ఉండవు కనుక సూర్యకాంతి పరిక్షేపణం చెందదు. అందువల్ల ఆకాశం నల్లగా కనిపిస్తుంది.

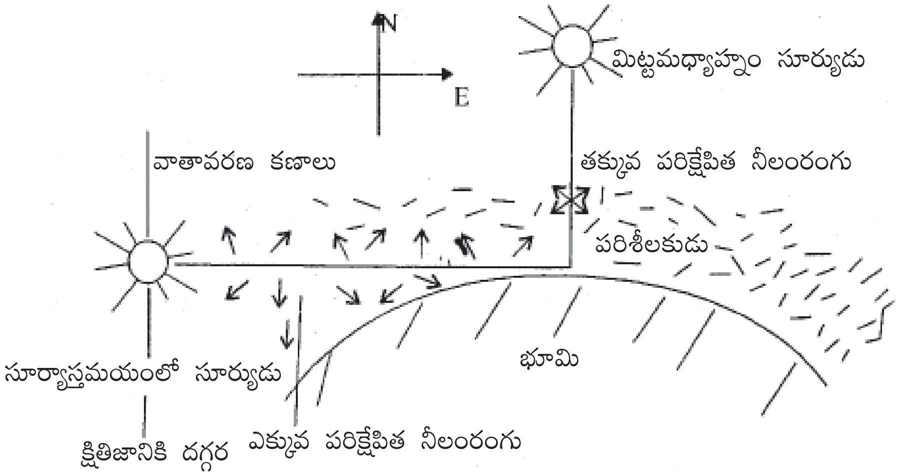
(బి) తెల్లని మేఘాలు

చిన్న చిన్న నీటి బిందువుల సమూహం మేఘాలుగా ఏర్పడతాయి. ఆ నీటి బిందువుల పరిమాణం దృశ్యకాంతి సరాసరి తరంగదైర్ఘ్యం (5000 ^{0}A) కన్నా ఎక్కువగా ఉంటుంది. ఈ బిందువులు అన్ని తరంగదైర్ఘ్యాలను సమానతీవ్రతతో పరిక్షేపణం చేస్తాయి. ఫలిత పరిక్షేపిత కాంతి తెల్లగా ఉంటుంది. అందువల్ల మేఘాల పలుచని పొర తెల్లగా కనిపిస్తుంది. మరి సాంద్రతర మేఘాల మాటేమిటి?

(సి) సూర్యోదయ, సూర్యాస్తమయ సమయాల్లో ఎర్రని సూర్యుడు.

మనం ఇపుడు సూర్యోదయ, సూర్యాస్తమయంల్లో సూర్యుడు ఎర్రగా కనిపించడానికి గల కారణం అర్థం చేసుకోగలం. ఉదయం, సాయంత్ర సమయాల్లో సూర్యుడు క్షితిజానికి దగ్గరగా ఉన్నపుడు వాతావరణంలో కాంతి చాలా దూరం ప్రయాణించవలసి ఉంటుంది. గాలి అణువులు, ధూళికణాల నుండి ఊదా, నీలం రంగు తరంగదైర్ఘ్యాలు సుమారుగా 90^0 కోణంతో పరిక్షేపణం చెందుతాయి. తక్కువ తరంగదైర్ఘ్యాలు లేకుండా, ఎక్కువ తరంగ దైర్ఘ్యామైన ఎరువురంగు పరిక్షేపిత సూర్యకాంతి పరిశీలకుడిని చేరుతుంది. (పటం 21.9)అందువల్ల మనకు సూర్యుడు ఎర్రగా కనిపిస్తాడు.

మిట్టమధ్యాహ్నం సూర్యుడు నడినెత్తిన ఉంటాడు. కనుక దానికి, పరిశీలకుడికి మధ్య దూరం తక్కువ. నీలంరంగు కూడా తక్కువగా పరిక్షేపితమవుతుంది. ఇది మధ్యాహ్నసమయంలో సూర్యుడు తెల్లగా కనిపించడానికి కారణం. నిజానికి క్రిమ్‌సన్ రంగు.



పటం 21.9 : సూర్యోదయ, సూర్యాస్తమయ సమయాల్లో ఎర్రని సూర్యుడు (పరిక్షేపణం చెందిన నీలం రంగు కిరణాలు)

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 21.2

1. దట్టమైన మేఘాలు నల్లగా ఎందుకు కనిపిస్తాయి.

....

2. వర్షం కురిసిన తరువాత నిర్మలమైన ఆకాశం ఎందుకు ముదురు నీలంలో కనిపిస్తుంది.

....

3. సూర్యోదయ, సూర్యాస్తమయాల్లో సూర్యుడు ఎర్రగా కనిపించడాన్ని మీరేదైనా ప్రయోగం ద్వారా ప్రదర్శించగలరా?

....

4. ఉపగ్రహం నుండి తీసిన ఫోటోగ్రాఫ్‌లలో ఆకాశం నల్లగా ఉంటుంది ఎందుకు?

....

మీరు ఏమి నేర్చుకున్నారు

- ఒకే తరంగ ధైర్ఘ్యం (రంగు) గల కాంతిని ఏకవర్ణకాంతి అని, ఎక్కువ తరంగధైర్ఘ్యంలు కలిగిన సూర్యకాంతిని బహువర్ణకాంతి అని అంటారు.
- కాంతి దృశా సాంద్రతరయానకం లోనికి ప్రవేశించినపుడు దాని అంశరంగులుగా విడిపోవడాన్ని విక్షేపణం అంటారు.
- విక్షేపితకాంతిని పొందటానికి పట్టకంను ఉపయోగిస్తారు. ఇది తెరమీద పడినపుడు వర్ణపటం ఏర్పడుతుంది.
- ఇచ్చిన రంగుకు పతన, బహిర్గత కోణాలు సమానమైనపుడు విచలనం కనిష్టమవుతుంది. ఈ పరిస్థితిలో పుంజం ఆ రంగుకు కాంతి వంతంగా ఉంటుంది. స్వల్ప కోణ పట్టకం విచలన కోణానికి, వక్రీభవన కోణానికి మధ్యగల సంబంధం $\delta = (\mu - 1) A$
- కనిష్ట విచలన కోణం నియమం పాటింపబడేటట్లు సూర్యకాంతి ఒక నిర్ధిష్టకోణంతో వర్షపుబిందువు నుండి విక్షేపణం చెందినపుడు ఇంద్రధనస్సు ఏర్పడుతుంది.
- ఇంద్రధనస్సులు రెండు రకాలు 1. ప్రాథమిక 2. గౌణ. ప్రాథమిక ఇంద్రధనస్సు వెలుపలి రంగు ఎరుపు, లోపలి రంగు ఊదా. మిగతా రంగులన్నీ (VIBGYOR) క్రమంలో పై రెండు రంగుల మధ్య అమరి ఉంటాయి. ఈ రంగుల అమరిక గౌణ ఇంద్రధనుస్సులో వ్యతిరేకంగా ఉంటుంది.
- ఆకాశం నీలంగా, మేఘాలు తెల్లగా, సూర్యోదయ సూర్యాస్తమయాల్లో సూర్యుడు ఎర్రగా ఉండటానికి గల కారణం కాంతివిక్షేపణం. విక్షేపిత కాంతి తీవ్రత, తరంగధైర్ఘ్యం నాల్గవ ఘాతానికి విలోమానుపాతంలో ఉంటుంది. $\left(I \propto \frac{1}{\lambda^4} \right)$ దీనిని ర్యాలీ నియమం అంటారు. అంటే నీలం రంగు ఎరుపు రంగు కన్నా ఎక్కువగా విక్షేపణం చెందుతుంది.

ముగింపు అభ్యాసం

1. పట్టకానికి, $i + e = A + \delta$ అని చూపండి.
2. స్వల్పకోణ పట్టకం లేక అధికకోణ పట్టకాలలో దేనిని విక్షేపణానికి ఉపయోగిస్తావు. ఎందుకు?
3. ఏ నియమం వద్ద పట్టకమేర్పరచే విచలనం వక్రీభవన గుణకానికి అనులోమాను పాతంలో ఉంటుంది.
4. లోతైన సముద్రాలలో సముద్రపు నీరు ఎందుకు నీలంగా కనిపిస్తుంది.
5. పట్టక కోణం 60° గల గాజు పట్టకం కనిష్ట విచలనకోణం 39°. గాజు వక్రీభవన గుణకాన్ని కనుక్కోండి.
6. ఎరుపు, పసుపు, ఊదారంగులకు క్రౌన్ గాజు కలుగచేసిన విచలనాలు వరుసగా 2.84^o, 3.28^o, 3.72^o. గాజు పదార్థానికి విక్షేపక సామర్థ్యంను కనుక్కోండి.
7. కింద ఇచ్చిన దత్తాంశంతో విక్షేపక సామర్థ్యాన్ని కనుక్కోండి.

   $\mu_C = 1.6444$, $\mu_D = 1.6520$, $\mu_F = 1.6637$

   ఇక్కడ C, D, F లు ఫ్రాన్‌హోఫర్ రేఖల వ్యవహార నామాలు.
8. రెండు పట్టకాలు వాటి ఆధారాలు ఒకదానికొకటి అతికినట్టుగా అమర్చినపుడు ఒక కటకంను చూడవచ్చు. ఈ కటకాన్ని ఉపయోగించి విక్షేపణంను చూడగలమా? మీ సమాధానాన్ని సమర్థించండి.
9. మానవుని కంటిలో కుంభాకార కటకముంటుంది. మనం పరికరం సహాయం లేకుండా విక్షేపణం చూడవచ్చా.

21.1

1. సాధారణ వాయువులలో వివిధ తరంగదైర్ఘ్యాలు గల దృగ్గోచర కాంతి తరంగవ్యాపన వేగం దాదాపు సమానం. కనుక వాయువులు దృగ్గోచరకాంతిని విక్షేపణం చెందించవు. వాటి వక్రీభవనగుణకం 1కి దగ్గరగా ఉంటుంది.
2. ఊదారంగు, దృశ్యసాంద్రతర యానకంలో $\lambda_r > \lambda_v$ కనుక ఎరుపురంగు కాంతి వేగం, ఊదా రంగు కాంతి వేగం కన్నా ఎక్కువ.
3. కాదు.
4. $\mu = \dfrac{\sin 60^0}{\sin 30^0} = \sqrt{3} = 1.732$

21.2

1. అది సూర్యకాంతిని శోషణం చేసుకుంటుంది.
2. వర్షం పడిన తరువాత వాతావరణం, ధూళికణాలు, పెద్ద నీటికణాలు లేక నిర్మలంగా ఉంటుంది. ఇప్పుడు పరిక్షేపణం ర్యాలీ నియమం ప్రకారం జరుగుతుంది.
3. గుండ్రటి అడుగుభాగం గల ఫ్లాస్కులో సోడియం థయోసల్ఫేట్ ద్రావణం తీసుకొని దానికి కొద్ది పరిమాణంలో సల్ఫ్యూరిక్ ఆమ్లం కలపాలి. ఎక్కువ సామర్థ్యం కల బల్బుతో ఈ ద్రావణాన్ని ప్రకాశింపజేసినపుడు సూర్యోదయ సూర్యాస్తమయాల్లో మనం చూసే దృశ్యం లాంటిదే మనకు కన్పిస్తుంది.
4. ఎక్కువ ఎత్తులో కాంతి పరిక్షేపణంకు కావలసిన కణాలు ఉండవు కనుక ఆకాశం నల్లగా కనిపిస్తుంది.

ముగింపు అభ్యాసంలోని లెక్కలకు సమాధానాలు

5. 1.5   6. 0.27   7. 0.03