

Material na zajęcia z fizyki 20.03.2020

Temat: Całkowite wewnętrzne odbicie. Zjawiska optyczne w atmosferze

1) **Cele zajęć:**

- Dlaczego w zwierciadłach widzimy obrazy?
- W jaki sposób powstają te obrazy?
- Jakie cechy mają te obrazy?
- Zwierciadła kuliste wklęsłe skupiają, a wypukłe rozpraszają światło;
- Konstrukcję odcinka w zwierciadłach płaskich i kulistych;
- Na czym polega całkowite wewnętrzne odbicie.
- Opis zjawisk optyczne w atmosferze

2) **Material do przeanalizowania.**

Optyka jest nauką o świetle i jego oddziaływaniu z materią. Jak wiecie światło jest falą elektromagnetyczną odbieraną przez aparat widzenia człowieka (maksimum czułości oka ludzkiego przypada dla fal o długości 550 nm, zaś jako granice obszaru widzialnego przyjmuje się zwykle 430 i 690 nm). Optyka koncentruje się więc przede wszystkim na badaniu widzialnej części widma fal elektromagnetycznych ale w kręgu jej zainteresowań leżą także fale elektromagnetyczne graniczące z częścią widzialną, a więc nadfiolet wraz z miękkim promieniowaniem rentgenowskim oraz podczerwień aż do fal radiowych milimetrowych. Optyka zajmuje się m. in. rozchodzeniem się światła w różnych ośrodkach, prawami emisji i absorpcji światła, konstrukcją źródeł światła i przyrządów optycznych.

Na wstępie naszych rozważań warto przypomnieć, że fale elektromagnetyczne zasadniczo różnią się od fal mechanicznych, którymi zajmowaliśmy się dotychczas. Ich pierwszą zadziwiającą własnością jest to, że do rozchodzenia się nie potrzebują żadnego ośrodka materialnego – równie dobrze mogą rozchodzić się w próżni, jak i w powietrzu, wodzie czy szkłe. Kolejną wyjątkową cechą jest stała prędkość, niezależna od układu odniesienia, a więc względnego ruchu źródła światła i obserwatora.

Zakres naszego wykładu będzie obejmował elementy optyki geometrycznej (prawa odbicia i załamania, rozszczepienie światła, zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia, proste przyrządy optyczne) i falowej (zjawiska dyfrakcji i interferencji)

Optyka geometryczna

Optyka geometryczna jest najprostszym, przybliżonym opisem światła, w którym zakłada się, że światło rozchodzi się wzdłuż linii prostych, zwanych promieniami świetlnymi. Promienie świetlne nie oddziałują ze sobą. Optyka geometryczna wynika optyki falowej jako przypadek graniczny dla $\lambda \rightarrow 0$. Pozwala wyjaśnić w prosty sposób niektóre zjawiska, metody optyki geometrycznej stosuje się również przy konstrukcji przyrządów optycznych (np. pryzmaty, zwierciadła, soczewki oraz ich układy)

Odbicie i załamanie

Kiedy promień świetlny pada na granicę dwóch ośrodków przezroczystych, wówczas obserwujemy na ogół pojawienie się **promienia odbitego** oraz **promienia załamanego**. Oba te promienie leżą w płaszczyźnie padania. **Kąt odbicia** jest równy **kątowi padania**, zaś **kąt załamania** związany jest z kątem padania empiryczną zależnością, zwaną **prawem Snella**

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{n_1}{n_2} \quad (1)$$

gdzie n_1 i n_2 są współczynnikami załamania charakteryzującymi ośrodki 1 i 2. Współczynnik załamania ośrodka jest wielkością bezwymiarową, $n=c/v$ - gdzie c jest prędkością światła w próżni, zaś v - prędkością światła w danym ośrodku. Współczynnik załamania światła dowolnej substancji jest zawsze $n \geq 1$.

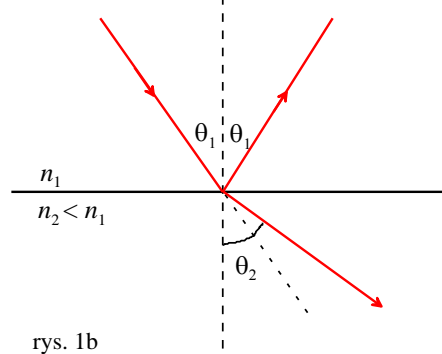
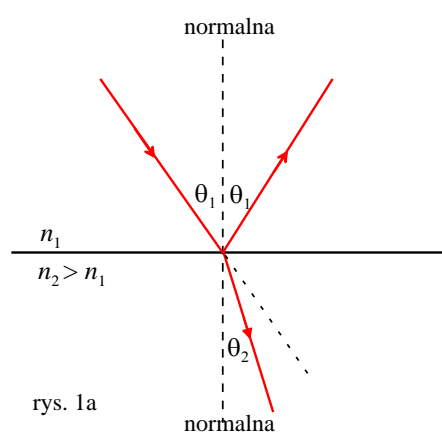
Po przekształceniu równania (1) do postaci

$$\sin \theta_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin \theta_1 \quad (2)$$

możemy porównać kąt załamania z kątem padania.

Możliwe są 3 przypadki:

1. $n_2 = n_1$ - załamanie nie następuje, promień nie zostaje odchyłony od pierwotnego kierunku
2. $n_2 > n_1$ - kąt załamania jest mniejszy od kąta padania, a więc po załamaniu promień jest odchyłony od pierwotnego kierunku w stronę do normalnej (tak jak na rysunku 1a)
3. $n_2 < n_1$ - kąt załamania jest większy od kąta padania, a więc po załamaniu promień jest odchyłony od pierwotnego kierunku w stronę od normalnej (tak jak na rysunku 1b)

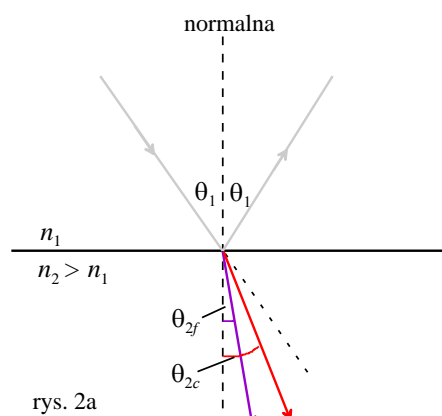


Rozszczepienie światła

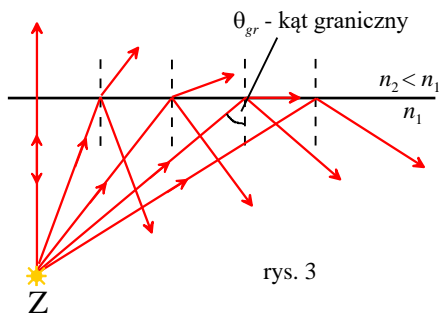
Prędkość rozchodzenia się fal świetlnych w ośrodkach materialnych zależy od długości fali światła (zjawisko to nazywamy dyspersją), dlatego też współczynnik załamania światła w każdym ośrodku, z wyjątkiem próżni, również zależy od długości fali światła.

Jeśli zatem wiązka światła zawierająca promienie o różnych długościach fali (np. światło białe) pada na granicę dwóch ośrodków, to promienie o różnych długościach fali zostaną załamane pod różnymi kątami i wiązka ulegnie rozszczepieniu.

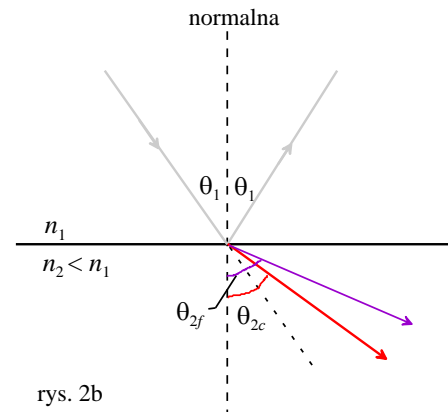
Współczynnik załamania światła dla danego ośrodka jest zazwyczaj większy dla fal krótszych (np. dla światła fioletowego) niż dla fal dłuższych (np. dla światła czerwonego). Dotyczy to ośrodków o dyspersji normalnej. A więc w takich ośrodkach promienie fioletowe będą odchylane silniej niż promienie czerwone, co ilustrują rysunki 2a i 2b.



Rozszczepienie światła znalazło zastosowanie przy konstrukcji spektroskopów optycznych. Są to przyrządy służące do analizy widmowej światła, czyli określania jakie długości fali i o jakim względnym natężeniu występują w badanym świetle, co pozwala np. identyfikować pierwiastki, które brały udział w emisji tego światła. Najpiękniejszym i najbardziej znanym zjawiskiem, będącym skutkiem rozszczepienia światła słonecznego w kroplach deszczu, jest tęcza.



rys. 3



rys. 2b

Całkowite wewnętrzne odbicie

Na rysunku 3 promienie światła monochromatycznego (o jednej długości fali), emitowane ze źródła punkowego Z przechodzą z ośrodka o większym współczynniku załamania (np. wody lub szkła) do ośrodka o większym współczynniku załamania (np. powietrza). Promień padający na granicę ośrodka doznaje zarówno odbicia, jak i załamania, przy czym kąt załamania jest większy od kąta padania. Istnieje pewien **kąt graniczny** θ_{gr} , dla którego promień załamany jest styczny do powierzchni granicznej między ośrodkami. Dla kątów padania większych od kąta granicznego nie ma już promienia załamane i całe światło ulega odbiciu. Zjawisko to nazywamy **całkowitym wewnętrznym odbiciem**. Wartość kąta granicznego wyznaczamy korzystając z równania (1), przy czym jako kąt padania θ_1 podstawiamy θ_{gr} , zaś kąt załamania $\theta_2=90^\circ$. Ostatecznie otrzymujemy:

$$\sin \theta_{gr} = \frac{n_2}{n_1} \sin 90^\circ = \frac{n_2}{n_1} \quad (3)$$

Zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia wykorzystuje się w celu osiągnięcia efektywnego oświetlenia strug wody w fontannach, połysku brylantów, a także przy konstrukcji licznych przyrządów optycznych (np. refraktometrów – służących do pomiaru współczynnika załamania cieczy oraz przezroczystych ciał stałych). Najważniejszym obecnie zastosowaniem zjawiska całkowitego wewnętrznego odbicia jest technika światłowodowa. **Światłowody** są wiązkami włókien wykonanych z materiału dielektrycznego (np. szkła, lub tworzyw sztucznych), służących do przekazywania światła. Światło wprowadzone na jednym końcu światłowodu, ulega wewnątrz włókna wielokrotnemu całkowitemu odbiciu od ścianek, co pozwala na przesyłanie go do drugiego końca światłowodu z niewielkimi stratami.

Obrazy rzeczywiste i pozorne

Obraz jest to odtworzenie przedmiotu przez światło. **Obraz rzeczywisty** to obraz powstający na jakiejś rzeczywistej powierzchni (np. ekran kinowy czy kartka papieru), istniejący w określonym miejscu niezależnie od obecności obserwatora. Natomiast **obraz**

pozorny odbierany jest jedynie przez aparat widzenia obserwatora (np. odbicie widziane z drugiej strony powierzchni lustra). Innym przykładem obrazu pozornego jest miraż (fatamorgana).

Zwierciadła

Zwierciadło płaskie – obraz pozorny jest zawsze tej samej wielkości co przedmiot, zaś odległość obrazu jest równa co do wartości odległości przedmiotu $o = -p$

Zwierciadło sferyczne – powierzchnia zwierciadła jest małym wycinkiem kuli wklęsłym lub wypukłym.

Oś zwierciadła sferycznego – prosta przechodząca przez środek zwierciadła oraz środek krzywizny zwierciadła

Kiedy oświetlamy zwierciadło wklęsłe wąską wiązką promieni równoległą do osi zwierciadła (promienie przyosiowe), wtedy po odbiciu promienie przechodzą przez jeden wspólny punkt położony na osi zwierciadła. Punkt ten, oznaczany literą F , nazywamy **ogniskiem** zwierciadła, zaś jego odległość f od środka zwierciadła – **ogniskową** zwierciadła. W przypadku zwierciadła wypukłego promienie przyosiowe po odbiciu rozbiegają się. Nasze oczy odbierają wrażenie, że promienie odbite wychodzą z punktowego źródła znajdującego się po drugiej stronie zwierciadła, w punkcie przecięcia przedłużenia promieni odbitych. Punkt ten jest ogniskiem zwierciadła wypukłego, zaś jego odległość f od środka zwierciadła - ogniskową zwierciadła wypukłego. Ognisko zwierciadła wklęsłego jest więc ogniskiem rzeczywistym, zaś wypukłego ogniskiem pozornym.

Zwierciadła sferyczne mogą wytwarzać obraz przedmiotu, zmieniając, na skutek odbicia, kierunek promieni świetlnych wychodzących z powierzchni przedmiotu. Jeśli po zmianie kierunku przecinają się promienie świetlne - powstaje obraz rzeczywisty, natomiast jeśli przecinają się przedłużenia promieni - tworzy się obraz pozorny. Obrazy rzeczywiste powstają zawsze po tej samej stronie zwierciadła co przedmiot, a obrazy pozorne powstają po przeciwnej stronie zwierciadła.

Położenie obrazu danego przedmiotu możemy ustalić metodą graficzną, rysując przynajmniej 2 wybrane promienie, które wychodzą z wierzchołków przedmiotu.

Najwygodniej posłużyć się w tym celu parą promieni wybraną z następującej grupy:

1. Promień równoległy do osi zwierciadła, który po odbiciu przechodzi przez ognisko F .
2. Promień przechodzący przez ognisko, który po odbiciu biegnie równoległe do osi zwierciadła
3. Promień przechodzący przez środek krzywizny zwierciadła, który po odbiciu wraca wzdłuż tego samego kierunku.
4. Promień padający na środek zwierciadła, który odbija się symetrycznie względem osi zwierciadła.

Umownie przyjmuje się, że odległości przedmiotu p są wielkościami dodatnimi, natomiast odległości obrazu o dla obrazów pozornych są ujemne, zaś dla obrazów rzeczywistych dodatnie. Podobnie ogniskowa zwierciadła wklęsłego (ognisko rzeczywiste) jest dodatnia, zaś zwierciadła wypukłego jest ujemna (ognisko pozorne). Promień krzywizny zwierciadła sferycznego r jest dodatni dla zwierciadła wklęsłego i ujemny dla zwierciadła wypukłego.

Dla wszystkich zwierciadeł sferycznych ogniskowa f wiąże się z promieniem krzywizny r zależnością

$$f = r/2 \quad (4)$$

Jeśli promienie świetlne wychodzące z przedmiotu tworzą małe kąty z osią zwierciadła sferycznego, wówczas odległość przedmiotu p , odległość obrazu o oraz ogniskowa zwierciadła f związane są ze sobą następującą prostą zależnością

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{o} = \frac{1}{f} \quad (5)$$

Powiększeniem liniowym zwierciadła sferycznego nazywamy wielkość

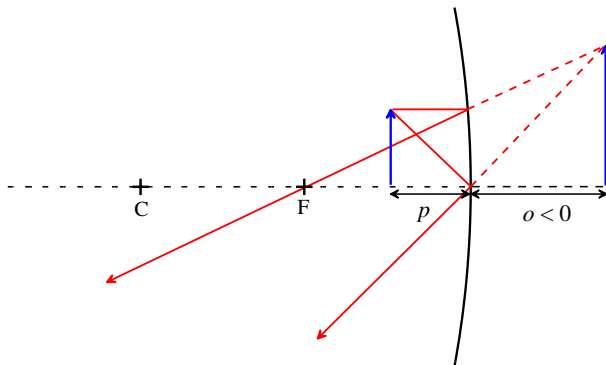
$$m = \frac{h'}{h} = -\frac{o}{p} \quad (6)$$

gdzie h jest wysokością przedmiotu, zaś h' – wysokością obrazu. Zgodnie z umową powiększenie liniowe jest dodatnie, jeśli obraz jest prosty, natomiast ujemne, jeżeli obraz jest odwrócony ($h' < 0$). Dla zwierciadła płaskiego $m = +1$.

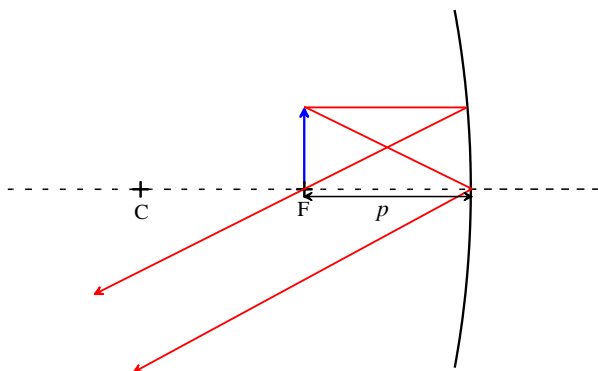
Przykłady

Graficzne wyznaczenie położenia obrazu wytworzonego przez zwierciadło wklęsłe, w przypadku, gdy

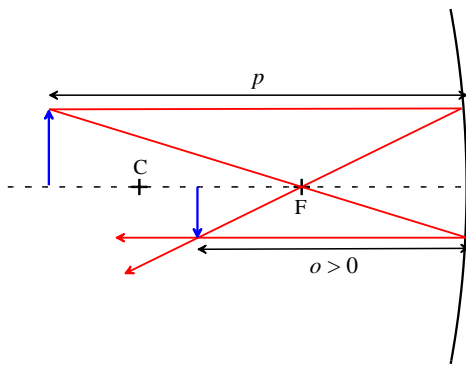
a) $p < f$ – obraz pozorny, prosty, powiększony



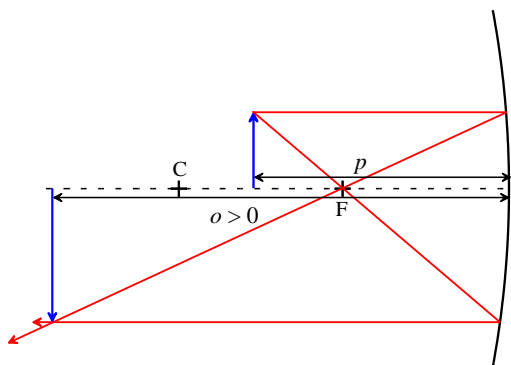
b) $p = f$ - promienie odbite od zwierciadła nie przecinają się – obraz nie powstaje



c) $f < p < 2f$ - obraz rzeczywisty, odwrócony, zmniejszony



d) $p > 2f$ – obraz rzeczywisty, powiększony, odwrócony



Szczególne ciekawe zjawisko możemy zaobserwować w przypadku przejścia światła białego przez pryzmat: zachodzi wtedy nie tylko ogólne odchylenie całego promienia od jego pierwotnego kierunku, ale również jego rozszczepienie na wszystkie barwy widma. Zjawisko rozszczepiania światła białego jest najlepiej widoczne w pryzmacie, gdyż następuje ono w nim dwukrotnie, przez co kolorowe widmo jest mocniej rozszerzone. Załamanie i rozszczepianie światła zachodzi na większości ciał przezroczystych powodując odpowiednio:

- na małych kropelkach wody - zjawisko tęczy,
- na brylantach i kryształach - błyszczenie i charakterystyczny widmowy poblask,
- w soczewkach - wady soczewek.

Aberracja to najbardziej typowa wada w budowie soczewki, objawia się ona tym, że nie wszystkie promienie padające na soczewkę załamują się pod tym samym kątem. Głównie problem pojawia się w przypadku promieni, które padają na soczewkę blisko jej górnych "rożków". Soczewkę ze szkła lub innego materiału, w której wykryto wadę można skorygować stosując odpowiednie układy soczewek. Ma to szczególne znaczenie dla człowieka, gdy wada dotyczy soczewki jego oka.

Wyróżniamy dwa rodzaje aberracji:

- **ABERRACJA SFERYCZNA**

To wada soczewki polegająca na tym, że promienie z wiązki padającej na soczewkę załamują się pod różnymi kątami. Znaczna różnica występuje głównie między kątem załamania promieni padających blisko osi głównej i tych padających daleko od tej osi (bliższe osi skupiają się dalej). W ten sposób powstaje nie jedno, ale dwa ogniska. Odległość między tymi ogniskami jest *miarą nasilenia aberracji sferycznej*. Podobnie też miarą tej wady może być promień kółeczka, które powstaje w ognisku bliższym osi optycznej soczewki, gdy umieścimy w nim ekran prostopadły do tej osi.

Dla osoby z wadą wzroku o charakterze aberracji sferycznej punkty świetlne mają szersze, nieregularne kształty, obrazy mają rozmyte kontury i ogólnie osoba ta cierpi na brak ostrości całości pola widzenia.

Korygowanie aberracji sferycznej

Aberrację sferyczną koryguje się odpowiednio dobranymi układami soczewek, często zbudowanych z różnych rodzajów szkła. (W przypadku noszenia okularów układ tworzą soczewki okularów oraz soczewki oczu). Przy dobieraniu odpowiedniego układu manewrujemy głównie promieniem krzywizn stosowanych soczewek. Przeważnie stosuje się soczewki niesymetryczne. Na przykład ustawiając soczewkę płasko-wypukłą stroną płaską względem padającej wiązki, aberracja sferyczna układu będzie większa niż w odwrotnym ułożeniu. Układy soczewek wolne od aberracji sferycznej nazywamy *układami aplanatycznymi*.

- **ABERRACJA CHROMATYCZNA**

To również wada soczewki, powodowana głównie przez rozszczepianie się światła przy przejściu przez soczewkę. Promienie widma światła białego załamują się pod innymi kątami - w zależności od współczynnika załamania (zależy on od częstotliwości promieniowania, a promienie o różnych współczynnikach załamania mają inne barwy.) Dlatego też zjawisko rozszczepiania światła na soczewce powoduje również tworzenie osobnych ognisk dla poszczególnych kolorów promieniowania widma. Skrajne promienie światła białego mają zabarwienie fioletu i czerwieni. Po załamaniu większe odchylenie od pierwotnego biegu wykazuje składnik fioletowy światła białego, mniejsze składnik czerwony. Czyli ich ogniska - odpowiednio f_f i f_c - powstają w różnych punktach osi (f_f - bliżej soczewki). Odległość od f_f do f_c jest *miarą aberracji chromatycznej*.

W wyniku aberracji chromatycznej w przyrządach optycznych lub na ekranie ustawionym za soczewką, prostopadle do jej osi głównej powstaje kolorowa otoczka wokół obrazów przedmiotów. Krążek ten zmienia rozmiar, gdy np. przesuwamy ekran pomiędzy powstałymi ogniskami. Najmniejsza średnica tego krążka jest *miarą aberracji chromatycznej poprzecznej*.

Korygowanie aberracji chromatycznej.

Korekcję tej wady soczewek uzyskuje się również jak w przypadku aberracji sferycznej poprzez dobór odpowiedniego układu soczewek - zbierających i rozpraszających, często różniących się również rodzajem i gatunkiem szkła.

W zależności od tego, czy przyrządy te są przeznaczone do badań wyłącznie wizualnych, wyłącznie fotograficznych czy też mieszanych, stosuje się układy chromatyczne dla różnie dobranych długości fal. W przyrządach przeznaczonych do obserwacji wizualnej, np. w mikroskopie, tak dobieramy układ soczewek, aby był achromatyczny dla długości fali z dziedziny czerwonej i niebieskiej widma. Zniwelowanie aberracji dla tych barw, daje w tym przypadku ogólnie dobry efekt, gdyż aberracja chromatyczna dla pozostałych barw widma między czerwoną i niebieską jest nieznaczna. A właśnie na te barwy oko ludzkie jest najbardziej czułe. Więcej zabiegów wymaga usunięcie wady w przypadku aparatów fotograficznych, gdyż klisza jest z kolei bardzo czułą na promieniowanie fioletowe i niebieskie. Natomiast dla przyrządów opartych na obserwacji wizualnej i fotograficznej musimy wypośrodkować obszar największej czułości zarówno oka jaki i kliszy - czyli dążymy do achromatyzacji głównie fali żółtej i fioletowej widma.

Zjawiska atmosferyczne

Optyczne zjawiska w atmosferze ziemskiej, zjawiska wywołane rozproszeniem, odbiciem, załamaniem i rozszczepieniem promieniowania elektromagnetycznego na gazowych składnikach powietrza, aerozolu atmosferycznych, kroplach wody i kryształach lodu, a także zakrzywianiem się drogi światła przy przejściu przez warstwy powietrza o różnej gęstości.

Najpowszechniej obserwowanym zjawiskiem optycznym jest niebieski kolor nieba powodowany rozpraszaniem Rayleigha (rozpraszanie na obiektach o mniejszych wymiarach niż długość fali; rozpraszanie światła), jakiemu ulega promieniowanie słoneczne (promieniowanie w atmosferze ziemskiej) na cząsteczkach gazów atmosferycznych. Najsilniej jest rozpraszane promieniowanie o najmniejszej długości fali, czyli w obszarze widzialnym — promieniowanie o barwie niebieskiej; dociera ono z różnych stron nieba do obserwatora. W miarę zniżania się Słońca nad horyzontem promieniowanie przechodzi przez coraz grubszą warstwę powietrza i w widmie promieniowania docierającego do obserwatora zmniejsza się coraz bardziej (wskutek rozpraszania) zawartość fal krótkich, a zwiększa długich (barwa tarczy słonecznej zmienia się od żółtej do pomarańczowej i czerwonej). Barwa nieba i tarczy słonecznej zależy też od ilości i rozmiarów cząstek aerozoli atmosferycznych, które pochłaniają i rozpraszają promieniowanie świetlne o większych długościach fali.

Zjawiska, które możemy jeszcze wyróżnić to: tęcza, halo, gloria, wieńce, miraż, zjawisko Brockenu.

Zadania o wykonania.

1. Opisz zjawiska atmosferyczne: tęcza, halo, gloria, wieńce, miraż, zjawisko Brockenu.
2. Konik polny o wysokości $h=5\text{cm}$ siedzi w odległości $p=20\text{ cm}$ od powierzchni zwierciadła sferycznym a) wklęsłym b) wypukłym o ogniskowej $|f|=40\text{ cm}$. Określ rodzaj, wysokość i odległość obrazu, który powstaje.

Aby określić odległość obrazu korzystamy z równania (5)

$$\frac{1}{o} = \frac{1}{f} - \frac{1}{p} = \frac{p-f}{fp} \quad o = \frac{fp}{p-f}$$

Wysokość obrazu obliczamy ze wzoru (6)

- a) $o = -40\text{ cm}$, $m = +2$, $h' = mh = 10\text{ cm}$ – obraz pozorny, prosty, powiększony 2-krotnie

b) $o = -16.7 \text{ cm}$, $m = +2/3$, $h' = mh = 3.3 \text{ cm}$ – obraz pozorny, prosty, zmniejszony 1.5 raza

3. Soczewki

Dla promieni biegnących przy osi cienkich soczewek (tzn. takich, których najgrubsza część jest cienka w porównaniu z odległością przedmiotu p i odległością obrazu o oraz z promieniami krzywizny obu powierzchni soczewek r_1 i r_2) spełniona jest zależność

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{o} = \frac{1}{f}.$$

Jest ona taka sama jak w przypadku zwierciadeł sferycznych (równanie (5)).

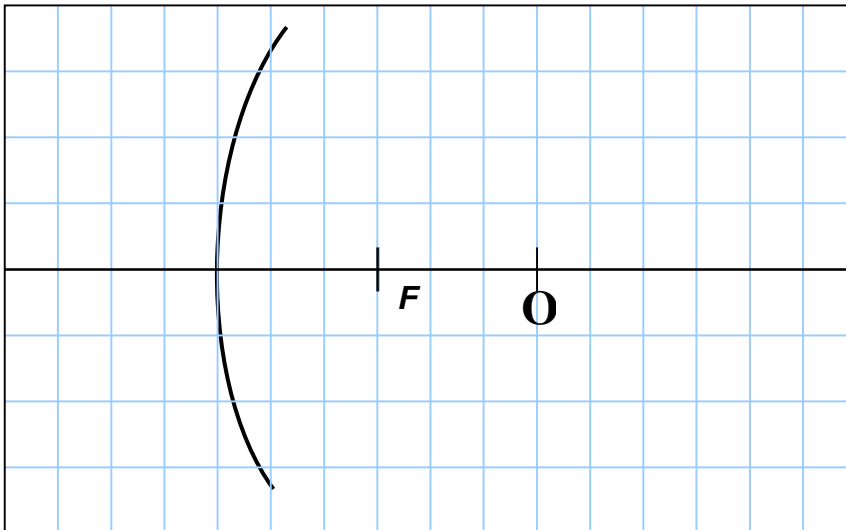
Dla cienie soczewki o współczynniku załamania n , znajdującej się w powietrzu, spełniony jest ponad to tzw. wzór szlifierzy soczewek.

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

Wykonaj samodzielnie

1) Bieg promieni w zwierciadle kulistym:

a) wklęsłym



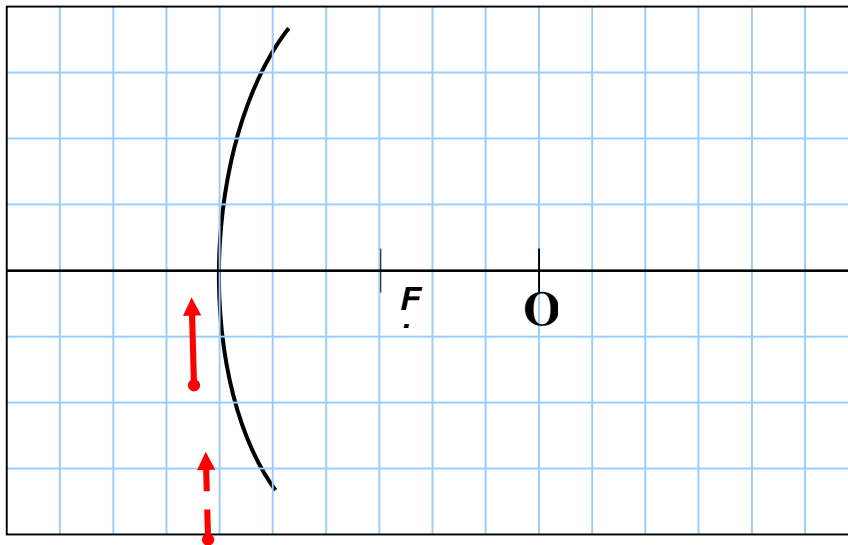
objaśnienia:

ognisko F – punkt, w którym skupiają się promienie odbite;

ogniskowa f – odległość od powierzchni zwierciadła do ogniska;

ognisko przedmiotowe oznaczamy jako F , **ognisko obrazowe** jako F'

b) wypukłym



objaśnienia:

ognisko F' – punkt, w którym skupiają się przedłużenia promieni odbitych;

linią ciągłą przedstawiane są promienie padające i odbite, przerywaną ich przedłużenia;

przedmiot rzeczywisty

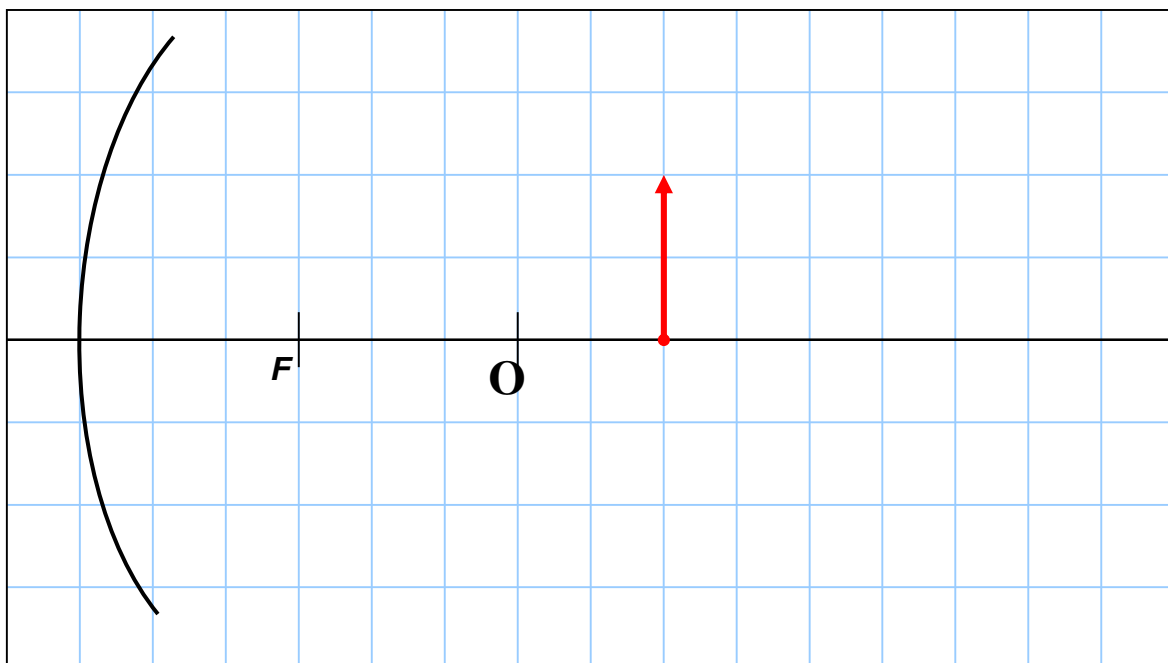
przedmiot urojony (obraz pozorny)

2) Konstrukcja obrazów w zwierciadłach wklęsłych.

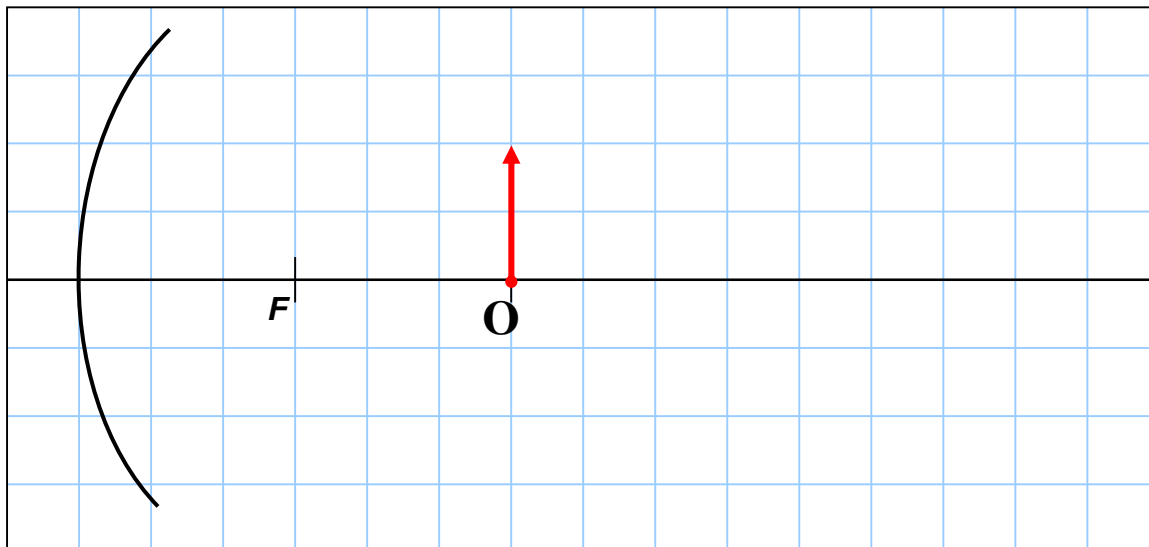
a) przedmiot umieszczony jest w odległości większej od podwójnej ogniskowej $x > 2f$

Cechy obrazu:

b)

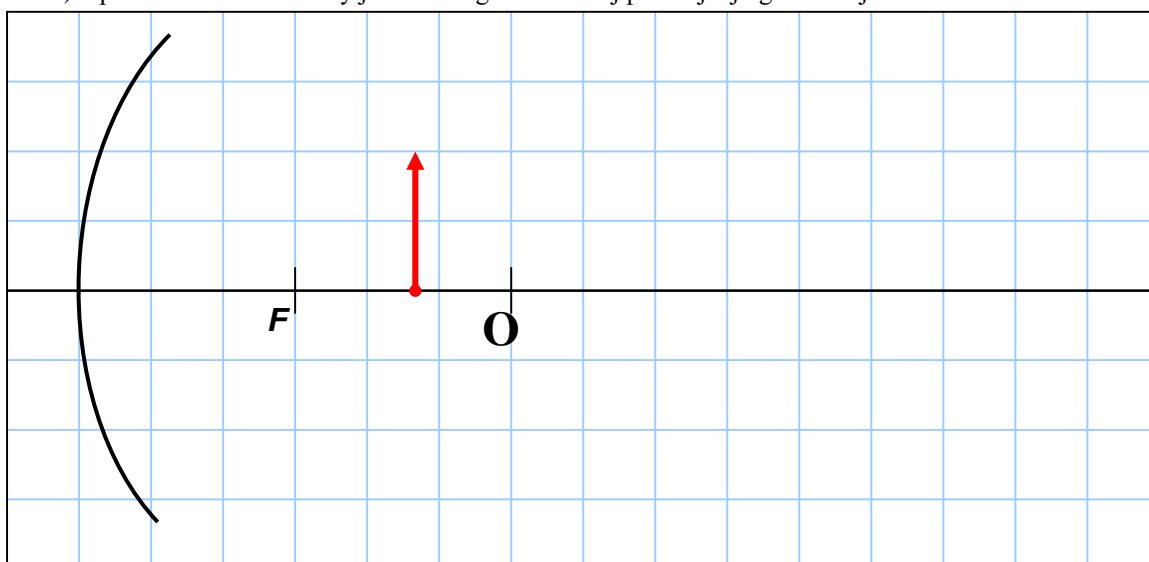


przedmiot umieszczony jest w odległości równej podwójnej ogniskowej $x = 2f$



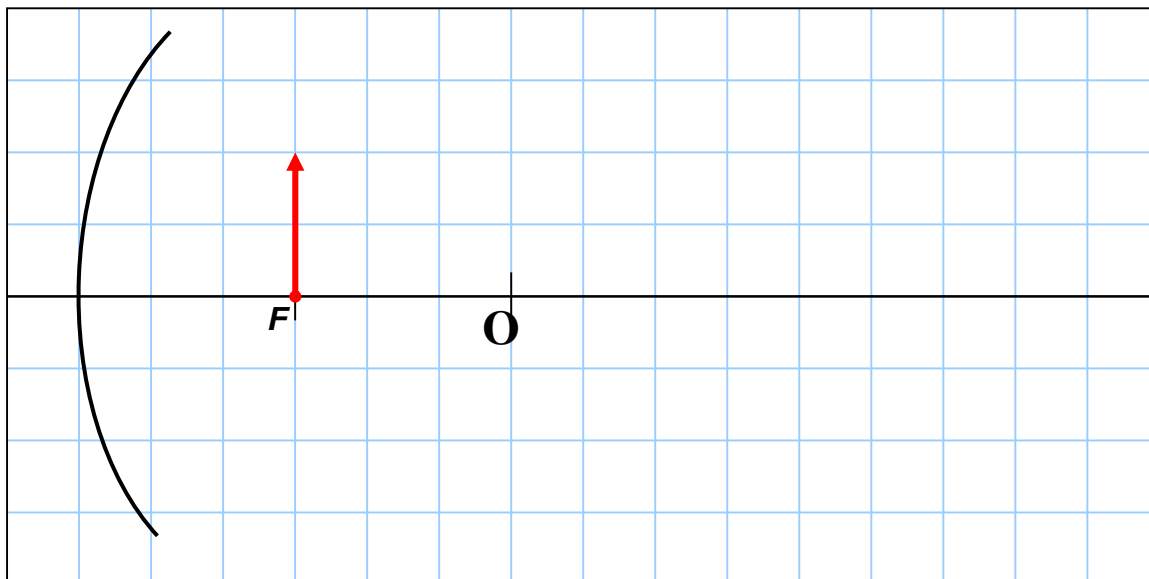
Cechy obrazu:

c) przedmiot umieszczony jest w odległości równej podwójnej ogniskowej $x < 2f$



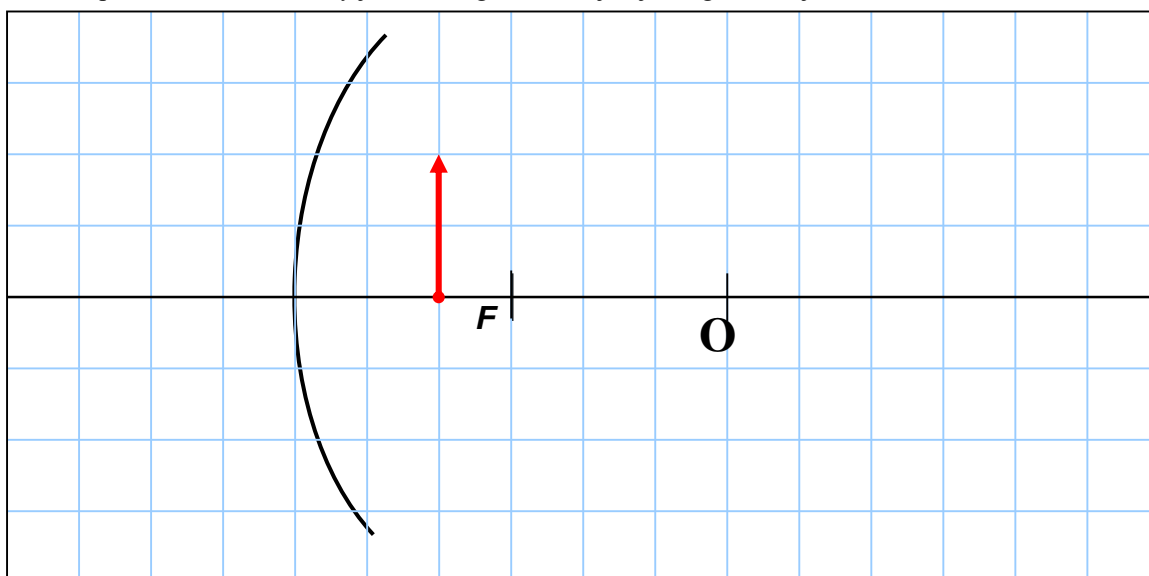
Cechy obrazu:

d) przedmiot umieszczony jest w odległości ogniskowej $x = f$



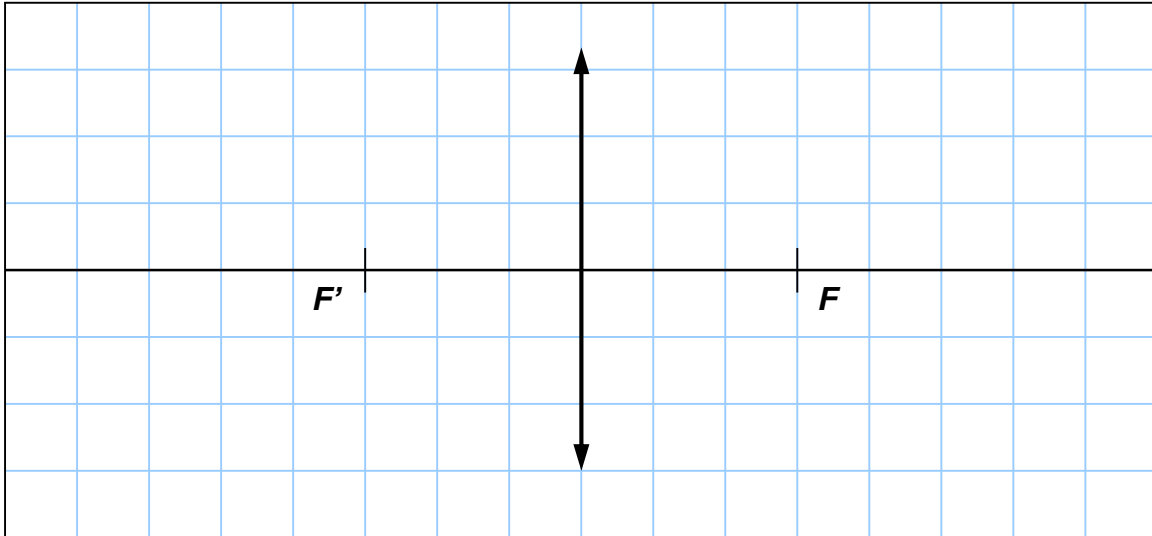
Cechy obrazu:

e) przedmiot umieszczony jest w odległości mniejszej od ogniskowej $x < f$



Cechy obrazu:

1) Bieg promieni w soczewce skupiającej.



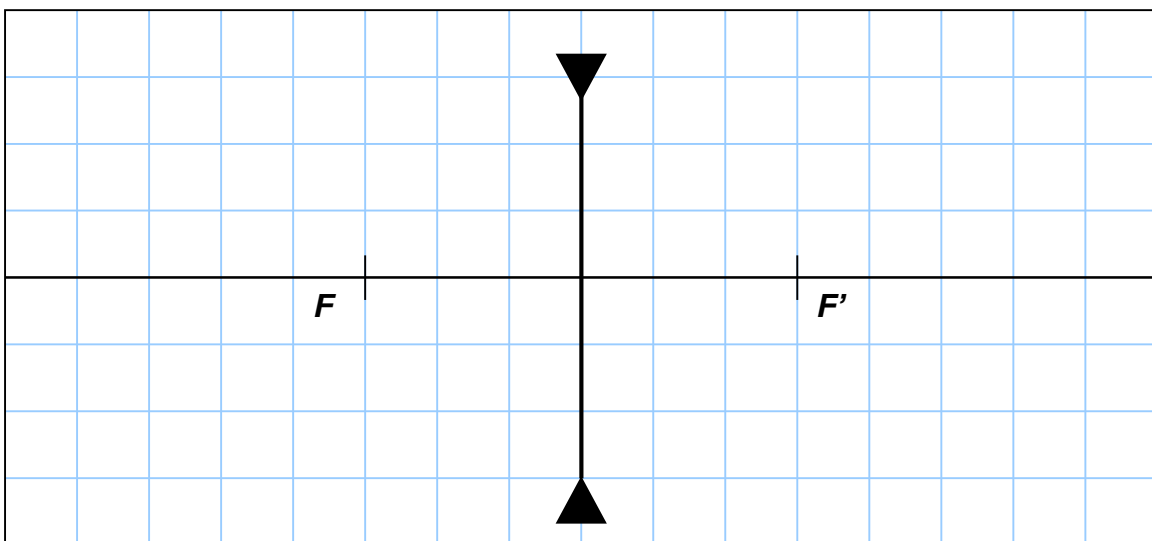
objaśnienia:

ognisko F – punkt, w którym skupiają się promienie po przejściu przez soczewkę;

ogniskowa f – odległość od powierzchni soczewki do ogniska;

ognisko rzeczywiste oznaczamy jako F , ognisko pozorne jako F'

2) Bieg promieni w soczewce rozpraszającej.



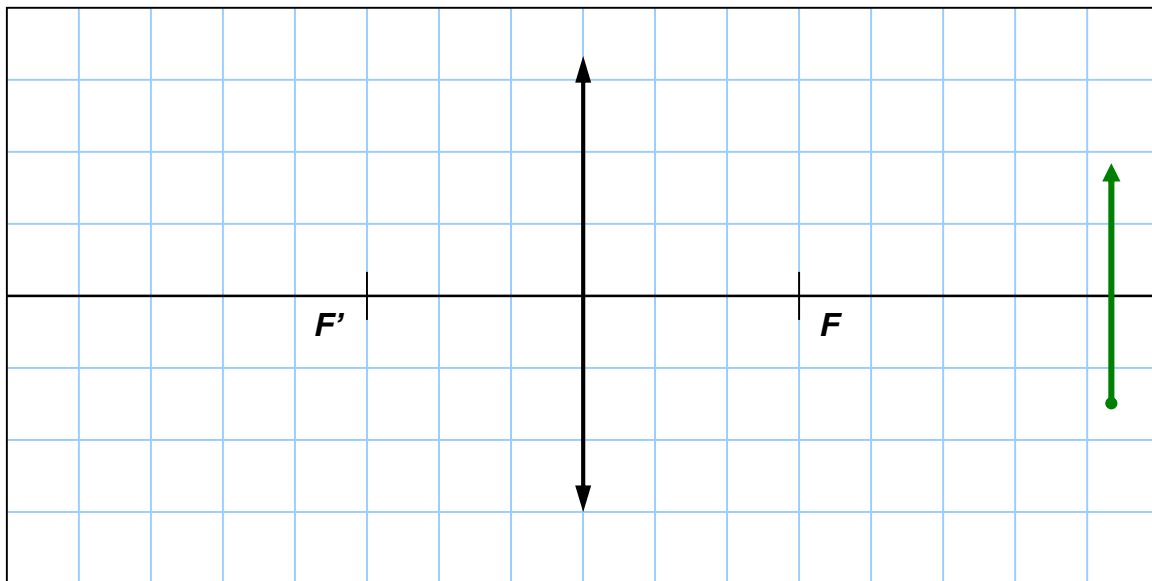
objaśnienia:

ognisko F' – punkt, w którym skupiają się przedłużenia promieni przechodzących przez soczewkę;

linią ciągłą przedstawiane są promienie padające i odbite, przerywaną ich przedłużenia;

3) Konstrukcja obrazów w soczewkach skupiających.

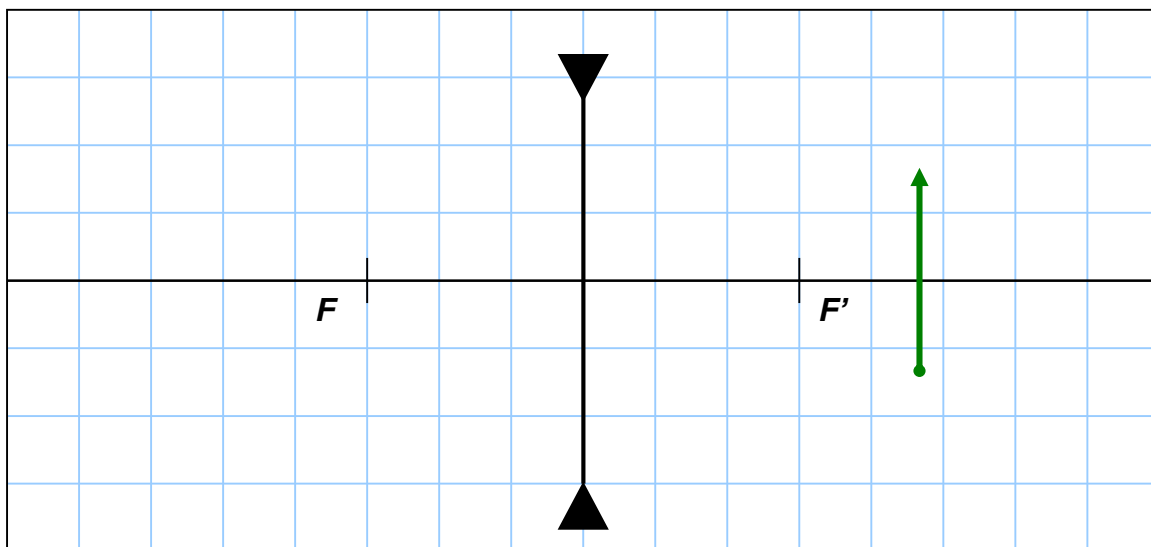
a) przedmiot umieszczony jest w odległości większej od podwójnej ogniskowej $x > 2f$



Cechy obrazu:

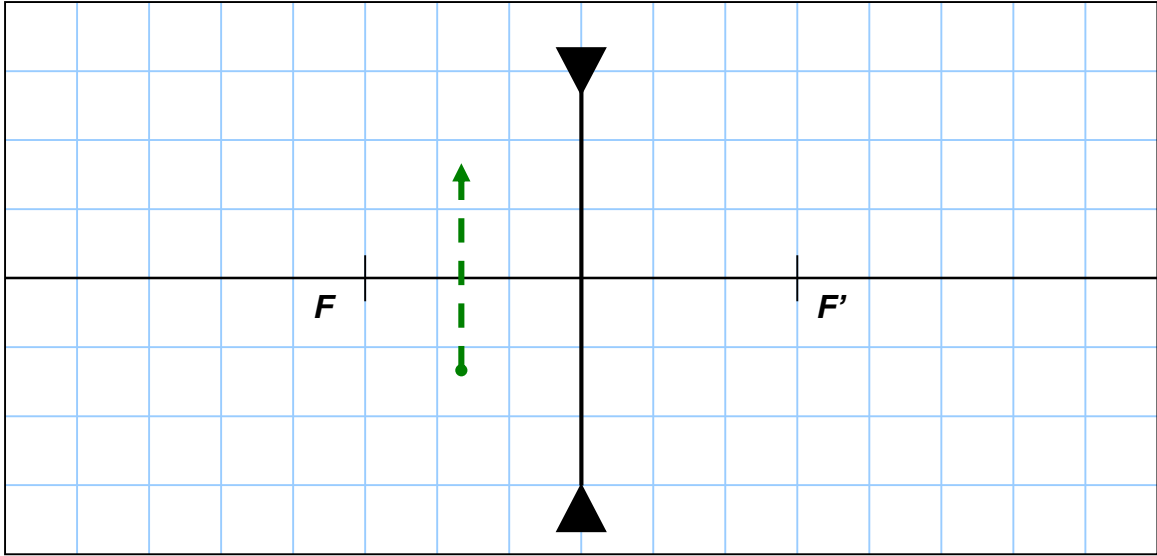
4) Konstrukcja obrazów w soczewkach rozpraszających

a) przedmiot umieszczony od wypukłej strony zwierciadła



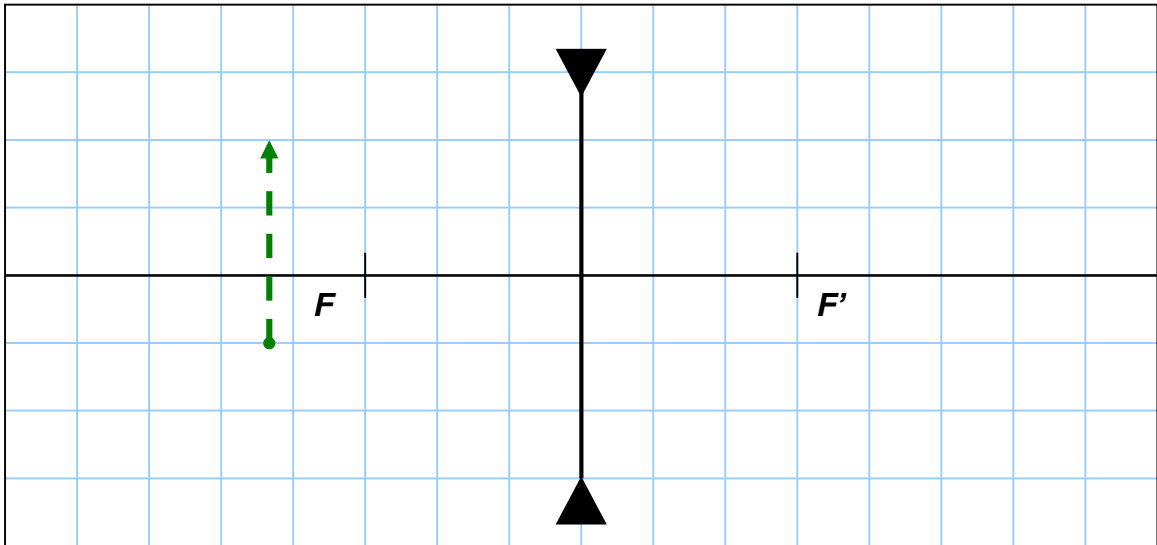
Cechy obrazu:

przedmiot jest urojony



Cechy obrazu:

b) przedmiot jest urojony



Cechy obrazu:

Material z fizyki
20.03.2021

Temat: Cząsteczkowa budowa materii. Rozszerzalność cieplna.

3) **Cel zajęć:**

- ✓ jaki jest model budowy materii;
- ✓ jakie są podstawowe założenia kinetyczno- molekularnej teorii budowy materii;
- ✓ prędkość cząsteczek zależy od temperatury;
- ✓ wyjaśnienie nazwy teorii (dlaczego molekularna, dlaczego kinetyczna);
- ✓ wyjaśnienie makroskopowe właściwości ciał stałych, cieczy i gazów na podstawie ich budowy mikroskopowej;
- ✓ wybrane zjawisko fizyczne np. dyfuzję, ściśliwość, w różnych aspektach;
- ✓ podać przykłady zjawisk potwierdzających słuszność kinetyczno- molekularnej teorii budowy materii;
- ✓ zjawisko przewodnictwa cieplnego.
- ✓ wykorzystanie izolatorów i przewodników cieplnych.
- ✓ zjawisko rozszerzalności temperaturowej ciał stałych, cieczy i gazów

4) **Material do przeanalizowania:**

Teoria kinetyczna gazu (nazywana też **teorią kinetyczno-molekularną** albo **kinetyczno-cząsteczkową**) jest stosowana do układu cząsteczek określonego w mikroskopowej definicji gazu doskonałego i pozwala łączyć kinematyczne wielkości dotyczące pojedynczych cząsteczek gazu z termodynamicznymi parametrami takimi jak ciśnienie czy temperatura.

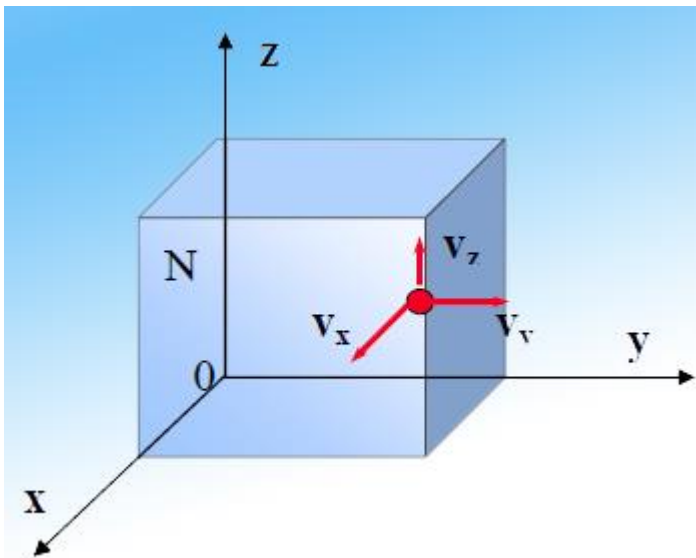
Założenia teorii:

- wszystkie ciała składają się w cząstek, których rozmiary można pominąć,
- cząstki znajdują się w nieprzerwanym, chaotycznym ruchu,
- cząstki oddziałują na siebie poprzez zderzenia sprężyste, a między zderzeniami poruszają się zgodnie z zasadami dynamiki Newtona,
- całkowita energia ciała jest sumą energii kinetycznej, potencjalnej i wewnętrznej tego ciała

Model gazu doskonałego - duża liczba jednakowych sprężystych kulek, o znikomo małych rozmiarach, poruszających się chaotycznie w zamkniętych w naczyniu - ma zastosowanie do opisu własności każdego w gazów rzeczywistych, ale dostatecznie rozrzedzonego.

Średnia odległość międzycząsteczkowa musi być w tym stanie znacznie większa od zasięgu sił wzajemnego oddziaływania. Najłatwiej spełnić to dla gazów szlachetnych, np. He, Ne, Ar.

W teorii tej przekazywanie energii na poziomie mikroskopowym (przepływ ciepła) związane jest w wzajemnych zderzeniach tych cząsteczek. Im szybciej poruszają się cząsteczki danego układu, tym większa jest temperatura ciała.



Gaz - to zespół wielu cząsteczek (punktów materialnych) poruszających się chaotycznie, zderzających się ze sobą i ze ściankami naczynia. W trakcie zderzeń ze ściankami zmienia się wektor prędkości cząsteczek.

W naczyniu w kształcie sześcianu o krawędzi a znajduje się w nieustannym nieuporządkowanym ruchu N jednakowych cząsteczek gazu. Chaotyczny ruch cząsteczek można zastąpić ruchem, w którym po $1/3N$ cząsteczek porusza się prostopadle do każdej pary ścian równoległych. I tak, dla jednej w tych cząsteczek poruszającej się poziomo zderzenia ze ścianą sześcianu będą następowały w stałych odstępach czasu:

$$\tau = \frac{2a}{v_i}$$

W trakcie zderzenia pęd cząsteczki zmienia znak, zatem bezwzględna wartość zmiany pędu przy każdym zderzeniu wynosi:

$$\Delta p = mv_i - (-mv_i) = 2mv_i$$

gdzie m jest masą cząsteczki. Zmiana ta następuje pod wpływem siły oddziaływania ścianki na rozważaną cząsteczkę, przy czym zgodnie z drugą zasadą dynamiki:

$$dp = F(t)dt$$

Cząsteczka uderza w wybraną ściankę w stałych odstępach czasu. Można założyć, że działa niezmienna w czasie, średnia siła powodująca w tym samym czasie taki sam przyrost pędu:

$$\Delta p = F_i \tau$$

Stąd średnia siła oddziaływania jednej cząsteczki na ściankę naczynia:

$$F_i = \frac{\Delta p}{\tau} = \frac{mv_i^2}{a}$$

Średnia siła oddziaływania cząsteczek na tę ścianę:

$$F = \frac{Nm}{3a} v_{sr}^2$$

gdzie v_{sr}^2 jest średnim kwadratem prędkości cząsteczek gazu.
Ciśnienie wywierane przez gaz na ściankę sześcianu jest równe:

$$p = \frac{F}{a^2} = \frac{Nm}{3a^3} v_{sr}^2 = \frac{1}{3} \frac{Nm}{V} v_{sr}^2$$

Oznaczając gęstość liczbową gazu $n=N/V$ otrzymuje się podstawowe równanie teorii kinetyczno-molekularnej gazów:

$$p = \frac{1}{3} nm v_{sr}^2$$

lub

$$p = \frac{2}{3} NE_{sr}$$

jeśli założy się, że średnia energia kinetyczna cząsteczek gazu określona jest zależnością:

$$E_{sr} = \frac{1}{2} mv_{sr}^2$$

Po porównaniu równania określającego ciśnienie w równaniem stanu gazu doskonałego otrzymuje się:

$$E_{sr} = \frac{3}{2} kT$$

Widać, że temperatura jest miarą średniej energii kinetycznej cząsteczek gazu i że **energia cząsteczek gazu zależy wyłącznie od temperatury**. Jest to podstawowy wynik kinetycznej teorii gazu doskonałego.

Powyższe równania wiążą parametry opisujące stan gazu (p, V, T) z wielkościami opisującymi stan jego cząsteczek (średnia energia, średni kwadrat prędkości).

Dla scharakteryzowania położenia obiektu w przestrzeni wprowadza się **liczbę stopni swobody**, tj., liczbę niezależnych współrzędnych jednoznacznie opisujących położenie tego obiektu w przestrzeni.

Można udowodnić, że na każdy stopień swobody przypada jednakowa średnia energia kinetyczna:

$$E_{sr} = \frac{1}{2} kT$$

Jest to, tzw. **zasada ekwipartycji energii**, która głosi, że średnia energia przypadająca na każdy stopień swobody jest taka sama.

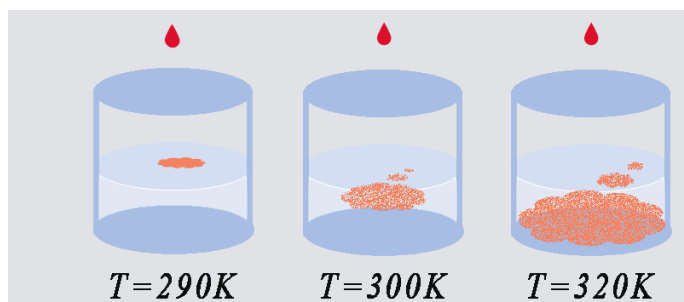
Wynika stąd, że średnia energia kinetyczna o z stopniach swobody wyraża się wzorem:

$$E_{sr} = \frac{z}{2} kT$$

Dla gazu doskonałego cząsteczka:

- **jednoatomowa** ma trzy stopnie swobody, tj. $z=3$ (położenie punktu w przestrzeni opisuje się trzema współrzędnymi),
- **dwuatomowa** ma pięć stopni swobody, tj. $z=5$ (ustalenie położenia jednego atomu wymaga trzech współrzędnych, drugi wówczas może leżeć na powierzchni kuli o promieniu równym odległości międzyatomowej, a więc jego lokalizacja wymaga dodatkowo dwu współrzędnych),
- **trójatomowa**, tj. $z=6$ (przy założeniu, że atomy nie leżą na jednej prostej) ma sześć stopni swobody (ustalenie położenia dwu w trzech atomów wymaga pięciu stopni swobody, trzeci atom może wówczas leżeć na obwodzie okręgu, którego osią symetrii jest prosta łącząca dwa pierwsze atomy, jego lokalizacja wymaga dodatkowa jednej współrzędnej),

- **wieloatomowa** złożona w większej liczby atomów niż trzy mają również sześć stopni swobody, ponieważ ustalenie położenia trzech w dowolnej liczby sztywno związanych ze sobą punktów ustala położenie całego układu.



Dowodem cząsteczkowej budowy materii są **ruchy Browna**, czyli chaotyczne ruchy cząsteczek w gazie (lub cieczy), wywołane zderzeniami pomiędzy cząsteczkami. W pokazanym przykładzie w gorącej wodzie barwnik rozprzestrzenił się bardzo szybko i opadał na dno. W temperaturze pokojowej wymaga to dłuższego czasu. W szklance w zimną wodą ruch jest znacznie wolniejszy.

Gaz doskonały

Opis makroskopowy (fenomenologiczny)	Opis mikroskopowy lub kinetyczno-molekularny
<p>Gaz spełniający łącznie prawa Boyle'a-Mariotte'a, Gay-Lussaca i Charlesa, czyli gaz, dla którego możemy zapisać zależność:</p> $\frac{pV}{T} = \text{const.}$ <p>Definicja ta określa związek pomiędzy parametrami termodynamicznymi gazu. Jest to tzw. równanie stanu gazu doskonałego.</p>	<p>Gaz doskonały to zespół cząsteczek o szczególnych własnościach:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Cząsteczki traktować można jak punkty materialne. Łączna objętość wszystkich cząsteczek gazu jest, więc pomijalnie mała. 2. Odległości pomiędzy sąsiednimi cząsteczkami są względnie duże. 3. Cząsteczki gazu mają identyczną masę. 4. Cząsteczki podlegają prawom mechaniki Newtona. 5. Całkowita liczba cząsteczek jest bardzo duża. 6. Cząsteczki poruszają się chaotycznie we wszystkich kierunkach, zderzają się ze ściankami naczynia i ze sobą nawzajem; o zachowaniu gazu w skali makro decydują średnie wartości całego zespołu. 7. Cząsteczki zdarzają się ze sobą sprężyste, wymieniają pęd bez strat energii.

8. Poza momentami zderzeń cząsteczki nie oddziałują ze sobą, a czas trwania tych zderzeń jest pomijalnie mały. Zakładamy tym samym mały - w porównaniu z rozmiarami cząsteczek - zasięg sił oddziaływania międzycząsteczkowego. Oznacza to że pomiędzy zderzeniami cząsteczki poruszają się ruchem jednostajnym prostoliniowym.

$$pV = \frac{2}{3} N E_{sr}$$

Równanie stanu gazu doskonałego, lub **równanie Clapeyrona** jest określone następującą zależnością:

$$pV = nRT$$

$$pV = \frac{m}{M} RT$$

gdzie:

p - ciśnienie gazu,

V - objętość gazu,

m - masa gazu,

M - masa cząsteczkowa,

R - uniwersalna stała gazowa,

T - temperatura termodynamiczna.

Równanie stanu pozwala znaleźć wartość jednego z parametrów układu, gdy znane są pozostałe. Zawsze można je zapisać w ogólnej postaci:

$$f(p, V, T) = 0$$

co w przypadku gazu doskonałego daje:

$$pV - nRT = 0$$

Do doświadczalnego określenia równania stanu służy termometr gazowy o stałej objętości.

Przykład

Objętość 1m^3 powietrza o temperaturze 300K została ogrzana do temperatury 600K w taki sposób, że ciśnienie powietrza nie zmieniło się. Jaka jest końcowa objętość powietrza? Dla stanu początkowego i końcowego można zastosować równanie stanu:

$$\frac{pV_1}{T_1} = \frac{pV_2}{T_2}$$

stąd

$$V_2 = V_1 \frac{T_2}{T_1} = 1\text{m}^3 \frac{600\text{K}}{300\text{K}} = 2\text{m}^3$$

Po ogrzaniu objętość powietrza wzrosła do wartości 2m^3 .

Dalsza część treści lekcji.

1. Substancje występują w trzech stanach skupienia: stałym, ciekłym i gazowym.
2. Materia zbudowana jest z cząsteczek (molekuł) różnie ułożonych i znajdujących się w różnych odległościach.
3. Między molekułami występują oddziaływania międzycząsteczkowe, które zależą od rodzaju substancji i stanu skupienia.
4. Cząsteczki są w ciągłym ruchu.
5. Ruch jest chaotyczny.
6. Prędkość cząsteczek zależy od temperatury.

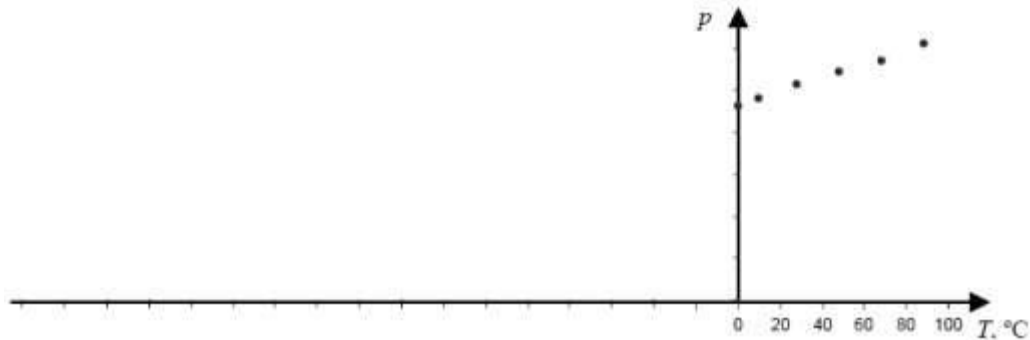
ZJAWISKO	WYJAŚNIENIE ZJAWISKA
Rozpuszczanie	Rozpuszczanie jest możliwe, ponieważ substancje zbudowane są z cząsteczek (ciała stałe-cząsteczki o bardzo małych rozmiarach).
Mieszanie cieczy, któremu towarzyszy zmniejszenie objętości.	Cząsteczki cieczy są różne i znajdują się w różnej odległości.
Dyfuzja	Wszystkie ciała niezależnie od stanu skupienia są zbudowane z cząsteczek znajdujących się w nieustannym, chaotycznym ruchu.
Spójność ciał stałych i zjawisko przylegania/menisk cieczy/.	Między drobinami występują oddziaływania o różnej sile.

Materiał dotyczący rozszerzalności cieplnej znajduje się pod adresem:

<https://epodreczniki.pl/a/rozszerzalnosc-temperaturowa-substancji/DBpBdpPJy>

Zadania do wykonania:

- Chaotyczny ruch cząsteczek objawia się w zjawisku:
 - dyspersji
 - dysplazji
 - dyslokacji
 - dyfuzji
- Tlen zamknięty w butli stalowej ma temperaturę 15 °C. Aby ciśnienie wewnątrz butli wzrosło dwukrotnie należy go podgrzać do temperatury
 - 576 °C,
 - 303 °C,
 - 288 °C,
 - 530 °C.
- Uczniowie podgrzewali gaz w zbiorniku o stałej objętości, mierzyli ciśnienie gazu oraz jego temperaturę i zaznaczyli na poniższym wykresie punkty pomiarowe.



Nauczyciel powiedział, że taki wykres pozwala wyznaczyć temperaturę zera bezwzględnego w stopniach Celsjusza.

Opisz postępowanie prowadzące do tego celu, uzasadnij je na podstawie praw gazu doskonałego i wyznacz z wykresu przybliżoną wartość temperatury 0 K w skali Celsjusza

- Przebywanie w mroźne dni na otwartej przestrzeni może powodować szybką utratę ciepła z organizmu, szczególnie z nieosłoniętych części ciała. Jeżeli dodatkowo wieje wiatr, wychłodzenie następuje szybciej, tak jak gdyby panowała niższa niż w rzeczywistości temperatura, zwana dalej *temperaturą odczuwalną*. W poniższej tabeli przedstawiono wartości rzeczywistych oraz odczuwalnych temperatur dla różnych wartości prędkości wiatru.

Prędkość wiatru w (km/h)	Rzeczywista temperatura w (°C)							
	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45
	Temperatura odczuwalna w (°C)							
10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
20	-20	-25	-35	-40	-45	-50	-55	-60
30	-25	-30	-40	-45	-50	-60	-65	-70
40	-30	-35	-45	-50	-60	-65	-70	-75
50	-35	-40	-50	-55	-65	-70	-75	-80

a) (1 pkt)

Odczytaj z tabeli i zapisz, jaką temperaturę będą odczuwać w bezwietrzny dzień uczestnicy kuligu jadącego z prędkością o wartości (20 km/h) (co jest równoważne wiatrowi wiejącemu z prędkością o wartości (20 km/h)), jeżeli rzeczywista

temperatura powietrza wynosi -15°C

Informacja do zadania b) i c)

Za niebezpieczną temperaturę dla odkrytych części ludzkiego ciała uważa się temperaturę odczuwalną równą -60°C i niższą.

b) (2 pkt)

Podaj, przy jakich **wartościach** prędkości wiatru rzeczywista temperatura powietrza równa -30°C jest niebezpieczna dla odkrytych części ciała stojącego człowieka.

c) (2 pkt)

Analizując tabelę i **wykonywając oraz zapisując konieczne obliczenia**, oszacuj minimalną wartość prędkości wiatru w temperaturze rzeczywistej równej -40°C przy której odczuwalna temperatura zaczyna być niebezpieczna dla stojącego człowieka.

d) (5 pkt)

Naszkiecuj w jednym układzie współrzędnych wykresy zależności temperatury odczuwalnej od wartości prędkości wiatru dla temperatury rzeczywistej -15°C oraz -40°C . Oznacz oba wykresy.

e) (2 pkt)

Przy braku wiatru temperatura odczuwalna może być nieco wyższa niż rzeczywista, jeśli człowiek nie wykonuje żadnych ruchów. Wyjaśnij tę pozorną sprzeczność. Uwzględnij fakt, że ludzkie ciało emituje ciepło.