



Patent dodatkowy
do patentu

Kl. 42h, 1/01

Zgłoszono: 04.V.1965 (P 108 667)

Pierwszeństwo: 06.V.1964 Francja

MKP G02b 5/14

Opublikowano: 31.X.1972

Twórca wynalazku: Pierre Malifaud

Właściciel patentu: C. Jacobsen, & Cie, Paryż (Francja)

Optyczne urządzenie skupiające

Wynalazek dotyczy optycznego urządzenia skupiającego, umożliwiającego uzyskanie maksymalnego napromieniowania wrażliwego elementu odbiornika promieniowania.

Odbiornik promieniowania jest to urządzenie, które umożliwia odbieranie i transformowanie strumienia promieniowania elektromagnetycznego o dowolnej długości fali, w celu detekowania, mierzenia lub rejestrowania tego promieniowania albo w celu użytkowania energii, którą przenosi.

Odbiornik zawiera czołowy element optyczny, który odbiera promieniowanie, przekazuje je i najczęściej skupia, element wrażliwy, który odbiera promieniowanie i transformuje energię, oraz w wielu przypadkach zawiera urządzenia wzmacniające, selekcyjne, odtwarzające itd.

Badania mające na celu ulepszenie elementów wrażliwych oraz elementów elektronicznych, które są z nimi związane, są posunięte daleko, natomiast pomijając fotografię i piece słoneczne nie zwrócono dotychczas wystarczającej uwagi na używane w odbiornikach czołowe elementy optyczne. Ważna przede wszystkim dla efektywności odbiornika jest ilość dającego się użytkować promieniowania na jednostkę powierzchni wrażliwej, to znaczy napromieniowanie odbierane przez tę wrażliwą powierzchnię.

Korzyść ze zwiększenia tego napromieniowania jest tym większa, im intensywność rozporządzanego promieniowania jest mniejsza. Takim przypadkiem jest na przykład detekcja promieniowania podczerwonego, emi-

2
towanego przez przedmioty i istoty ludzkie, tak we dnie, jak i w nocy, albo też detekcja oddalonego pocisku przez głowicę poszukującą lub też widzenie lub fotografowanie w nocy, użytkowanie zwłaszcza na terenie działań wojсковych, nocą, elektronowych przetworników obrazu lub wzmacniaczy jasności. Jak największe skupienie promieniowania jest również konieczne wówczas, gdy wynik zależy bezpośrednio od napromieniowania użytkowanego na elemencie wrażliwym na przykład w przypadku pieca słonecznego lub urządzeń wykorzystujących emulsję fotograficzną. Podobnym przypadkiem jest zagadnienie gdy występuje ograniczenie mocy emitowanej lub wymiarów zewnętrznych, tak jak na przykład dla ciągłego wzbudzania lasera.

15 W znanych odbiornikach do odbierania i skupiania strumieni promieniowań stosowano przede wszystkim układy skupiające, zawierające soczewki, odbłyśniki, a nieraz dioptry. W praktyce otwór względny tych układów, który bezpośrednio warunkuje uzyskane oświetlenie, jest ograniczony ze względów na ich rozmiary i koszt własny. Poza tym tego rodzaju urządzenie na ogół nie nadają się do stosowania immersji optycznej, tego klasycznego środka zwiększania efektu skupiania. Z tych dwóch względów ich skuteczność pozostaje znacznie poniżej maksymalnych możliwości osiągalnych teoretycznie zgodnie z prawami optyki i termodynamiki.

25 Te maksymalne możliwości zależą ostatecznie od zależności nazywanej zależnością Clausiusa, wyrażającej zachowanie rozpiętości geometrycznej elementarnej wiązki promieniowania podczas dowolnego transformowania

optycznego oraz mieszczącej w sobie zasadę zachowania luminancji. Z zależności tej wynika, że jeżeli źródło promieniowania o oporze promieniowania R jest umieszczone w powietrzu, to napromieniowanie, jakie można uzyskać przy skupianiu promieniowania źródła na elemencie wrażliwym odbiornika umieszczonego w ośrodku o współczynniku załamania n , jest co najwyżej równe oporowi R pomnożonemu przez n^2 :

$$E \leq n^2 R$$

Przy całkowaniu zależności Clausiusa, w warunkach zapewniających maksymalne skupianie strumienia promieniowania, uzyskanie maksymalnego, granicznego napromieniowania zależy od znanej zależności sinusowej Abbego, która w optyce wyznacza aplanatyzm. Wyjaśniamy to dla czego astygmatyczne układy, zwłaszcza pochłaniacze stożkowe promieniowania, które dotychczas próbowano doświadczać, dają mierne wyniki zwiększając rozpiętość geometryczną odbieranych wiązek i wywołując w ten sposób znaczne systematyczne straty skupiania.

Można więc stosować tradycyjne układy stygmatyczne z soczewkami i odbłyśnikami o których wiadomo, że mają ograniczony praktycznie otwór użyteczny, albo też stosować układy astygmatyczne jak stożki i kolektory promieniowania, dające, w obecnym stanie techniki, średnie wyniki.

Celem niniejszego wynalazku jest uzyskanie maksymalnego skupienia strumienia promieniowania najbardziej praktycznie korzystnego. Zadanie prowadzące do tego celu polega na opracowaniu nowego typu optycznego urządzenia skupiającego, które umożliwia uzyskiwanie maksymalnego napromieniowania wrażliwego elementu odbiornika tego promieniowania.

Zadanie to rozwiązane zostało dzięki temu, że optyczne urządzenie składa się z czołowego optycznego układu skupiającego o otworze względnym $\frac{1}{N}$, który odbiera strumień promieniowania pochodzący z oddalonego źródła, umieszczonego w powietrzu i który dokonuje pierwszego skupiania tego strumienia tworząc zbieżną wiązkę, której promienie mają maksymalne pochylenie Θ_1 względem osi optycznej układu, przy czym $\sin \Theta_1$ ma wartość $\frac{1}{2N}$, ponadto zawiera co najmniej jeden odbłyśnik w kształcie ściętego stożka o małym półkacie wierzchołkowym γ rzędu co najwyżej $\frac{1}{10}$ radiana, który to stożek dokonuje drugiego skupienia promieni przez ich odbicie na swej wewnętrznej stożkowej powierzchni, a którego maksymalna czołowa prostopadła powierzchnia wejściowa strumienia ma średnicę d_1 i pokrywa się z minimalnym przekrojem wiązki skupionej przez pierwszy czołowy skupiający układ optyczny, a mała podstawa ściętego stożka połączona z wrażliwym elementem odbiornika znajduje się w płaszczyźnie, w której odbierany strumień osiąga swe maksymalne skupienie i jej przekrój prostopadły ma średnicę d_x , której wartość jest wyznaczona z wzoru:

$$\frac{d_1}{d_x} = \frac{\sin [\beta_1 + (2p' - 1)\gamma]}{\sin (\beta_1 - \gamma)} \quad (1)$$

w którym p' , maksymalna liczba odbić wewnętrznych, jakim przed swym wejściem do ściętego stożka podlega

promień tworzący z osią optyczną maksymalny kąt Θ_1 , jest określone z zależności:

$$p' = E \left[\frac{\arcsin \frac{n_2}{n_1} - \beta_1}{2\gamma} + 1 \right] \quad (2)$$

gdzie E oznacza najbliższą mniejszą liczbę całkowitą dla wyrażenia w nawiasie kwadratowym, przy czym n_1 jest współczynnikiem załamania ośrodka wewnętrznego odbłyśnika w kształcie ściętego stożka, n_2 jest współczynnikiem załamania na granicy optycznej ośrodka i elementu wrażliwego, połączonego z małą podstawą odbłyśnika w kształcie ściętego stożka, oraz β_1 jest kątem określonym z zależności:

$$\beta_1 = \arcsin \left[\frac{\sin \Theta_1}{n_1} \right] + 2\gamma \quad (3)$$

przy czym wielkości n_1 , n_2 , $\sin \Theta_1$ i $\tan \gamma$ są związane zależnością:

$$\left(\frac{1 + \sqrt{\frac{n_1^2}{n_2^2} - 1} \cdot \tan \gamma}{1 + \sqrt{\frac{n_1^2}{\sin^2 \Theta_1} - 1} \cdot \tan \gamma} \right)^2 \geq \eta \quad (4)$$

w której η przedstawia sprawność energetyczną jaką można uzyskać za pomocą urządzenia skupiającego w porównaniu z maksymalnym skupieniem absolutnym, wyznaczanym z wyrażenia:

$$\frac{n_2^2}{\sin^2 \Theta_1}$$

Korzystne jest gdy optyczne urządzenie zawiera co najmniej jeden odbłyśnik w kształcie ściętego stożka, utworzony z bidiopteru, w którym odbicia wewnętrzne są wyłącznie odbiciami całkowitymi, przy czym minimalna średnica d_x jest wyznaczona z podanych wyżej wzorów (1) oraz (3), w których liczba p' jest mniejsza lub co najmniej równa maksymalnej liczbie q całkowitych odbić, wyznaczonych z zależności:

$$q = E \left[\frac{\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{1}{n_1} + 3\gamma - \beta_1}{2\gamma} \right] \quad (5)$$

przy czym wielkości n_1 , $\sin \Theta_1$ i γ są ponadto związane zależnością:

$$\left[\frac{\cos 2\gamma + \sqrt{\frac{1}{n_1^2} - 1} \sin 2\gamma}{\cos \gamma + \sqrt{\frac{1}{\sin^2 \Theta_1} - 1} \sin \gamma} \right]^2 \geq \eta \quad (6)$$

w której η przedstawia sprawność energetyczną jaką można uzyskać za pomocą urządzenia skupiającego w porównaniu z maksymalnym absolutnym skupieniem odpowiadającym temu zespołowi, wyznaczonym z wzoru

$$\frac{n_1^2 - 1}{\sin^2 \Theta_1}$$

Optyczne urządzenie, według wynalazku, zawiera korzystnie wiązkę odbłyśników lub bidiopterów o kształ-

cie ściętego stożka, których duże czołowe powierzchnie wejściowe strumienia są umiejscowione w tej samej płaszczyźnie, przy czym powierzchnia tych zespołów pokrywa się z minimalnym przekrojem wiązki promieni skupionych przez pierwszy czołowy optyczny układ skupiający i których podstawy o minimalnej średnicy są również umiejscowione w jednej i tej samej płaszczyźnie i połączone z wrażliwym elementem odbiornika.

Odbłyśniki lub bidioperty o kształcie ściętego stożka w odmianie urządzenia są ustawione w szereg, przy czym pierwszy odbłyśnik w kształcie ściętego stożka lub pierwszy bidiopert o współczynniku załamania n_1' jest połączony dużą czołową powierzchnią wejściową strumienia o średnicy d_1 z czołowym optycznym układem skupiającym, o otworze względnym $\frac{1}{N}$ a drugi bidiopert ma współczynnik załamania n_1'' , większy niż n_1' , przy czym jego duża czołowa powierzchnia wejściowa strumienia pokrywa się z minimalnym przekrojem pierwszego odbłyśnika lub bidiopertu, a minimalny przekrój ostatniego bidiopertu, w którym odbierany strumień osiąga swe maksymalne skupienie i który jest połączony z wrażliwym elementem odbiornika, imergowanym w środowisku o współczynniku załamania n_2 , ma taką wartość d_x średnicy, że stosunek $\frac{d_1}{d_x}$ ma wartość tak bliską, jak tylko jest to możliwe, maksymalnej wartości absolutnej:

$$\frac{n_2}{\sin \Theta_1} \simeq 2 N \cdot n_2$$

W dalszym rozwiązaniu według wynalazku optyczne urządzenie zawiera co najmniej jeden odbłyśnik lub bidiopert o kształcie ściętego stożka, który ma płaszczyzny przekroju pochylone do osi pod kątem 45° , umożliwiające odchylenie się strumienia wiele razy względem siebie, tak jak w urządzeniu optycznym z pryzmatami.

W dalszej odmianie zespół optyczny zawiera ustawione w szereg: pierwszą wiązkę odbłyśników lub bidiopertów i jeden lub kilka odbłyśników lub bidiopertów wymienionych poprzednio, takich, że duża czołowa powierzchnia wejścia strumienia pierwszego z tych odbłyśników lub bidiopertów pokrywa się z zespołem minimalnych połączonych przekrojów pierwszej wiązki.

Urządzenie optyczne w dalszej odmianie zawiera wiele wiązek odbłyśników lub bidiopertów o kształcie ściętego stożka i ustawionych w szereg zgodnie z cechami znamionowymi wymienionymi poprzednio.

Optyczne urządzenie w swym dalszym rozwinięciu zawiera odbłyśniki lub bidioperty stożkowe lub konoidalne nie tworzące brył obrotowych, i to takie, że stosunek pól przekrojów płaszczyzną zawierającą oś optyczną dużej powierzchni czołowej wejścia strumienia i małej podstawy o minimalnym polu byłby we wszystkich przypadkach równy kwadratowi stosunku $\frac{d_1}{d_x}$, przy czym maksymalna liczba odbić wewnętrznych jest określana dla wartości przeznaczonej dla półkąta γ we wzdłużnym przekroju dającym największe zmniejszenie liniowe.

Wreszcie urządzenie optyczne zawiera wiązkę lub szereg wiązek odbłyśników lub bidiopertów w kształcie ściętego stożka, których pole zespołu połączonych dużych powierzchni czołowych wejścia strumienia i pole zespołu połączonych minimalnych przekrojów są do sie-

bie w stosunku poprzednio podanym $\left[\frac{d_1}{d_x} \right]^2$. Ponadto urządzenia optyczne opisane poprzednio są usytuowane równolegle, przy czym małe podstawy o minimalnym przekroju ich ostatnich odbłyśników lub bidiopertów o kształcie ściętego stożka są połączone odpowiednio za pomocą dowolnych znanych środków technicznych z każdą z dwóch powierzchni czołowych tego samego elementu wrażliwego, przy czym ten ostatni jest najkorzystniej cienką listwą.

Przedmiot wynalazku jest przedstawiony w przykładach wykonania na rysunku, na którym fig. 1—3 przedstawiają schematy geometryczne zespołów optycznych, a fig. 4—10 schematy urządzeń, w których te zespoły optyczne zostały zastosowane.

Przedstawiony na fig. 1 zespół optyczny według wynalazku zawiera pierwszy obiektyw skupiający 9 odbierający strumień promieniowania pochodzący z oddalonego, o pozornym kącie α źródła umieszczonego w powietrzu o współczynniku załamania 1, przy czym współczynniki załamania na rysunku są pokazane za pomocą cyfr lub liter umieszczonych w kółku. Obiektyw 9 o otworze względnym $\frac{1}{N}$ tworzy obraz źródła w swej płaszczyźnie ogniskowej 10. Maksymalne nachylenie Θ_1 w stosunku do osi optycznej promieni, skupionych i tworzących ten obraz, jest kątem, którego sinus ma wartość bliską $\frac{1}{2N}$.

Obliczenie lub pomiar dałyby dokładną wartość $\sin \Theta_1$ dla wprowadzenia tej wartości do wzorów. W połączeniu ze skupiającym obiektywem czołowym umieszczony jest stożek ścięty lub bidiopert o kształcie ściętego stożka 11 o niewielkim półkącie wierzchołkowym, sporządzony z materiału przezroczystego dla odbieranego promieniowania i mający współczynnik załamania n_1 .

Czołowa powierzchnia 12 wchodzenia strumienia do tego bidiopertu ma średnicę d_1 i jest tak umieszczona, że pokrywa się z obrazem utworzonym w płaszczyźnie 10 przez pierwszy obiektyw czołowy. W ten sposób całość strumienia odbieranego przez obiektyw 9 wchodzi do bidiopertu 11 a jego promienie są następnie prowadzone przez kolejne odbicia na bocznej powierzchni stożkowej, aż do prostopadłego przekroju 13 o minimalnym polu o średnicy d_x i który jest połączony z wrażliwą powierzchnią 14 odbiornika, pogrążoną w ośrodku optycznym 15 o współczynniku załamania n_2 .

Prostopadły przekrój 13 o średnicy d_x jest najmniejszym z przekrojów stożka, jaki osiągają promienie odbieranej wiązki. Wartość d_x jest określana za pomocą podanego wyżej wzoru (1). Jeżeli stożek zostałby przecięty w innym miejscu to część promieni odbieranej wiązki wróciłaby do przekroju wejściowego o średnicy d_1 , zanim osiągnęłaby przekrój minimalny. Występująca we wzorze (1) liczba p' wyraża w ten sposób maksymalną liczbę odbić wewnętrznych, jakim podlega, bez wracania z powrotem, najbardziej niekorzystny promień, którym jest promień tworzący z osią kąt Θ_1 i wchodzący do bidiopertu przy brzegu dużego przekroju 12. Wartość tej liczby p' jest dana za pomocą wzoru (2). Wprowadzenie kąta β_1 , którego wartość daje wzór (3), umożliwia uproszczenie wzorów (1) i (2).

Półkąat wierzchołkowy bidiopertu w kształcie ściętego stożka ma wartość γ , a jego związek z innymi parametrami

trami jest miarodajny dla maksymalnej sprawności energetycznej urządzenia skupiającego według wynalazku. W istocie odbłyśnik w kształcie ściętego stożka, stanowiący optyczny układ astygmatyczny, nie zachowuje geometrycznej rozpiętości odbieranych wiązek i wskutek tego staje się powodem systematycznych strat, które zostały wyliczone w funkcji wyżej określonych parametrów γ , Θ_1 , n_1 i n_2 . Rzeczywiste maksymalne skupienie uzyskane za pomocą bidiopertu i oznaczone przez C , przy uwzględnieniu wzoru (1), jest równe

$$C\gamma = \left(\frac{d_1}{d_x}\right)^2$$

Z drugiej strony okazuje się, że w tych samych warunkach maksymalne graniczne skupienie oznaczane przez C_0 jest równe:

$$C_0 = \frac{n_2^2}{\sin^2 \Theta_1}$$

To graniczne skupienie odpowiadałoby teoretycznemu przekrojowi minimalnemu dla bidiopertu o średnicy d_0 (mniejszej niż d_x) tak, że otrzymałoby się:

$$C_0 = \left(\frac{d_1}{d_0}\right)^2$$

Stosunek $\frac{C\gamma}{C_0}$ mierzy sprawność energetyczną rzeczywistego bidiopertu o kształcie ściętego stożka w porównaniu z maksymalnym granicznym skupieniem teoretycznym. Stosunek ten jest mniejszy niż 1. Jeżeli stosunek ten ma być większy lub co najmniej równy zadanemu η również jak najbardziej bliskiemu 1, w granicach zgodnych z danymi, którymi się rozporządza dla tego rodzaju rozpatrywanego odbiornika, to przeprowadzone obliczenie doprowadza, po uproszczeniach, do wzoru (4), który umożliwia skonstruowanie stożka o dużej sprawności, podczas gdy wzór (1), wyprowadzony z wzorów (2) i (3), pozwala odciąć ten stożek w miejscu jego optymalnego mniejszego przekroju skupiającego. A zatem, w zadanych warunkach, wynalazek umożliwia określenie cech znamienych najlepszego stożka odciętego w najkorzystniejszym miejscu.

Jeżeli wewnętrzne odbicia promieni na stożkowej powierzchni bocznej mają być wyłącznie odbiciami całkowitymi, to należy wprowadzić nowy parametr: graniczny kąt całkowitego odbicia ośrodka bidiopertu o współczynniku załamania n_1 , do powietrza o współczynniku załamania 1. Ten kąt jest oznaczony przez λ_{n_1} , a jego wartość, jak wiadomo, wynosi $\arcsin \frac{1}{n_1}$, wówczas ma zastosowanie wzór ogólny (1), pod warunkiem zastąpienia maksymalnej liczby odbić p' przez maksymalną liczbę odbić całkowitych q , określoną wzorem (5). Wówczas wzór (4) przyjmuje postać wzoru (6). Okazuje się, że współczynnik n_2 imersji elementu wrażliwego odbiornika nie występuje już we wzorach (5) i (6).

Warunek całkowitego odbicia narzuca w istocie maksymalną wartość współczynnika imersji. Okazuje się, że ta wartość jest równa: $\sqrt{n_1^2 - 1}$. Gdyby nawet chciało się zanurzyć element wrażliwy w ośrodek o współczynniku załamania większym niż $\sqrt{n_1^2 - 1}$, a zwłaszcza sam bidiopert o współczynniku załamania n_1 , to trzeba by było powlec warstwą odbijającą końcową powierzchnię boczną bidiopertu pomiędzy przekrojem minimalnym, któ-

rego średnica jest określona wzorem (5), a przekrojem minimalnym, którego średnica jest określona w funkcji współczynnika imersji n_2 , z wzoru (1).

Najmniejsza wartość dla współczynnika załamania n_2 wynosi 1, i w takim przypadku powierzchnia wrażliwa odbiornika jest umieszczona w powietrzu. Największą wartością współczynnika załamania jest wartość równa n_1 , i w tym przypadku powierzchnia wrażliwa jest immergowana bezpośrednio na minimalny przekrój samego bidiopertu. W tym ostatnim przypadku, jeżeli oznaczy się przez d_2 średnicę minimalnego przekroju bidiopertu, to zamiast wzorów (1), (2) i (4) otrzymuje się wzory następujące:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{\sin [\beta_1 + (2p - 1)\gamma]}{\sin (\beta_1 - \gamma)} \quad (7)$$

$$p = E \left[\frac{\frac{\pi}{2} - \beta_1}{2\gamma} + 1 \right] \quad (8)$$

$$\frac{1}{(1 + \operatorname{tg} \gamma \sqrt{\frac{n_1^2}{\sin^2 \Theta_1} - 1})^2} \geq \eta \quad (9)$$

Wzory (1), (2), (3), (5), (7) i (8) są wzorami dokładnymi to znaczy nie zawierają żadnych wartości przybliżonych. Jest więc pożyteczne ustalenie wzorów przybliżonych, zwłaszcza dla wyprowadzenia z nich wzorów podstawowych (4), (6) i (9), których postaci dokładne są zbyt skomplikowane i mało użyteczne, ponieważ stosunek η jest sam z konieczności zaokrąglony przykładowo $\eta = 0,80$ lub $\eta = 0,85$.

Pierwsze przybliżenie przeprowadza się dla przypadku, w którym maksymalna liczba odbić p' albo q , albo też p jest dość duża, to znaczy gdy półką u wierzchołka γ jest dość mały. Można zatem całkowitą liczbę odbić p' przyrównać do wartości niecałkowitej wyrażenia zawartego w nawiasach we wzorze (2). Oznaczając przez d'_x wartość przybliżoną średnicy minimalnego przekroju bidiopertu znajdziemy:

$$\frac{d_1}{d'_x} = \frac{\frac{n_2}{n_1} \cos \gamma + \sqrt{1 - \frac{n_2^2}{n_1^2} \sin \gamma}}{\sin (\beta_1 - \gamma)} \quad (10)$$

W przypadku, w którym istnieją warunki całkowitego odbicia, można maksymalną liczbę odbić q przyrównać do wartości niecałkowitej wyrażenia w nawiasach we wzorze (5). Oznaczając przez d'_4 przybliżoną wartość średnicy minimalnego przekroju bidiopertu, uzyskamy:

$$\frac{d_1}{d'_4} = \frac{\cos (\lambda_{n_1} - 2\gamma)}{\sin (\beta_1 - \gamma)} \quad (11)$$

Wreszcie, w szczególnym przypadku zanurzenia wrażliwej powierzchni odbiornika w sam bidiopert, można przyrównać maksymalną liczbę odbić p do niecałkowitej wartości wyrażenia w nawiasach we wzorze (8). Oznaczając przez d'_2 przybliżoną wartość średnicy minimalnego przekroju bidiopertu znajdziemy:

$$\frac{d_1}{d'_2} = \frac{\cos \gamma}{\sin (\beta_1 - \gamma)} \quad (12)$$

Wzory (10), (11) i (12) dają bardzo dobre przybliżenie. Okazuje się, że błędy względne występujące przy ich stosowaniu są zawsze mniejsze od $\frac{\gamma^2}{2}$, tak że nawet

przy półkacie wierzchołkowym równym $\frac{1}{10}$ radiana

błąd względny długości jest mniejszy od $\frac{1}{200}$.

Drugie przybliżenie jest przeprowadzone wówczas, gdy wartość półkątą wierzchołkowego będzie tak mała, że można ją pominąć, to znaczy gdy dąży ona do zera. Oznaczając odpowiednio przez d''_x , d''_4 , d''_2 przybliżoną wartość średnicy minimalnego przekroju bidiopertu w przypadku ogólnym, w przypadku odbicia całkowitego i w przypadku całkowitej imersji będzie:

$$\frac{d_1}{d''_x} = \frac{n_2}{\sin \Theta_1} \quad (13)$$

$$\frac{d_1}{d''_4} = \frac{\sqrt{n_1^2 - 1}}{\sin \Theta_1} \quad (14)$$

$$\frac{d_1}{d''_2} = \frac{n_1}{\sin \Theta_1} \quad (15)$$

Wzory te odpowiadają nieskończenie długim bidiopertom w kształcie ściętego stożka o nieskończenie małym kącie wierzchołkowym. W praktyce cechy te charakteryzują wystarczająco dobrze włókna optyczne, które mogą w ten sposób być zaliczone do przypadków szczególnych rozwiązań wynalazku, pod warunkiem powiązania parametrów zgodnie z podanymi wyżej wzorami.

We wszystkich tych przypadkach długość L bidiopertu w kształcie ściętego stożka, ograniczonego prostopadłymi przekrojami o średnicach d_1 , d_x wyznacza się oczywiście z wzoru:

$$L = \frac{d_1 - d_x}{2\gamma} \quad (16)$$

w którym d_x , zależnie od przypadku, ma wartość oznaczoną poprzednio przez d_x , d'_x , d''_x , d_4 , d'_4 , d''_4 , d_2 , d'_2 lub d''_2 .

W stosunku do powszechnego stosowania skupiającego układu optycznego o otworze $F/2,8$, jasność uzyskiwana teoretycznie za pomocą urządzenia skupiającego według wynalazku z imersją w powietrzu jest mniej więcej od 25 do 30 razy większa. Przy imersji w wyjątkowo gęstym szkle jest ona około 100 razy większa. Przy imersji w germanie, uzyskiwana jasność dla promieniowania podczerwonego jest od 400 do 500 razy większa niż dla otwartego układu optycznego o otworze $F/2,8$. A zatem uzyskuje się duże korzyści.

Różne wykonania przedmiotu wynalazku odpowiadają różnym przypadkom szczególnym, pozwalają uzyskać obraz permanentny, pozwalają znacznie zmniejszyć długość urządzenia, a to dzięki zastosowaniu wiązki bidiopertów w kształcie ściętego stożka, usytuowanych równolegle i podobnych do wiązek stożkowych włókien optycznych, których charakterystyki byłyby określone zgodnie z wynalazkiem. Wykonania dalsze pozwalają na zmniejszenie w inny sposób długości bidiopertów. Wówczas, zwłaszcza gdy materiał z którego są one sporządzone jest drogi lub gdy jest on materiałem absorbującym,

to umieszcza się w szereg kilka bidiopertów o kształcie ściętego stożka, sporządzonych z rozmaitych materiałów, przy czym ostatni bidiopert jest bardzo krótki i tylko on jest sporządzony z tego drogiego lub absorbującego materiału.

Wykonanie urządzenia według wynalazku przewiduje ponadto urządzenie zawierające co najmniej jeden bidiopert konoidalny o regulowanej powierzchni bocznej, łączący prostopadły przekrój kołowy wejścia strumienia z przekrojem o minimalnym polu mającym kształt wydłużony, taki jak bardzo spłaszczona elipsa lub prostokąt. Tego rodzaju konoid tworzy urządzenie skupiające wyjątkowo dobrze nadające się do wszystkich przypadków, w których ma się do dyspozycji kołowe wejście strumienia i cienkie lub prostokątne wyjście tego strumienia jak na przykład spektroskopy, urządzenia do kopiowania filmów i podobne. Wreszcie połączenie dwu urządzeń pozwala na zdublowanie efektów maksymalnego napromieniowania powierzchni wrażliwej odbiornika przez wykorzystanie tej powierzchni jednocześnie na dwóch jej stronach. Ten ostatni wariant pozwala zestawzić z niniejszym wynalazkiem taki rodzaj układu optycznego, który może działać w zakresie 4π steradianów, zamiast jak zazwyczaj 2π steradianów.

Nawiązując do fig. 2, która przedstawia urządzenie skupiające zawierające czołowy odbłyśnik kulisty 16, połączony z bidiopertem 17 w kształcie ściętego stożka o tych samych ogólnych cechach znamienych jak poprzednio. Czołowy układ skupiający może być również diopertem kulistym lub eliptycznym, spełniającym to samo zadanie co obiektyw soczewkowy. Ten czołowy układ skupiający może być wreszcie zastąpiony przez układ pozaogniskowy typu lunety lub teleskopu, w którym cały strumień odbierany na wejściu przez dużą źrenicę przechodzi na wyjściu przez małą źrenicę lub krążek okularowy nie tworząc rzeczywistego obrazu w płaszczyźnie tego krążka.

Dla wszystkich tych przypadków, w których czołowy układ optyczny jest układem skupiającym lub pozaogniskowym, został ustalony jedyny wzór służący do charakteryzowania maksymalnego teoretycznie skupienia C_0 , wymaganego od połączanego bidiopertu. Oznaczając przez N otwór względny układu czołowego, wówczas gdy jest on układem skupiającym za pomocą soczewek lub odbłyśników, lub oznaczając przez N rzeczywisty otwór układu, wówczas gdy jest on diopertem, biorąc pod uwagę imersję obrazu lub też wreszcie oznaczając tą samą literą N otwór względny równoważnego układu skupiającego to znaczy dającego tę samą redukcję źrenic, w przypadku układu pozaogniskowego czołowego, otrzymuje się:

$$C_0 = 4 N^2 n_2^2 \quad (17)$$

przy czym n_2 jest współczynnikiem imersji przyłączonego wrażliwego elementu odbiornika.

Stosunek skupienia rzeczywistego C_γ , równego $\left(\frac{d_1}{d_x}\right)^2$, to jest stosunku kwadratu maksymalnej średnicy d_1 do minimalnej średnicy d_x do granicznego skupienia C_0 jest oczywiście równy sprawności energetycznej η rzeczywistego bidiopertu:

$$\frac{C_\gamma}{C_0} = \eta$$

W celu połączenia wszystkich elementów teoretycznych, które wchodzi w grę przy pełnym wymiarowaniu urządzenia skupiającego według wynalazku, trzeba jeszcze rozwiązać zagadnienie pola ε urządzenia skupiającego, które dla przyłączonego odbiornika jest jednocześnie zagadnieniem stosunku sygnału do szumu.

Kąt α jest kątem pozornym źródła, którego promieniowanie się skupia, kąt ε jest związany z polem urządzenia skupiającego, to znaczy jest kątem największej wiązki, którą może odebrać czołowy układ optyczny i rozpatrywany bidiopter. Wtedy niezbędnym i wystarczającym warunkiem, który musi być spełniony aby skupianie było maksymalne, jest:

$$\varepsilon \leq \alpha \quad (18)$$

Jeżeli $\varepsilon < \alpha$ to nie odbiera się maksymalnego strumienia, ale uzyskane napromieniowanie jest jednak maksymalne. Jeżeli $\varepsilon > \alpha$ to odbiera się największy strumień, ale uzyskiwane napromieniowanie nie jest maksymalne. Jego wartość teoretyczna jest równa wartości maksymalnego napromieniowania podzielonego przez $\left(\frac{\alpha}{\varepsilon}\right)^2$. Stosunek sygnału do szumu zostaje zmniejszony.

Warunki optymalne zostają zrealizowane wówczas gdy: $\varepsilon = \alpha$.

Zachowanie tych optymalnych warunków, zapewniających jednocześnie odbieranie maksymalnej ilości strumienia i optymalne zachowanie stosunku sygnału do szumu, nie przedstawia trudności w następujących przypadkach. Przede wszystkim, gdy źródło jest wyraźnie określone, łatwo umiejscawiane i ma znaną średnicę pozorną, co zdarza się na przykład w większości laboratoryjnych urządzeń skupiających promieniowanie, takich jak komórki fotoelektryczne, bolometry, lub w urządzeniach skupiających energię słoneczną, w tym ostatnim przypadku wystarcza nadanie urządzeniu skupiającemu ruchu, który umożliwia mu podążanie za przesuwającym się słońcem. Następnie we wszystkich przypadkach detekcji nazywanej aktywną, przy której stosuje się promieniujący reflektor, który analizuje pewną przestrzeń za pomocą skupionej wiązki promieniowania, na ogół promieniowania podczerwonego albo o bardzo krótkich falach hercowskich. Wystarczy zatem nadać urządzeniu skupiającemu kąt pola równy kątowi wiązki analizującej oraz nadanie temu urządzeniu skupiającemu ruchu analizującego, ażeby jego oś optyczna była stale równoległa do osi urządzenia promieniującego.

Warunki użytkowania odbiornika nie są jednak tak proste. Najczęściej ma się do czynienia z wieloma źródłami promieniującymi o zmieniającym się kierunku i kącie pozornym, a pole urządzenia skupiającego powinno być mniejsze niż pole całkowite oznaczone literą Γ , w którym ma się użytkować odbiornik. Jeżeli zatem ma być zachowany poprawny stosunek sygnału do szumu, to przy realizowaniu urządzenia skupiającego według wynalazku trzeba dokonać wyboru pomiędzy wartościami dwu nowych wielkości.

W urządzeniu skupiającym stosuje się więc bądź małe pole i wyposaża się go w mechaniczne lub optyczne urządzenie analizujące typu biernego, umożliwiające eksploatowanie całkowitego pola Γ odbiornika. W tym przypadku maksymalne napromieniowanie, uzyskiwane w najmniejszym przekroju bidiopteru o kształcie ściętego stożka, zmienia się w czasie i w funkcji oporu promie-

niowania obszaru — elementarnego przedmiotu analizowanego i można uzyskać obraz na ekranie modulując jaskrawość punktów tego ekranu w funkcji zmian napromieniowania uzyskiwanych przez bidiopter. Wiadomo, że robi się to za pomocą procesów stosowanych w telewizji, zwłaszcza procesów, które pracują z jedną komórką fotoelektryczną, bez ikonoskopu, taką jak dawna kamera Nipkowa, lub też procesów, które operują obrazującymi się pryzmatami. Bądź też stosuje się zamiast jednego tylko bidiopteru wiązkę bidiopterów w układzie równoległym.

Całkowite pole zostaje zatem zwiększone bez zmieniania stosunku sygnału do szumu dla każdego bidiopteru elementarnego, pod warunkiem aby ε pola każdego z bidiopterów było mniejsze lub co najwyżej równe najmniejszemu pozornemu kątowi źródeł przeznaczonych do detekowania. W ten sposób uzyskuje się permanentny obraz lub co najmniej permanentną lokalizację źródeł i przedmiotów promieniujących do całkowitego pola Γ odbiornika. Wiązka bidiopterów może być wiązką stożkowych włókien optycznych. Włókna te tym różnią się od znanych już włókien, że ich zbieżność jest optymalna, a to umożliwia znaczne zmniejszenie ich długości, a zatem zmniejszenie a nawet zlikwidowanie absorpcji. Ten drugi wariant odpowiada schematowi przedstawionemu na fig. 3.

Obiektów soczewkowy **24** odbiera w polu Γ strumień promieniowania i pierwszy raz skupia go w obraz o średnicy e_1 w swej płaszczyźnie ogniskowej **25**, w położeniu pokrywającym się z tym obrazem jest umieszczony zespół dużych powierzchni czołowych dla wejścia strumienia, zestawionych z wiązki **26** elementarnych bidiopterów w kształcie ściętego stożka, takich jak diopter elementarny **27**. Przez d_1 oznaczono średnicę dużej powierzchni czołowej wejścia strumienia diopteru elementarnego, przez d_x średnicę jego przekroju minimalnego i przez e_x średnicę zespołu połączonych przekrojów minimalnych elementarnych diopterów. Pole jednego tylko z tych diopterów jest oznaczone przez ε . Mamy wówczas zależność:

$$\frac{\varepsilon}{\Gamma} = \frac{d_1}{e_1}$$

Jeżeli α jest pozornym kątem najmniejszego ze źródeł, których promieniowanie ma się skupiać, to wówczas wystarczy ustalić $\varepsilon \leq \alpha$, aby określić urządzenie skupiające, którego pole całkowite jest równe Γ i które w najlepszych warunkach stosunku sygnału do szumu daje obraz maksymalnej jasności o średnicy e_x i o zdolności rozdzielczej równej ε .

Podany wyżej pierwszy wariant, w którym zastosowano jeden tylko bidiopter o polu ε , połączony z układem analizującym, na przedstawionym na fig. 3 schemacie, odpowiada jednemu tylko osiowemu diopterowi elementarnemu **28**, którego duża powierzchnia czołowa **29** wejścia strumienia pokrywa się z obrazem tylko części pola przedmiotowego o pozornym kącie ε . Analizator, nie pokazany na rysunku, przesuwają kolejno po tej czołowej powierzchni **29** elementarne obrazy o polu ε , przesuwając systematycznie całe pole Γ .

Po ustaleniu wszystkich elementów teoretycznych, umożliwiających scharakteryzowanie urządzenia skupiającego według wynalazku, pozostaje zdefiniowanie połączenia tego urządzenia skupiającego z elementem wra-

żliwym odbiornika. Element ten występuje najczęściej pod postacią powierzchni wrażliwej, cienkiej płytki albo też taśmy.

Wrażliwa powierzchnia odbiornika powinna prawie pokrywać się z powierzchnią minimalnego przekroju bidioperty o kształcie ściętego stożka, w którym jest używane maksymalne skupienie, jednocześnie powinna pokrywać się odnośnie kształtu, krzywizny i wymiarów. W przypadku gdy płaska powierzchnia wrażliwa jest kołem, to jego średnica powinna być równa średnicy d_x minimalnego przekroju bidioperty. Jeżeli powierzchnia wrażliwa nie ma kształtu koła lub jeżeli nie jest płaska, to przekrój minimalny bidioperty jest ukształtowany w taki sposób, aby jak najściślej pokrywał się z tą powierzchnią wrażliwą.

Powierzchnia wrażliwa może być imergowana bądź bezpośrednio na minimalny przekrój bidioperty bądź też za pośrednictwem cienkiej warstwy lub błony z substancji pośredniczącej. Jest to na przykład potrzebne w przypadku bolometru o termistorze pogrążonym w germanie, który jest izolowany elektrycznie od termistora za pomocą cienkiej warstewki selenu. Ściśle mówiąc, może on być imergowany i być użytkowany w powietrzu. W takim przypadku jest on umieszczony jak można najbliżej minimalnego przekroju bidioperty.

Rozróżnia się dwa rodzaje powierzchni wrażliwych, powierzchnie, które nadają się do skutecznego wykorzystywania obrazu i powierzchnie, które reagują na łączną sumę napromieniowań jakie otrzymują. Pierwsze powierzchnie, które w niniejszym opisie są nazywane powierzchniami kategorii A, reagują na napromieniowanie w każdym z ich punktów, przy zachowaniu granicy nazywanej w optyce zdolnością rozdzielczą a związaną z ich nieciągłą strukturą, takimi powierzchniami są siatkówka oka, klisza fotograficzna, ekrany fosforyzujące, fotokatody, mozaiki fotokomórek.

Drugie powierzchnie, nazywane powierzchniami kategorii B nie odróżniają oświetlenia w każdym ze swych punktów z osobna. Można tu wymienić: komórki fotoelektryczne, taśmy metaliczne i termistory bolometrów, fotoelementy z wewnętrznym fotoefektem, elementy słoneczne. Sposoby łączenia tych różnych rodzajów powierzchni wrażliwych z urządzeniem skupiającym według wynalazku są różne. W szczególności wiązka bidioperty może być poprawnie połączona tylko z powierzchnią wrażliwą kategorii A. W przeciwnym przypadku zostałby obniżony stosunek sygnału do szumu.

W ten sposób powstała koncepcja nowego typu urządzenia skupiającego stanowiąca istotę wynalazku. W celu skupienia strumienia promieniowania pochodzącego ze źródła o pozornym kącie α i obejmującego całkowite pole Γ , łączy się czołowy układ optyczny o polu Γ , o otworze względnym $\frac{1}{N}$, o odległości ogniskowej f , z co

najmniej jednym bidiopertem lub jednym odbłyśnikiem w kształcie ściętego stożka o polu ε i kącie mniejszym lub równym α . We wszystkich przypadkach, gdy te bidioperty o kształcie ściętego stożka tworzą część wiązki lub gdy są pojedyncze i podlegają wybieraniu, średnica d_1 ich dużej czołowej powierzchni strumienia jest zawsze równa

$$d_1 = f \cdot \varepsilon \quad (19)$$

Taki bidiopert jest nazywany bidiopertem elementarnym nawet, gdy występuje pojedynczo i nawet gdy jego

całkowite pole jest równe kątowi ε , jak w niektórych laboratoryjnych urządzeniach skupiających lub w słonecznych urządzeniach skupiających.

Podane poprzednio wzory zawierają sześć parametrów niezależnych i dziewięć parametrów zależnych, a więc piętnaście parametrów głównych określających urządzenie w każdym przypadku zastosowania go według właściwych wymagań. Sześcioma parametrami niezależnymi są: Minimalny kąt pozorny α źródeł promieniowania. Parametrem zależnym jest pole ε elementarnego bidioperty ($\varepsilon \leq \alpha$).

Otwór względny N , lub jego ekwiwalent, czołowego układu skupiającego. Parametrem zależnym jest maksymalny kąt Θ_1 względem osi promieniowań odbieralnej wiązki ($\sin \Theta_1 = \frac{1}{2N}$). Średnica d_1 dużej powierzchni czołowej wejścia strumienia bidioperty elementarnego. Parametrami zależnymi są, odległość ogniskowa f czołowego układu optycznego ($f = \frac{d_1}{\varepsilon}$), promień R źrenicy

wejściowej układu czołowego ($R = \frac{f}{N}$). Współczynnik n_2 immersji wrażliwej powierzchni odbiornika. Parametrem zależnym jest skupienie graniczne C_0 , wymagane od bidioperty elementarnego ($C_0 = 4N^2n_2^2$). Współczynnik załamania n_1 bidioperty (patrz wzory podstawowe).

Minimalny stosunek η napromieniowania uzyskanego przez urządzenie skupiające i maksymalnego napromieniowania granicznego. Parametrami zależnymi są, półkąta wierzchołkowy bidioperty elementarnego (w funkcji, n_1 , n_2 i N), skupianie rzeczywiste C_Y , charakteryzujące urządzenie skupiające ($C_Y = C_0 \cdot \eta$), średnica d_x minimalnego przekroju elementarnego bidioperty ($\left(\frac{d_1}{d_x}\right)^2 = C_Y$,

długość L elementarnego bidioperty ($L = \frac{d_1 - d_x}{2}$).

Do powyższych parametrów dochodzą dwa inne parametry, omówione w dalszym ciągu opisu i oznaczone przez d_0 i L_0 . Parametr d_0 oznacza idealną średnicę minimalną, schematyczną bidioperty elementarnego, który odpowiadałby granicznemu skupianiu C_0 . Parametr L_0 jest teoretyczną długością tego bidioperty o skrajnych średnicach d_1 i d_0 . Tego rodzaju bidiopert jest nazywany schematycznym bidiopertem elementarnym.

Odpowiednio do przewidywanego użytkowania, rodzaju odbiornika, materiałów z jakich ma być wykonany, przy konstruowaniu optycznego urządzenia skupiającego według wynalazku staje się przed ewentualnością wyboru dużej liczby możliwości i stosunków, jakie zachodzą między tymi rozmaitymi parametrami.

Dla ułatwienia obliczeń zostały zestawione tablice, z których dla danej wartości stosunku $\frac{n_1}{n_2}$ podano pewną ilość wartości:

- γ , półkąta wierzchołkowego bidioperty
- C_0 , skupienia energetycznego bidioperty
- η , rzeczywistej sprawności energetycznej
- L_0 , długości schematycznego bidioperty, dla większej wygody długość ta została wyrażona przez przyjęcie d_0 jako jednostki.

Tablice umożliwiają na ocenę wówczas, gdy został ustalony minimalny stosunek $\frac{n_1}{n_2}$ możliwości wyboru półkąta wierzchołkowego stożka w funkcji otworu czołowego układu optycznego. Przykład tego rodzaju tablicy jest podany dalej. Został on sporządzony dla $n_2 = 1$, powierzchnia wrażliwa zanurzona w powietrzu i dla $n_1 = 1,5$, bidiopter elementarny sporządzony ze zwykłego szkła. Tablica zawiera rząd wielkości długości L_0 bidiopteru schematycznego, obliczoną w funkcji schematycznej średnicy d_0 .

Jeżeli na przykład ma się uzyskać na wrażliwej powierzchni odbiornika użytkowanego w powietrzu napromieniowanie, które byłoby równe co najmniej 80% granicznego możliwego napromieniowania maksymalnego w tym przypadku $\eta = 0,80$, to dla F/2 na przykład ($C_0 = 16$) można wybrać dla γ wartość $\frac{1}{50}$ radiana, dla której $\eta = 0,82$. Dla F/1,4 wartości $\frac{1}{30}$ radiana odpowiada prawie $\eta = 0,79$. Jednocześnie widoczna jest długość L_0 w funkcji d_0 , to jest długości w funkcji średnicy wrażliwej powierzchni odbiornika. Jeżeli na przykład średnica ta jest równa 0,5 mm to L_0 ma wartość około

32 mm w pierwszym przykładzie (F/2) i około 14 mm w drugim przykładzie (F/1,4). Rzeczywista długość bidiopteru jest krótsza, mniej niż 3 cm w pierwszym przypadku, 1 cm lub nieco więcej w drugim przypadku.

Sześć nieograniczających wynalazek przykładów wykonania optycznych urządzeń skupiających ułatwia zrozumienie przedmiotu wynalazku i typy realizowanych optycznych urządzeń skupiających. Przykład pierwszy jest przedstawiony w nawiązaniu do fig. 4, która przedstawia część optyczną bolometru z termistorem imergowanym, bolometr ten zawiera dwa dioptry kuliste 37 i 38 wejścia strumienia, których osie optyczne 39 i 40 zbiegają się w kierunku źródła podczerwieni, umieszczonego w znanej odległości.

Współczynnik załamania tych diopterów wynosi 1,8. Ich czołowe powierzchnie wejściowe 41 i 42 są pokryte warstwą przeciwodblaskową i mają średnicę otworu równą 12 mm a promień krzywizny równy 19,2 mm. Powierzchnie skośne 43 i 44, o całkowitym odbiciu, pochylone są pod kątem 45° i powodują, że w miejscu 45 pokrywają się ich osie optyczne. Czołowe dioptry stanowią źródło obrazów, odpowiednio 46 i 47. Czołowe bidioptery 48 i 49 mają dużą powierzchnię czołową o średnicy 2,4 mm, długość 100 mm i małe powierzchnie czołowe 50 i 51 o średnicy równej 0,43 mm.

		Otwory względne czołowe urządzenia skupiającego					
		F/1	F/1,4	F/2	F/2,8	F/4	F/5,6
	C_0	4	8	16	32	64	128
$\gamma = \frac{1}{10}$ rad	η	0,66 ₄	0,54 ₈	0,43 ₂	0,32 ₁	0,22 ₆	0,15 ₁
	L_0	5 d_0	9 d_0	15 d_0	23 d_0	35 d_0	52 d_0
$\gamma = \frac{1}{20}$ rad	η	0,80 ₃	0,71 ₇	0,62 ₃	0,50 ₆	0,40 ₈	0,30 ₇
	L_0	10 d_0	18 d_0	30 d_0	46 d_0	70 d_0	104 d_0
$\gamma = \frac{1}{30}$ rad	η	0,86 ₅	0,79 ₂	0,71 ₉	0,62 ₇	0,52 ₆	0,42 ₁
	L_0	15 d_0	27 d_0	45 d_0	70 d_0	105 d_0	156 d_0
$\gamma = \frac{1}{50}$ rad	η	0,91 ₂	0,87 ₄	0,82 ₄	0,74 ₅	0,66 ₃	0,56 ₉
	L_0	25 d_0	46 d_0	75 d_0	116 d_0	175 d_0	258 d_0
$\gamma = \frac{1}{100}$ rad	η	0,95 ₅	0,92 ₂	0,89 ₉	0,85 ₇	0,80 ₅	0,73 ₈
	L_0	50 d_0	92 d_0	150 d_0	233 d_0	350 d_0	516 d_0
$\gamma = \frac{1}{1000}$ rad	η	0,99 ₆	0,99 ₂	0,99 ₀	0,98 ₄	0,97 ₆	0,96 ₈
	L_0	500 d_0	9140 d_0	1500 d_0	2328 d_0	3500 d_0	5160 d_0

Krańcowe bidioperty 52 i 53, sporządzone z krzemu, na rysunku zaznaczone, mają długość 3,04 mm i krańcowe małe powierzchnie czołowe 54 i 55 o średnicy równej 0,23 mm. Małe czołowe powierzchnie krańcowe są połączone odpowiednio z dwiema stronami wrażliwej taśmy półprzewodnikowej 56 (termistor) i izolowane od niej dwoma cienkimi warstwami 57 i 58 na przykład stopu seleno-arsenowego. Proporcje tych elementów krańcowych są na rysunku pokazane przesadnie. W rzeczywistości minimalne przekroje 54 i 55 są bardzo zbliżone do wrażliwej taśmy 56. Taśma ta jest połączona z częścią elektryczną, nie pokazaną na rysunku, bolometru.

Sprawność energetyczna tych połączonych bidiopertów wynosi:

$$\eta \cdot \eta' = 0,89 \times 0,89 = 0,79$$

Można przyjąć rzeczywistą sprawność rzędu 0,70.

W stosunku do bolometru z termistorem imergowanym, mającym jako wejściowy układ skupiający dioptrę kulisty o takich samych charakterystykach jak opisane wyżej dioperty 37 i 38, skupienie energetyczne uzyskiwane przez nowy bolometr wynosi $144 \times 0,7 \times 2 = 201,6$ a więc jest 200 razy większe.

Ponadto należy zaznaczyć, że bolometry znanych typów mają najczęściej mniej otwarte dioperty wejściowe albo charakterystyki optyczne znacznie mniej ustalone ponadto na przykład taśma wrażliwa jest umieszczona w środku geometrycznym dioptry kulistej, co zmniejsza sprawność. Na przykład w stosunku do układu czołowego otwartego o $F/3$, skupianie uzyskiwane przez bolometr według wynalazku wynosi $(4 \times 9 \times 9) \times 0,70 \times 2 = 453,6$ a więc jest 450 razy większe.

W stosunku do bolometru mającego jako wejściowy układ optyczny zwykłe okienko o bokach równoległych, uzyskiwane skupianie dla źródła o pozornym kącie α jest

$$\frac{8}{\alpha^2} \times 9 \times 0,7 = \frac{72}{\alpha^2} \times 0,7$$

razy większe, a więc dla pola o $\varepsilon = \frac{1}{10}$ radiana skupianie będzie około 5000 razy większe.

Drugi przykład wykonania przedstawiony na fig. 5 dotyczy urządzenia skupiającego, sprzężonego z aktywnym detektorem dla fal centymetrowych, współpracującego z radarem lub maserem. Elementem wrażliwym jest tu antena dipolowa 59, której minimalna średnica użytkowa jest rzędu połowy centymetra. Dipol ten jest użytkowany w powietrzu, a zatem $n_2 = 1$. Czołowy układ skupiający jest odbłyśnikiem parabolicznym 60, otwartym o $F/1,4$, połączone z nim urządzenie skupiające według wynalazku jest tu odbłyśnikiem w kształcie ściętego stożka 61 ($n_1 = 1$), na przykład sporządzonym z aluminium, dla którego wymagane skupienie teoretyczne $C_0 = 4 \cdot (1,4)^2 = 8$.

Mamy zatem $d_0 = 0,5$ cm

$$d_1 = 0,5 \cdot \sqrt[3]{8} = \sqrt[3]{2} = 1,41 \text{ cm}$$

Kąt pola plamki analizującej dla ultrakrótkich fal jest rzędu $30'$, a zatem wynosi $\frac{1}{100}$ radiana. Mamy więc

$\varepsilon = \frac{1}{100}$ rad. Wynika z tego dla ogniskowej odbłyśnika

parabolicznego $f = 141$ cm. Średnica $2R$ tego odbłyśnika wynosi $2R = 100$ cm.

Należy teraz określić optymalne charakterystyki odbłyśnika 61 w kształcie ściętego stożka. Podane tablice dają dla wartości $C_0 = 9$ (najbliższa wartości 8), możliwość wybrania półkąta wierzchołkowego γ . Wartość

$$\gamma = \frac{1}{50} \text{ radiana}$$

doskonale odpowiada. Daje ona sprawność 90% i wymaga długości schematycznej L_0 rzędu 50 d_0 , a więc długości równej 25 cm. Dokładne obliczenie daje $d_3 = 0,53$ cm gdyż $d_1 = 1,41$ jest już ustalone.

Średnica minimalnego przekroju odbłyśnika 61 w kształcie ściętego stożka oznaczona jest tu przez d_3 , ponieważ użytkowanie odbywa się w powietrzu. Obliczenie dokładne daje: $d_3 = 0,526$, a zaokrąglona w górę wartość 0,53 została wzięta do obliczenia L_y . Długość $L_y = 20,50$ cm (wartość z nadmiarem).

Średnica dużego przekroju d_1 odbłyśnika metalowego 61 w kształcie ściętego stożka jest umieszczona w płaszczyźnie ogniskowej odbłyśnika parabolicznego. Koniec 59 anteny dipolowej jest również umieszczony jak najbliżej minimalnego przekroju d_3 i jest połączony z zespołem radaru lub masera za pomocą falowodu rurowego 62. Tego rodzaju detektor fal ma skuteczność około 7 razy większą ($8 \times 0,9$) niż odbłyśnik paraboliczny 60 użytkowany pojedynczo.

Trzeci przykład przedstawiony na fig. 6 dotyczy zastosowania wynalazku do głowic samonaprowadzających na pociski i wrażliwych na promieniowanie ultraczernione.

Rozpatrywane urządzenie zawiera głowicę samonaprowadzającą, której zdolność rozdzielcza wynosi $\frac{1}{1000}$ radiana, pole całkowite 30° a długość całkowita, bez żadnych pryzmatów, jest rzędu 15 cm; powierzchnia wrażliwa jest fotokatodą 63, której liniowa granica rozdzielania jest rzędu $10 \mu\text{m}$ a użyteczna średnica rzędu 0,3 mm.

Fotokatoda ta jest imergowana w płaszczyźnie minimalnych przekrojów 64 stożkowych włókien, sporządzonych ze specjalnego szkła o dużym współczynniku załamania, takiego jak szkło z trójsiarczkiem arsenu lub szkło z pięcioselenkiem arsenu. Współczynnik załamania tych szkół dochodzi do około 2,4 — 2,7, dla podczerwieni do rachunku przyjęto $n_2 = 2,45$ albo $n_2^2 = 6$.

Czołowy układ optyczny stanowi soczewkowy obiektów skupiający 65, otwarty, o $F/1,4$. Wymagane skupienie teoretyczne C_0 na wiązce włókien wynosi zatem

$$C_0 = 4 \times 6 \times 2 = 48$$

Minimalna średnica d_0 każdego włókna jest rzędu 20 μm . Dla każdego włókna mamy zatem

$$d_1 = \sqrt[3]{48} \cdot 20 \mu\text{m} \approx 140 \mu\text{m}$$

Dla ogniskowej f i średnicy otworu $2R$ obiektywu czołowego ponieważ $\varepsilon = \frac{1}{1000}$ otrzymamy:

$$f = 140 \text{ mm} \quad 2R = 100 \text{ mm}$$

Wiązka włókien zawiera 10 włókien na średnicy, a więc około 78 włókien ogółem. Minimalna średnica wiązki jest rzędu 200 μm co jest jednocześnie rzędem wielkości użytecznej średnicy fotokatody $\Delta_0 = 0,2$ mm.

Gdy pole całkowite ($\Gamma = 30^\circ$) urządzenie jest około dwadzieścia razy większe niż pole elementarne wiązki, to głowicy samonaprowadzającej nadaje się ruch analizujący, który pozwala jej przeszukać całość pola. Spirala 66 przedstawia tor opisywany przez oś optyczną urządzenia skupiającego, przy czym oś ta obraca się dookoła stałego punktu, umieszczonego w pobliżu elementu wrażliwego 63. Analizowanie jest realizowane za pomocą znanych środków technicznych. Może być również stosowane optyczne analizowanie obrazu.

Fotokatoda 63, fotonówka próżniowa o warstwie srebra — czy lub fotonówka gazowa jest wmontowana w detektor fotoemisyny 67, który przyspiesza i skupia elektrony emitowane przez element wrażliwy.

Tego rodzaju głowice samonaprowadzające są znacznie bardziej czułe i bardziej dokładne niż obecnie znane detektory, umożliwiają ustalanie położenia z dużej odległości, niezależnie od rodzaju pocisku, oraz pozwalają na sterowanie jego przejmowaniem.

Czwarty przykład zastosowania przedstawiony na fig. 7 dotyczy szczególnego rodzaju metaskopu pomyślanego w celu detekowania z odległości małych źródeł emitujących promieniowanie podczerwone w wąskim widmie o dokładnie określonej częstotliwości, przy czym długość fali 10 μm budzi szczególne zainteresowanie, ponieważ odpowiada ona temperaturze absolutnej ciała doskonale czarnego, wynoszącej 310°K co odpowiada zatem naturalnemu promieniowaniu charakterystycznemu dla ciała ludzkiego, 37°C i niegorących przedmiotów.

Metaskop według wynalazku został obliczony dla detektowania naturalnego promieniowania podczerwonego źródeł o średnicy pozornej wynoszącej najwyżej $\frac{1}{1000}$ radiana co odpowiada 50 cm na 500 m lub 1 m na 1 km.

Obiektów soczewkowy 68 o otworze względnym F/1,4 jest połączony z wiązką 69 stożkowych włókien sporządzonych ze szkła przepuszczalnego dla wybranej długości fali. Dla przypadku, gdy długość fali jest bliska 10 μm , z powodzeniem użyty jest szkło selenowe i arsenowe, które na swej krzywej przepuszczania wewnętrznego ma gwałtowny spadek do zera, w granicach długości fali od 12 μm do 13 μm , dobrze odgrywający rolę selekcyjną i które ma współczynnik załamania równy 2,47 dla fali 10 μm .

Powierzchnia wrażliwa jest tu utworzona z drobnego proszku fosforograficznego imergowanego w płaszczyźnie 70 minimalnych przekrojów włókien. Minimalny przekrój każdego włókna stożkowego ma średnicę rzędu 30 μm . Wiązka zawiera 10 włókien na średnicę, a więc około 78 włókien w ogóle. Okular 71, o piętnastokrotnym powiększeniu liniowym, umożliwia obserwowanie elementarnego sygnału świecącego, zjawiającego się na końcu 70 wiązki włókien.

Całkowite pole Γ urządzenia wynosi 20°, a więc około 0,35 radiana. Gdy pole elementarne wynosi $\frac{1}{100}$ radiana, to urządzenie zostaje wyposażone w podwójne mechaniczne urządzenie analizujące, które mu pozwala na metodyczne przeszukiwanie całego pola działania. W tym celu, jak pokazano na fig. 7, metaskop jest zamontowany na poziomej płytce 72 trójnogu 73 za pomocą elementu pierścieniowego 74, obracającego się na płycie 72.

Płytką 72 jest wyposażona w dwie poziomice, które umożliwiają kontrolowanie poziomego położenia metaskopu, a on sam jest blokowany za pomocą nie pokazanego na rysunku czopa kulistego. Obserwator nadaje ręcznie metaskopowi powolny poziomy ruch przeszukujący. Poza tym, za pomocą czopów 75 i 76, metaskop jest podtrzymywany w płaszczyźnie umieszczonej w pobliżu jego źródła ciężkości za pomocą dwóch płytek 77 i 78, dociskanych do elementu 79, stanowiącego jedną całość z elementem pierścieniowym 74. Urządzenie zapadkowe, nie pokazane na rysunku, podobne do kołka zapadkowego maszyny do pisania, za pomocą chwytu radełkowanego 80 umożliwia jednocześnie obracanie metaskopu w sposób nieciągły o bardzo mały kąt $\frac{1}{1000}$ radiana, w płaszczyźnie pionowej, przechodzącej przez jego oś optyczną.

Ruch przeszukujący jest zatem skuteczny i łatwy do kontrolowania. Gdy elementarne pole ϵ' wiązki ($\frac{1}{100}$ radiana) jest dziesięć razy większe niż pole ϵ włókna ($\frac{1}{1000}$ radiana) to ma się pewność, że świadczący o istnieniu źródła sygnał świetlny pozostanie widoczny przez wystarczający okres czasu podczas tego powolnego ruchu analizującego. Do urządzenia tego dodawany jest selektywny filtr, umieszczony na przykład z przodu dużej powierzchni czołowej wejścia strumienia wiązki włókien, aby umożliwić detekcję w bardzo wąskim pasmie. Na przykład w przypadku, gdy detektuje się falę 10 μm używając włókna ze szkła selenowego lub arsenowego, to stosując cienki filtr z antymonku indy pokrytego warstwą przeciwodblaskową PbCl_2 , pasmo przepuszczane jest ograniczone dość dokładnie w przedziale 9—12 μm .

Piąty przykład zastosowania dotyczy pieca słonecznego, przedstawionego na fig. 8 w przekroju poziomym. Dwa odbłyśniki paraboliczne 81 i 82, z których każdy ma średnicę otworu 2 m oraz ogniskową 2,83 m a otwór względny F/1,4, odbierają promieniowanie słoneczne i tworzą dwa rzeczywiste obrazy słońca w miejscach 83 i 84. Dzięki dwu płaskim odbłyśnikom 85 i 86, pochyłonym pod kątem 45° do osi optycznej odbłyśników parabolicznych, obrazy słońca są prostopadłe do jednej i tej samej osi 87.

Dwa sporządzone ze szkła bidoptyery 88 i 89 w kształcie ściętego stożka są w taki sposób umieszczone w osi 87, że ich maksymalne przekroje wejścia strumienia pokrywają się odpowiednio z obrazami słońca utworzonymi w miejscach 83 i 84. W swej części końcowej o małej średnicy te dwa bidoptyery są przedłużone przez metalowe odbłyśniki w kształcie ściętego stożka 90 i 91, których przekroje 92 i 93 o minimalnej średnicy są umieszczone w płaszczyźnie otworów wejściowych pieca 94.

Bidoptyery 88 i 89 są sporządzone z borokrzemowo-chromowego szkła o współczynniku załamania 1,50 dla fali $\lambda = 1,6 \mu\text{m}$ i przepuszczalnego dla fali o długości λ od 0,3 μm do 3 μm .

W celu uniknięcia stopnienia szkła przy wejściach do otworu pieca słonecznego, każdy z bidopterów 88 i 89 jest ucięty przed osiągnięciem przekroju minimalnego i w ten sposób jego długość rzeczywista zostaje skrócona. Końcowa część każdego bidopteru jest zastąpiona krót-

kim odbłyśnikiem w kształcie ściętego stożka **90** i **91**, sporządzonym z metalu, który wytrzymuje wysoką temperaturę i ma jak największą zdolność odbijającą. Poza tym w celu izolowania szkła, z końcem bidiopterów łączy się odpowiednio w miejscach **95** i **96** odcinki cienkich stożków z tlenku magnezu MgO , substancji która ma bardzo dobry współczynnik przepuszczania promieniowania Q fali λ od $0,25 \mu m$ do $8 \mu m$, i która topi się przy temperaturze $2800^\circ C$. A zatem każdy z bidiopterów składa się na przykład z bidioptera szklanego o długości $39,5$ cm z przyłączonego do niego bardzo krótkiego bidioptera o długości $0,5$ cm sporządzonego z tlenku magnezu, oraz z krótkiego odbłyśnika metalowego w kształcie ściętego stożka o długości $1,25$ cm. Obliczona dla minimalnej średnicy d_3 wartość $1,07$ cm jest wielkością średnicy małej podstawy krańcowego odbłyśnika w kształcie ściętego stożka.

Sam piec słoneczny **94** jest analogiczny do pieców słonecznych obecnie stosowanych, z wyjątkiem tego, że ma dwa otwory wejściowe zamiast jednego. Utworzony on jest z tygla **97**, sporządzonego z lanego lub spiekane materiału ogniotrwałego, izolowanego za pomocą proszku termoizolacyjnego **98** od metalowej obudowy **99**. Jest to piec obrotowy, przy czym oś jego obrotu pokrywa się z osią optyczną **87**. Ponieważ umieszczenie na tej osi dwóch wejść optycznych **92** i **93** przeszkadza umieszczeniu czopów potrzebnych dla ruchu obrotowego, więc ruch ten jest nadawany za pomocą koła **100**, stanowiącego jedną całość z piecem oraz urządzenie do obracania pieca przedstawionego schematycznie na fig. 9.

Piec i jego obudowa metalowa **99** są zamocowane wewnątrz koła **100**, które na swym obwodzie i na swej stronie czołowej jest zaopatrzone w kołowy rowek **101**. Trzy koła **102**, **103** i **104** o zsynchronizowanych obrotach napędzają koło **100**. Poza tym każde z kół napędowych jest zaopatrzone w rowek, który obejmuje koło **100** i utrzymuje go stale w jednej płaszczyźnie poziomej. W ten sposób otwory wlotowe **92** i **93** i ich oś optyczna **87** nie natrafiają podczas obracania się pieca na jakiegokolwiek przeszkodę.

Porównanie skupiania promieniowania słonecznego, charakterystycznego dla urządzenia według wynalazku, ze skupianiem uzyskiwanym za pomocą urządzeń dotychczas stosowanych, pokazuje że dla każdego z dwóch połączonych z odbłyśnikami parabolicznymi bidiopterów, skupianie przeprowadzane w powietrzu ($n_2 = 1$) jest równe skupianiu maksymalnemu optycznego układu skupiającego o otworze $F/0,5$, pomnożonemu przez sprawność energetyczną η , właściwą dla bidioptera. A zatem w tym przypadku dla słońca $46140 \times 0,874 = 40326$.

Gdy urządzenie zawiera dwa optyczne układy skupiające, to całkowity efekt skupiania osiąga teoretycznie rząd wielkości $80\,000$, podczas gdy w najlepszych piecach słonecznych obecnie wykonywanych, skupianie osiąga rząd wielkości $20\,000$. Nawet po uwzględnieniu nieprzewidzianych strat, wielkość zysku jest duża.

Szósty i ostatni przykład przedstawiony na fig. 10 dotyczy małego urządzenia skupiającego promieniowanie słoneczne, które może być użytkowane jako zapalniczka do zapalania przedmiotów lub zapalania papierosów albo cygar. Diopter kulisty **105** odbiera promieniowanie słoneczne, jego oś optyczna **106** jest załamana pod kątem prostym za pomocą płaskiej, o całkowitym odbiciu, powierzchni **107**, pochylonej pod kątem 45° , układ ten

umożliwia wygodne nacelowywanie na słońce bez powodowania oślepienia użytkownika jego promieniami. Średnica otworu dioptera wynosi 35 mm. Jego ogniskowa f' równa się 105 mm. Ponieważ współczynnik załamania wynosi $1,5$, więc ogniskowa f równoważna przy zastosowaniu ustalonych poprzednio wzorów jest równa:

$$f = \frac{105}{1,5} = 70 \text{ mm}$$

Otwór względny dioptera wynosi zatem $F/2$. Tego rodzaju diopter tworzy rzeczywisty obraz słońca w swej płaszczyźnie ogniskowej **108**. Bidiopter **109** w kształcie ściętego stożka, umieszczony w osi optycznej **106**, jest połączony z diopterem kulistym, przy czym duża jego powierzchnia czołowa wejścia strumienia jest usytuowana w płaszczyźnie ogniskowej. Tuleja **110**, umocowana na końcu części czołowego dioptera kulistego, otacza bidiopter **109** i osłania go za pomocą proszku lub materiału **111**, nie dającego żadnego połączenia optycznego z bidipterem. Druga tuleja **112** otacza pierwszą tuleję a koniec **113** bidiptera zostaje w ten sposób odgradzony od stykania się z przedmiotami zewnętrznymi.

W celu doprowadzenia urządzenia do stanu działania, przesuwa się dźwignię **114** w kierunku pokazanym strzałką i wówczas odsłania się punkt **113**. Podczas tej czynności sprężyna **115** zostaje ściśnięta, tak że później doprowadza ona tuleję **112** z powrotem do jej położenia początkowego, po zwolnieniu dźwigni **114**. W ten sposób unikamy niebezpieczeństwa nieoczekiwanego zapalenia się różnych przedmiotów, przy czym koncentracja energii jest skuteczna tylko w bezpośrednim otoczeniu punktu **113** bidiptera.

Opisane wyżej przykłady zastosowania wynalazku stanowią tylko kilka przykładów różnych rodzajów urządzeń, w których zrealizowany został ten wynalazek. W istocie istnieje bardzo duża liczba odmian, przy czym ze wszystkich rodzajów odbiorników można otrzymywać maksymalne skupianie energii promienistej za pomocą tych samych elementów składowych. W dalszym ciągu opisu podane jest kilka skonstruowanych według wynalazku aparatów tego rodzaju, które ściślej precyzują typ urządzeń już opisanych uwypuklając ewentualnie jego właściwości charakterystyczne.

Pierwszy przykład, bolometr lub fotokomórka, obejmuje wszystkie odbiorniki laboratoryjne takie jak: detektory termiczne, bolometry z taśmą metalową, termistory z nadprzewodzącą taśmą z azotku niobu, ogniwa termoelektryczne na półprzewodnikach, detektory zaopatrzone w fotokomórki z wewnętrznym fotoeffektem, fotodiody germanowe, fotodiody punktowe, detektory o fotoelektrycznych ogniach zaporowych, detektory fotomagnetoelektryczne, detektory fotoemisyjne, krotniki fotoelektronowe z emiterami, luksomierze z fotokomórkami, spektrografy, zwłaszcza dyfuzyjne, wykorzystujące efekt Ramana, liczniki scyntylacyjne, detektory cząstek itd.

Drugi przykład detektora, radar lub maser, obejmuje wszystkie aparaty o czynnej detekcji, to jest detektory sprzężone z reflektorem emitującym promieniowanie podczerwone, detektory sprzężone z laserami, ponadto do tego przykładu odnoszą się również różne inne rodzaje aparatów takie jak kamery telewizyjne o jednej fotokomórce na przykład typu pracującego z tarczą Nipkowa, diasporametry rentgenowskie, aparaty medyczne.

Do trzeciego przykładu odnoszą się wszystkie rodzaje głowic samonastawiających się, niezależnie od tego

jaka jest długość fali, którą wykorzystują. Do tego przykładu należy zaliczyć aparaty przeszukujące niewielkie pola na przykład lunety astronomiczne lub specjalne teleskopy, przeznaczone do poszukiwań gwiazd lub ciał niebieskich.

Do czwartego przykładu odnoszą się metaskopy, lampy przekształcające obraz, wzmacniacze jasności, teleskopy elektroniczne, sniperskopy, aparaty fotograficzne i kamery dla światła widocznego lub dla podczerwieni, kamery telewizyjne z ikonoskopem, aparaty wysyłające promienie X do obserwacji medycznych, aparaty odbiorcze promieniowań bardzo selektywnych i niektóre aparaty spektrograficzne.

Do szóstego przykładu należą wszystkie aparaty skupiające energię słoneczną.

Zastrzeżenia patentowe

1. Optyczne urządzenie skupiające umożliwiające uzyskiwanie maksymalnego napromieniowania wrażliwego elementu odbiornika promieniowania przez strumień promieniowania pochodzący od oddalonego źródła umieszczonego w powietrzu, **znamiennie tym**, że składa się z czołowego optycznego układu skupiającego o otworze względnym $\frac{1}{N}$, który pierwszy skupia strumień w zbieżną wiązkę, której promienie mają maksymalne pochylenie Θ_1 względem optycznej osi układu, przy czym $\sin \Theta_1$ ma wówczas wartość rzędu $\frac{1}{2N}$, oraz z co najmniej jednego odbłyśnika w kształcie ściętego stożka lub o kształcie optycznie dostosowanym, o półkącie wierzchołkowym γ rzędu co najwyżej $\frac{1}{10}$ radiana, który przeprowadza drugie skupianie za pomocą odbić wewnętrznych na swej stożkowej powierzchni bocznej, a którego duża czołowa powierzchnia wejściowa strumienia jest przekrojem prostokątnym o maksymalnej średnicy d_1 , pokrywającym się z minimalnym przekrojem wiązki skupionej przez czołowy skupiający układ optyczny i którego połączona z wrażliwym elementem odbiornika mała podstawa znajduje się w płaszczyźnie, w której odbierany strumień osiąga swe skupienie maksymalne i jest przekrojem prostokątnym o średnicy minimalnej d_x , której wartość jest wyznaczona z wzoru:

$$\frac{d_1}{d_x} = \frac{\sin [\beta_1 + (2p' - 1)\gamma]}{\sin (\beta_1 - \gamma)} \quad (1)$$

w którym p' maksymalna liczba odbić wewnętrznych, jakim w ściętym stożku podlega promień tworzący z osią optyczną przy swym wejściu kąt Θ_1 , jest określone z zależności:

$$p' = E \left[\frac{\arcsin \frac{n_2}{n_1} - \beta_1}{2\gamma} + 1 \right] \quad (2)$$

gdzie E oznacza najbliższą mniejszą liczbę całkowitą dla wyrażenia w nawiasie kwadratowym, przy czym n_1 jest współczynnikiem załamania ośrodka wewnętrznego odbłyśnika w kształcie ściętego stożka, n_2 jest współczynnikiem załamania ośrodka imersyjnego w miejscu

kontakty optycznego między elementem wrażliwym, a małym przekrojem odbłyśnika w kształcie ściętego stożka, β_1 jest kątem określonym z zależności:

$$\beta_1 = \arcsin \left(\frac{\sin \Theta_1}{n_1} \right) + 2\gamma \quad (3)$$

przy czym wielkości n_1 , n_2 , $\sin \Theta_1$ i γ są ponadto związane zależnością:

$$\left(\frac{1 + \sqrt{\frac{n_1^2}{n_2^2} - 1} \cdot \gamma}{1 + \sqrt{\frac{n_1^2}{\sin^2 \Theta_1} - 1} \cdot \gamma} \right)^2 \geq \eta \quad (4)$$

w której η przedstawia minimum sprawności energetycznej, jaką uzyskuje się za pomocą urządzenia skupiającego, w porównaniu z maksymalnym skupieniem absolutnym, wyznaczonym z wyrażenia:

$$\frac{n_2^2}{\sin^2 \Theta_1}$$

2. Optyczne urządzenie według zastrz. 1, **znamiennie tym**, że zawiera co najmniej jeden odbłyśnik w kształcie ściętego stożka, utworzony z bidiopteru, w którym odbicia wewnętrzne są wyłącznie odbiciami całkowitymi i których liczba jest mniejsza lub co najmniej równa maksymalnej liczbie q całkowitych odbić wyznaczanych z zależności:

$$q = E \left[\frac{\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{1}{n_1} + 3\gamma - \beta_1}{2\gamma} \right] \quad (5)$$

przy czym wielkości n_1 , $\sin \Theta_1$ i γ są ponadto związane zależnością:

$$\left(\frac{\cos 2\gamma + \sqrt{\frac{1}{n_1^2} - 1} \sin 2\gamma}{\cos \gamma + \sqrt{\frac{n_1^2}{\sin^2 \Theta_1} - 1} \sin \gamma} \right)^2 \geq \eta \quad (6)$$

w której η przedstawia minimum sprawności energetycznej, jaką uzyskuje się za pomocą urządzenia skupiającego, w porównaniu z maksymalnym skupieniem absolutnym odpowiadającym temu zespołowi urządzenia skupiającego i wyznaczanym wzorem:

$$\frac{n_1^2 - 1}{\sin^2 \Theta_1}$$

3. Optyczne urządzenie według zastrz. 1—2, **znamiennie tym**, że zawiera wiązkę odbłyśników lub bidiopterów w kształcie ściętego stożka, w którym duże czołowe powierzchnie wejścia strumienia są umiejscowione w tej samej płaszczyźnie, przy czym zespół tych powierzchni pokrywa się z minimalnym przekrojem wiązki promieni, skupionych przez czołowy optyczny układ skupiający i których przekroje o minimalnej średnicy są również umiejscowione w jednej i tej samej płaszczyźnie, a zespół tych przekrojów jest połączony z wrażliwym elementem odbiornika.

4. Optyczne urządzenie według zastrz. 1—2, **znamiennie tym**, że zawiera wiele ustawionych w szereg odbłyśników lub bidioptrów w kształcie ściętego stożka, przy czym pierwszy odbłyśnik w kształcie ściętego stożka lub pierwszy bidioptr o współczynniku załamania n_1' jest połączony swą dużą czołową powierzchnią wejścia strumienia o średnicy d_1 z czołowym optycznym układem skupiającym, o otworze, względnym $\frac{1}{N}$, drugi bidioptr ma współczynnik załamania n_1'' większy niż n_1' , a jego czołowa powierzchnia wejścia strumienia pokrywa się z minimalnym przekrojem pierwszego odbłyśnika lub bidioptru, a minimalny przekrój ostatniego bidioptru, w którym odbierany strumień osiąga swe maksymalne skupienie, jest połączony z wrażliwym elementem odbiornika, imergowanym w środowisku o współczynniku załamania n_2 , i ma taką wartość d_x średnicy, że stosunek $\frac{d_1}{d_x}$ dla zespołu odbłyśników lub bidioptrów połączonych w szereg ma wartość bliską maksymalnej wartości absolutnej

$$\frac{n_2}{\sin \Theta_1} \approx 2 N n_2$$

5. Optyczne urządzenie według zastrz. 1—4, **znamiennie tym**, że zawiera co najmniej jeden odbłyśnik lub bidioptr w kształcie ściętego stożka, który ma płaszczyzny przekroju pochylone do osi, najkorzystniej pod kątem 45° , umożliwiające wielokrotne załamanie, tak jak urządzenie optyczne z pryzmatami.

6. Optyczne urządzenie według zastrz. 1—5, **znamiennie tym**, że zawiera, ustawione w szereg, pierwszą wiązkę odbłyśników lub bidioptrów w kształcie ściętego stożka i jeden lub kilka odbłyśników lub bidioptrów takich, że duża czołowa powierzchnia wejścia strumienia

pierwszego z tych odbłyśników lub bidioptrów pokrywa się z zespołem minimalnych połączonych przekrojów pierwszej wiązki.

7. Optyczne urządzenie według zastrz. 3 i 4, **znamiennie tym**, że zawiera wiele wiązek odbłyśników lub bidioptrów w kształcie ściętego stożka ustawionych w szereg.

8. Optyczne urządzenie według zastrz. 1—6, **znamiennie tym**, że zawiera odbłyśniki lub bidioptry stożkowe lub konoidalne, takie że stosunek pól przekrojów płaszczyzną, przechodzącą przez oś optyczną, dużej powierzchni czołowej wejścia strumienia i małej podstawy o minimalnym polu, jest równy kwadratowi stosunku $\frac{d_1}{d_x}$, przy czym maksymalna liczba odbić wewnętrznych jest określona dla wartości przeznaczonej dla półkąta γ we wzdłużnym przekroju, który daje największe zmniejszenie liniowe.

9. Optyczne urządzenie według zastrz. 1—7, **znamiennie tym**, że zawiera wiązkę lub szereg wiązek odbłyśników lub bidioptrów w kształcie ściętego stożka, takich że pole zespołu połączonych dużych powierzchni czołowych wejścia strumienia i pole zespołu połączonych minimalnych przekrojów jest do siebie w stosunku $\left(\frac{d_1}{d_x}\right)$.

10. Optyczne urządzenie według zastrz. 1—9, **znamiennie tym**, że zawiera dwa optyczne układy skupiające umieszczone równolegle, przy czym małe podstawy o minimalnym przekroju ostatnich odbłyśników lub bidioptrów w kształcie ściętego stożka są połączone, za pomocą dowolnych znanych środków technicznych z każdą z dwóch powierzchni czołowych tego samego elementu wrażliwego, który jest najkorzystniej cienką warstwą.



