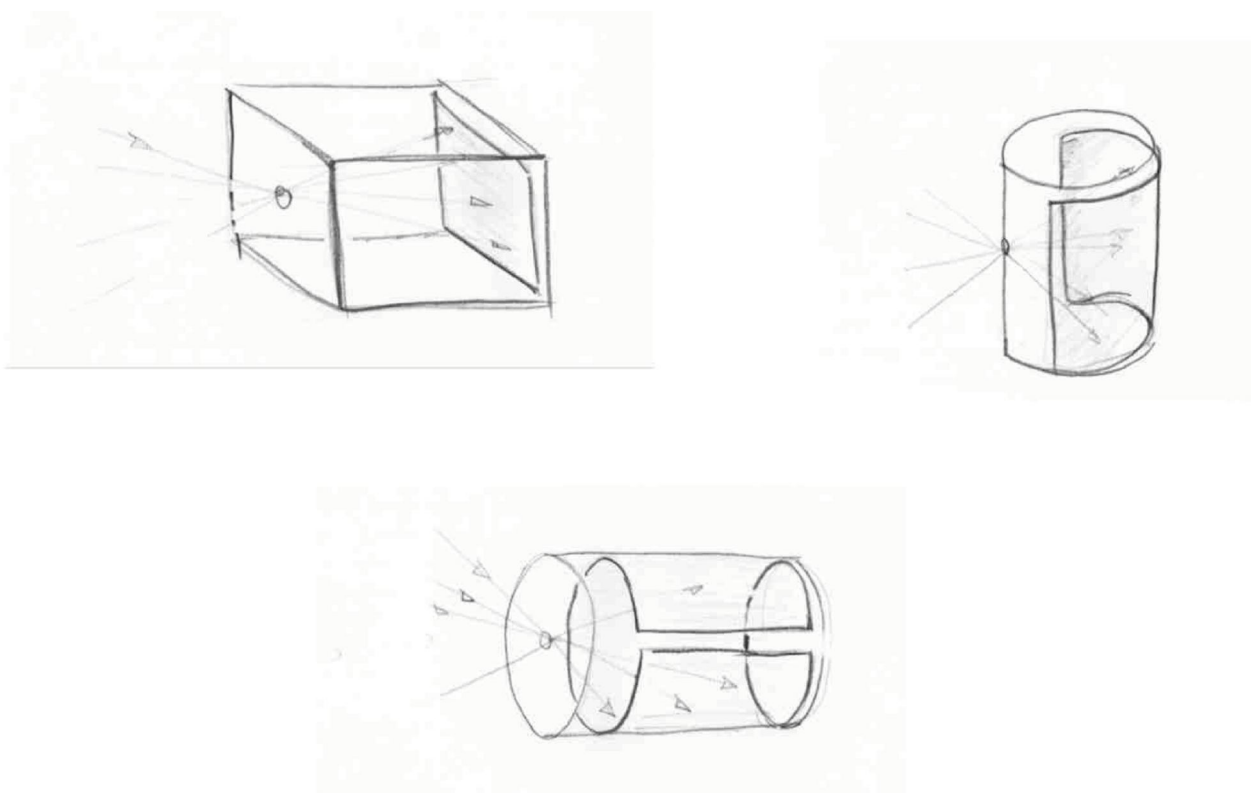


Krótką subiektywna teoria aparatów otworkowych i innych [z własnoręcznymi rysunkami autora]

Właściwości obrazu a położenie i kształt kliszy

Domowej roboty aparaty otworkowe (a takich jest najwięcej) robione są najczęściej z wykorzystaniem gotowych pojemników. Mamy tu do wyboru w zasadzie dwa ich rodzaje: typu pudełka (prostokątności) i typu puszki (walca). Ten ostatni jest znany w literaturze angielskojęzycznej jako 'oatmeal camera' w wolnym tłumaczeniu aparat 'owsiankowy', pierwszy nie doczekał się specjalnej nazwy.

Zarówno 'pudełko', jak i 'puszka' wymuszają konkretny kształt błony światłoczułej czy papieru fotograficznego. W pudełku na ścianie przeciwnej do tej, w której znajduje się otworek, umieszcza się płaską kliszę. Do puszki wkładamy kliszę, która odkształca się, przyjmując naturalnie powierzchnię walca. Otworek można umieścić albo w boku puszki, co jest najczęściej stosowanym rozwiązaniem, albo w denku.

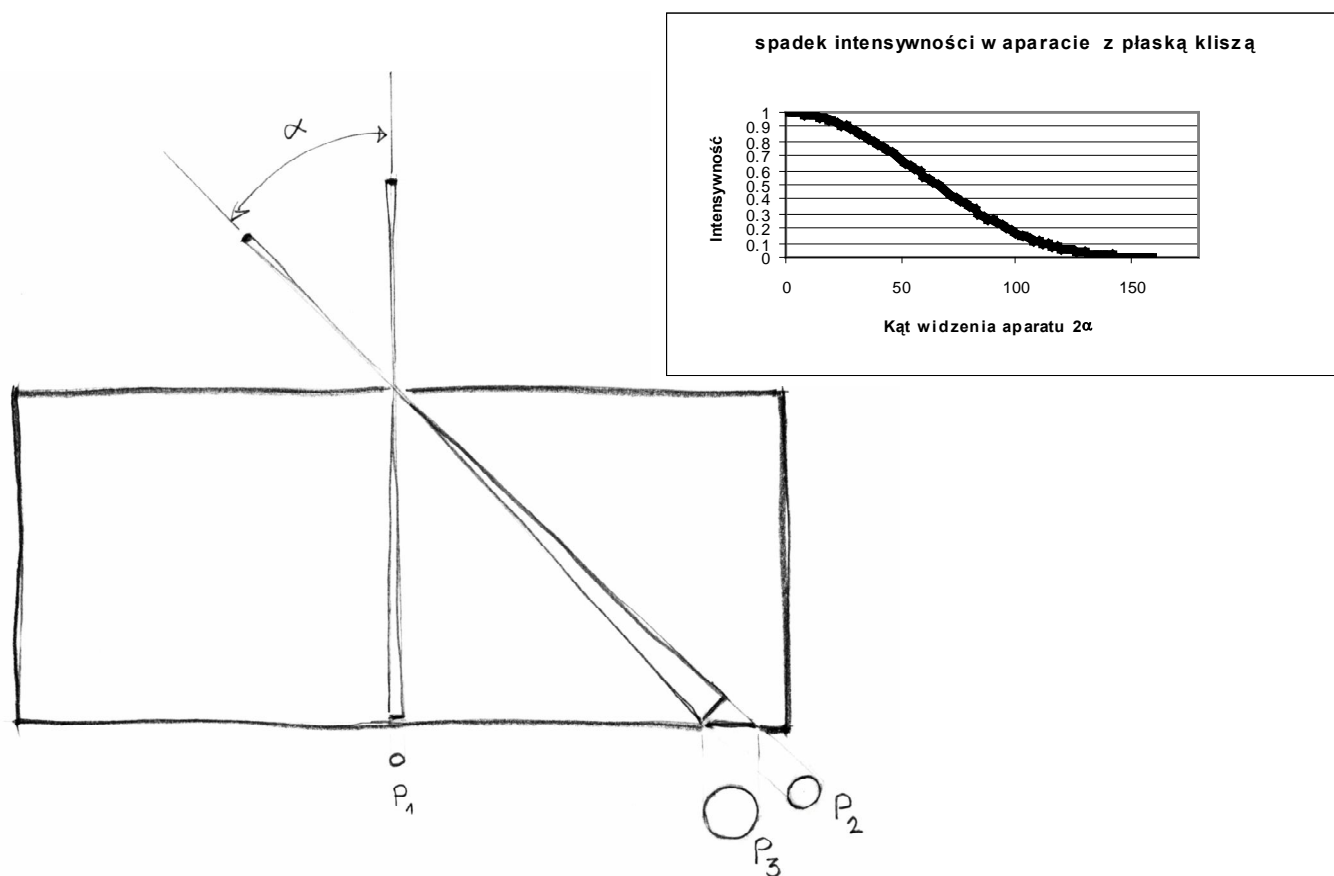


Rys. 1 'Pudełko' i dwie możliwości umieszczenia materiału światłoczułego w puszcze.

Każdy z tych trzech typów, jak również nieskończona liczba innych możliwych do pomyślenia, ale w praktyce pojawiających się bardzo rzadko, daje inny, charakterystyczny obraz, powodując -lub nie- specyficzne zniekształcenia. Zniekształceniami tymi – dodajmy: nie do uzyskania w standardowych aparatach – możemy, jeśli posiadamy odpowiednią wiedzę, sterować i twórczo je wykorzystywać.

Płaska klisza daje obraz najwierniejszy rzeczywistości. Linie proste pozostają prostymi również na zdjęciu i w przypadku aparatów „długoogniskowych”, czyli dających obraz w

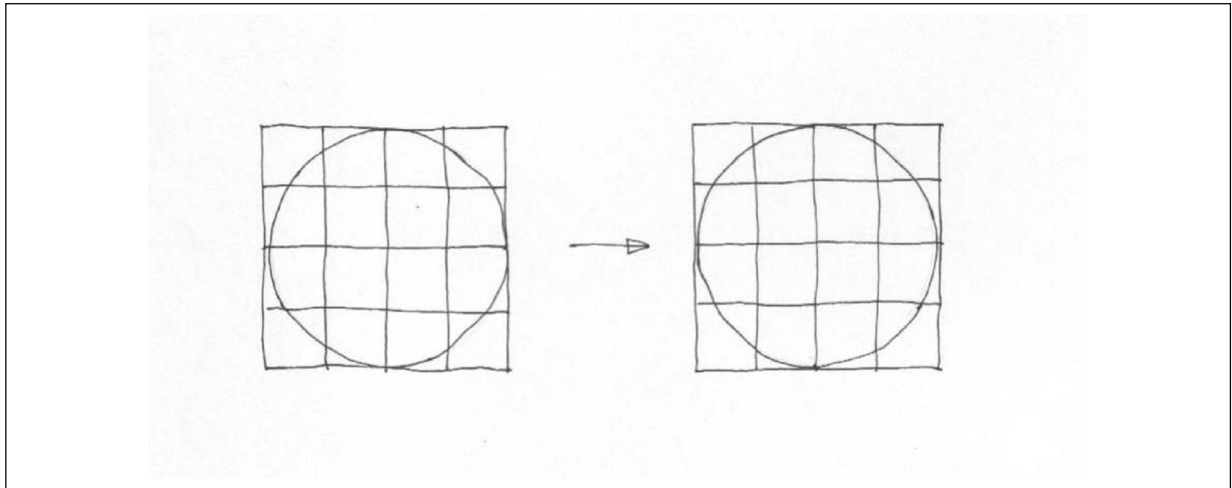
stosunkowo niewielkim kącie, zdjęcia najbardziej przypominają te zrobione normalnym aparatem obiektywowym. Natomiast zwiększaniu kąta widzenia, czyli skracaniu ogniskowej, towarzyszy wyraźny spadek jasności zdjęcia na jego obrzeżach. Wynika to z kilku nakładających się efektów. Po pierwsze, im większy kąt, oznaczony na Rys. 2 jako α (dla obiektywów określa się kąt, w którym 'widzi' obiektyw równy, zgodnie z przyjętym oznaczeniem, 2α), tym dłuższą drogę przebiega światło od otworka do kliszy. Rośnie również wielkość plamki (im dalej od otworka, tym większy obraz obiektu), jaką tworzy fotografowany świecący punkt. Wzrost ten jest proporcjonalny do odwrotności kwadratu cosinusa kąta α . Ponieważ ta sama ilość światła musi oświetlić większy obszar, jasność maleje proporcjonalnie do $\cos^2\alpha$. Dalszy spadek jasności wiąże się z tym, że obraz rzutowany jest na kliszę pod większym kątem, co powoduje kolejny wzrost jego wielkości, a co za tym idzie kolejny spadek jasności, tym razem proporcjonalny do $\cos\alpha$. I, na koniec, jeszcze pozorne 'zmniejszenie się' otworka widzianego pod ostrym kątem to kolejny spadek o $\cos\alpha$. W sumie spadek jasności w stosunku do jasności obrazu powstającego na osi otworka $I(0)$ ($\alpha = 0^\circ$) wynosi $I(\alpha) = I(0)\cos^4\alpha$.



Rys. 2 Zależność pola powierzchni plamki od kąta padania α :

$$P_1 = P_2 \cos^2 \alpha, \quad P_2 = P_3 \cos \alpha, \quad \text{stąd} \quad P_1 = P_3 \cos^3 \alpha.$$

W efekcie prowadzi to do winietowania, bo przy pewnym kącie jasność obrazu spada do tego stopnia, że na obrzeżach powstaje zaciemnienie. Z wykresu intensywności oświetlenia od kąta 2α wynika, że zacznie się ono pojawiać w okolicach 90° jest to jednak również kwestia związana z tolerancją materiałów światłoczułych.

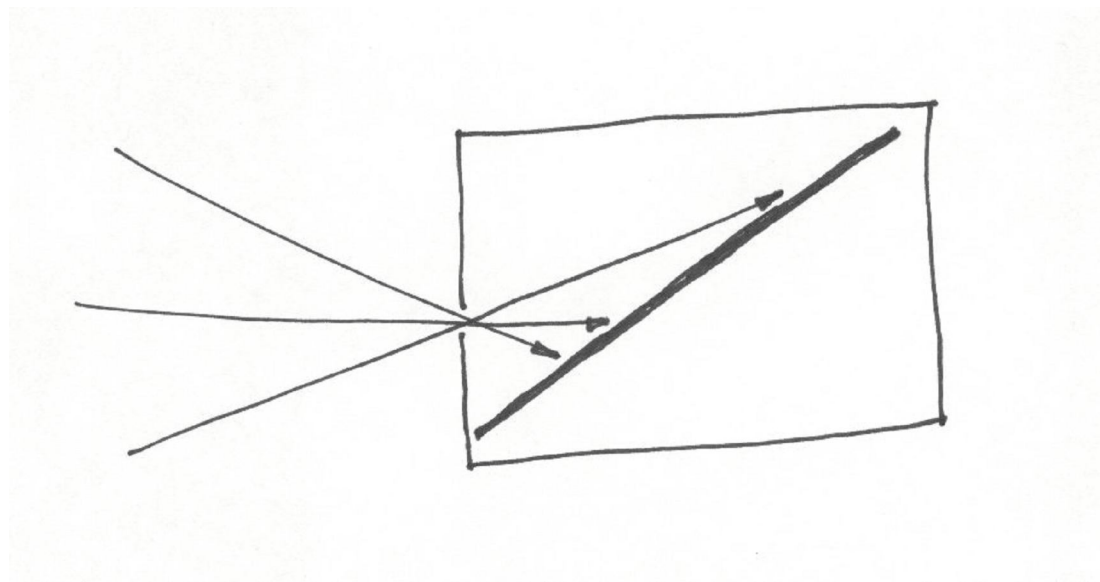


Rys. 3 Sposób, w jaki odwzoruje się na zdjęciu w aparacie z płaską kliszą fotografowany rysunek regularnej kraty (umieszczony prostopadłe do osi aparatu).

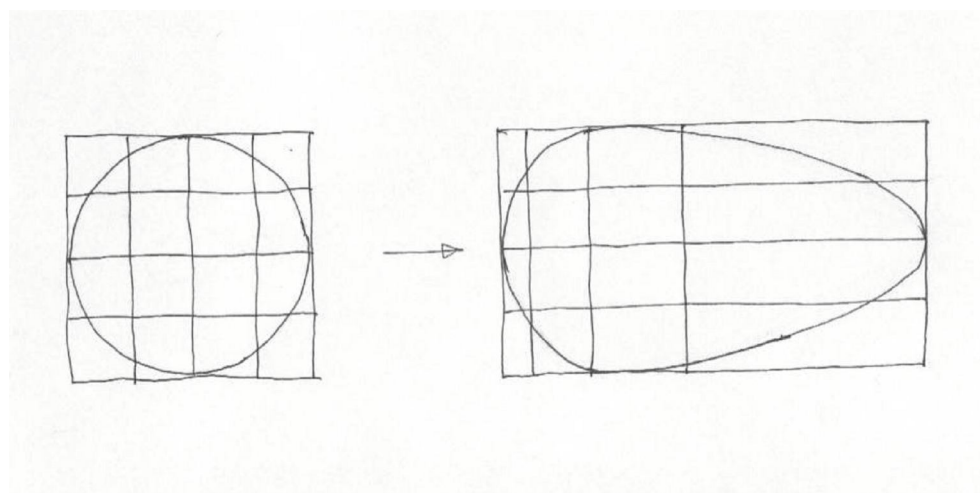


Rys. 4 Przykład winietowania – zdjęcie robione szerokokątnym aparatem na płaską kliszę.

Spadkowi jasności towarzyszy dodatkowo inny efekt, polegający na rozciągnięciu obrazu, tym wyraźniejszy, im dalej od środka zdjęcia. Będzie tak jednak pod warunkiem, że płaszczyzna, w której leży fotografowany obraz i płaszczyzna wyznaczona przez materiał światłoczuły, **nie** są równoległe. Z tego typu zniekształceń, tzw. obrazów anamorficzych, zdawano sobie zresztą doskonale sprawę (i świadomie je stosowano) już znacznie wcześniej przed wynalezieniem fotografii. Najbardziej znany przykład to obraz „Ambasadorowie” (Hans Holbein Młodszy, National Galery w Londynie), na którym rozmazana biała plama w dolnej części widziana pod odpowiednim kątem przedstawia czaszkę. Umieszczenie kliszy nie na wprost, ale pod pewnym kątem do osi wyznaczonej przez otworek, jak to pokazuje Rys. 5, pogłębi efekt tym bardziej, im bardziej klisza położona jest ‘wzdłuż’ aparatu.

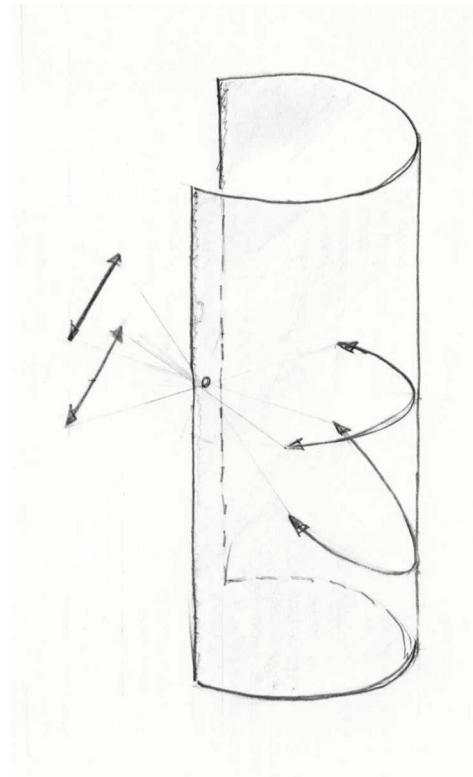
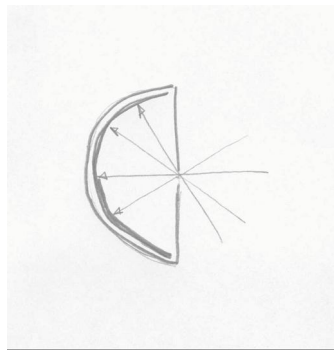


Rys. 5 Przykład aparatu dającego zdjęcia anamorficzne, silnie rozciągnięte. Właściwy obraz widoczny jest, jeśli patrzy się na kliszę nie prostopadle, ale pod ostrym kątem.



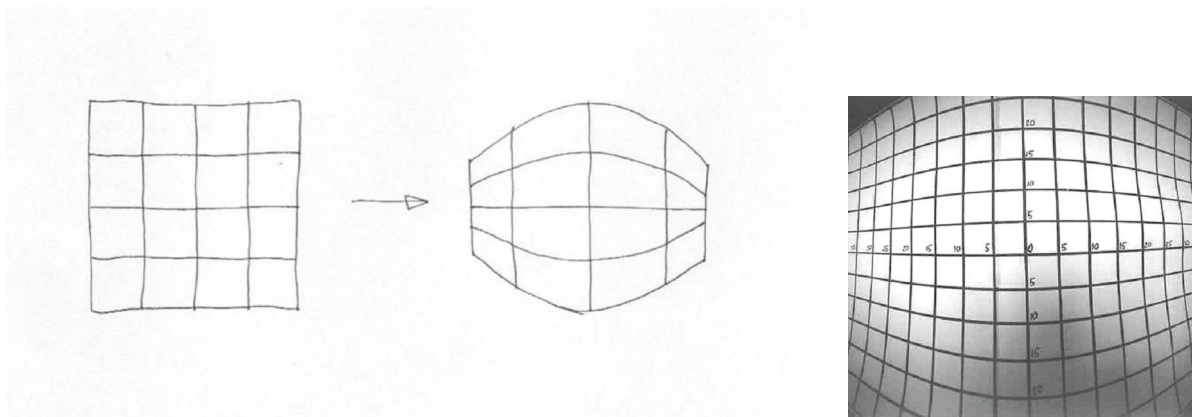
Rys. 6 Sposób, w jaki odwzoruje się na zdjęciu w aparacie z płaską kliszą, ale umieszczoną pod kątem (tak, jak na poprzednim rysunku) fotografowany rysunek regularnej kraty (umieszczony prostopadle do osi aparatu).

Jeśli materiał światłoczuły umieszczony zostanie na powierzchni walca, obraz ulegnie zmianie. Najprostszym przypadkiem jest taki, kiedy klisza stanowi połowę walca, a otworek znajduje się dokładnie w osi symetrii – tak, jak zostało to pokazane na Rys. 6.



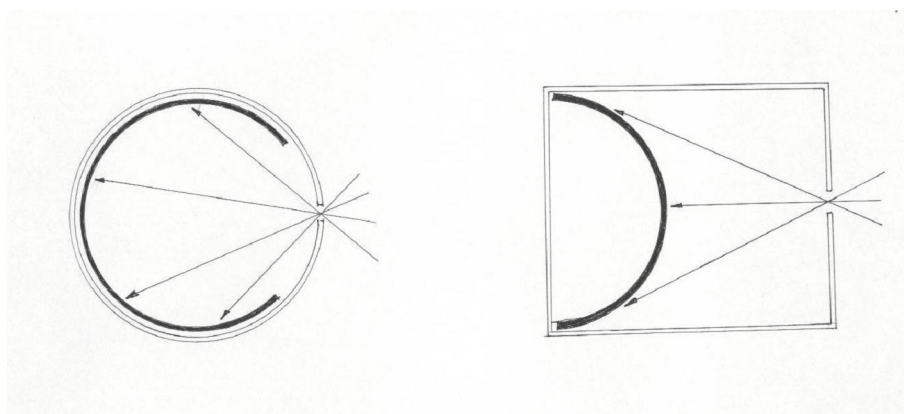
Rys. 7 Materiał światłoczuły umieszczony na powierzchni walca – spadek intensywności z kątem i deformacja linii prostych.

Podstawową zaletą takiego układu jest znacznie mniejszy spadek jasności zdjęcia. Ponieważ materiał światłoczuły znajduje się zawsze w takiej samej odległości od otworka, a światło pada na niego zawsze pod tym samym kątem równym 90° , spadek jasności związany jest tylko z pozornym zmniejszaniem się otworka przy większych kątach. Zgodnie z tym, co napisano poprzednio (płaska klisza), będzie ona proporcjonalna do $\cos\alpha$, co oznacza możliwość robienia w miarę równomiernie naświetlonych zdjęć w kącie 120 i więcej stopni [$I(\alpha)=I(0)\cos\alpha$]. Pojawiają się natomiast zniekształcenia geometryczne: poziome linie proste ulegają zagięciu tym większemu, im wyżej (lub niżej) są od poziomu, na którym znajduje się otworek, podczas gdy linie pionowe pozostają prostymi.



Rys. 8 Sposób, w jaki odwzoruje się na zdjęciu w aparacie z zagiętą kliszą fotografowany rysunek regularnej kraty (umieszczony prostopadle do osi aparatu), i obraz uzyskany w rzeczywistym aparacie o kącie widzenia 120° .

W praktyce, w wielu aparatach „puszkowych” materiał światłoczuły jest jednak znacznie bardziej wygięty, wypełnia prawie całe wnętrze puszkki, otworek zaś umieszczony jest na powierzchni walca – tak jak na Rys. 9a.

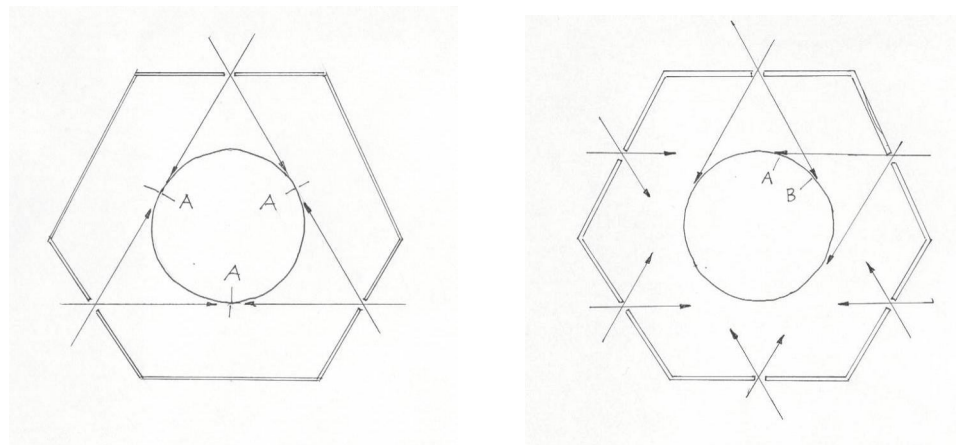


Rys. 9 Inne możliwe typy aparatów z wygiętym materiałem światłoczułym:
a) typowy (bo prosty do wykonania) aparat ‘puszkowy’; b) aparat z odwrotnie wygiętą kliszą.

Jest to wersja łatwiejsza do samodzielnego wykonania, ale o znacznie gorszych ‘parametrach’. Jasność gwałtownie spada z kątem, dając charakterystyczne winietowanie. W gruncie rzeczy jasny jest tylko środek zdjęcia. Opis zniekształceń geometrycznych i spadku intensywności staje się znacznie trudniejszy. Dość powiedzieć, że zdjęcie kojarzyć się może ze zdeformowanym widokiem przez dziurkę od klucza. Jeśli materiał światłoczuły zostanie wygięty ‘w drugą stronę’, tak jak pokazuje to Rys. 9b, promienie świetlne zaczynają w pewnym momencie ‘ślizgać się’ po kliszy. Powoduje to raptowny spadek jasności i ograniczenie obszaru jasnego. Manipulując odległością otworka od kliszy, można spowodować, aby rejestrowany był tylko obraz w kącie 60° . Wtedy stosując okrągły aparat o sześciu równomiernie (co 60°) rozłożonych otworkach z umieszczoną w środku kliszą zwiniętą w walec, wykonywać można zdjęcia panoramiczne w kącie 360 stopni. Zdjęcie takie składa się z sześciu obrazów pochodzących od sześciu otworków. W zasadzie, żeby fotografować w

kącie 360° wystarczyłyby trzy otwory, jednak pojawiałyby się wtedy obszary o bardzo niskiej jasności, a dodatkowo niektóre obszary byłyby niewidoczne. Na zdjęcie składałyby się więc raczej trzy różne fragmenty, a nie pełen zapis 360-cio stopniowej panoramy.

Sześć otworów powodując, że zdjęcie jest naświetlone bardziej równomiernie, daje jednak z kolei pewne nakładanie się obrazów



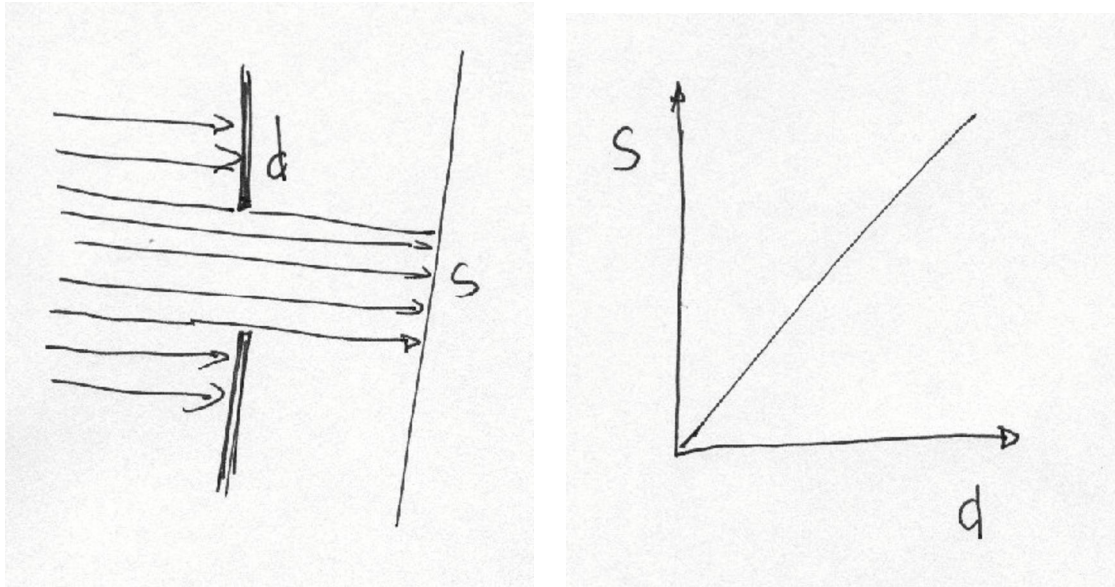
Rys. 10 Aparat z trzema otworami i aparat z sześcioma otworami.. Punkty A na rys. z lewej to miejsca o praktycznie zerowej intensywności padającego światła, obszar AB na rysunku prawym to obszar nakładania się obrazów dwóch otworków.

Zupełnie niesamowite efekty i zniekształcenia geometrii uzyskuje się, umieszczając otworek w denku puszk (podczas gdy papier lub klisza fotograficzna zwinięte są na ściankach tak jak na Rys. 1) ich analiza przekracza jednak zdecydowanie ramy tego opracowania (i siły autora).

Optymalna średnica otworka

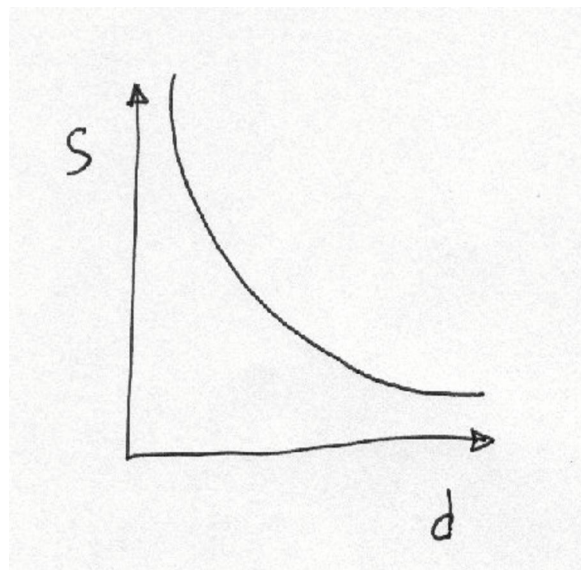
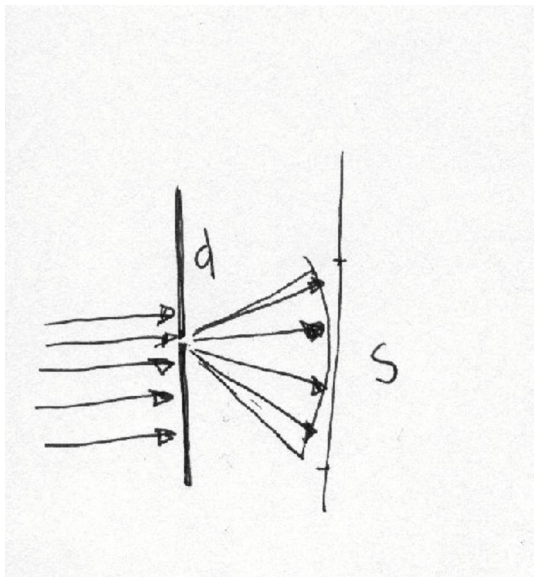
Przede wszystkim można (i należy) zapytać, co to znaczy ‘optymalna’ średnica? Przyjmuje się, że kryterium takim jest zdolność do tworzenia jak najostrzejszych obrazów, czyli, inaczej mówiąc, wielkość powstającej na kliszy plamki światła – ‘śladu’ otworka – powinna być jak najmniejsza. Dodatkowym, dość oczywistym warunkiem będzie idealna kolistość otworka, ale jest to problem natury czysto technicznej (najlepsze otworki nie są wiercone ale wypalane laserem, choć i te wiercone sprawdzają się znakomicie). Dość powszechne jest przekonanie, że im mniejszy otworek, tym mniejszy powinien być jego obraz na kliszy. Jakie byłyby konsekwencje takiego założenia przyjmując, że jest ono prawdziwe? Otóż, zmniejszając średnicę otworka, zmniejszalibyśmy równocześnie średnicę plamki, a więc najlepszym z punktu widzenia rozdzielczości obrazu byłby otworek jak najmniejszy. Nie istniało by więc jakieś ‘optimum’, a tylko fizyczne ograniczenie polegające na tym, jak mały otwór jesteśmy w stanie wykonać. Co więcej, stosując nieskończenie mały otworek, uzyskiwałoby się nieskończenie małe plamki, a więc również nieskończenie wielką rozdzielczość! Problem polegałby tylko na tym, że czas naświetlania również powinien być w takim przypadku nieskończony. Przekonanie o prostej zależności między średnicą otworka i średnicą plamki nie jest jednak pozbawione podstaw. W rzeczywistości założenie, że im mniejszy otworek, tym mniejszą daje plamkę, jest całkiem dobrze spełnione dla otworków o stosunkowo dużej średnicy. Przekonuje nas o tym

potoczne doświadczenie – choćby obserwacja uchylonych drzwi tworzących szparę, przez którą do ciemnego pokoju wpada smuga światła. Im szerzej je uchylimy, tym szerszą smugę światła otrzymamy. Podobnie rzecz ma się, jeśli rozważamy otwór kołisty. Przyjmując, że mamy do czynienia ze strumieniem równoległych promieni padającym prostopadle do płaszczyzny, w której znajduje się dziurka, otrzymalibyśmy plamkę świetlną o średnicy równej średnicy dziurki. Równość tę można zapisać: $s=d$, gdzie d – średnica otworka, s – średnica plamki, i przedstawić na wykresie w postaci linii prostej (Rys. 11).



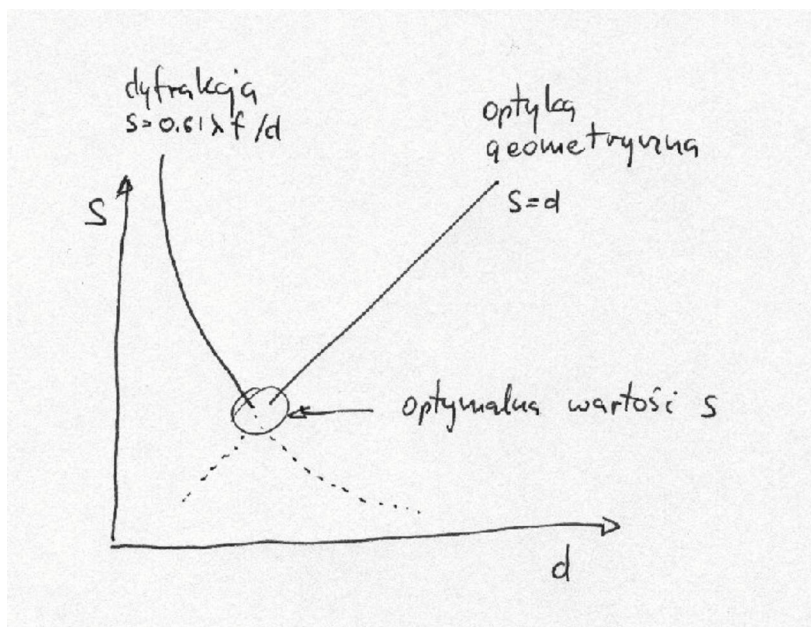
Rys. 11 Szeroki otworek, schemat padania promieni świetlnych i zależność między średnicą otworka (d) a średnicą powstającej na kliszy jasnej plamki (s).

Światło nie zachowuje się jednak jak pęk strzał wystrzelonych z łuku albo strumień kulek, ale ma naturę falową, co oznacza, że może (podobnie jak fale na wodzie) ulegać ugięciu. Ściślej rzecz ujmując, światło może zachowywać się **zarówno** jak fala, i jak strumień cząstek. (Ten pozorny paradoks pogodziła dopiero mechanika kwantowa na początku XX wieku.) Tak czy inaczej, zachowując się jak fala, promień świetlny ulega ugięciu na krawędzi przeszkody. Dlatego w rzeczywistości nigdy nie obserwuje się ostrej granicy między cieniem a obszarem oświetlonym – istnieje zawsze pewien obszar półcienia związany właśnie ze zjawiskiem dyfrakcji światła. Dyfrakcja zachodzi na krawędzi otworu, a więc im mniejsza średnica otworu, czyli im większy stosunek jego obwodu (wyznaczającego linię na której promienie się uginają) do pola powierzchni, tym wkład dyfrakcyjny większy, a obszar półcienia staje się wyraźniejszy. W efekcie dla bardzo małych otworków im mniejsza będzie jego średnica, tym większą plamkę uzyskujemy! W tym przypadku zależność matematyczna będzie nieco bardziej złożona, można napisać: $s=2.44\lambda f/d$, gdzie s i d jak poprzednio f – odległość otworka od powierzchni na której obserwujemy plamkę – ‘ogniskowa’, λ – długość fali światła. Wykresem wartości s w funkcji d będzie hiperbola



Rys. 12 Wąski otworek. Uwzględniający dyfrakcję schemat padania promieni świetlnych i zależność między średnicą otworka (d) a średnicą powstającej na kliszy jasnej plamki (s).

Podsumowując: jeśli otworek jest stosunkowo duży, średnicę plamki świetlnej (s) można zmniejszyć przez proste zmniejszanie otworka. W pewnym momencie, kiedy średnica otworka jest dostatecznie mała, dochodzi do głosu dyfrakcja i dalsze jej zmniejszanie powoduje już wzrost średnicy plamki. Składając wykresy z rysunku 11 i 12, widać, że najmniejsza wartość s odpowiada punktowi przecięcia prostej z hiperbolą,



Rys. 13

co oznacza równość:

$$2.44\lambda f/d=d$$

lub (jeśli rozdzielić wartości f i d)

$$f=d^2/2.44\lambda$$

albo jeszcze inaczej

$$d = \sqrt{2.44 * \lambda * f}$$

Mimo iż całe rozumowanie zawiera pewne uproszczenia, wynika z niego istotny wniosek. Taki mianowicie, że optymalna średnica d nie jest wielkością niezmienną, zależy bowiem, co widać z ostatniego wzoru, od wartości ogniskowej f , a ściślej jest proporcjonalna do pierwiastka kwadratowego z tej wielkości. Jednym słowem: aby ustalić optymalną średnicę otworka musimy najpierw znać wartość ogniskowej aparatu.

Dość zaskakująca jest natomiast ilość różnych wzorów czy tabelki wiążących f z d , które spotkać można w literaturze. Eric Renner podaje, że spotkał ponad 50 różnych formuł. Część z nich oparta jest na rozważaniach teoretycznych, część na doświadczeniu poszczególnych fotografów. Dodatkowy galimatias powoduje fakt podawania odległości w różnych jednostkach. W zależności od rejonu, z jakiego pochodzi autor, będą to centymetry, milimetry, cale lub tysięczne cala (dla wyrażenia średnicy otworka). Kłopot sprawia też jednoznaczne przyjęcie konkretnej wartości długości fali świetlnej (λ). Jak wiadomo, światło białe rozłożyć można na różne kolory, każdy o innej długości fali – od ok. 0.0004 mm (fiolet) do 0.00076 mm (czerwień). Zazwyczaj autorzy wstawiają jako λ długość fali świetlnej światła żółto-zielonego równą 0.00056 mm, ale nie jest to regułą.

W 99% przypadków określa się jednak optymalną średnicę otworka jako proporcjonalną do pierwiastka kwadratowego z ogniskowej. Przyjmując stałą długość fali, uzyskuje się ogólny (i najprostszy) wzór

$$d = c \sqrt{f} \quad (d \text{ i } f \text{ wyrażone w mm})$$

gdzie c jest stałą. Przybiera ona wartości od ok. 0.03 do niej więcej niż 0.05, w zależności od autora konkretnej formuły. Ten typ wzoru znakomicie nadaje się do oszacowania średnicy otworka, nie uwzględnia jednak rodzaju oświetlenia. Fotografując w podczerwieni, można popełnić znaczne błędy (otworek będzie za mały). Niebezpieczeństwo to eliminuje drugi typ wzorów uwzględniających długość fali:

$$d = e \sqrt{\lambda * f} \quad (e\text{-stała, } d, f \text{ i } \lambda \text{ wyrażone w mm})$$

Najbardziej znany, i używany z powodzeniem do dziś, jest ten zaproponowany w roku 1891 przez lorda Rayleigha, w którym przyjmuje on wartość stałej e równą 1.9. (Ten znakomity angielski fizyk, profesor uniwersytetu w Cambridge wniósł ogromny wkład w rozwój optyki i teorii dyfrakcji. Jest też laureatem Nagrody Nobla, którą otrzymał jednak nie za badania w tej dziedzinie, a za odkrycie argonu) W użyciu są również wzory stosujące inną wartość stałej występującej przed pierwiastkiem, co prowadzi oczywiście do innej średnicy otworka, przy czym są to zazwyczaj wielkości mniejsze niż 1.9, a więc i obliczone ‘optymalne’ otworki są nieco mniejsze. Encyklopedia Brithanica proponuje zamiast 1.9 wielkość 1.4.

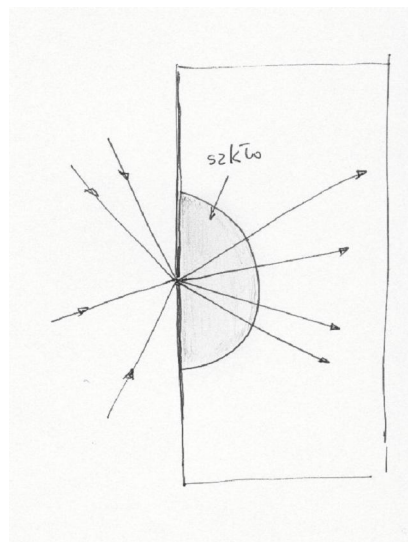
Bardziej zaawansowane równania wspomniane tutaj raczej z obowiązku, niż w związku z ewentualną możliwością zastosowania, biorą pod uwagę również odległość aparatu od fotografowanego obiektu (ma to znaczenie w zasadzie tylko jeśli fotografujemy obiekty położone bardzo blisko).

Na marginesie warto zaznaczyć, że nie zawsze chodzi o uzyskanie ‘najlepszego’ obrazu o jak największej rozdzielczości. Dotyczy to zwłaszcza działań artystycznych, dla których wymóg, aby zdjęcie było wyraźne, nie stanowi żadnego kryterium jego wartości.

Dodatkowo fotografowanie w szerokim kącie powoduje różnice w wielkości f – materiał światłoczuły nie znajduje się przecież w jednakowej odległości od otworka, a co za tym idzie, powstaje dylemat, jaką wartość wstawić do wzoru na s .

Otworki i aparaty alternatywne

Matt Young [M. Young The Physics Teacher, Grudzień 1989 oraz M. Young Appl. Opt. 10, 2763-2767 1971 i M. Young Am. J. Phys. 40, 715-720, 1972] podaje kilka ciekawych przykładów aparatów bez optyki stanowiących modyfikację kamery otworkowej lub opierających się na innych rozwiązaniach. Na Rys. 14 widać, jak szklana półkula ustawiona tuż za otworkiem potrafi zebrać promienie przechodzące przez otworek, a tym samym zawęzić pole obrazu na kliszy, nie redukując jednocześnie kąta widzenia aparatu.



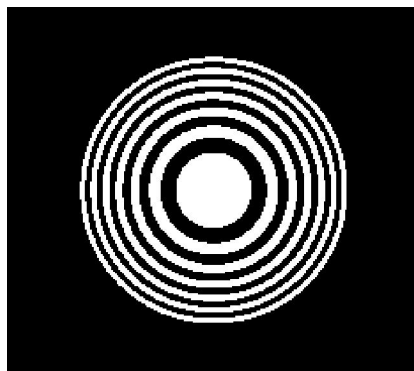
Rys. 14

Pozwala to na eliminowanie efektu spadku jasności na obrzeżach zdjęcia, umożliwiając wykonywanie zdjęć w szerokim kącie bez lub ze znacznie zmniejszonym winietowaniem. Co ciekawe, podobne właściwości optyczne jak szkło ma również woda (współczynnik refrakcji dla szkła jest trochę większy), można więc ten sam efekt osiągnąć, stosując aparat wypełniony w całości wodą. Takie eksperymenty były zresztą – z dobrym skutkiem – przeprowadzane. Często robione są fotografie aparatami posiadającymi więcej niż jedną dziurkę. W efekcie otrzymuje się obrazy nałożone na siebie i wzajemnie się przenikające. Wyjątkiem jest sytuacja, kiedy fotografujemy scenę zawierającą tylko jeden jasny punkt np. zapaloną w ciemności świecę, a otworki nie są zbyt blisko siebie. Wtedy na kliszy uzyskuje się obraz odpowiadający ilości i rozkładowi dziurek, a zdjęcie sprawiać może wrażenie fotografii wielu świec wykonanej przy użyciu jednego otworka.

Zmiana kształtu otworka pogarsza co prawda ‘techniczną’ jakość zdjęcia, jako że koło jest i w tym przypadku ideałem, daje jednak możliwość eksperymentowania i innej techniki wyrazu. Stosowane były z powodzeniem cienkie szczeliny (Stefan Wojnecki), produkujące obrazy przypominające zdjęcia poruszone, oraz układy kilku szczelin (równoległych, ułożonych w trójkąt, kwadrat itp.).

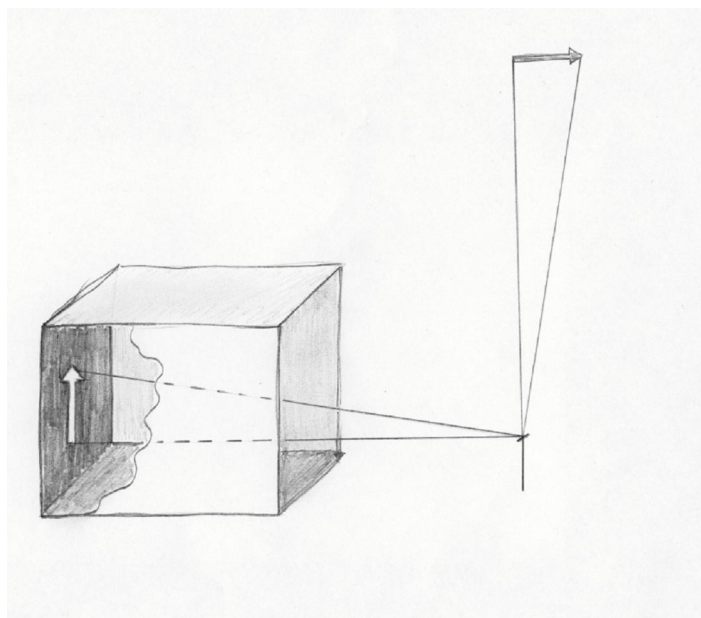
Oddzielnym urządzeniem, stanowiącym rozszerzenie otworka, jest tzw. płytki strefowa (ang. zone plate), składająca się z szeregu koncentrycznych kręgów na przemian przezroczystych i

ciemnych, średnice których można, podobnie jak optymalną średnicę otworka, obliczyć teoretycznie. Płytki strefowej daje bardzo charakterystyczne, łatwo rozpoznawalne, miękkie i dość niewyraźne obrazy. W pewnym sensie otworek jest najprostszym typem płytki strefowej, mającej tylko jeden jasny krąg.



Rys. 15 Płytki strefowej zbudowana z 13 kręgów.

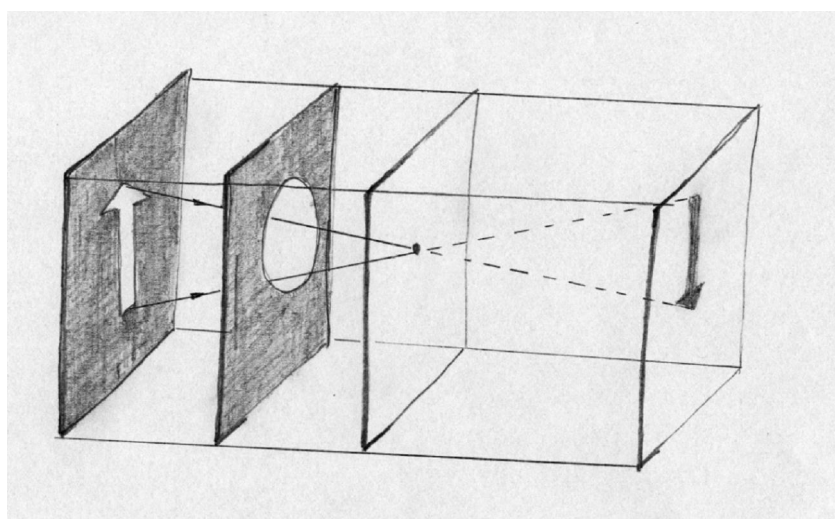
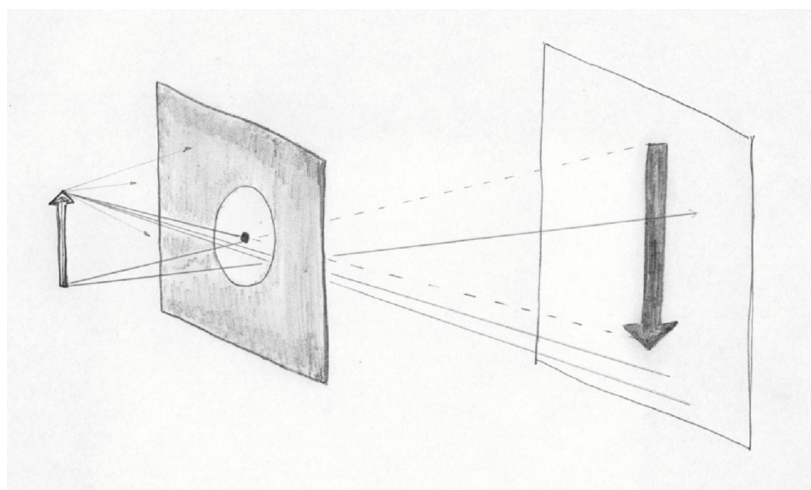
Bardzo małe zwierciadło płaskie stanowić może odpowiednik otworka, odbijając (a nie przepuszczając, jak to robi otworek) tylko cieką wiązkę promieni świetlnych. Opisane przez Thomy Nielsona w 1986r [T. H. Nilsson, 'Pinhead mirror: a previously undiscovered imaging device?' *Apl. Opt.* 25, 2863-2864, 1986], zostało przez niego nazwane 'pinhead mirror', nawiązując do angielskiej nazwy aparatu otworkowego (pinhole camera).



Rys. 16 Zasada działania 'pinhead mirror' – obraz odbijany przez małe lustro może być dobrze widoczny, jeśli ekran umieszczony jest w ciemnym pomieszczeniu (oczywiście otwartym od strony lusterka).

Z kolei przeciwieństwem kamery otworkowej jest 'pinspeck camera' – urządzenie, w którym zamiast otworka znajduje się szerokie przezroczyste koło z niewielką czarną plamką pośrodku (speck – ang. plamka). Powoduje ona powstawanie cienia, będącego odpowiednikiem plamki świetlnej generowanej przez otworek. Powstaje w ten sposób obraz negatywny, jednak o zdecydowanie gorszej jakości spowodowanej bardzo małą kontrastowością. Podobnie jak

otworek przepuszcza tylko jeden promień świetlny, mała plamka tylko jeden promień zatrzymuje. W efekcie zamiast obszarów jasnych powstają nieznacznie ciemniejsze. Rozdzielczość takich obrazów jest jednak wielokrotnie gorsza nawet od tej niezbyt rewelacyjnej uzyskiwanej w kamerze otworekowej, co limituje znacznie zastosowanie tego pomysłu w praktyce. Pinspeck jest więc czymś w rodzaju przeciwieństwa kamery otworekowej z dwiema jednak różnicami. Można mianowicie stosować kilka plamek umieszczonych w różnych odległościach od materiału światłoczułego, co jest niemożliwe w przypadku otworków (kilka otworków można stosować tylko pod warunkiem umieszczenia ich w jednej płaszczyźnie). W przypadku fotografii barwnej kolory uzyskanych obrazów są zmienione (na kolory dopełniające). To ciekawe i proste urządzenie opisane zostało stosunkowo niedawno, bo dopiero w 1982r., przez Adama Cohena w artykule zatytułowanym 'Anti-pinhole imaging'.

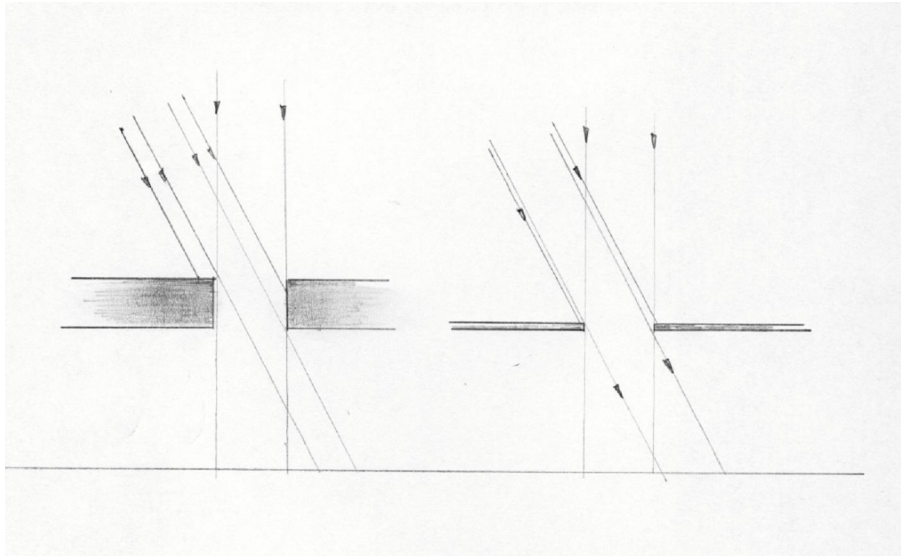


Rys. 17 Dwa sposoby budowy pinspeck'a. W obu przypadkach zasada działania jest ta sama, a obraz jest zawsze cieniem.

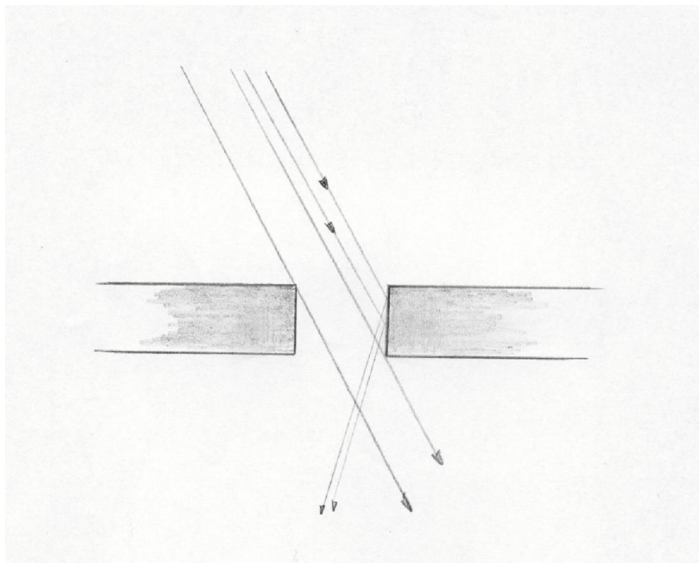
Otworek

Najważniejszym elementem aparatu otworekowego jest, oczywiście, sam otworek.

Własnoręczne wykonanie otworka wymaga pewnej wprawy i cierpliwości, ale w efekcie można jednak osiągnąć całkiem niezłe rezultaty. Wbrew angielskiej nazwie (pinhole), wykonuje się go najczęściej igłą, a nie szpilką, bywają też otworki wiercone i wypalane laserem. Można kupić specjalne wiertła o średnicy 0.3, 0.4mm i większe, ich zastosowanie wymaga jednak użycia stabilnych wiertarek warsztatowych, jeśli efekty mają być rzeczywiście zadawalające. Zaletą otworków wierconych jest ich ściśle określona średnica, co ma znaczenie, jeśli nie mamy mikroskopu, którego by można użyć do jej pomiaru. Wadą jest natomiast powstawanie ‘tulejki’ zamiast otworka o cienkich krawędziach. Jest to tym bardziej widoczne, w im grubszym materiale wiercimy. Używanie blachy aluminiowej z puszek po napojach jest właśnie przykładem, kiedy taki efekt może się pojawić. Rozwiązaniem jest późniejsze szlifowanie okolic otworka bardzo drobnym papierem ściernym (o numerze 500 i więcej). Metoda może pracochłonna, ale dająca dość dobre efekty. Najlepsza będzie, oczywiście, bardzo cienka blaszka miedziana, mosiężna, brązowa czy stalowa, grubości powiedzmy 0,05 mm, ale zdobycie jej stanowi jednak nieco większy problem. Osobiście najwięcej doświadczeń mam z mosiądzem, który dodatkowo można dość łatwo poczernić, likwidując w ten sposób niebezpieczeństwo odbłyśków światła na krawędziach otworka.

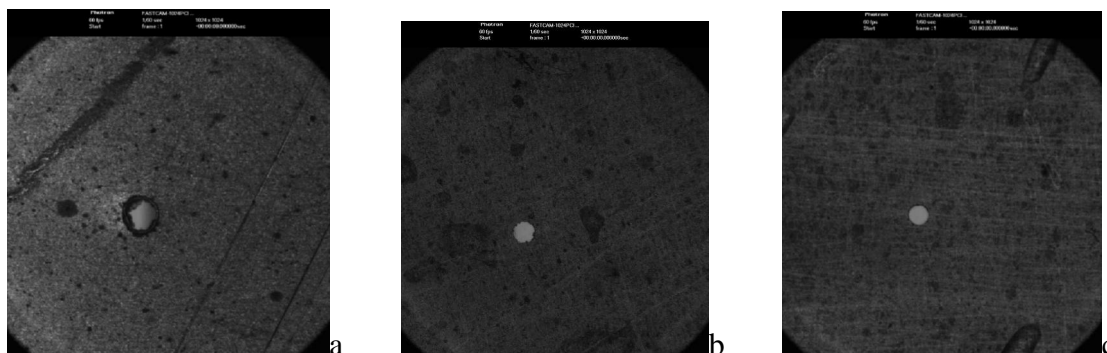


Rys. 18 Im grubsza blacha w której wiercony jest otworek, tym szybszy spadek jasności obrazu ze wzrostem kąta widzenia aparatu. Na rysunku z lewej znaczna część promieni zostaje zatrzymana na ‘bokach’ otworka.



Rys. 19 Otworek przypominający tulejkę (wiercony w zbyt grubej blaszce) może powodować dodatkowe rozpraszanie promieni świetlnych na ściankach bocznych.

Najpowszechniejszą metodą uzyskania otworka jest ‘wiercenie’ przy użyciu igły. Powinna ona zostać umocowana w obsadce w celu stworzenia solidnego uchwytu (rolę obsadki spełniać może np. stary ołówek automatyczny). Blaszka, w której wykonuje się otworek, musi zostać położona na gładkiej i stosunkowo twardej powierzchni zrobionej np. z twardego drewna. Otworek robimy, dociskając igłę przy równoczesnym obrocie (obracać można zarówno igłę, jak i blaszkę, w zależności od tego, co uznamy za wygodniejsze). Tak uzyskany otworek ma nieregularne brzegi, które trzeba zeszlifować przy użyciu papieru ściernego, pocierając blaszkę po płasko położonym papierze. Folia aluminiowa jest bardzo miękka i łatwo ulega ‘przetarciu’, zwłaszcza jeśli używa się folii do pieczenia. Lepsza wydaje się ta z puszek po napojach. Ponieważ jest ona – o czym była mowa wcześniej – trochę za gruba, można ją dodatkowo wstępnie oszlifować, co i tak właściwie trzeba zrobić, żeby usunąć farbę i zabrudzenia.



Rys. 20 Zdjęcia mikroskopowe otworka w trzech stadiach wykonania: a) wiercenie bez podkładek powoduje najczęściej powstanie nieregularnych brzegów, wypchnięcie rantu dookoła otworka; b) po oszlifowaniu wewnątrz otworka mogą pozostać paprochy; c) otworek po oszlifowaniu i przemyciu wodą. Zdjęcia mikroskopowe dzięki uprzejmości kolegów z Instytutu Chemii Fizycznej PAN.

Ocena jakości wykonanego otworka stanowi pewien problem, jeśli nie dysponuje się mikroskopem. Załóżmy, że, aby ocenić efekty naszej pracy i dostrzec ewentualne wady, średnica powiększonego otworka powinna wynosić ok. 1 cm. W rzeczywistości wynosić ona będzie mniej więcej 0.3 mm, co oznacza konieczność stosowania powiększenia ok. 30 razy. Ktoś dysponujący lepszym wzrokiem może korzystać z lupy dającej dziesięciokrotne powiększenie. Kształt i średnicę otworka ocenić można również, posługując się skanerem. Trzeba zeskanować całą blaszkę z otworkiem w możliwie największej rozdzielczości. Oglądając następnie zeskanowany obraz i znając rozmiar blaszki, można dość dokładnie oszacować rozmiar otworka. Skanować można w świetle odbitym (standardowe skanowanie materiałów nieprzezroczystych) lub w świetle przechodzącym (jak w przypadku negatywów). Uzyskuje się albo obraz ciemnej plamki na jaśniejszym tle, albo jasnej plamki na ciemnym tle. W drugim przypadku średnica otworka może być trochę przeszacowana – ok. 10% większa niż w rzeczywistości. Pamiętać trzeba jednak, że skaner daje odpowiedź tylko na pytanie o kształt i średnicę otworka. Jeśli jego brzegi nie są gładkie, mają zadziorki itd., zdjęcia ze skanera tego nie ujawnią – do tego potrzebny jest mikroskop lub silna lupa.

Szlifowanie papierem ściernym zawsze wprowadza do wnętrza otworka zabrudzenia, pył i paprochy. Doświadczenia autora wskazują, że na końcu dobrze jest otworek przepłukać silnym strumieniem wody lub wody z detergentem, a następnie blaszkę starannie wysuszyć. Tak wykonana blaszka z odpowiednim otworkiem powinna w zasadzie zostać poczerniona, jednak w gruncie rzeczy można się bez tego obejść, ważniejsze jest, aby pozostała (wewnętrzna) część aparatu była matowo czarna.



Rys. 21 Otworek w cienkiej blaszce widziany pod światło. W rzeczywistości średnica otworka (0.27 mm) jest znacznie mniejsza, niż mogło by to się wydawać na podstawie zdjęcia. Całkiem niezłej jakości otworek wykonany przy pomocy igły.