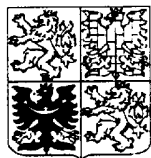


(19)

ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **3225-96**

(22) Přihlášeno: **04. 11. 96**

(40) Zveřejněno: **13. 05. 98**
(Věstník č. 5/98)

(47) Uděleno: **17. 08. 98**

(24) Oznámeno udělení ve Věstníku: **14. 10. 98**
(Věstník č. 10/98)

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.⁶:

G 01 J 3/28
G 01 J 3/30

(73) Majitel patentu:

HEŘMAN Petr, Praha, CZ;

VEČEŘ Jaroslav, Praha, CZ;

(72) Původce vynálezu:

Heřman Petr, Praha, CZ;

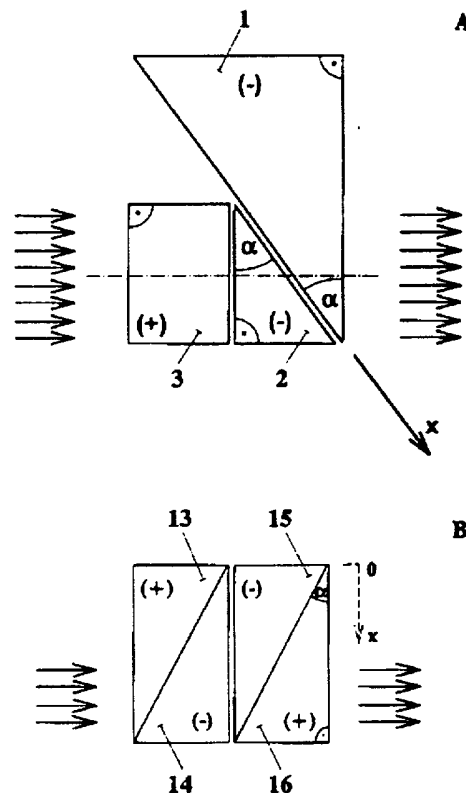
Večeř Jaroslav, Praha, CZ;

(54) Název vynálezu:

**Způsob určení spektrálního složení
elektromagnetického záření a zařízení
k jeho provádění**

(57) Anotace:

Způsob využívá fyzikálního jevu disperze optické rotace pro určení spektrálního složení světla. Polychromatické lineárně polarizované záření prochází prostředím stáječím rovinu polarizace jeho spektrálních komponent v závislosti na jejich vlnové délce a parametru p použitého prostředí. Po následném průchodu analyzujícím polarizátorem je změřena závislost jeho intenzity $R(p)$ na parametru p . Ta je v jednoznačném matematickém vztahu se spektrem $I(\lambda)$ analyzovaného záření, kde λ označuje vlnovou délku, a umožňuje tak jeho určení užitím speciálních matematických metod. V zařízeních pracujících na výše uvedeném principu prochází kolimovaný polarizovaný svazek analyzovaného záření nejdříve optickým elementem vykazujícím disperzi optické rotace, která se mění v závislosti na parametru p , tedy rotátorem (7), dále analyzujícím polarizátorem (8) a je zobrazen na vhodný detektor (10), který měří funkci $R(p)$ v závislosti na parametru p , z níž je potom spočteno hledané spektrum $I(\lambda)$.



Způsob určení spektrálního složení elektromagnetického záření a zařízení k jeho provádění

Oblast techniky

5

Vynález se týká určování spektrálního složení elektromagnetického záření, zejména světla.

Dosavadní stav techniky

10

V současné době existují dva základní fyzikální postupy při určování spektrálního složení světla využívající buď úhlového spektrálního rozkladu světla, nebo jevu interference světla.

15

Při metodě úhlového spektrálního rozkladu světelný paprsek integruje s vhodným optickým elementem a v závislosti na vlnové délce mění směr svého šíření. Jednotlivé spektrální komponenty jsou tak prostorově odděleny a mohou být nezávisle analyzovány. Prostorová separace spektrálních komponent je založena buď na disperzi indexu lomu světla v prostředích optických hranolů, a nebo na vlastnostech optické mřížky, kdy úhel odrazu dopadajícího záření závisí na jeho vlnové délce. Komerčně vyráběná zařízení využívající těchto principů se nazývají monochromátory. Užívají se běžně v ultrafialové, viditelné a infračervené oblasti spektra.

20

Nevýhodou těchto zařízení je, že mění geometrické parametry analyzovaného svazku světla, jednoduše neumožňují měření dvojdimenzionálních spektrálních map a mají obvykle malou světelnou propustnost zejména v ultrafialové oblasti spektra.

25

Základem spektrometrů založených na přímém užití jevu interference světla je Michelsonův interferometr. Analyzované světlo je rozštěpeno na dva interferující svazky a v závislosti na změně délky jednoho z ramen interferometru je měřen tzv. interferogram, ze kterého je možno pomocí metod Fourierovské analýzy spočítat spektrum zkoumaného záření. Interferometrická měření spekter jsou nejčastěji užívána v infračervené oblasti spektra, neboť pro delší vlnové délky záření je možno snáze dosáhnout požadované přesnosti nastavení polohy pohyblivého zrcadla interferometru.

30

Nevýhodou tohoto způsobu analýzy je, že se jedná o složitá a drahá zařízení velkých rozměrů neumožňující měření v UV oblasti spektra. Jejich činnost vyžaduje velmi přesnou mechaniku pohyblivých součástí a jsou tedy značně citlivá na vnější vlivy, například na změny teploty, vibrace, vlhkost vzduchu atd..

35

Podstata vynálezu

40

Podstata vynálezu spočívá v zavedení nové fyzikální metody pro určení spektrálního složení elektromagnetického záření, speciálně světla, a v návrhu a konstrukci zařízení, které na principu této metody pracuje. Podstatou způsobu určení spektrálního složení elektromagnetického záření, zejména světla, je, že se analyzovaný svazek záření převede na lineárně polarizovaný rovnoběžný svazek záření a toto kolimované polarizované záření se podrobí optické rotaci prostřednictvím opticky aktivního levo- a/nebo pravotočivého prostředí s disperzí optické rotace. Tím dochází k otočení roviny polarizace jednotlivých spektrálních komponent záření v závislosti na jejich vlnové délce. Takto vzniklý rovnoběžný svazek se opět polarizuje v rovině, svírající s rovinou polarizace lineárně polarizovaného analyzovaného záření úhel φ_0 v rozmezí 0 – 90°. Poté se změří výstupní intenzita svazku analyzovaného záření. Pomocí změny parametru (p) opticky aktivního prostředí se dále postupně mění optická rotace tohoto prostředí a tím tedy i úhel rotace $\varphi(\lambda, p)$ roviny polarizace záření v závislosti na vlnové délce. Uvedený postup se

45

50

opakuje pro různé hodnoty parametru (p), čímž se získá funkční závislost velikosti výstupní intenzity svazku analyzovaného záření na změně parametru (p), tak zvaný rotogram. Z této závislosti se matematickou analýzou, s výhodou metodou maximální entropie, určí hledané spektrum analyzovaného elektromagnetického záření.

5

Při určování spektrálního složení světla bodového zdroje světla pochází kolimované polarizované záření opticky aktivním prostředím vykazujícím stejnou disperzi optické rotace v celém průřezu svazku analyzovaného záření a výstupní intenzita je měřena sekvenčně jednobáňovým detektorem.

10

Při určování spektrálního složení světla plošného zdroje světla prochází kolimované polarizované záření opticky aktivním prostředím vykazujícím stejnou disperzi optické rotace v celém průřezu svazku analyzovaného záření a výstupní intenzita je měřena sekvenčně mnohobáňovým detektorem, výhodně diodovou maticí.

15

Parametrem (p) je s výhodou efektivní tloušťka opticky aktivního prostředí ve směru šíření svazku.

20

Další možností provádění tohoto způsobu je, že se kolimované polarizované záření, které je spektrálně homogenní v průřezu svazku, podrobí optické rotaci v prostředí s disperzí optické rotace měnící se ve zvoleném směru průřezu svazku analyzovaného záření a celá závislost jeho intenzity na parametru (p) v tomto směru je změřena simultánně. Parametrem (p) je zde rozdíl dráhy světla v levo- a pravo-točivém aktivním prostředí, měnící se v tomto zvoleném směru.

25

Je-li výsledkem matematické analýzy závěr, že se jedná o monochromatické záření, určí se z délky periody rotogramu jeho vlnová délka. V tomto případě se tedy jedná o metodu rychlého určování vlnové délky monochromatického elektromagnetického záření, k jejímuž konečnému výpočtu je s výhodou použito poloh minim nebo maxim rotogramu.

30

Zařízení k provádění uvedeného způsobu sestává z kolimačního optického systému a jedno- nebo mnohobáňového detektoru a jeho podstatou je, že mezi optický systém a detektor je zařazen první polarizátor, rotátor a druhý polarizátor. Rotátor je sestaven z komponent tvořených z levo- a/nebo pravotočivých jednoosých krystalů opticky aktivních látek, kde optické osy těchto krystalů jsou vždy orientovány ve směru průchodu analyzovaného světla. Výhodné je, jsou-li

35

jako krystaly použity krystaly křemene.

40

Rotátor může být vytvořen různým způsobem. V jednom provedení je sestaven ze dvou, vzájemně pohyblivých komponent tvaru klínovitých těles stejného směru stáčitosti, kde součet tloušťek těchto těles přes celý průřez analyzovaného svazku záření je v každé jejich vzájemné poloze stále stejný.

Před rotátor lze, ve směru průchodu analyzovaného světla, zařadit kompenzační destička opačné stáčitosti než je stáčitost komponent.

45

V dalším provedení je rotátor sestaven ze dvou navzájem nepohyblivých komponent tvaru klínovitých těles opačné stáčitosti, kde součet tloušťek těchto těles přes celý průřez analyzovaného svazku záření je stejný.

50

Další možností je, že rotátor sestává ze dvou komponent, z nichž každá je vytvořena ze dvou částí tvaru klínovitých těles s opačnou stáčitostí a má stejnou tloušťku v celém průřezu analyzovaného svazku záření. Tyto komponenty jsou orientovány k sobě částmi se stejnou stáčitostí a jsou navzájem posuvné ve směru kolmém na průchod analyzovaného světla.

- Výhodou způsobu určování spektrálního složení elektromagnetického světla a zařízení využívajících nové metody podle vynálezu je, že se nemění geometrie, tedy paralelnost, analyzovaného svazku záření. Zařízení k realizaci tohoto nového způsobu lze jednoduše adaptovat pro použití v existujících zařízeních, jako jsou například mikroskopy, teleskopy, kamery a podobně. Další výhodou je, že tato zařízení mají malé rozměry. Z technického hlediska dávají možnost simultánního měření dvojdimenzionálních spektrálních map, mají vysokou světelnou propustnost v ultrafialové a viditelné oblasti spektra. Tato zařízení jsou výrobně jednoduchá a levná. Pro svoji jednoduchost a odolnost jsou vhodná pro použití v extrémních podmínkách.
- Nová metoda tedy využívá fyzikálního jevu disperze optické rotace, kdy se rovina polarizace lineárně polarizovaného světla procházejícího aktivním prostředím vhodného optického elementu, nazvaného rotátor, stáčí v závislosti na vlnové délce záření. Je-li celková intenzita rovnoběžného svazku polarizovaného polychromatického světelného záření $I = \int I(\lambda) d\lambda$, je po průchodu rotátorem a analyzujícím polarizátorem, tedy analyzátozem, v závislosti na parametru p naměřen tak zvaný „rotogram“ $R(p)$ ve tvaru:

$$R(p) = \int_{\lambda} I(\lambda) \cos^2[\varphi_0 + \varphi(\lambda, p)] d\lambda$$

- kde $I(\lambda)$ je spektrum analyzovaného záření, φ_0 úhel mezi směrem propustnosti analyzátoru a rovinou polarizace lineárně polarizovaného analyzovaného záření a $\varphi(\lambda, p)$ úhel rotace roviny polarizace záření o vlnové délce λ po průchodu rotátorem charakterizovaným parametrem p . Vzhledem k $I(\lambda)$ je výše uvedená rovnice tzv. Fredholmovou integrální rovnicí prvního druhu [1] s kernelem $K(\lambda, p) = \cos^2[\varphi_0 + \varphi(\lambda, p)]$. Je-li změřena funkce $R(p)$, je možno tuto rovnici řešit, výhodně metodou maximální entropie (MEM) [2], a určit tak jednoznačně spektrum $I(\lambda)$, přestože jiné klasické postupy k cíli nevedou. Ve speciálním případě pro materiál se specifickou rotací $D(\lambda)$ může být parametrem p jeho nastavitelná tloušťka ve směru průchodu záření, což dává $\varphi(\lambda, p) = p \cdot D(\lambda)$.

- V zařízení pracujícím na výše uvedeném principu prochází lineárně polarizovaný rovnoběžný svazek záření nejdříve optickým rotátorem, kde dochází k otočení roviny polarizace jednotlivých spektrálních komponent záření v závislosti na jejich vlnové délce, dále analyzátozem a dopadá na detektor, kterým je změřena funkce $R(p)$ v závislosti na parametru p . Užitím výše uvedeného vztahu pro $R(p)$ je potom vypočteno hledané spektrum $I(\lambda)$.

Přehled obrázků na výkresech

- Podstata způsobu určování spektrálního složení elektromagnetického záření a zařízení k jeho provádění budou dále vysvětleny pomocí přiložených výkresů. Na obr. 1 a 2 jsou schematicky naznačeny různé možnosti provedení rotátoru, na obr. 3 je jedno možné provedení zařízení k provádění způsobu podle vynálezu, na obr. 4 je uveden příklad rotogramu, obr. 5 znázorňuje spočítané spektrum $I(\lambda)$ a na obr. 6 je další příklad provedení zařízení podle vynálezu.

Příklady provedení vynálezu

- V zkonstruovaném zařízení bylo použito jednoho z možných konstrukčních řešení rotátoru vyrobené z levo- a pravotočivé formy krystalů křemene podle obr. 1. Rotátor zde sestává ze dvou levotočivých (–) hranolů 1 a 2 a pravotočivé (+) kompenzační destičky 3, přičemž funkce rotátoru se nezmění, jsou-li použity pravotočivé hranoly a levotočivá kompenzační destička. Všechny tři komponenty jsou zhotoveny a sestaveny tak, aby jimi světlo procházelo přesně ve

směru optické osy o , což zajišťuje jejich správnou funkci. Posuvem většího hranolu 1 o vzdálenost x , po styčné ploše s menším hranolem 2 z polohy, kdy světlo prochází stejnou dráhu d v obou opačně stáječících prostředích $d^{(+)} = d^{(-)}$, dojde ke změně efektivní tloušťky aktivního prostředí rotátoru o $p = d^{(+)} - d^{(-)} = x \cdot \sin \alpha$, kde směr posuvu a úhel α jsou naznačeny v obr. 1.

5 Pro různé posuvy x tak lze získat rotogram $R(p)$ a z něj spočítat hledané spektrum.

V určitých aplikacích může být změna tloušťky popsaného rotátoru nevýhodná. Tento nedostatek odstraňuje rotátor znázorněný na obr. 2. Rotátor se skládá ze čtyř geometricky identických hranolů křemene 13, 14, 15, 16, z nichž dva 13, 16 jsou pravotočivé a dva 14, 15 jsou levotočivé.

10 Všechny hranoly 13, 14, 15, 16 jsou opět orientovány tak, aby jimi světlo procházelo ve směru optické osy. Posuvem dvojice vzájemně nepohyblivých hranolů 15, 16 vůči vzájemně nepohyblivým hranolům 13, 14 kolmo na směr šíření světelného paprsku ve směru osy x , dojde ke změně parametru $p = d^{(+)} - d^{(-)} = 2x \cdot \tan \alpha$ v celém průřezu svazku, což zaručuje stejné otočení roviny polarizace paprsků téže vlnové délky v dané poloze hranolů v celém průřezu svazku a

15 stejnou délku aktivního prostředí rotátoru ve směru šíření světla při libovolném posuvu.

Příklad 1

20 Jednakanálová metoda měření spektra bodového zdroje světla: V zařízení podle obr. 3 je světlo vycházející z apertury 4 kolimováno optickým systémem 5 a lineárně polarizováno polarizátorem 6. Poté prochází rotátorem 7, analyzátozem 8 a je zobrazeno optickým systémem 9 na jednakanálový detektor 10, kterým je změřen rotogram $R(p)$. Toto zařízení bylo experimentálně sestaveno a jeho funkce ověřena včetně výpočtu spektra $I(\lambda)$ metodou maximální entropie.

25 Na obr. 4 a 5 je uveden ilustrační příklad měření a analýzy části spektra kalibrační rtuťové výbojky v oblasti 260–400 nm. Na obr. 4 je znázorněn experimentálně změřený rotogram (prázdná kolečka) a jeho fit podle výše uvedeného teoretického vztahu zobrazený plnou čarou, na obr. 5 potom spočítané spektrum $I(\lambda)$. Novou metodou byly určeny všechny čáry použité

30 rtuťové lampy pozorované pro kontrolu též mřížovým spektrometrem. Určené spektrální polohy čar pro námi použité diskrétní dělení osy vlnových délek (1 nm/bod) se shodují s tabelovanými hodnotami čárového spektra rtuti [3], pouze maximum na 294.3 nm odpovídá superpozici dvou nerozlišených čar. K jejich určení a dalšímu zúžení ostatních spočtených čar je třeba přesnějších experimentálních dat rotogramu $R(p)$.

35 Tato metoda umožňuje též jednoduché určení vlnové délky λ_0 monochromatického záření. Pro monochromatické záření a rotátor popsaný výše (obr. 1) má rovnice pro výpočet $R(p)$ tvar $R(p) = I \cdot \cos^2[\varphi_0 + p \cdot D(\lambda_0)]$, kde $p = x \cdot \sin \alpha$. Z její periodicity, např. z polohy maxim nebo minim, je možno vypočítat specifickou rotaci $D(\lambda_0)$ a určit jí odpovídající vlnovou délku λ_0 , buď opět

40 výpočtem, je-li $D(\lambda)$ analyticky vyjádřena, nebo odečtem z tabulky, pokud je funkce $D(\lambda)$ tabelována. Tento postup je možno výhodně využít k určení vlnové délky světla např. při přeladování barvivových laserů.

45 Příklad 2

Simultánní mnohakanálové měření spekter plošného zdroje světla - spektrální analýza obrazu (mikroskop, kamera, teleskop apod.): Na rozdíl od jednakanálové metody uvedené na obr. 3, je optickým systémem 5 místo bodového zdroje světla zobrazován plošný zdroj světla a k detekci

50 záření je místo jednakanálového detektoru 10 použit plošný mnohakanálový detektor. Různé elementy sledovaného plošného světelného zdroje se zobrazí na různé detekční elementy mnoho-

kanálového detektoru, který simultánně změří jim odpovídající rotogramy. Jejich vyhodnocením je získána plošná spektrální mapa sledovaného objektu.

Příklad 3

Mnohokanálové měření spektra jediného bodového zdroje světla: Princip metody je znázorněn na obr. 6, a to pro speciální případ rotátoru 11 vyrobeného z krystalů křemene. Tento speciální rotátor 11 sestává ze dvou vzájemně nepohyblivých hranolů opačné stáčivosti. Parametr $p = d^{(+)} - d^{(-)} = 2x \cdot \text{tg} \alpha$ se mění napříč tímto speciálním rotátorem 11 ve směru osy x lineárního mnohokanálového detektoru 12. Čárkovane je znázorněna dráha světelného paprsku, pro níž nedochází k rotaci roviny polarizace světla pro žádnou vlnovou délku ($p = 0$). Funkce $R(p)$ je simultánně měřena v celém intervalu hodnot parametru p . Korekci $R(p)$ na změnu intenzity světla napříč svazkem analyzovaného záření ve směru osy x je možno provést měřením s vyjmutým analyzátozem 8.

Průmyslová využitelnost

Vynález lze použít všude tam, kde je třeba analyzovat spektrální složení světla. Může se jednat o velmi citlivé vědecké přístroje, například absorpční nebo emisní spektrografy, s vysokou světelností nebo malé kompaktní doplňky ke stávajícím optickým zařízením např. k mikroskopům, teleskopům, kamerám atd., po jejichž instalaci lze s uvedenými zařízeními provádět spektrální analýzu obrazu. Tyto přístroje mohou najít uplatnění v astronomii, v dálkovém průzkumu Země např. při zemědělských, ekologických a vojenských aplikacích a dále mimo jiné ve fyzice, chemii, biologii nebo medicíně.

Literatura

- [1] Press W. H., Teukolski S. A., Wetterling W. T. and Flannery B. P.: Integral Equations and Inverse Theory in Numerical Recipes in Fortran, Cambridge University Press, 1992, p.779
- [2] Skilling J. and Bryan R. K.: Maximum entropy image reconstruction: general algorithm, Mon. Not. R. astr. Soc., 211 (1984) 111–124
- [3] Valouch M.: Pětimístné logaritmické tabulky a tabulky konstant, SNTL, Praha, 1967

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Způsob určení spektrálního složení elektromagnetického záření, zejména světla, **vyznačující se tím**, že se analyzovaný svazek záření převede na lineárně polarizovaný rovnoběžný svazek záření a toto kolimované polarizované záření se podrobí optické rotaci prostřednictvím opticky aktivního levo- a/nebo pravotočivého prostředí s disperzí optické rotace, čímž dochází k otočení roviny polarizace jednotlivých spektrálních komponent záření v závislosti na jejich vlnové délce λ , takto vzniklý rovnoběžný svazek se opět polarizuje v rovině, svírající s rovinou polarizace lineárně polarizovaného analyzovaného záření úhel φ_0 zvolený v intervalu $0^\circ - 90^\circ$, načež se změří výstupní intenzita svazku analyzovaného záření, poté se pomocí změny parametru (p) opticky aktivního prostředí postupně mění optická rotace tohoto prostředí a tím tedy i úhel rotace φ (λ, p) roviny polarizace záření v závislosti na vlnové délce a tento uvedený postup se opakuje pro různé hodnoty parametru (p), čímž se získá funkční závislost velikosti výstupní intenzity svazku analyzovaného záření na změně parametru (p), tak zvaný rotogram $R(p)$, a matematickou analýzou této závislosti podle rovnice

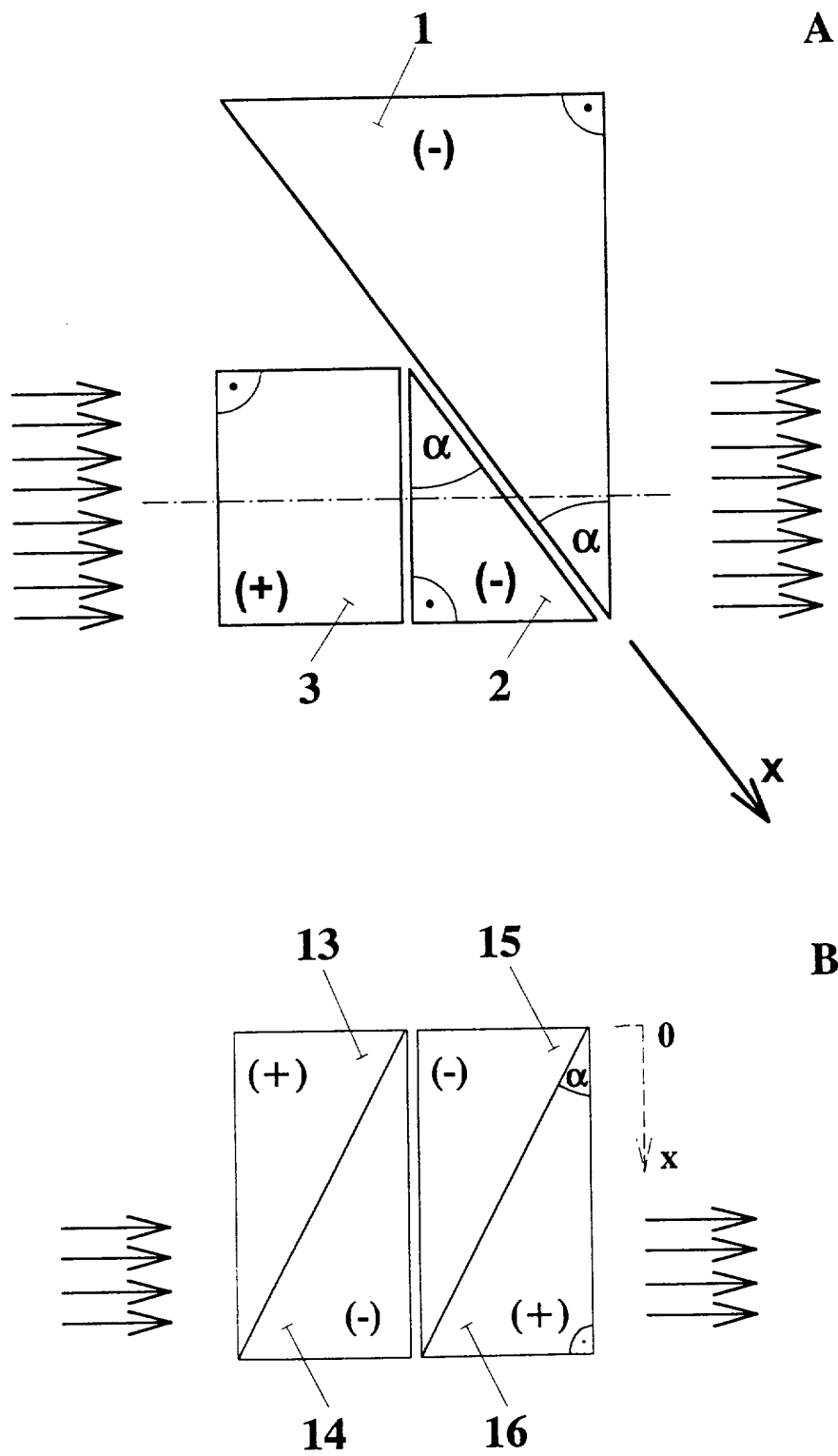
$R(p) = \int_{\lambda} I(\lambda) \cos^2[\varphi_0 + \varphi(\lambda, p)] d\lambda$, s výhodou metodou maximální entropie, se určí hledané spektrum analyzovaného elektromagnetického záření $I(\lambda)$.

2. Způsob podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že při určování spektrálního složení světla bodového zdroje světla prochází kolimované polarizované záření opticky aktivním prostředím vykazujícím stejnou disperzi optické rotace v celém průřezu svazku analyzovaného záření a výstupní intenzita je měřena sekvenčně jednobanálním detektorem.
3. Způsob podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že při určování spektrálního složení světla plošného zdroje světla prochází kolimované polarizované záření opticky aktivním prostředím vykazujícím stejnou disperzi optické rotace v celém průřezu svazku analyzovaného záření a výstupní intenzita je měřena sekvenčně mnohobanálním detektorem, výhodně diodovou maticí.
4. Způsob podle nároků 2 a 3, **vyznačující se tím**, že parametrem (p) je efektivní tloušťka opticky aktivního prostředí ve směru šíření svazku.
5. Způsob podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že kolimované polarizované záření, které je spektrálně homogenní v průřezu svazku, se podrobí optické rotaci v prostředí s disperzí optické rotace měnící se ve zvoleném směru průřezu svazku analyzovaného záření a celá závislost jeho intenzity na parametru (p) v tomto směru je změřena simultánně.
6. Způsob podle nároků 1 až 5, **vyznačující se tím**, že je-li výsledkem matematické analýzy závěr, že se jedná o monochromatické záření, určí se z délky periody rotogramu jeho vlnová délka.
7. Zařízení k provádění způsobu podle nároků 1 až 6, sestávající z kolimačního optického systému a jedno- nebo mnohobanálního detektoru, **vyznačující se tím**, že mezi optický systém (5) a detektor (10) je zařazen první polarizátor (6), rotátor (7) a druhý polarizátor (8), kde rotátor (7) je sestaven z komponent tvořených z levo- a/nebo pravotočivých jednoosých krystalů opticky aktivních látek, kde optické osy těchto krystalů jsou orientovány ve směru průchodu analyzovaného světla.
8. Zařízení k provádění způsobu podle nároku 7, **vyznačující se tím**, že krystaly jsou krystaly křemene.
9. Zařízení k provádění způsobu podle nároků 7 a 8, **vyznačující se tím**, že rotátor (7) je sestaven ze dvou, vzájemně pohyblivých komponent tvaru klínovitých těles stejného směru stáčivosti, kde součet tloušťek těchto těles přes celý průřez analyzovaného svazku záření je v každé jejich vzájemné poloze stejný.
10. Zařízení k provádění způsobu podle nároku 9, **vyznačující se tím**, že před rotátor (7) je ve směru průchodu analyzovaného světla zařazena kompenzační destička (3) opačné stáčivosti než je stáčivost komponent.
11. Zařízení k provádění způsobu podle nároků 7 a 8, **vyznačující se tím**, že rotátor (7) je sestaven ze dvou navzájem nepohyblivých komponent tvaru klínovitých těles opačné stáčivosti, kde součet tloušťek těchto těles přes celý průřez analyzovaného svazku záření je stejný.

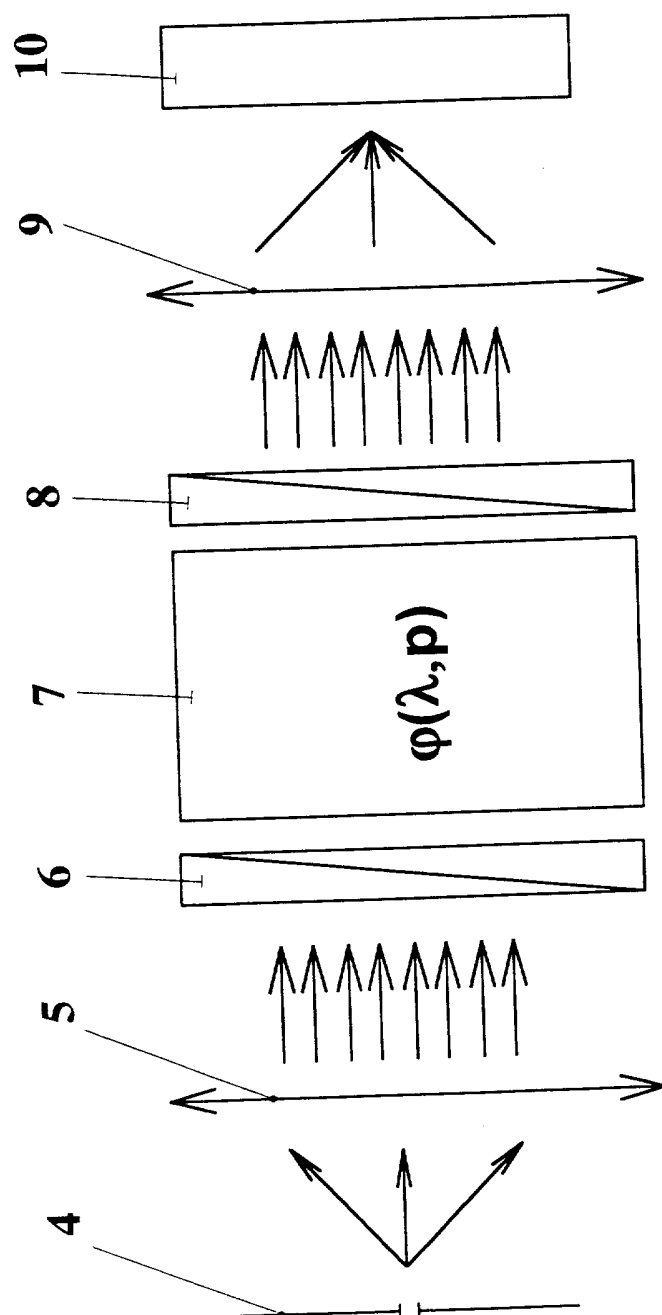
12. Zařízení k provádění způsobu podle nároků 7 a 8, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že rotátor (7) sestává ze dvou komponent, z nichž každá je vytvořena ze dvou částí (13, 14) a (15, 16) tvaru klínovitých těles s opačnou stáčivostí a má stejnou tloušťku v celém průřezu analyzovaného svazku záření, kde tyto komponenty jsou orientovány k sobě částmi se stejnou stáčivostí a jsou navzájem posuvné ve směru kolmém na průchod analyzovaného světla.

10

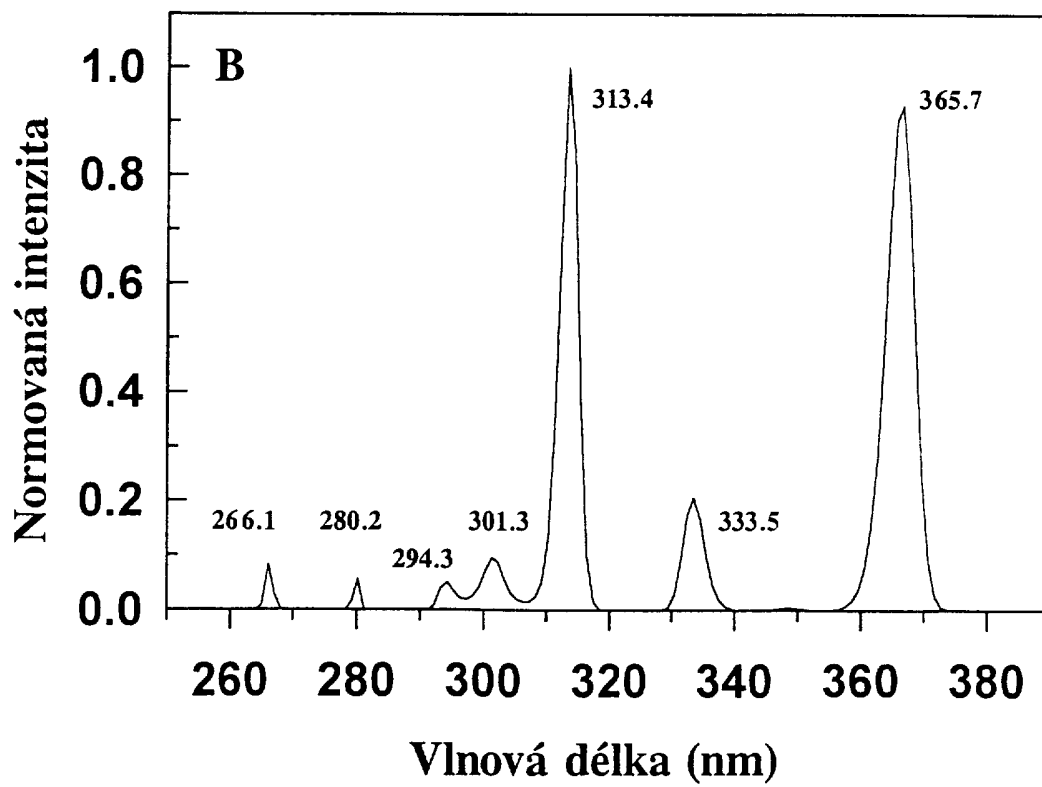
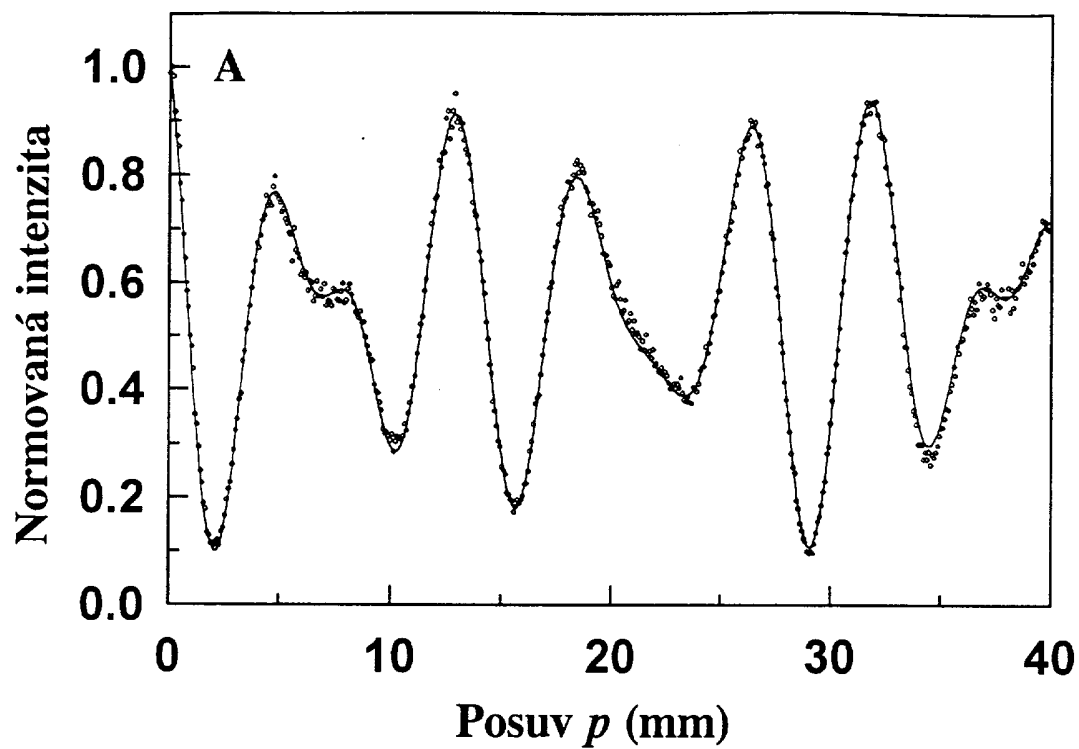
6 výkresů



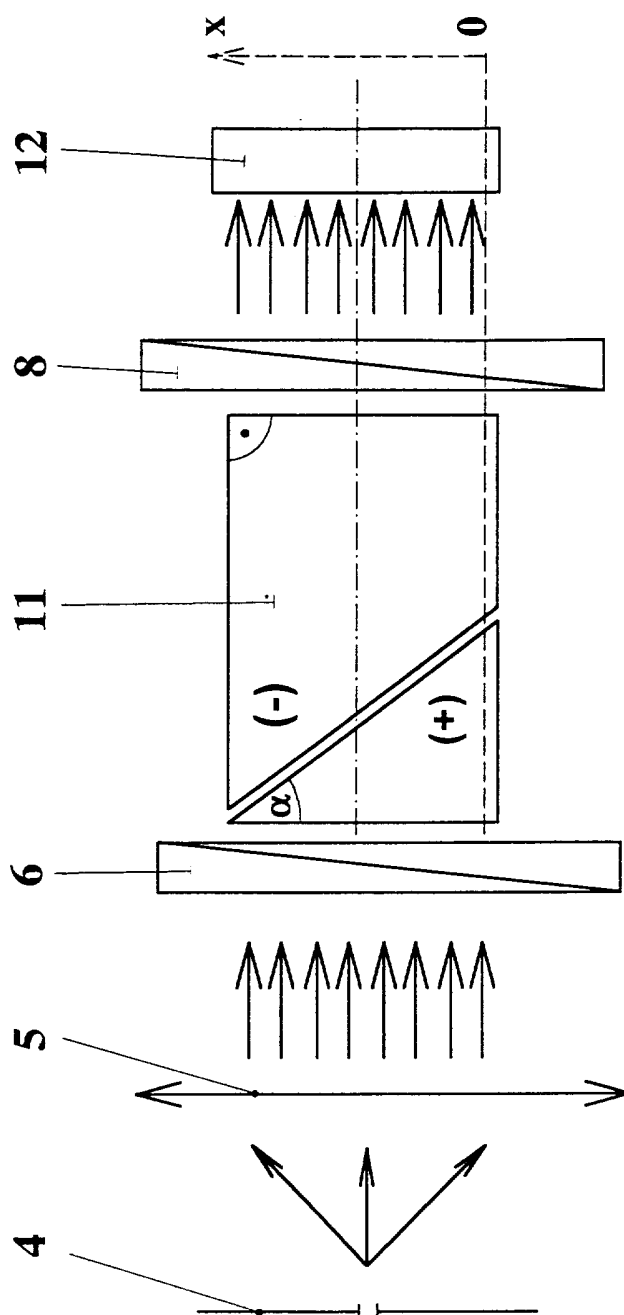
obr. 1



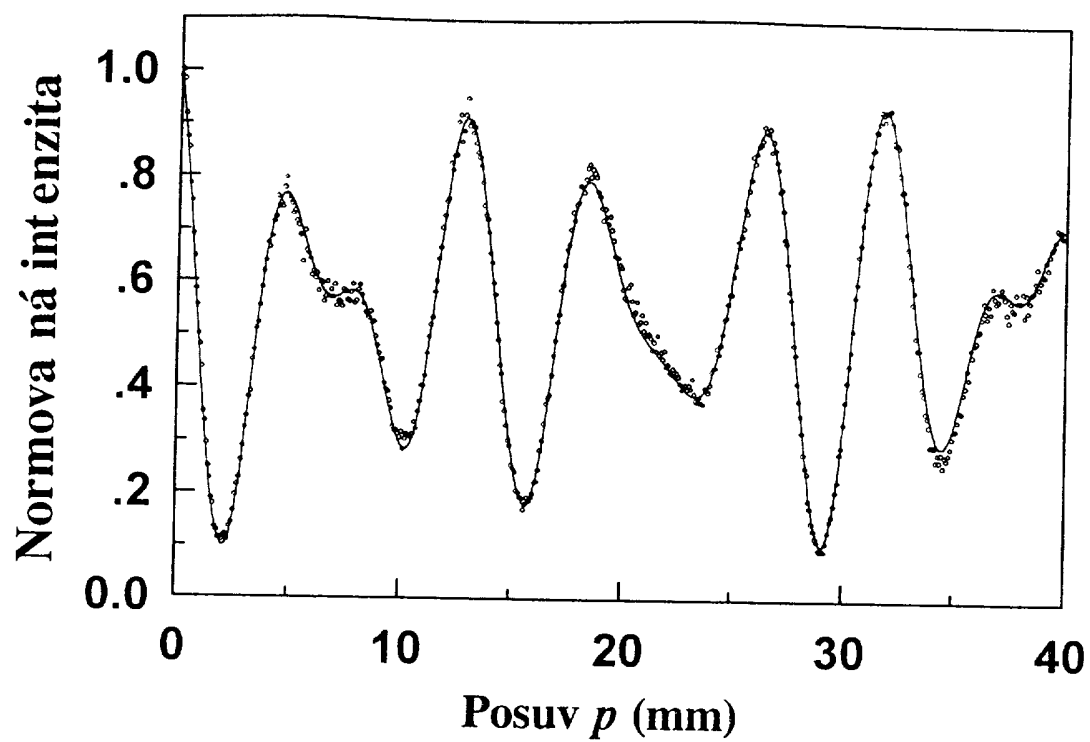
obr. 2



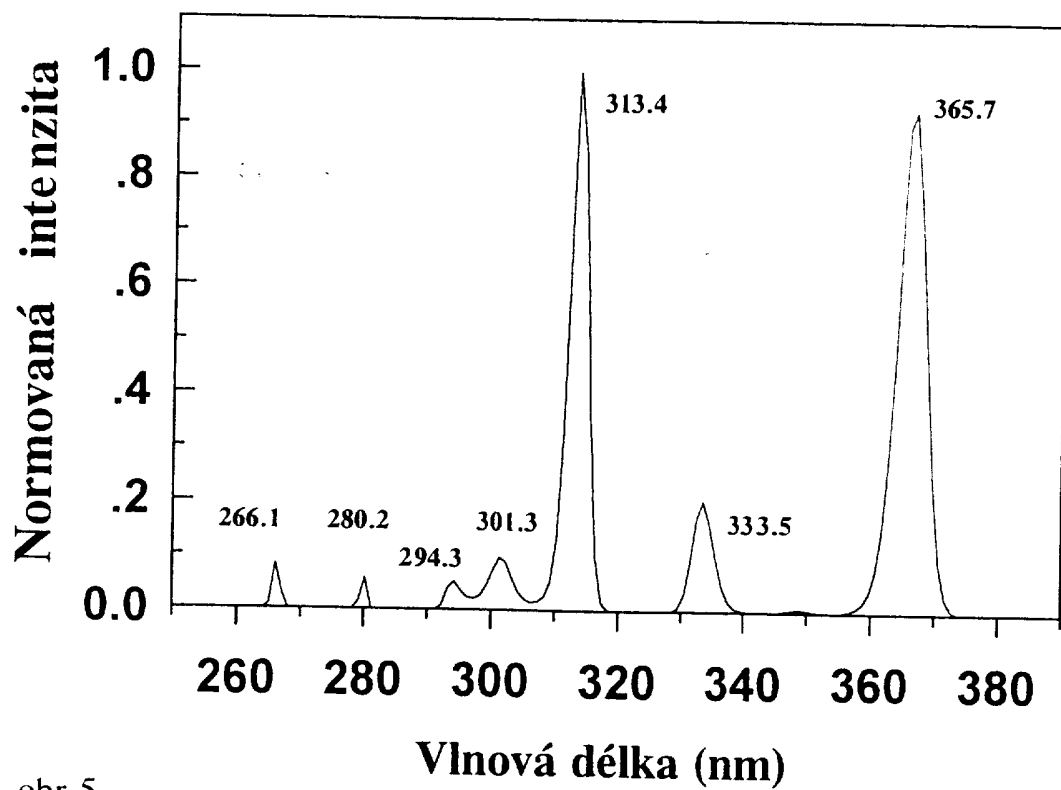
obr. 3



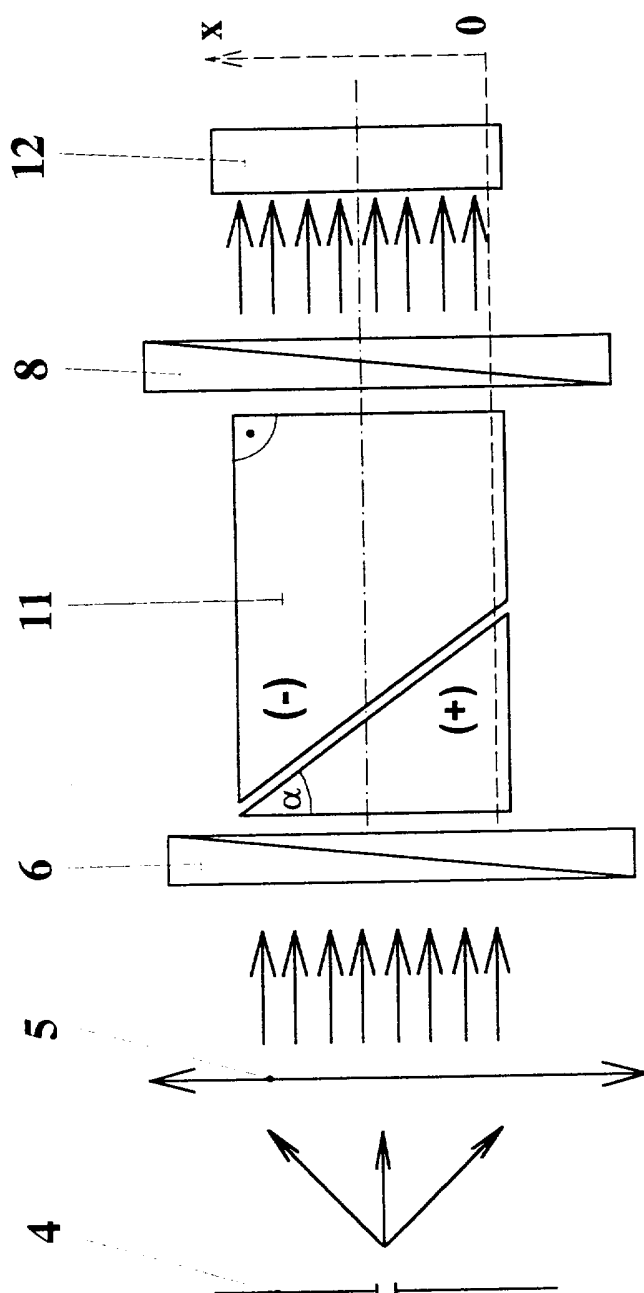
obr. 4



obr.4



obr.5



obr. 6

Konec dokumentu