

УДК 004.423

**МОДЕЛІ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ОПТИКИ ТА ЛЕНТИКУЛЯРНИЙ ДРУК**

І. В. Огірко, М. Ф. Ясінський, Л. М. Ясінська-Дамрі, О. І. Огірко

*Українська академія друкарства вул. Підголосо 19, м. Львів, 79020, Україна*

*Нелінійна оптика сформувалася після виникнення лазерів – джерел інтенсивного, когерентного, монохроматичного оптичного випромінювання. Нелінійне рівняння Шредінгера відіграє важливу роль у нелінійній оптиці. Важливим є друк на лентиккулярній лінзі. Одним з основних аспектів – це точна частота лентиккулярного листа. За частотою чи калібруванням можна встановити точний розмір лінзи.*

**Ключові слова:** геометрична оптика, лентиккулярний друк, світловий промінь, нелінійна оптика.

**Постановка проблеми.** Лентиккулярний друк – вид поліграфічної продукції, що дає можливість створювати анімаційне зображення з просторовим ефектом, так звані стерео – та варіо зображення. Ця технологія не нова, масове виробництво цієї продукції було освоєно в 70-ті р. в Японії. Основою виробництва стерео – і варіо зображень вважається друк на лінзооптичних растрах. Лентиккулярна лінза – прозорий пластик, з однієї сторони якого містяться тонкі продовгуваті лінзи, що збільшуючи зображення, дають змогу бачити різні його частини залежно від кута перегляду. Звісно, якість зображення та кольоропередача при лентиккулярному друці відрізняється від класичної поліграфії, але дає можливість виробляти замість статичного зображення різні візуальні ефекти. Лентиккулярні пластикові лінзи – це аркуші оптично прозорого пластику лицьова сторона яких рельєфна, складається з паралельних лентиккулярів або лінз, а зворотна сторона – гладка. На цій стороні друкується, або ламінується до неї віддруковане на папері зображення.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Нелінійна оптика для дослідження надмолекулярної структури полімерів. Лентиккулярний друк – вид поліграфічної продукції, який відрізняється тим, що дає можливість створювати анімаційне зображення з просторовим ефектом, так звані стерео – та варіо зображення [1–7].

**Мета статті** – модель друку на лентиккулярній лінзі. Одним з основних аспектів – це точна частота лентиккулярного листа. Нелінійне рівняння Шредінгера відіграє важливу роль у нелінійній оптиці. Для створення послідовності стереоракурсів можна використовувати програми тривимірного моделювання. Найбільш популярною вважається 3D Studio Max. Ракурси отримують послідовним рендерингом сцени, видимою камерою з різних положень.

**Виклад основного матеріалу.** У теорії Максвелла [1–5] відомо, що світло – це електромагнітні хвилі, довжина яких  $\lambda = 0,40 \div 0,76$  мкм. Проте здебільшо-

го розповсюдження світла можна розглядати на основі уявлень про світлові промені. *Світловий промінь* – це лінія, вздовж якої поширюється потік енергії світла. Поняття променю використовують у наближенні геометричної оптики, тобто тоді, коли не відбувається дифракція, а  $\lambda \rightarrow 0$ . Основним принципом геометричної оптики є *аксіома Ферма – принцип найменшого оптичного шляху*: якщо промінь світла падає з точки А до точки В, то він рухається таким шляхом, для проходження якого потрібно найменший час  $\tau_{\min}$ :

$$\tau_{\min} = \int_A^B d\tau = \int_A^B \frac{dl}{V} = \frac{1}{c} \int_A^B n dl, \quad (1)$$

де  $V = c/n$  – швидкість світла в даному середовищі;  $n$  – абсолютний показник заломлення середовища;  $dl$  – елементарна довжина геометричного шляху. *Закон прямолінійності розповсюдження світла* в однорідному середовищі ( $V = \text{const}$ ) є прямим наслідком принципу Ферма, адже найменшим часом руху від А до В є рух по прямій АВ.

Розглянемо, як промінь [2–6] потрапляє із точки А в точку В, відбиваючись від дзеркальної площини MN (рис. 1). Найменшою сума відрізків  $AC_i$  та  $C_iB$  буде тоді, коли точка С міститиметься на прямій, яка з'єднує точки А та  $B'$  ( $B'$  – уявне зображення точки В у плоскому дзеркалі). Тоді:

$$BN = B'N; \quad \angle \varphi = \varphi'; \quad \angle \gamma = \angle \varphi = \varphi'; \quad \gamma + \theta = \varphi + \theta'; \quad \theta = \theta'.$$

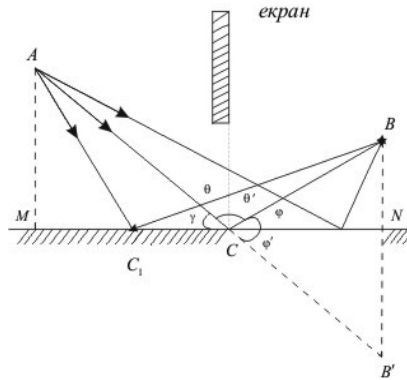


Рис. 1. Відбиття світла від дзеркальної площини

Тобто кут падіння  $\theta$  дорівнює куту відбивання  $\theta'$  – *закон відбивання променів*.

Якщо точка А (рис. 2) перебуває в середовищі  $I$ , для якого швидкість поширення світла  $V_1$ , точка В – у середовищі  $I'$ , швидкість в якому  $V_2$ , то для довільного променя час руху  $t$  від А до В у двох середовищах дорівнює:

$$t = t_1 + t_2 = \frac{l_1}{V_1} + \frac{l_2}{V_2} = \frac{\sqrt{x^2 + y_A^2}}{V_1} + \frac{\sqrt{(b-x)^2 + y_B^2}}{V_2},$$

відповідно до принципу Ферма, знайдемо мінімум  $t$ :

$$\frac{dt}{dx} \Big|_{r=r_{\min}} = 0.$$

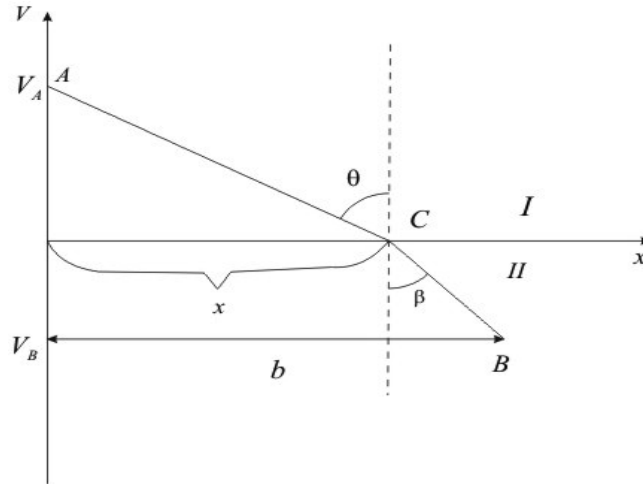


Рис. 2. Рух променя у двох середовищах

Якщо знайти похідну від  $t$  та позначити

$$\frac{x}{\sqrt{x^2 + y_A^2}} = \sin \theta; \quad \frac{b-x}{\sqrt{(b-x)^2 + y_B^2}} = \sin \beta;$$

отримаємо рівняння

$$\frac{\sin \theta}{V_1} - \frac{\sin \beta}{V_2} = 0.$$

Тобто

$$\frac{\sin \theta}{\sin \beta} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_2, \quad (2)$$

де  $n_1$ ,  $n_2$  – абсолютні показники заломлення середовищ, а  $n_{21}$  – відносний показник заломлення другого середовища відносно першого. Рівняння (2) – закон заломлення променів. Слід зауважити [3-7], що результат застосування принципу Ферма не має змінюватись, якщо промінь переміщується від точки  $B$  до точки  $A$ . Тобто траєкторія прямого та зворотного променів однакова – закон оборотності світлових променів. Наслідком принципу Ферма є твердження про те, що потік променів можна зібрати в одній точці – фокусі, якщо для всіх променів, які потрапляють на оптичний пристрій, виконується умова рівності мінімального оптичного шляху. Промені, для яких оптична довжина шляху однакова називають таутохронними. Наприклад, в однорідному середо-

вищі промені, які відбиваються від точкового джерела  $A$  можна сфокусувати в точці  $B$ , якщо точки  $A$  та  $B$  – фокуси еліптичної відбиваючої поверхні (рис. 3). Тоді сума довжин шляху до  $r_i$  та після  $r_k$  від еліптичної поверхні – стала величина, а промені – таутохтонні:

$$r_i + r_k = \text{const}.$$

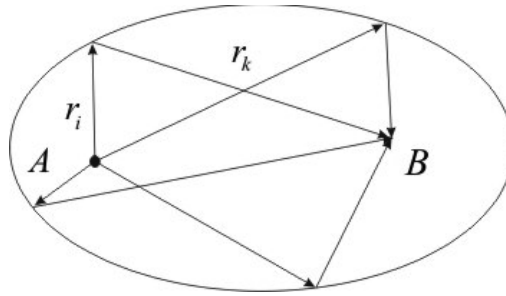


Рис. 3. Рух променя в однорідному середовищі

Другим прикладом фокусуючої поверхні є параболічне дзеркало (рис. 4), на яке падає пучок променів, перпендикулярний  $MN$ . Допоміжна лінія  $M'N'$ , проведена паралельно  $MN$  на відстані  $2d$ . Тоді,  $r_k = r'_k$ ;  $r_i + r_k = 2d = \text{const}$  – промені таутохтонні.

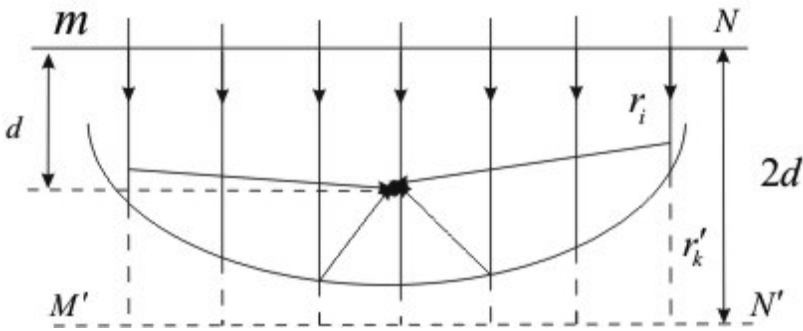


Рис. 4. Параболічне дзеркало на яке падає пучок променів

Зауважимо, що дзеркальна трубка еліптичного поперечного перерізу використовується у твердотільних імпульсних лазерах, а параболічне дзеркало – у прожекторах та телескопах-рефлекторах.

Фокусування [1-4] можливе також у збиральних лінзах (Рис. 5), для яких таутохронність променів досягається за умови:

$$n_i r_i + n_j r_j + n_k r_k = \text{const}.$$

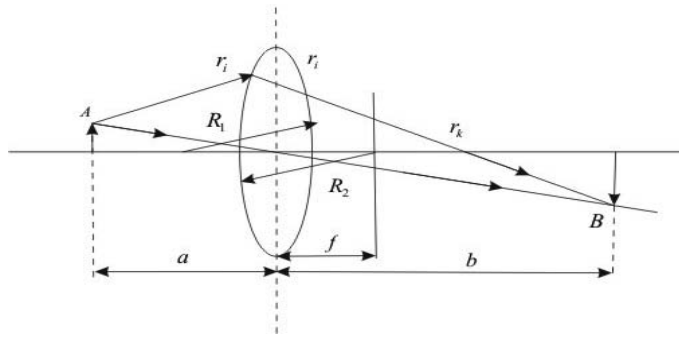


Рис. 5. Збиральна лінза

Ця умова виконується у загальному випадку, якщо поверхня лінзи є еліпсоїдом обертання. Часто використовують лінзи зі сферичною поверхнею, що призводить до появи викривлень зображення – сферичної аберації. Викривлення зображення є незначним тільки для так званих тонких лінз.

Формула тонкої лінзи [1-5] визначає співвідношення між характерними відстанями:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} = \left( \frac{n - n_0}{n_0} \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

де  $a$  – відстань від лінзи до предмета;  $b$  – до зображення;  $f$  – до фокальної площини;  $R_1, R_2$  – радіуси кривизни сферичних поверхонь лінзи;  $n$  та  $n_0$  – показники заломлення речовини лінзи та середовища, в якому перебуває лінза.

Нелінійна оптика [3-5], як наукова галузь сформувалася після виникнення лазерів – джерел інтенсивного, когерентного, монохроматичного оптичного випромінювання. Нелінійне або кубічне рівняння Шредінгера – нелінійне рівняння в частинних похідних другого порядку, що відіграє важливу роль у теорії нелінійних хвиль, зокрема, в нелінійній оптиці. Таке рівняння є узагальненням лінійного параболічного рівняння, відомого у квантовій механіці як рівняння Шредінгера:

$$i \frac{\partial u}{\partial t} = -u \frac{\partial^2 u}{\partial^2 x} + 2k |u|^2 u, \quad (3)$$

де  $u(x, t)$  – комплекснозначна функція.

Будучи нелінійним узагальненням параболічного рівняння, нелінійне рівняння Шредінгера описує динаміку хвильових пакетів [3-7] у середовищах з дисперсією і кубічною нелінійністю. Для нелінійного рівняння Шредінгера знайдено значну кількість точних розв'язків, що являють собою стаціонарні нелінійні хвилі. Зокрема, розв'язком є функції вигляду:

$$u(x, t) = \exp\{irx - ist\}v(x - U), \quad (4)$$

де  $r, s, U$  – сталі, що пов'язані співвідношеннями:

$$r = \frac{U}{2} \quad s = \frac{U^2}{4} - \alpha,$$

а функція  $v(q)$  задовільняє звичайному диференційному рівнянню вигляду:

$$\frac{d^2 v}{dq^2} - \alpha v + v^3 = 0. \quad (5)$$

Періодичні розв'язки мають форму *кноїдальних хвиль*. Крім того, є локалізований розв'язок солітонного типу:

$$v = \frac{\sqrt{2\alpha/v}}{\cosh^2 \left[ \sqrt{\alpha} (x - Ut) \right]}. \quad (6)$$

Лентикулярний друк [7] буває двох видів: варіо або анімація – перетворення статичного друкованого зображення у динамічне, в результаті якого, залежно від кута перегляду, ми бачимо різні зображення; стерео об'ємні, тривимірні, просторові зображення, які дозволяють передати реалістичну тривимірність об'єктів, наявність відстані між об'єктами, глибину простору. Своєю чергою, стереоефект можна поділити на такі базові підвиди:

*3D – стерео* – тривимірне, об'ємне зображення має ефект – тобто об'єкти можна розглядати з різних сторін. Зображення може бути отримане за допомогою стереозйомки або у програмах 3D – моделювання. Псевдостерео – ефект створює ілюзію різновіддаленості об'єктів зображення, при цьому самі об'єкти залишаються плоскими. Об'єкти можуть бути отримані з одного або декількох звичайних зображень за допомогою різних графічних редакторів.

*Стерео* – тривимірне, об'ємне зображення реальних предметів отримується за допомогою спеціальної стереозйомки. Псевдостерео – ефект створює ілюзію наявності відстані між окремими об'єктами, отриманий у результаті обробки звичайного зображення спеціальною програмою.

Варіо ефект має безліч підвидів, з яких основними є такі: фліп – зміна двох і більше сюжетів; зум – плавне наближення або видалення об'єкта, зміна його геометричних розмірів; морфінг – плавне «перетікання» одного об'єкта в інший; анімація – ефект створює ілюзію руху об'єкта на площині. Геометричні розміри і фізичні властивості растрових лінз дають змогу говорити про широкий діапазон їх застосування – від календариків до бігбордів. Для створення лентикулярного зображення потрібно мати лентикулярну лінзу і підготовлений файл із зображенням. Вид анімації і процес друку, який використовується для створення лентикулярного зображення, визначають, які лентикулярні лінзи застосовуватимуться. Товщина і кут перегляду лентикулярів різні. Вузкий кут – характерний для 3D лінз створює оптимальний тривимірний ефект. Лентикулярні для створення анімаційних ефектів можуть бути розташовані як вертикально, так і горизонтально. Для варіо зображень більш «чистої» анімації

і значно меншого подвоєння зображення, можна досягти при горизонтальному розташуванні лентикулярів. Для стерео зображень, великих і стаціонарних рішень, таких як плакати та рекламні стенди на місці продажу (POP), слід використовувати вертикальне розташування.

Лініатура лінзи – лінзовий растр обчислюється в кількості ліній (лінз) на дюйм листа і позначається аббревіатурою LPI.

Для створення послідовності стереоракурсів можна використовувати програми тривимірного моделювання. Найбільш популярною вважається 3D Studio Max. Ракурси отримують послідовним рендерингом сцени, видимою камерою з різних положень.

*Важливим є друк на лентикулярній лінзі [7].* Одним з основних аспектів, який слід знати – це точна частота лентикулярного листа. За частотою чи калібруванням можна встановити точний розмір лінзи. Вона не може дорівнювати точно 75,00, оскільки частота залежить від виробничої партії і від пристрою виводу, СТР, СТФ або цифрового принтера. Слід розрізняти візуальну і механічну частоту. Для визначення частоти лентикулярного листа слід здійснити визначення частоти (pitch test). Перший етап – виведення спеціальної таблиці для визначення частоти на пристрій СТР computer-to-plate, з комп'ютера на пластину або СТФ – computer-to-film, з комп'ютера на плівку. Існує можливість визначення частоти за допомогою розміщення чистого лентикулярного листа на формі. Якщо відійти від кінцевого зображення на відстань, передбачувану для перегляду, то одна лінія має бути абсолютно чорною або невидимою. Для лентикулярного друку необхідний лінійний растр з високою роздільною здатністю (близько 400 LPI). Для досягнення оптимальних результатів потрібно створити певну криву експонування. Вибір фарби залежить від використовуваного типу сушіння. Для друку на лентикулярних аркушах ідеально підходять фарби, отвердінням УФ-випромінюванням. Також слід встановити тверде офсетне гумовотканинне полотно в друкарську машину. Важливою складовою процесу друку є тиск: для лентикулярного друку слід використовувати слабкий тиск або, як називають його – друк у легкий дотик. Лентикулярний друк – це перетворення статичного друкованого зображення у динамічний інтерактивний засіб комунікації. Даний ефект досягається за допомогою об'єднання спеціально підготовлених - чергуються - зображень на лентикулярній лінзі. У результаті в залежності від кута перегляду ми бачимо різні зображення. Для процесу створення лентикулярного зображення потрібно як мінімум два зображення. Дані зображення будуть об'єднані за допомогою черезрядковості в програмі Photoshop або за допомогою спеціально розробленого для використання цієї технології програмного забезпечення. Залежно від кута перегляду лентикуляр ізолює і збільшує тільки одне з двох змінних зображень.

Кожен лентикуляр [7] містить інформацію по двох зображеннях, А і Б, ізолюваних щодо кута перегляду на друкованому лентикулярному зображенні. Лінзи перевертають зображення, тому кожен смугу, об'єднаного за допомогою черезрядковості, зображення потрібно дзеркально відобразити перед друком безпосередньо на зворотному боці лентикулярного пластикового листа.

У століття цифрових технологій стереоскоп переживає друге народження. Здешевлення виробництва і спрощення конструкції призвели до того, що навіть фотографлюбитель може самостійно робити стереофотографії і переглядати їх за допомогою недорогого стереоскопа. Найбільш практичними і дешевими у виробництві є складні картонні стереоскопи, призначені для перегляду стереозображень через пластикові лінзи. Стереопари для такого стереоскопа виготовляються з фотопаперу. Зображення наносяться декількома способами: друкарським, фотодруком або на струменевому принтері. Оптимальний стереоефект досягається при перегляді плівкових слайдів, на них не видно растрової точки. Однак плівка як безрастровий носій зображень перестає застосовуватися і в результаті зникає можливість робити відмінні стереослайди. В даний час стереоскоп, нарівні з багатьма рекламними продуктами, такими як плакати, брелоки, вимпели та калейдоскопи, набув широкого поширення. Рекламні агентства використовують стереоскопи як засіб подання інформації на різних презентаціях, виставках і т.п. Необхідно помістити як мінімум два зображення в один файл, наприклад в програмі Adobe Photoshop. На кожен лінзу лентикуляра припадають дві смуги зображення – по одній з кожного. Відповідно кожна картинка нарізається на смуги, рівні по ширині однієї десятої ширини лінзи, які розміщуються одна за одною в необхідному порядку. Чим більше картинок використовується, тим більшого ефекту можна досягти. Якщо раніше зображення друкувалося на звичайному папері і ламінованих лентикулярної плівкою або приклеювалося до пластика з лентикуляром, то зараз друк проводиться безпосередньо на лентикулярних аркушах, які випускаються в різних форматах, відповідних форматам друківаних аркушів. Друк виконується на зворотній стороні лентикуляра. Поверх фарби в подальшому наносяться білила, закриваючи її і створюючи рівну білу поверхню.

**Висновки.** Лентикулярний друк – вид поліграфічної продукції, який відрізняється тим, що дає можливість створювати анімаційне зображення з просторовим ефектом, так звані стерео – та варіо зображення. Основою виробництва стерео – і варіо зображень вважається друк на лінзооптичних растрах, які називаються лентикулярними лінзами. Лентикулярна лінза – це прозорий пластик, з однієї сторони якого містяться тонкі продовгуваті лінзи, що збільшуючи зображення, дають змогу бачити різні його частини залежно від кута перегляду. Звісно, якість зображення та кольоропередача при лентикулярному друку відрізняється від класичної поліграфії, але дає можливість виробляти замість статичного зображення різні візуальні ефекти.

#### Список використаних джерел

1. Комар В. Г. Изобразительная голография и голографический кинематограф / В. Г. Комар, О. Б. Серов — М. : Искусство, 1987.
2. Кольер К. Лин Оптическая голография / Р. Кольер, Л. Беркхарт — М. : Мир, 1973. — 686 с.
3. Колфилд Г. Оптическая голография. — М. : Мир, 1982. — Т.1.
4. Колфилд. Г. Оптическая голография. — М. : Мир, 1982. — Т2.



5. Тойберт П. Оценка точности результатов измерений / П. Тойберт — М. : Энергоатомиздат, 1988.
6. Кітик І. В. Нелінійна оптика для дослідження надмолекулярної структури полімерів / І. В. Кітик, М. Ф. Ясінський, А. Ю. Корольов // Наукові записки. — Львів : Укр. акад. друкарства, 2014. — № 4. — С. 10–14.
7. Цуца Н. М. Лентікулярний друк / Н. М. Цуца, Ю. Ю. Дирда // Поліграфія і видавнича справа: наук.-техн. зб. — Львів : Укр. акад. друкарства, 2011. — № 3. — С. 142–151.

#### References

1. Komar V. G. (1987), *Izobrazitel'naja golografija i golograficheskij kinematograf* / V. G. Komar, O. B. Serov — M. : Isskustvo. (in Russian)
2. Kol'er K. Lin (1973), *Opticheskaja golografija* / R. Kol'er, L. Berkhart — M. :Mir. — 686 s. (in Russian)
3. Kolfild G. (1982), *Opticheskaja golografija*. — M. : Mir. — T.1. (in Russian)
4. Kolfild. G. (1982), *Opticheskaja golografija*. — M. : Mir. — T2. (in Russian)
5. Tojbert P. (1988), *Ocenka tochnosti rezul'tatov izmerenij* / P. Tojbert — M. : Jeneratomizdat. (in Russian)
6. Kityk I. V. (2014), *Neliniina optyka dlja doslidzhennia nadmolekuliarnoi struktury polimeriv* / I. V. Kityk, M. F. Yasynskiy, A. Iu. Korolov // *Naukovi zapysky*. — Lviv : Ukr. akad. drukarstva. — № 4. — S. 10–14. (in Ukrainian)
7. Tsutsa N. M. (2011), *Lentykuliarnyi druk* / N. M. Tsutsa, Iu. Iu. Dyrda // *Polihrafia i vydavnycha справа: nauk.-tekhn. zb.* — Lviv : Ukr. akad. drukarstva. — № 3. — S. 142–151. (in Ukrainian)

## MODELS OF GEOMETRICAL OPTICS AND LENTICULAR PRINTING

I. V. Ohirko, M. F. Yasinskiy, L. M. Yasinska-Damri, O. I. Ohirko

*Ukrainian Academy of Printing 19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine*

*Nonlinear optics has been formed after the appearance of lasers - the source of intense, coherent, monochromatic optical radiation. Nonlinear Schrödinger equation plays an important role in nonlinear optics. Printing on lenticular lens is important. One of the key aspects is the exact frequency of the lenticular sheet. The frequency or calibration can set the exact size of the lens.*

**Keywords:** *geometrical optics, lenticular printing, light beam, nonlinear optics.*

*Стаття надійшла до редакції 17.02.2015*

*Received 17.02.2015*