ویژگی‌های نور را به چشم خود ببینید

آموزشی

مایکل ماوزر

ترجمه: محمدعلی جعفری

چکیده

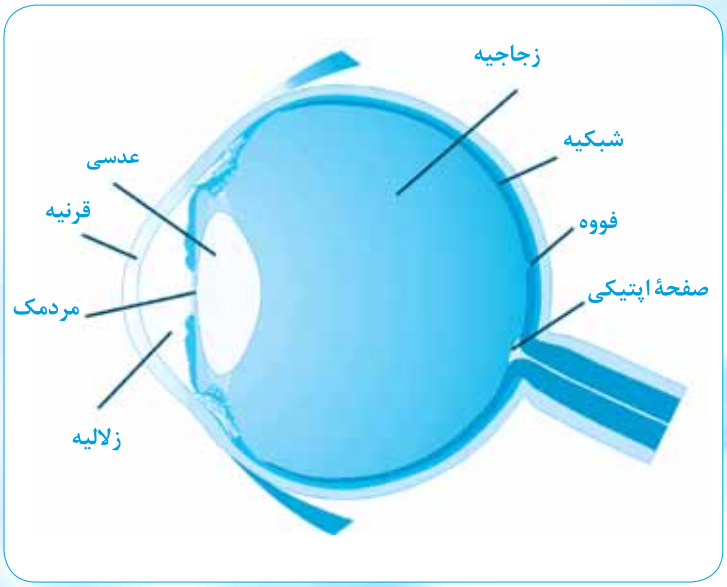
دیـدن بازتـاب، شکسـت، پاشـیدگی، جـذب، قطبش و پراکندگی یا پراش نور در چشـم خودتان ایـن ویژگی‌های نور را تجربه‌ای کاملاً شـخصی می‌سـازد. از جنبه‌هـای عملی این پدیده‌ها در چشـم می‌توان به ردیابی چشمی رابط‌های رایانه‌ای اشـاره کـرد. همچنین سـرگرمی‌های جذابـی، مثـلاً، توانایی تشـخیص نور قطبیده با چشم غیرمسلح را در اختیار می‌گذارد. سـرانجام برخی جنبه‌های جالب چشم مانند وجود ذرات در آن را نمایان می‌سازد.

کلیدواژه‌ها: تصویرهای پورکینـه‌ای، تداخل، پراش، قطبش، جذب

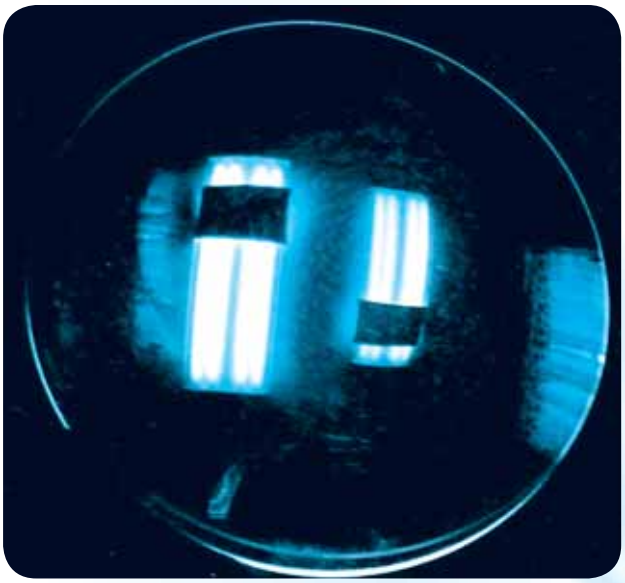
بازتاب

با توجه به شکل (۱) می‌بینید که نور پیش از رسیدن به شـبکیه بایـد از قرنیه، زلالیه، عدسـی و زجاجیه عبور کند. به دلیل ضریب شکسـت این اجزا، بخشـی از نور در فصل مشـترک جلو یا عقب قرنیه یا جلو و عقب عدسـی بازمی‌تابد.

تصاویـری کـه ایـن سـطح‌ها تشـکیل می‌دهند به ترتیـب تصویرهای پورکینه‌ای[۲] I و II و III و IV نامیده می‌شـوند که به افتخـار یوهانس پورکینه کالبدشـناس اهل چک نام‌گذاری شـده اسـت. ردیاب چشـمی تصویر دوتایی پورکینه‌ای از مکان‌های نسبی تصویرهای I و IV اسـتفاده می‌کند. طـرز کار آن را می‌توان با نگاه کردن از



شکل ۱ـ طرح کلی چشم



شکل ۲ـ تصویرهای چراغ بالای سر که از جلو و عقب سطوح یک عدسی دو کوژ باز می‌تابد. ورقهٔ آلومینیمی که در یک انتهای چراغ قرار گرفته وارونه شدن تصویر را نمایان می‌سازد.

پشت عدسی دوکوژی که زیر نور و بالای سر قرار دارد، و مشاهدهٔ حرکت تصویرهای تشکیل شده توسط سطوح جلو و عقب هنگام کج‌کردن عدسی مشاهده کرد. (شکل ۲ را ببینید)

برای دیدن این بازتاب‌های متناظر در چشم خودتان به یک آینه و چشمهٔ نور متمرکز درخشان نیاز دارید ـ من از یک چراغ قوهٔ مناسب استفاده کردم. آینه و چشمهٔ نور را مطابق شکل (۳) جلوی چشم خود نگه دارید به‌طوری که نوری را که به چشم شما می‌خورد در بازتاب آن در آینه جلوی مردمک چشم شما نمایان باشد. این تصویر پورکینه‌ای I است. نور را حرکت دهید تا متوجه تصویر واضح کوچک‌تر و کم‌نورتری شوید که در جهت مخالف [۱] حرکت می‌کند، و هنگام بالا رفتن تصویر روشن‌تر پایین می‌رود و برعکس. این تصویر پورکینه‌ای IV است.

تصویر پورکینه‌ای III را می‌توان هنگام دیدن تصویرهای I و IV مشاهده کرد. این تصویر در همان جهت تصویر I حرکت می‌کند و بین تصویرهای I و IV قرار دارد، و به دلیل سرشت سطح جلویی عدسی چشم بزرگ‌تر و تاحدی نامشخص است.

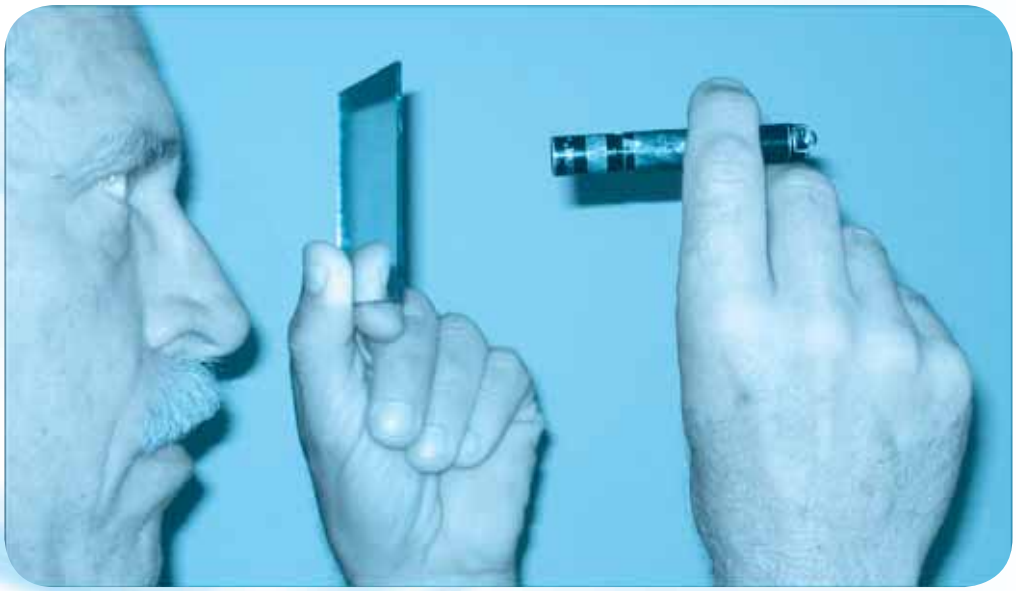
سرانجام، اگر هنگام نگاه کردن به آینه، نور در منتهی‌الیه یک سمت آینه نگه داشته شود، تصویر پورکینه‌ای II را کنار تصویر I خواهید دید که ایده‌ای از ضخامت قرنیه در اختیار می‌گذارد. با حرکت‌دادن نور متوجه می‌شوید که این تصویر همواره کنار تصویر I و دور از چشمهٔ نور تشکیل می‌شود، زیرا شعاع خمیدگی داخلی قرنیه از شعاع خمیدگی خارج آن کمتر است. [۲]

شکست

شکست را اغلب به‌طور نادقیق «خم‌شدن» نور هنگام عبور از دو مادهٔ با ویژگی‌های اپتیکی متفاوت در نظر می‌گیرند. نور هنگام عبور از هوا به قرنیه، از قرنیه به زلالیه، از زلالیه به عدسی و از عدسی به زجاجیه می‌شکند. بیشترین میزان شکست هنگام عبور نور از هوا به قرنیه رخ می‌دهد و عدسی برای کانونی‌کردن نهایی تصویر تغییر شکل می‌دهد.

با افزودن شاره سطح قرنیه می‌توانید به آسانی شکل مؤثر آن را تغییر دهید. چند قطره محلول نمکی در چشم خود بریزید (یا گریه کنید). حال اگر طوری سرتان را خم کنید که شارهٔ اضافی جلوی چشم شما جمع شود با نگاه کردن به نوشته‌های یک صفحه متوجه می‌شوید چگونه کانونی کردن چشمتان تغییر کرده است. با کمی تمرین می‌توانید تصویر دانه‌ها را روی صفحهٔ LCD تلفن همراه خود که نزدیک‌تر از معمول به چشم‌تان نگه داشته‌اید ببینید.

همچنین می‌توانید قرنیه را صاف یا چروک‌دار کنید. شاید متوجه شده باشید که با فشار آوردن بر پلک‌های بسته (مانند وقتی که صورت روی بالش قرار گرفته باشد)



شکل ۳ـ استفاده از چراغ قوه و آینه برای دیدن تصویرهای پورکینه‌ای I و IV در بازتاب نور از مردمک‌تان

دید شما تا حدی تار می‌شود، یا وقتی از گوشهٔ چشم نگاه می‌کنید، خط‌های افقی دو برابر به نظر می‌رسند. با کمی تمرین می‌توانید این اثرها را آگاهانه ایجاد کنید. [۳]

پاشیدگی

پاشیدگی به معنای تجزیهٔ نور سفید به مجموعه‌ای از رنگ‌ها مانند چیزی است که در منشور رخ می‌دهد و دلیل آن ضریب شکست متفاوت مواد برای طول موج‌های مختلف است. پاشیدگی نور در یک عدسی کوژ را می‌توان با نگاه کردن به یک تصویر چاپی مشکی روی کاغذ سفید از میان آن مشاهده کرد. آن را طوری تنظیم کنید که بزرگنمایی عدسی بیشینه شود و خواهید دید که کناره‌های مشخص و واضح به صورت فریزهای رنگی درمی‌آیند. ابیراهی رنگی هم در چشم شما رخ می‌دهد. راج و جونز[۳] روش‌هایی برای دیدن این پدیده پیشنهاد کرده‌اند [۵ و ۴] اما من روش زیر را ترجیح می‌دهم.

با استفاده از یک برنامهٔ طراحی رایانه‌ای نمونهٔ رنگی شکل ۴ را با استفاده از رنگ‌های قرمز، آبی و مشکی غلیظ روی رایانه با صفحهٔ نمایش مسطح رسم کنید [۶] مقوای کِدری بردارید و با سنجاق سوراخی به قطر ۱mm در آن به‌وجود آورید. آن را به فاصلهٔ ۱۰ تا ۲۰ میلی‌متر نزدیک چشم خود بگیرید و در حالی‌که مقوا را به آرامی به بالا و پایین یا چپ و راست حرکت دهید بی‌آنکه چشم‌تان را تکان دهید از سوراخ به تصویر رایانه‌ای نگاه کنید. وجود سوراخ باعث می‌شود، نور فقط به بخش‌هایی از عدسی چشم شما برسد. با حرکت سوراخ به طرف پایین خواهید دید که خط مشکی افقی روی زمینهٔ قرمز به مقدار بسیار کم به طرف بالا و با حرکت سوراخ به طرف چپ خط مشکی قائم روی زمینهٔ قرمز به طرف راست حرکت خواهد کرد [۷] اگر عینک بزنید می‌توانید حرکت سرتان به اطراف و بالا و پایین و نگاه کردن به خطوط پدیدهٔ ابیراهی رنگی روی عدسی‌های آن را نشان دهید.

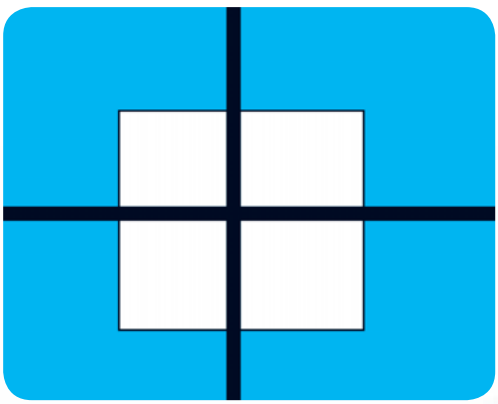
ابیراهی رنگی در چشمان شما دیدن جزئیات تصویر زیر نوری که هم طول موج‌های کوتاه و هم طول موج‌های بلند، را دارد دشوار می‌سازد. هنگام نشانه‌گیری برای تیراندازی می‌توانید از عینک مسدودکنندهٔ نورآبی استفاده کنید تا نور آبی با طول موج کوتاه را نبینید. برای دیدن جزئیات زیر می‌توانید از نور تک‌فام استفاده کرد تا فقط با نوری دید که گسترهٔ محدودی از طول موج‌ها را دارد.

جذب

نور آبی را ناحیهٔ دارای رنگ‌دانهٔ بافت اطراف لکهٔ زرد که مرکز بینایی ما روی شبکیه است، تا اندازه‌ای جذب می‌کند. ما معمولاً متوجه این موضوع نیستیم زیرا دید ما تفاوت‌ها را جبران می‌کند. اگر یک چشم‌تان را ببندید و با چشم دیگر حدود یک بار در ثانیه به حوزه‌های یک در میان آبی و سبز نور نگاه کنید به حضور و شکل این ناحیه پی خواهید برد. اگرچه می‌توان چشم را بین دو حوزهٔ

نور حرکت داد، راحت‌تر است چشم را ثابت نگه داریم و رنگ را بچرخانیم. رنگ دانه‌های زرد جلوی نور آبی را می‌گیرند و به نور سبز و قرمز اجازهٔ عبور می‌دهند، به این ترتیب برای یک لحظه شکلی تیره‌تر را در منطقهٔ آبی و لکه‌ای روشن‌تر را در منطقهٔ سبز خواهید دید. لکهٔ موردنظر اغلب به شکل یک حلقهٔ پُرزدار، و حدود انگشت شست شماست که در فاصلهٔ به اندازهٔ طول بازو (یا ۲°) نگه داشته شده باشد و با حرکت چشم‌هایتان حرکت می‌کند.

من برای نشان دادن این پدیده به بازدیدکنندگان از مرکز علوم آریزونا، چراق‌قوه‌ها را به این ترتیب آماده کردم که نیمی از عدسی را با صافی آبی (LEE Filters # ۱۱۹) و نیمهٔ دیگر را با دولایه از صافی سبز (LEE Filters # ۱۳۹) پوشاندم و این مجموعه را لای یک لایهٔ پخش‌کنندهٔ سفید قرار دادم (از یک ورقه کاغذ تایپ هم می‌توان استفاده کرد). از بازدیدکنندگان خواستم چراغ‌قوه را نزدیک یک چشم خود بگیرند و در حالی‌که به مقابل خود می‌نگرند چراغ‌قوه را طوری حرکت دهند که منطقه‌های آبی و سبز یکی پس از دیگری ظاهر شوند. بیشتر آنها گفتند توانسته‌اند لکه‌ای را ببینند که به احترام جیمز کلارک ماکسول که اولین بار این پدیده را به درستی بررسی کرد، لکهٔ ماکسول نامیده می‌شود. شکل لکه در دو چشم با تغییر رژیم غذایی می‌تواند تغییر کند. جذب نور آبی در رنگ دانه‌های زرد کاهش اثر ابیراهی رنگی در حوالی مرکز میدان دید ما را کم و شبکیه را در برابر نور فرابنفش محافظت می‌کند. [۹ و ۸]



شکل ۴ــ طرح ورنیه برای توضیح پدیدهٔ ابیراهی رنگی با استفاده از دو رنگ

قطبش

اگر با عینک پولاروید سرتان را خم کنید متوجه می‌شوید که نور آسمان صاف یا تلویزیون LCD قطبیده است، اما با چشم غیرمسلح نیز می‌توان به قطبیده بودن نور آبی پی برد. یک چشم خود را ببندید و با چشم دیگر به یک صفحهٔ نمایش تخت سفید که نور قطبیده گسیل می‌کند (مانند بیشتر صفحه‌های نمایش تلفن همراه) در حالی نگاه کنید که سرتان را از شانه‌ای به شانهٔ دیگر حرکت می‌دهید، یا صفحهٔ نمایش را عقب و جلو می‌برید. اکنون باید لکه‌ای به شکل ساعت شنی یا پاپیون ـ زرد کم‌رنگ در مرکز میدان دید و احتمالاً یک جفت لکهٔ آبی در دو طرف لکهٔ زرد رنگ ببینید. اندازهٔ لکهٔ در حدود اندازهٔ انگشت شست شماست و در فاصله‌ای به طول بازویتان قرار دارد اما بسیار کم‌رنگ است و برای دیدن آن باید سرتان را مدام حرکت بدهید وگرنه ناپدید می‌شود. می‌توانید صفحهٔ نمایش تلفن همراه خود را در فاصلهٔ ۱۰ میلی‌متری چشم خود نگه دارید چون نیازی به کانونی‌کردن نیست. به این ترتیب می‌توانید تنها از بخش کوچکی از پردهٔ سفید استفاده کنید.

این لکه به افتخار ویلهلم فون هایدینگر بُرس هایدینگر می‌نامند. این لکه ناشی از جذب ترجیحی نور آبی قطبیده در مولکول‌های رنگ‌دانه است که به صورت دایره‌ای در لکهٔ زرد قرار گرفته‌اند [۱۱-۱۰]. دید شما به سرعت خود را با این جذب غیریکنواخت نور هماهنگ می‌کند و باعث می‌شود لکه به سرعت ناپدید شود، مگر اینکه چشم شما یا سمتگیری نور قطبیده بچرخد. بُرس هایدینگر را می‌توان با چرخاندن تکه‌ای فیلم پولاروید در زمینهٔ روشن دید. من یک LED آبی را روی چراغ قوه نصب کردم و روی آن یک لایه فیلم پولاروید قرار دادم و سپس آن را روی گیره‌ای با یک دستگیره نصب کردم تا بتواند روی محور خود جلو و عقب برود.

پراکندگی و پراش

پراکندگی و پراش وقتی رخ می‌دهد که امواج نور موانع، شکاف‌ها و لبه‌ها برخورد کنند. وقتی نور به موانعی در اندازهٔ قابل مقایسه با طول موج نور برخورد کند طرح‌های تداخلی مرئی به‌وجود می‌آیند. اگر در اتاق تاریک به چشمهٔ نقطه‌ای درخشان نور (مانند لامپ بدون حفاظ) یا طیف کامل نور درخشان دوردست در آسمان شب نگاه کنید، در اطراف نور پرتوهای رنگی و درخشان

را خواهیـد دید. این پرتوها را **هالـهٔ مژکی**[4] می‌نامند که ناشـی از پراکندگی نور از ذرات درون چشم است که پس از پراکندگـی تداخل کرده و باعث جداشـدن رنگ‌ها در شـبکیهٔ چشم شما می‌شـوند. اگر نور تکفام باشد به جای پرتوهای رنگی توده‌ای از خطوط کوتاه را خواهید دید.

راه دیگر دیدن تداخل نور ناشـی از درون چشم نگاه کـردن به سـایه‌های گلبول‌هـای خون شـناور در مقابل شـبکیه است. با استفاده از یک سوزن سوراخ کوچکی (در حدود ۰/۳ میلی‌متر) در ورقهٔ آلومینیمی ایجاد کرده و آن را بـا «وصلهٔ نامرئی»، نوعی نوار سـلوفان که نور را پخش می‌کند، بپوشـانید. مقابل نور درخشان بایستید و سوراخ را نزدیک (در فاصلهٔ ۲۰ میلی‌متری) چشـم‌تان نگه دارید به طوری که قرص نور را ببینید. درون قرص سـایهٔ اشیا در روی چشـم‌تان و در درون آن را خواهیـد دید [۱۲] به‌ویژه ذراتی که با حرکت چشـم بـه حرکت درمی‌آیند و طرح‌های پراش تولید می‌کننـد نمایان‌تر خواهند بود. کوچک‌تریـن این ذرات گلبول‌های خون هسـتند که در نزدیکی سطح شـبکیه شناورند. لکهٔ روشنی که در مرکز سایه‌ها وجود دارد ناشی از پراش نور و تداخل سازنده در اطراف گلبول اسـت.

اظهارنظرهای نهایی

انجـام برخی از این فعالیت‌ها برای بار اول و با اتکا به دسـتور کار این مقاله دشوار است، بنابراین ابتدا اطمینان یابیـد که مهارت کامل رابه‌دسـت آورده‌ایـد به‌طوری که می‌توانیـد به دانش‌آموزانتـان به‌طور مؤثـر کمک کنید. مشکل اصلی بیشتر ناشی از آن است که آزمایش‌کننده در واقع نمی‌داند که قرار است چه چیزی را ببیند و به ندرت به مسئله‌های دید مربوط می‌شود.

پی‌نوشت

1. Michael Mauser
2. Johannes Purkinje
3. Edge and Jones

منابع

۱. معادله‌هـای فرنل بازتاب را برحسـب ضریب‌های شکسـت توصیف می‌کند.

2. M. Tscherning, Physiologic Optics, 3rd ed. (Keystone Publishing Co., Philadelphia, 1920), pp. 50-56. (Available at: www. books. google.com)

3. G. J. Bull, “Lid pressure on the cornea,” in Transactions of the Eighth International Opthalmological Congress, Second Sitting (University Press, Edinburgh, 1894), pp. 107-124. (Available at: www.books.google.com.)

4. Ronalsd Edge and E. R. Jones, “Why do red and blue lines move in opposite directions?” Phys. Teach. 22. 462-464 (Oct. 1984).

5. R. D. Edge, “The optics of the eye lens.” Phys. Teach. 27, 392-393 (May 1989).

5. David A. Atchison and George Smith, Optics of the Human Eye (Elsevier Health Sciences, Philadelphia, 2000), p. 182.

۶. شـاید بتوان جابه‌جایی کوچک خط تاریک قائم بشوید که به موجب صف‌آرایـی عمودی ریزدانه‌ها روی صفحهٔ نمایش LCD رنگی اسـت. متوجه شـده‌ام که برای حذف این مورد می‌توانـم از ابیراهی رنگی در چشم خودم استفاده کنم.

7. Giles Skey Brindley, Physiology of the Retina and Visual Pathway, 2nd ed. (Edward Arnold Ltd., London, 1970), pp. 140-141.

8. Bill Reid, “Haidinger’s brush,” Phys. Teach. 28, 598 (Dec. 1990).

9. Thomas J. T. P. van den Berg, Michiel P. J. Hagenouw, and Joris E. Coppens, “The ciliary corona: Physical model and simulation of the fine needles rediating from point light sources,” Invest. Ophth. Vis. Sci. 46, 2627-2632 (2005). (Available at: www.iovs.org.)

10. Jearl Walker, “‘Floaters’: Visual artifacts that result from blood cells in front of the retina,” Sci, Am. 246 (4), 150-162 (April 1982).

11. Harvey E. White and Paul Levatin, “‘Floaters’ in the eys”, Sci. Am. 206 (6), 119-127 bibliography 200 & 202 (June 1962).

۱۲. همچنیـن می‌توانید سـایهٔ چین و چروک در قرنیـه را ببینید که ناشی از نگاه کردن با چشم نیم‌بسته است.

مرجع

The Physics Teacher.vol49, Junuary 2011