

کاربردهای از اثر فوتوالکتریک

کاتنل و جانسون
ترجمه روح الله خلیلی بروجنی
www.avang.org

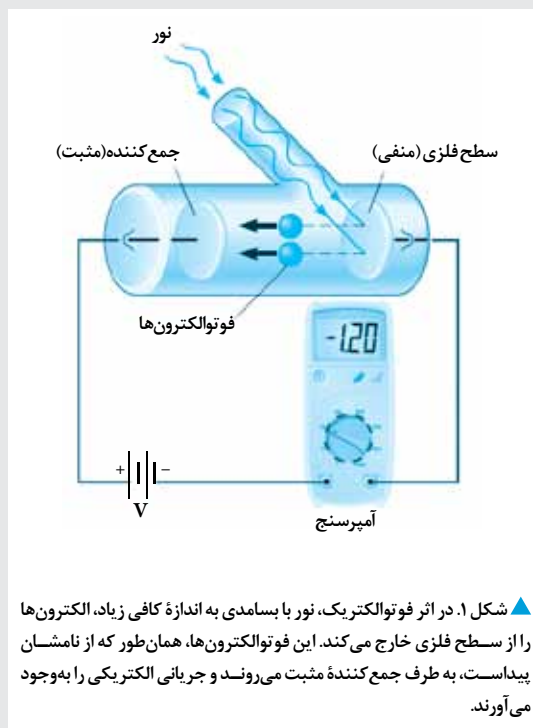
متوجه می‌شوند که، تعدادی از ویژگی‌های اثر فوتوالکتریک را نمی‌توان تنها با فیزیک کلاسیک توضیح داد و برای توجیه کامل آن باید از فیزیک کوانتومی بهره گرفت ولی در هیچ کجای کتاب نشانه‌ای از کاربرد این اثر دیده نمی‌شود. در ادامه به تعدادی از کاربردهای این اثر پرداخته‌ایم که از یکی از کتاب‌های آموزشی مبانی فیزیک انتخاب شده‌اند [۱].

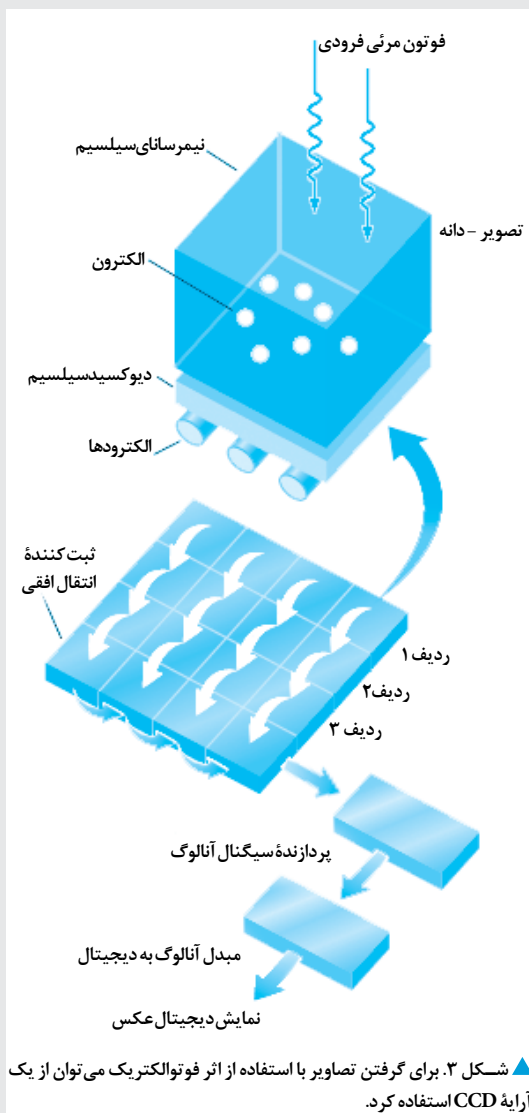
فیزیک ابزارهای بار - جفتیده و دوربین‌های عکاسی دیجیتال

یکی از هیجان‌انگیزترین و مفیدترین کاربردهای اثر فوتوالکتریک، ابزار بار - جفتیده (CCD) است. آرایه‌ای از این ابزارها در دوربین‌های دیجیتال به کار می‌روند (شکل ۲ را ببینید) تا تصاویر را به شکل دسته‌های بسیار کوچکی از الکترون‌ها بگیرند. آرایه‌های CCD در دوربین‌های فیلم‌برداری دیجیتال و روبشگرهای الکترونیکی روش‌هایی را به دست می‌دهند که به کمک آن‌ها اخترشناسان تصاویرهای شگفت‌انگیزی از سیارات و ستارگان به دست می‌آورند. برای استفاده از نور مرئی، یک آرایه CCD شامل ساندویچی از نیم‌رسانای سیلیسیم، دیوکسید سیلیسیم عایق و همان‌طور که شکل ۳ نشان می‌دهد تعدادی الکترون است. آرایه به بخش‌های کوچک زیادی، تصویر - دانه، تقسیم شده است که ۱۶ تا از این‌ها در شکل نشان داده شده است. هر تصویر - دانه بخش کوچکی از عکس را می‌گیرد. دوربین‌های دیجیتال بسته به قیمتشان می‌توانند تا ۲۴ میلیون تصویر - دانه داشته باشند. تصویر بزرگ شده شکل ۳ یک تصویر - دانه را نشان می‌دهد. فوتون‌های فرودی نور مرئی به سیلیسیم می‌خورند و با اثر فوتوالکتریک الکترون‌هایی تولید می‌شوند. گستره انرژی‌های فوتون‌های مرئی چنان است که وقتی فوتون با یک اتم سیلیسیم برهم‌کنش کند تقریباً یک الکترون آزاد می‌شود. الکترون‌ها از سیلیسیم فرار نمی‌کنند ولی به دلیل ولتاژ مثبتی که به الکترون‌های زیرلایه عایق اعمال شده است در یک تصویر - دانه به دام می‌افتند. از این رو، تعداد الکترون‌های آزاد شده و به دام افتاده متناسب با تعداد فوتون‌هایی است که به

کلیدواژه‌ها: فوتوالکتریک، دوربین‌های دیجیتال، فیزیک تبخیر فوتونی، فوتودیود

دانش آموزان در فصل‌های پایانی فیزیک پیش‌دانشگاهی (سال چهارم دوره متوسطه نظری) با اثر فوتوالکتریک آشنا می‌شوند. در این اثر وقتی نور با شرایط فیزیکی معینی به یک سطح فلزی بتابد الکترون‌هایی را از آن جدا می‌کند. شکل ۱ این اثر را توضیح می‌دهد. اگر بسامد نور به کار رفته به اندازه کافی باشد الکترون‌ها گسیل می‌شوند. الکترون‌های خروجی به طرف الکتروود مثبت به نام جمع‌کننده حرکت می‌کنند و جریان الکتریکی را به وجود می‌آورند که مقدار آن با آمپر متر نشان داده می‌شود. این الکترون‌ها چون به کمک نور خارج شده‌اند فوتوالکتریک نامیده می‌شوند. هر چند دانش آموزان





تصویر - دانه برخورد کرده‌اند. به این ترتیب، هر تصویر - دانه در آرایه CCD بازنمایی دقیقی از شدت نور در آن نقطه تصویر را فراهم می‌آورد. اطلاعات مربوط به رنگ مشروط به استفاده از صافی قرمز، سبز یا آبی یا دستگاهی از منشورهایی است تا رنگ‌ها را از هم جدا کنند. اخترشناسان از آرایه‌های CCD نه فقط در ناحیه مرئی طیف الکترومغناطیسی بلکه در سایر نواحی طیف نیز استفاده می‌کنند.

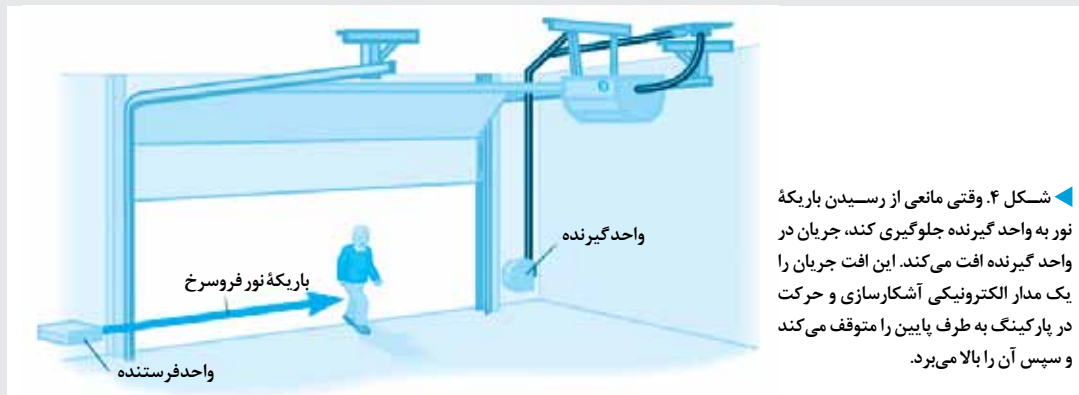
افزون بر به دام افتادن فوتوالکتردها، الکترودهای زیر تصویر - دانه‌ها برای بازخوانی نمایش الکترونی تصویر به کار می‌رود. با تغییر ولتاژهای مثبت به کار رفته روی الکترودها می‌توان تمام الکترون‌های به دام افتاده در یک ردیف از تصویر - دانه‌ها را به ردیف مجاور انتقال داد. به این ترتیب، برای منظوری خاص، مثلاً ردیف ۱ در شکل ۳ به ردیف ۲، ردیف ۲ به ردیف ۳ و ردیف ۳ به ردیف پایین منتقل می‌شود. ردیف پایین به صورت یک ثابت کننده انتقال افقی عمل می‌کند که از آن محتوای هر تصویر - دانه را می‌توان یک به یک به طرف راست منتقل و وارد یک پردازنده سیگنال آنالوگ کرد. این پردازنده تغییر تعداد الکترون‌ها در هر تصویر - دانه در ثبات انتقال دهنده را به صورت نوعی از موج حس می‌کند که دارای افت و خیز دامنه است پس از یک انتقال دیگر در سطرها، اطلاعات سطر بعدی و نظایر آن خوانده می‌شود. خروجی پردازنده سیگنال آنالوگ به یک مبدل آنالوگ به دیجیتال فرستاده می‌شود که نمایش دیجیتال از تصویر به صورت صفر و یک تولید می‌کند رایانه آن را تشخیص می‌دهد.



▲ شکل ۲. دوربین‌های عکاسی دیجیتال، نظیر این دوربین، برای گرفتن تصویر به جای فیلم از ابزارهای بار - جفتیده (CCD) استفاده می‌کنند.

فیزیک ویژگی ایمنی در بازکن‌های پارکینگ

کاربرد دیگر اثر فوتوالکتریک مبتنی بر این واقعیت است که فوتوالکتردهای متحرک جریانی را به وجود می‌آورند (شکل ۱) که با شدت نور تغییر می‌کند. تمام در بازکن‌های



شکل ۴. وقتی مانعی از رسیدن باریکه نور به واحد گیرنده جلوگیری کند، جریان در واحد گیرنده افت می‌کند. این افت جریان را یک مدار الکترونیکی آشکارسازی و حرکت در پارکینگ به طرف پایین را متوقف می‌کند و سپس آن را بالا می‌برد.

می‌دهد. ستاره وقتی شکل می‌گیرد که نیروی گرانشی، گاز کافی را برای تشکیل یک «گوی» چگال گردآوری کند. وقتی گوی گازی به اندازه کافی چگال شود، همجوشی گرما هسته‌ای در مرکز آن به وقوع می‌پیوندد و ستاره شروع به درخشیدن می‌کند. ستاره‌های تازه متولد شده در ابرها پنهان‌اند و نمی‌توان از زمین آن‌ها را دید، ولی فرایند تبخیر فوتونی به اخترشناسان امکان می‌دهد تا بسیاری از نواحی با چگالی زیاد را ببینند که در آنجا ستاره‌ها تشکیل می‌شوند. تبخیر فوتونی فرایندی است که در آن فوتون‌های فرابنفش (UV) پرنرژی از ستاره‌های داغ بیرون ابر را به صورتی گرم می‌کنند که خیلی شبیه فوتون‌های ریزموج در یک فر ریزموج است. شکل ۵- الف جریان‌هایی از تبخیر فوتونی گاز از ابر را نشان می‌دهد که ستاره‌های واقع در لبه بالایی تصویر آن را روشن کرده‌اند وقتی تبخیر فوتونی صورت گیرد گویچه‌هایی از گاز که از محیط اطراف خود چگال‌ترند نمایان می‌شوند. این گویچه‌ها را گویچه‌های گازی تبخیر شونده (EGG_g) می‌نامند و اندکی از منظومه شمسی ما بزرگ‌ترند. تصویر بخش ب شکل ۵ نشان می‌دهد که EGG_g گاز و غبار پشت خود را از فوتون‌های UV محافظت می‌کند و برجستگی‌های انگشت مانند زیادی را در سطح ابر به وجود می‌آورند. اخترشناسان بر این باورند که بعضی از این EGG_g ‌ها حاوی ستاره‌های جوانی هستند.

خودکار پارکینگ‌ها دارای این ویژگی هستند که وقتی با مانعی (شخصی، خودرو و غیره) مواجه شوند مانع بسته شدن در می‌شوند. همان‌طور که شکل ۴ نشان می‌دهد، یک فرستنده باریکه‌ای نامرئی (فروسرخ) به درواز کن می‌فرستد. این باریکه را یک واحد گیرنده حاوی فوتودیود دریافت می‌کند. فوتودیود نوعی دیود پیوندی $n-p$ است. وقتی فوتون‌های فرسرخ به فوتودیود برخورد کنند، الکترون‌های مقید به اتم‌ها با جذب فوتون‌ها آزاد می‌شوند. این الکترون‌های آزاد شده متحرک باعث افزایش جریان در فوتودیود می‌شوند. وقتی شخصی از باریکه بگذرد نور یک لحظه به واحد گیرنده نمی‌رسد و جریان در فوتودیود کاهش می‌یابد، تغییر جریان را یک مدار الکترونیکی آشکارسازی و فوراً حرکت رو به پایین در را متوقف می‌کند و سپس باعث می‌شود که در بالا رود.

فیزیک تبخیر فوتونی و تشکیل ستاره

شکل ۵ الف بخشی از سحابی عقاب را نشان می‌دهد که یک ناحیه عظیم تشکیل ستاره در فاصله ۷۰۰۰ سال نوری از زمین است. این عکس را تلسکوپ فضایی هابل گرفته است و ابرهایی از گاز مولکولی و غبار را آشکار می‌کند که دلیل قاطع بر انرژی حمل شده توسط فوتون‌هاست. گستره پایینی تا بالای این ابرها که بیشتر از یک سال نوری است زادگاه ستاره‌ها را تشکیل



شکل ۵. الف) تبخیر فوتونی برجستگی‌های انگشت‌مانندی را روی سطح ابرهای گازی در سحابی عقاب به وجود می‌آورد. در سرانگشت‌ها گویچه‌های گازی تبخیر شونده با چگالی زیاد (EGG_g) قرار دارند. ب) این تصویر تبخیر فوتونی صورت گرفته در عکس بخش الف را نشان می‌دهد.

پی‌نوشت‌ها

- [1]. Physics, 9th edition, John D. Cutnell & Kenneth W. Johnson, John Wiley, 2012.
1. charge - coupled device
2. Pixels