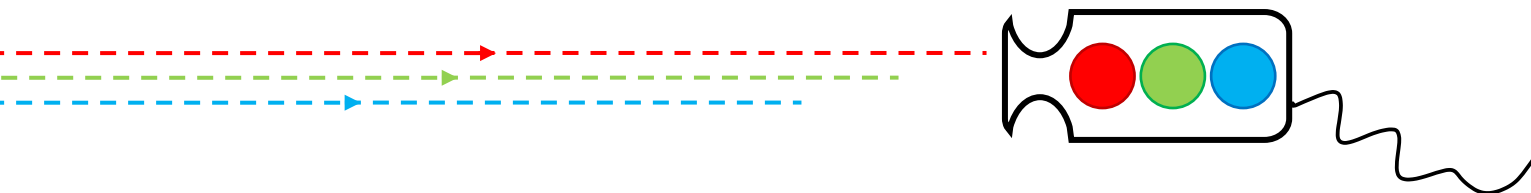
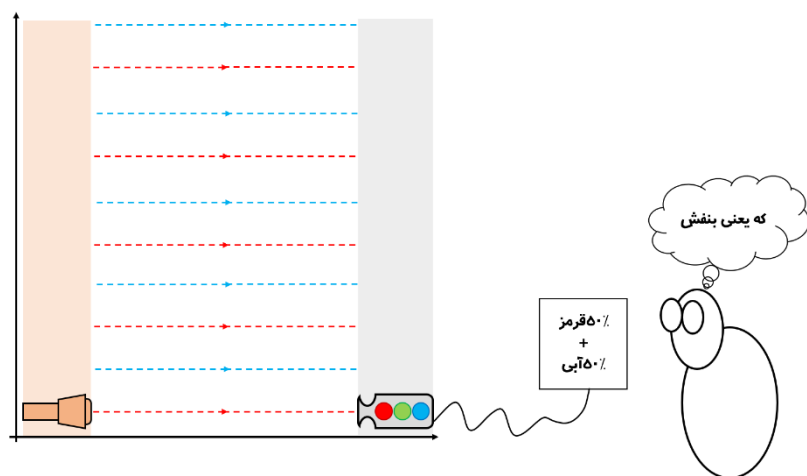


تصور کنید دستگاهی داریم که می‌تواند نورهای سبز و زرد و قرمز را از هم تشخیص دهد و مقدار نوری که از هر رنگ دریافت کرده است را ذخیره کند.



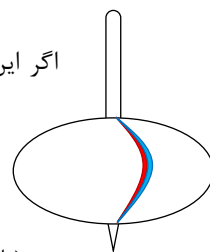
برای سادگی فرض کنید دستگاه تعداد نوری که از هر رنگ دریافت می‌کند را می‌شمارد و ذخیره می‌کند. همچنین هر ثانیه یک بار مقادیری که ذخیره کرده است را گزارش می‌کند و سپس از اول شروع می‌کند به شمردن. اگر جلوی دستگاه یک چراغ بگذاریم که فقط نور قرمز تابش می‌کند، طبیعتاً دستگاه هم هر ثانیه گزارش می‌کند که ۱۰۰٪ نور قرمز دیده است. اگر جلوی دستگاه چراغی بگذاریم که هر ثانیه یک بار رنگش را عوض می‌کند، مثلاً به ترتیب قرمز بعد سبز و بعد آبی می‌شود، آنگاه (به شرطی که این کار را دقیقاً همزمان با گزارش دستگاه انجام دهد) چیزی که دستگاه گزارش می‌کند به این صورت خواهد بود: ۱۰۰٪ قرمز - ۱۰۰٪ سبز - ۱۰۰٪ آبی - ۱۰۰٪ قرمز - ۱۰۰٪ سبز - ۱۰۰٪ آبی - ... الی آخر. اما فرض کنید یک چراغ داشته باشیم که هر نیم‌ثانیه یک بار رنگش را تغییر دهد. از قرمز به آبی و سپس از آبی به قرمز. اگر این کار همزمان با گزارش دستگاه انجام شود آنوقت گزارش به چه صورتی خواهد بود؟ شما پاسخ بدهید: ۵۰٪ قرمز - ۵۰٪ آبی - ۵۰٪ قرمز - ۵۰٪ آبی. درست است؟ یعنی اکنون گزارش دستگاه ثابت خواهد بود. اگر جلوی دستگاه چراغی می‌گذاشتیم که به طور یکنواخت نوری تابش می‌کرد

که متشکل از ۵۰٪ قرمز و ۵۰٪ آبی بود، گزارش دستگاه باز همین می‌بود و تغییری نمی‌کرد. یعنی عملاً گزارش دستگاه بنفش می‌بود که ترکیب دو رنگ است. برای اینکه بشود از گزارش دستگاه فهمید که در واقع نور بنفشی در کار نیست و واقعیت یک نوری است که بین آبی و قرمز نوسان می‌کند، باید نرخ گزارش دادن دستگاه را بالا ببریم. یعنی دستگاه حداقل باید ۲ بار در ثانیه، یعنی هر نیم‌ثانیه یکبار، گزارش دهد.



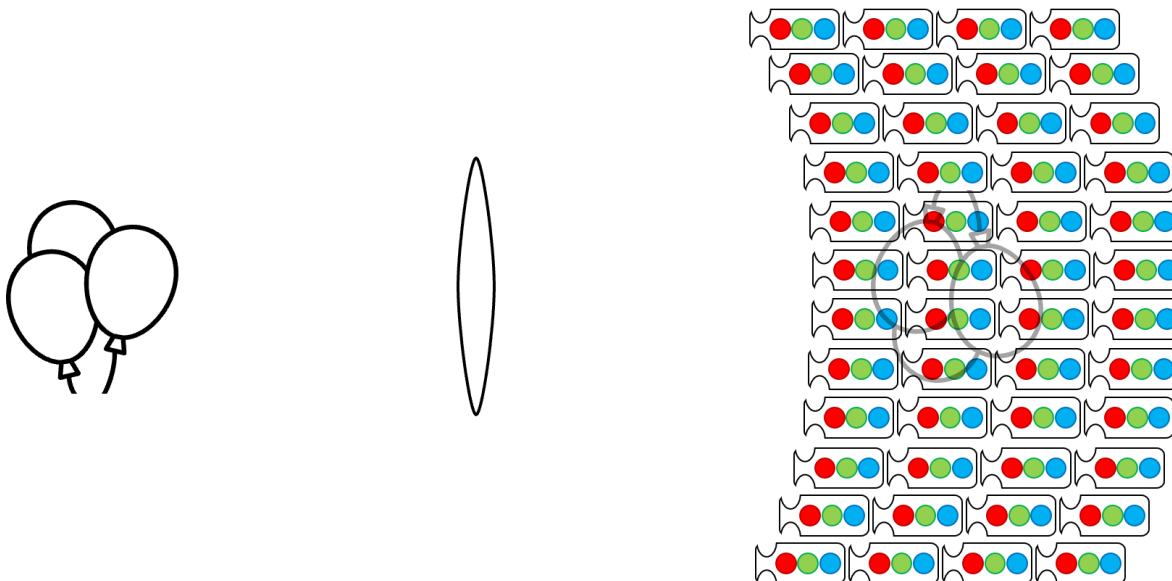
محور عمودی زمان است. سایه پوستی رنگ (!) چراغ قوه را نشان می‌دهد و سایه خاکستری حسگر را. همینطور که در زمان بالا می‌رویم از چراغ به سمت حسگر نورهایی با رنگهای متفاوت تابش می‌شود. سرعت حرکت نور را آنقدر زیاد در نظر گرفتیم که نورها عملاً خطوط افقی به نظر می‌رسند. اگر سرعت نور اینقدر زیاد نباشد خطها باید کمی شیب می‌گرفتند و از حالت افقی خارج می‌شدند. تمرین: تصویر بالا را در حالتی که نورها سرعتشان کمتر است رسم کنید.

اگر این مسئله هنوز برایتان جا نیفتاده است، بد نیست همینجا قدری مکث کنید و راجع به آن فکر کنید،



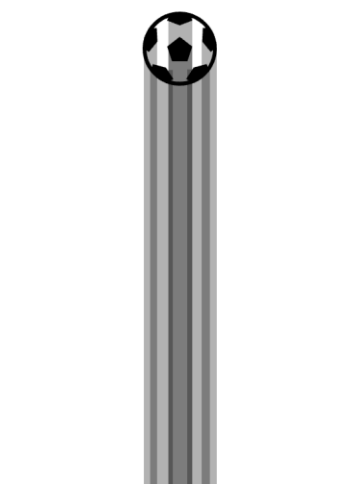
چون در توضیحات بعدی از آن استفاده خواهیم کرد. می‌توان انتظار داشت که داستان دوربین فیلمبرداری ویا چشم هم (با تفاوت‌های خودشان) شبیه این داستان است. نه کل دوربین و کل چشم، بلکه یکی از سلول‌های دریافت نور دوربین یا چشم. راستی این را نسبتاً به راحتی می‌توانید آزمایش کنید. کافی است یک فرفره بردارید و دو نوار باریک را رنگ متفاوت بزنید. اگر فرفره به

قدر کافی سریع بچرخد رنگها از هم تشخیص داده نخواهند شد. البته اگر همه فرفره را با نوارها رنگ کنید نتیجه بهتری خواهد داد. سؤال: اگر رنگ نوارها متناظر باشند با رنگهای حاصل از تجزیه نور سفید، رنگی که از فرفره در حال چرخش دیده خواهد شد چه رنگی است؟ حالا بیایید با استفاده از تعداد زیادی از این دستگاهها یک شبکه بسازیم.



آن وسط یک عدسی گذاشته‌ایم تا اینکه از جسم یک تصویر واضح روی شبکه ایجاد شود. نه که در بحث حاضر مهم باشد، اما تصویر برعکس است و اگر بادکنکها بالا بروند، تصویرش پایین می‌رود. تصویر را به صورت نمادین به صورت کم رنگ مشخص کرده‌ام. برای اینکه چیزی که ساخته‌ایم بیشتر شبیه به چشم شود، نرخ گزارش دستگاهها را روی ۲۰ بار در ثانیه تنظیم می‌کنیم. پس اگر بادکنکها مثلاً ۴۰ بار در ثانیه رنگ عوض کنند چشمی که ساختیم ترکیب رنگها را می‌بیند نه تجزیه آنها را.

حالا که به جای یک حسگر تنها، یک شبکه (یا پرده) متشکل از تعداد زیادی حسگر داریم، می‌توانیم متناظر حرفهای بالا را برای حرکت کردن جسم در حال مشاهده بزنیم. برای راحتی فرض کنید همه حسگرها هم‌زمان گزارش خودشان را تحویل می‌دهند و دوباره از اول شروع به شمردن می‌کنند. مثلاً هر ثانیه یک بار. پرده (یا شبکه) قرار است تصویر یک توپ را گزارش دهد. توپ از ارتفاعی رها می‌شود و بعد از یک ثانیه به زمین می‌خورد. چون پرده در هر ثانیه فقط یکبار شمردن را از سر می‌گیرد، تمام حرکت توپ از رها شدن تا زمین خوردن، فقط در یکی از گزارشهایش جای می‌گیرد. پس کسی که گزارش را دریافت می‌کند یک تصویر کشیده می‌بیند، نه یک توپ. انگار رنگ توپ را با انگشت روی یک خط عمودی پخش کرده باشند. تمرین: در چه ارتفاعی رد توپ پررنگتر خواهد بود؟



حالا اگر پرده هر نیم‌ثانیه یکبار گزارش دهد، آنوقت در طول حرکت توپ که یک ثانیه است، دو تصویر حاصل می‌شود. هر دو مثل قبل ناواضح هستند و کشیده شده‌اند؛ اما اینبار در گزارش اول یک تصویر

کشیده از توپ، از جایی که رها شده تا جایی در میانه مسیر ضبط شده است؛ و در گزارش دوم یک تصویر کشیده از بقیه مسیر توپ. تمرین: در کدام گزارش تصویر ضبط شده کشیده‌تر است؟

تمرین: پیش خودتان تصور کنید که چه اتفاقی می‌افتد اگر نرخ گزارش به ۳ بار در ثانیه افزایش یابد. چه می‌شود اگر به ۴۰ بار در ثانیه افزایش یابد؟

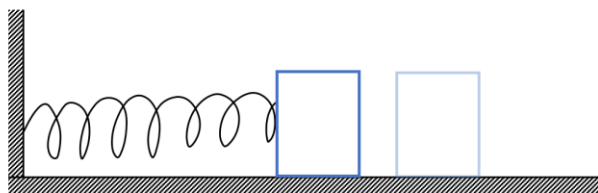
اگر تمرینهای بالا را حل کردید برویم سراغ بقیه بحث.

حالا می‌خواهیم کار کمی متفاوتی کنیم. همان توپ را در نظر بگیرید که می‌خواستیم تصویرش را ضبط کنیم. نرخ گزارش پرده را هم می‌گذاریم روی همان یکبار در ثانیه. اما این بار هیچ نوری توی محیط نیست! همه چراغها را خاموش کرده‌ایم. چه اتفاقی می‌افتد؟ خب، حسگرها نوری نمی‌شمارند و برای همین می‌گویند که هیچ نوری دریافت نکرده‌اند. تصویر خالی گزارش می‌شود. حالا بیایید وقتی توپ در میانه مسیر است، خیلی سریع نور را قطع و وصل کنیم، مثل فلاش دوربینها. آنوقت چه چیزی ضبط خواهد شد؟ خب، فقط آن لحظه از توپ که نور در محیط وجود داشته است، ضبط و گزارش خواهد شد. اگر قطع و وصل کردن نور خیلی سریع باشد آنگاه تصویر گزارش شده واضح خواهد بود و کشیدگی ندارد.

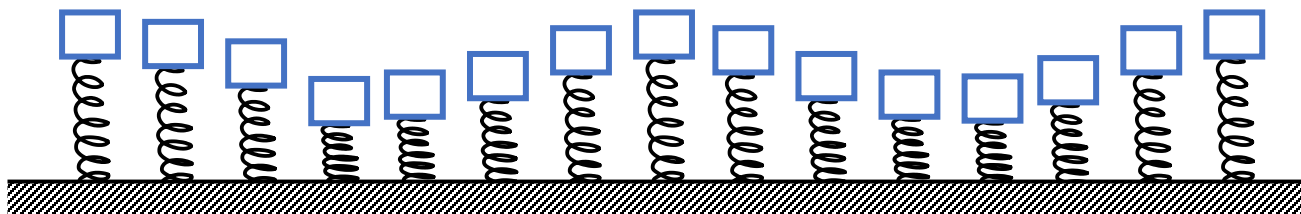


حالا فرض کنید توپ به زمین می‌خورد و برمی‌گردد بالا و دوباره همان سقوط قبل را تکرار می‌کند. اگر فلاشها را جوری تنظیم کنیم که وقتی توپ دقیقاً در همان مکان قبلی است زده شوند، آنوقت چیزی که گزارش می‌شود چند تصویر است که در همه آنها توپ در یک ارتفاع ثابت قرار دارد. بنابراین انگار توپ روی هوا معلق مانده است!

بیایید همین قضیه را برای یک مثال دیگر هم بررسی کنیم. یک جسم متصل به فنر. فرض کنید دوره تناوب حرکت جسم یک ثانیه باشد. یعنی یک ثانیه طول بکشد تا جسم برود و برگردد سر جای قبلیش که بود. حالا اگر نرخ گزارش همان یک ثانیه باشد، فلاش را هم هر یک ثانیه یک بار بزنیم، تصاویر جوری گزارش داده می‌شوند که انگار جسم اصلاً از سر جایش هیچ تکانی نمی‌خورد.



اکنون بیایید چندتا از این جسم و فنرها را کنار هم بگذاریم و یک رشته از آنها بسازیم. همه را می‌کشیم و بعد رها می‌کنیم. اما هر کدام را در زمان متفاوتی رها می‌کنیم تا رشته شکل یک موج را به خود بگیرد.



دوباره مثل قبل فلاشها را روی یک ثانیه تنظیم می‌کنیم. اینگونه باز هم هر کدام از جسمها در موقع فلاش سر جای قبلی خودشان خواهند بود. بنابراین تصاویری حاصل می‌شوند که در همه آنها جسمها یک جای یکسان دارند و انگار موج اصلاً تکان نمی‌خورد.

حالا دوباره برگردیم به حالت یک جسم و فنر. اگر بجای اینکه نرخ فلاشها را روی یکبار در ثانیه تنظیم کنیم، آنها را روی یکبار در ۱.۰۱ ثانیه بگذاریم چه اتفاقی می‌افتد؟ خب، وقتی ۱ ثانیه می‌گذرد جسم به مکان قبلی خودش برمی‌گردد. پس تا فلاش بعدی ۰.۰۱ ثانیه مانده است. توی ۰.۰۱ ثانیه باقی‌مانده جسم کمی جلوتر می‌رود. پس تصاویری که با این نرخ فلاش زدن حاصل می‌شوند، جسمی را نشان می‌دهند که تقریباً سر جای خود ثابت است اما هر لحظه خیلی کم جابه‌جا می‌شود. یعنی اینطور به نظر می‌آید که جسم انگار حرکت آهسته دارد، در حالیکه واقعیت این است که جسم خیلی سریع در ظرف یک‌ثانیه یک تناوب کامل انجام داده است. پس زیاد کردن اندک دوره تناوب فلاش باعث می‌شود که جسم آهسته در حال پیشرفت به نظر بیاید. **تمرین: اگر فلاش را روی یکبار در ۰.۹۹ ثانیه تنظیم کنیم چه اتفاقی می‌افتد؟**

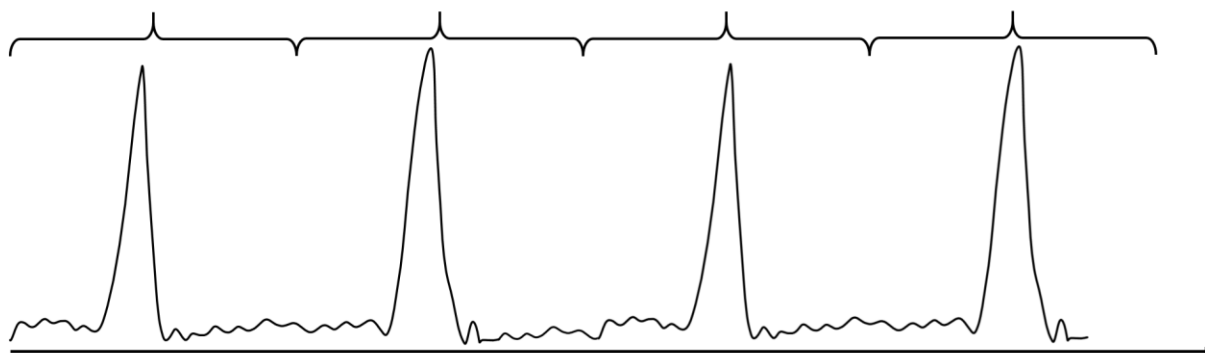
خب، کافی است همین حرفها را برای رشته‌ای که درست کرده بودیم هم تکرار کنیم. اگر فلاش را روی ۱.۰۱ ثانیه بگذاریم، تصویر طوری خواهد بود که انگار هر کدام از جسمها آهسته در حرکت خود پیشرفت می‌کنند. پس در کل اینطور به نظر می‌رسد که حرکت کل رشته آهسته در حال پیشرفت است. یعنی قبلاً رشته مانند یک موج ساکن بود، حالا هر کدام از جسمها آهسته به حرکت ادامه می‌دهد و این باعث می‌شود که موجی که ساکن بود اکنون به صورت موجی به نظر برسد که آهسته در حال انتشار است.

نتیجه بررسی ما مستقل از مواد تشکیل دهنده موج است، پس مثلاً اگر این موج با آب هم ساخته شده باشد نتیجه مشابهی خواهیم داشت. **تمرین: فیلم مربوط به آن را در کانال «الک» مشخص کنید.**

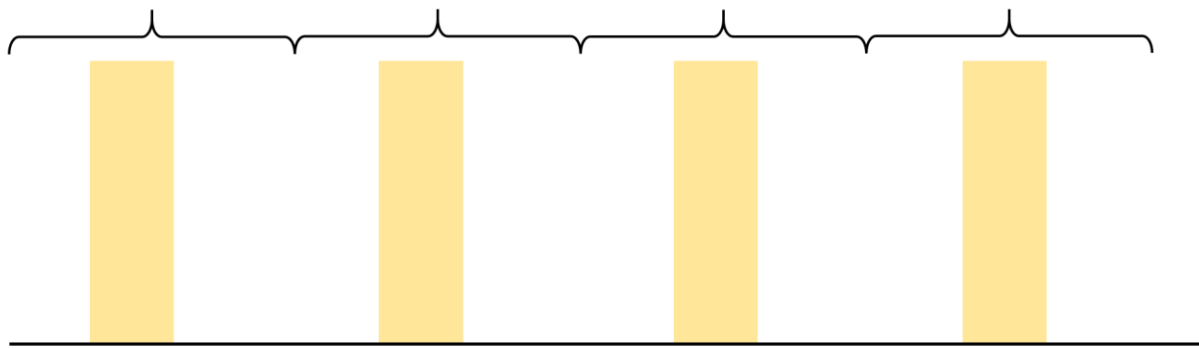
ادامه در صفحه بعد.

حالا فرض کنید به جای فلاش، اتفاق دیگری می افتاد. اینبار به جای فلاش، دریچه‌ای جلوی دوربینی که ساختیم قرار می‌دهیم که مانند فلاش، خیلی سریع باز و بسته می‌شود. قبلاً فلاش زده می‌شد و اینگونه، تنها زمانی نور به دوربین می‌رسید که نور فلاش حضور داشت. اکنون دریچه فقط در همان زمانِ فلاش قبلی باز می‌شود و اینگونه فقط نورهای آن لحظه به دوربین می‌رسند. پس اگر به جای فلاش از چنین دریچه‌ای استفاده کنیم در ثبت تصاویر تغییری رخ نمی‌دهد.

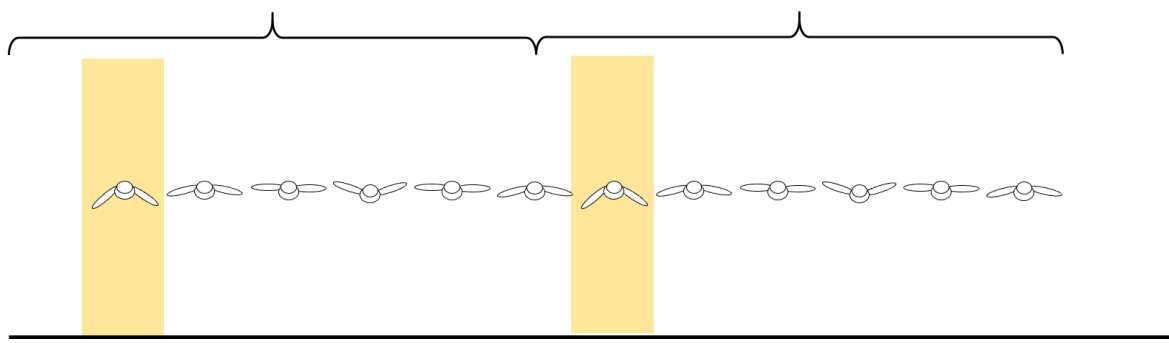
تصویر پایین شدت نور محیط در زمان را نشان می‌دهد، وقتی که از روش فلاش استفاده می‌کنیم:



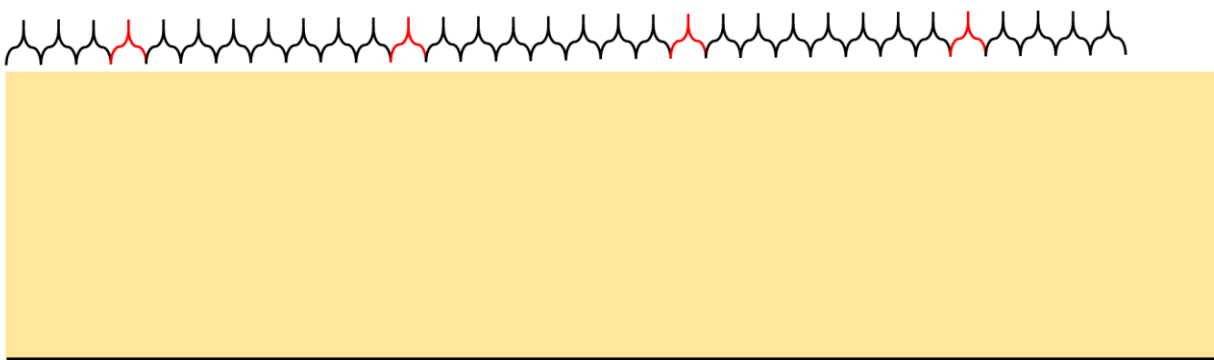
یک مقدار نور کم همواره در محیط بدون فلاش وجود دارد. در زمانهای خاصی (با فاصله‌های معین) فلاش زده می‌شود و شدت نور محیط افزایش پیدا می‌کند. آکولادها تصاویر ثبت شده یا همان فریم‌ها را نشان می‌دهند. می‌بینیم که در هر فریم فقط بازه کوتاهی نوردهی شده است. در تصویر پایین به جای فلاش صرفاً دریچه را باز می‌کنیم، قسمتهای زرد زمانهایی را نشان می‌دهند که دریچه باز است:



در هر دو حالت، فقط تصاویر مربوط به آن زمانهای مشخص ثبت می‌شوند. تمرین: تناوب بال زدن پرنده‌ای با تناوت ثبت تصویر یک دوربین هماهنگ است. همچنین دریچه دوربین فقط در زمانهایی که در شکل زیر مشخص شده است باز می‌شود. تصویری که از پرنده ضبط می‌گردد را توصیف کنید:



همین کار را می‌توان به صورت کاملاً دیجیتال نیز انجام داد. کافی است تمام تصاویر را با نرخ بسیار بالا ضبط کنیم و بعد فقط آنهایی را نگه داریم که در همان لحظات مشخص مشخص قرار دارند.



در تصویر بالا نرخ ثبت تصویر را زیاد کرده‌ایم. برای همین در همان مدت زمان قبلی (بدون اینکه دریچه را ببندیم یا نور را کم و زیاد کنیم) تعداد زیادی فریم ضبط شده‌اند. اما فقط آنهایی را نگه می‌داریم که با رنگ قرمز مشخص شده‌اند. هر سه روش جواب یکسان دارند. در دو روش آخر، چون از تمام مقدار نوری که در محیط هست فقط بخش کوچکی از آن دریافت و یا ثبت می‌شود، همه تصاویر تاریکتر از حالت عادی خواهند بود. هرچه دریچه مدت زمان کمتری باز باشد، تصاویر تاریکتر می‌شوند.

تا اینجا کار دیدیم فقط اینکه نرخ فریم با بسامد پدیده در حال فیلمبرداری هماهنگ شده باشد کافی نیست. در هر فریم باید تنها بازه کوچکی ثبت شود تا اینکه تصویر به صورت کشیده ضبط نگردد.

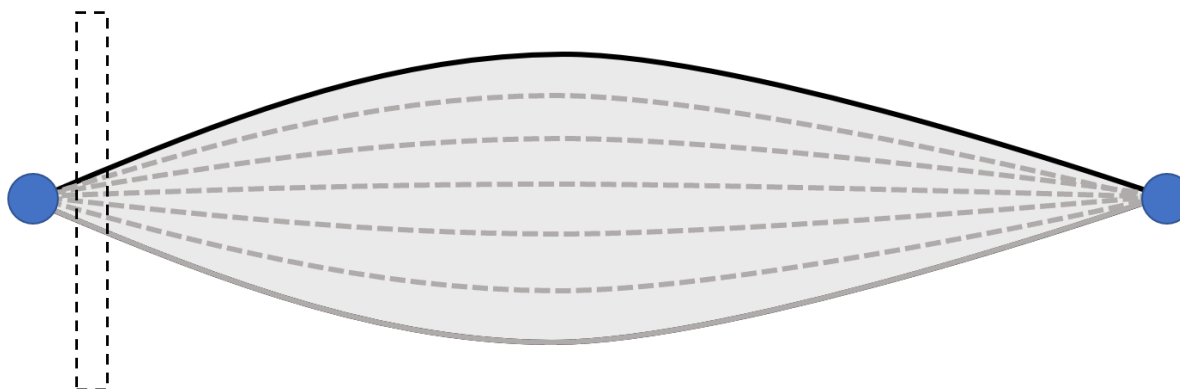
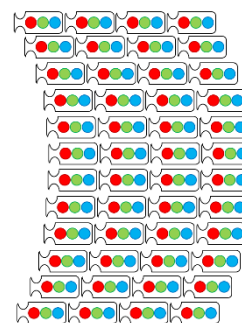
آزمایش کنید: یک سکه بردارید. به لبه آن تلنگر بزنید و سکه را روی سطح میز به دوران وادارید. سپس با گوشی موبایل خود از سکه فیلم بگیرید. سعی کنید اینکار را در جای خیلی روشنی انجام دهید، مثلاً زیر نور آفتاب. چه تفاوتی بین فیلم و آنچه با چشم دیده می‌شود وجود دارد؟

آزمایش کنید: اپلیکیشن (از قرار معلوم معادل فارسی آن «کارافزار» است!) **Strobily** را پیدا کرده و روی گوشی خود نصب کنید. این اپلیکیشن به شما اجازه می‌دهد که فلاش گوشی خود را با بسامد معینی روشن و خاموش کنید. یعنی همان چیزی که ما می‌خواهیم. بسامد را روی ۲۰ هرتز تنظیم کنید و مانند قبل سکه را بچرخانید. اما اینبار باید این کار را در یکجای خیلی تاریک انجام دهید تا تقریباً تنها منبع نور، فلاش گوشی باشد. حالا آیا چیزی که مشاهده می‌کنید شبیه فیلم آزمایش قبل هست یا نه؟

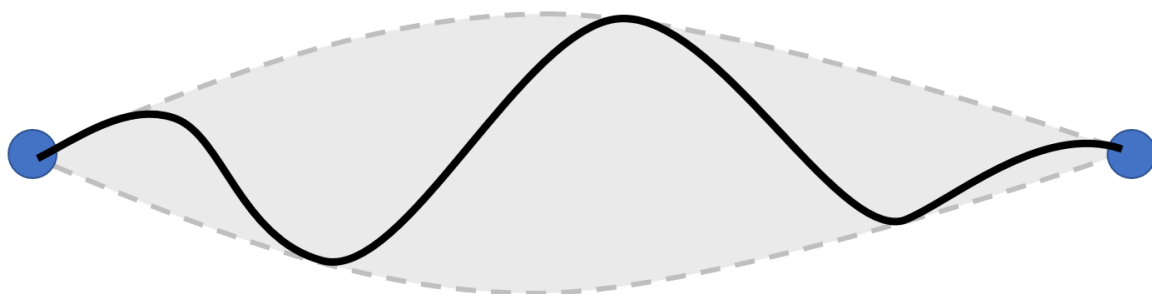
آزمایش کنید: در همان جای تاریک که هستید، یک کش (مثلاً کش پول) بردارید. کش را جلوی فلاش گوشی بگیرید. به کش تلنگر بزنید و موجی که در آن پخش می‌شود را مشاهده کنید. بسامد فلاش گوشی را آنقدر تنظیم کنید تا سرانجام موجی ببینید که به نرمی حرکت می‌کند.

اما همه اینها نمی‌تواند به تنهایی فیلم مورد نظر ما را توجیه کند! اگر کسی حواسش باشد ممکن است بگوید که در سیم گیتار، که دو سر آن ثابت است، قاعدتاً باید موج ایستا تولید شود. و بنابراین حتی اگر حرکت سیم را به صورت نرم ببینیم نباید چیزی که مشاهده می‌شود موجی در حال حرکت و انتشار به راست یا چپ باشد. بلکه باید تپه‌های موجی ببینیم که هر کدام سر جای خود بالا و پایین می‌شوند. این چیزی نیست که در فیلم دیده می‌شود. اینجا نیاز است که یک چیز دیگر را هم درباره نحوه ضبط تصاویر در دوربین گوشی بدانیم.

فرق اساسی این دوربینها با دوربینی که ما ساختیم در این است که آنها همه تصویر را یکجا ثبت نمی‌کنند. حسگرهایی که روی هم گذاشته بودیم را به خاطر بیاورید. روش ثبت دوربینها مذکور معمولاً اینگونه است که از یک ردیف حسگرها شروع می‌کنند و اطلاعات آن ردیف را ثبت می‌کنند و سپس به ردیف بعدی می‌روند. مثلاً فرض کنید ضبط از ردیف بالا شروع می‌شود. اینطوری اول بالای تصویر ضبط می‌شود و بعد از اینکه مقداری (هرچند خیلی کم) زمان گذشت، ردیف بعدی ضبط می‌شود. در این مدت کوتاه، سوژه فیلمبرداری کمی جابجا شده است. برای همین وقتی همه ردیفها ضبط می‌شوند و کل تصویر جارو شده است، چیزی که از سوژه ثبت می‌گردد تصویری کج و کوله است! سیم گیتار را در نظر بگیرید. کافیست کل این سیم فقط بالا و پایین شود؛ یک تپه موج ایستا؛ مانند شکل زیر، که در آن سیم با خط سیاه و محدوده حرکت آن با رنگ خاکستری مشخص شده است. نقطه چین‌ها هم وضعیت سیم (یا موج ایستا) را در زمانهای مختلف نشان می‌دهند.



فرض کنید که تصویر از چپ به راست جارو می‌شود. یعنی اول ستون چپی (مستطیل نقطه چین) ضبط می‌شود و سپس ستون کناری سمت راست آن و همینطوری تا آخر. اگر موج ایستا خیلی تند بالا و پایین شود، تا مستطیل بخواهد کمی به راست برود، سیم مقداری پایین می‌آید و تا مستطیل بخواهد تمام راه را تا انتهای دیگر طی کند، سیم چند بار کامل بالا و پایین شده است. بنابراین تصویر ضبط شده چنین چیزی خواهد بود:



این چیزی است که در فیلم مورد نظر ما هم دیده می‌شود. بنابراین می‌توان گفت این فیلم احتمالاً تقلبی نیست و به نحوه ضبط تصویر در دوربینهای گوشی مربوط است. پس گرچه چنین چیزی با چشم دیده نمی‌شود، اما به آن امتیاز غیرتقلبی می‌دهیم.

با توضیحاتی که در اینجا آمد می‌توان بسیاری از فیلمهای دیگر را نیز تحلیل کرد. نیمه اول توضیحات (یعنی قبل از نحوه کار دوربین گوشی‌ها) برای خیلی از آن فیلمها کافی است.

تمرین: در یک جای روشن، یک کش مهیا کنید. از کش با دوربین موبایل فیلم بگیرید. به کش تلنگر بزنید و فیلم آن را ضبط کنید. یکبار دوربین را عمودی نگه دارید و بار دیگر ۹۰ درجه آن را بچرخانید و افقی فیلم بگیرید. تفاوت دو حالت را توضیح دهید.

