



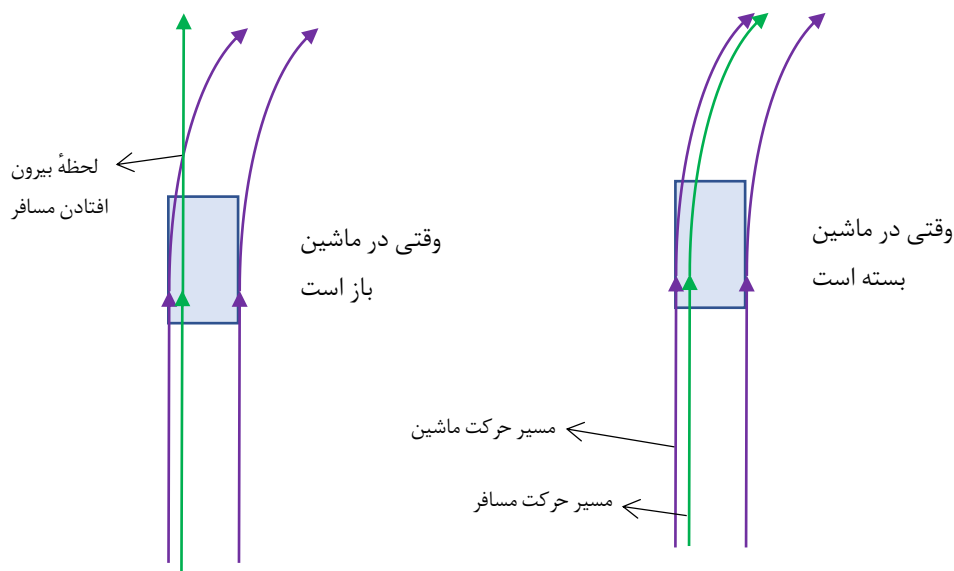
ادعا: همانطور که در فیلم می‌بینید، در نیروی هوایی آمریکا خلبانان را تحت آزمایش‌هایی قرار می‌دهند که به آنها فشاری به نام «G-Force» وارد می‌آید تا تحملشان بالا برود.

اگر خلبان یک هواپیمای جنگنده باشید، احتمال دارد ناگهان خود را در شرایطی بیابید که احتیاج به مانورهای سنگین و حرکات پیچیده با هواپیما دارد. مثلاً فرض کنید که یک موشک دنبالتان کرده است و می‌خواهید از دستش خلاص شوید. یا اینکه دو هواپیمای دیگر از پشت به شما نزدیک می‌شوند و می‌خواهید گمشان کنید. اگر مانند هواپیماهای مسافربری به آرامی ارتفاع خود را کم یا زیاد کنید، یا اینکه خرامان خرامان دور بزنید، احتمالاً به چنین هدفی دست پیدا نخواهید کرد. حرکات یکنواخت و تغییرات آرام در حرکت نمی‌توانند خواسته شما را برآورده کنند. بنابراین شما به عنوان خلبان، مجبور خواهید بود تغییرات حرکت را شدید کنید. همانطور که قبلاً هم صحبتش شد، به تغییرات در حرکت، شتاب می‌گوییم؛ پس برای چنان مانورهایی باید شتابی شدید به هواپیما وارد کرد.

حالا برای راحتی، از هواپیما به یک ماشین که مثالی ساده‌تر است فرود بیاییم. اگر ناگهان پدال گاز را تا ته فشار دهید (و ماشین خوش شتابی هم زیر پایتان باشد) چه چیزی احساس خواهید کرد؟ بله، به صندلی می‌چسبید، و انگار نیرویی شما را به صندلی هل می‌دهد. اما چیزی این دور و اطراف وجود ندارد که بخواهد (یا بتواند) شما را هل بدهد. اگر بخواهید بگویید که واقعاً نیرویی هست که دارد شما را به سمت صندلی هل می‌دهد، لابد باید چیزی از جنس جن و پری که دیده نمی‌شوند را تصور کنید که چنین نیرویی به شما وارد می‌کنند. همانطور که وارد کننده نیرو واقعی نیست و باید بصورت مجازی تصورش کرد، خود نیرو نیز مجازی است، به خاطر همین است که به اینها «نیروهای مجازی» می‌گویند. واقعیت ماجرا این است که ابتدا زمین (چرخهای) ماشین را هل داده است، سپس ماشین صندلی را و صندلی هم آمده و به شما چسبیده و کمر شما را هل داده است. نیرویی که صندلی به شما و (طبق قانون عمل و عکس‌العمل) شما به صندلی وارد می‌کنید، همان حالت و مقداری را دارد که نیرویی مجازی در نظر گرفته بودیم. به همین خاطر، حسش، یعنی آن فشاری که به پوست کمر شما وارد می‌شود، مشابه است.

حالا بیایید این سلسه هل دادن را بیشتر پیش ببریم. خوب، تا اینجا آمدیم که صندلی کمر شما را هل می‌دهد، در مرحله بعد کمر هم لابد اسکلت شما را هل می‌دهد. اگر مثلاً سرتان به پشتی صندلی نچسبیده باشد، اول بقیه اسکلت شما جلو می‌رود و سپس یا سرتان به پشتی می‌خورد و همراه با آن جلو می‌آید و یا قبل از اینکه به پشتی برسد، توسط گردنتان کشیده می‌شود و هم‌سرعت با بقیه اسکلت شما می‌گردد. (توجه کنید که اگر سر با بدن هیچوقت هم‌سرعت نشود اتفاق ناخوشایندی رخ خواهد داد!) اینکه چه نیرویی نیاز است تا گردن با بدن هم‌سرعت شود، به مقدار شتاب بستگی دارد. اگر مقدار شتاب به حد کافی زیاد باشد، گردن نیروی زیادی برای کشیدن سر و تأمین شتاب آن نیاز خواهد داشت و ممکن است صدمه ببیند. بعدش چه می‌شود؟ کمر اسکلت را هل می‌دهد و سپس اسکلت باید بقیه اجزا را هل بدهد؛ از جمله گوشت و پوست صورت. همانطور که سر جا ماند تا بالاخره گردن بکشدش، پوست صورت هم جا می‌ماند تا اینکه مجموعه آن را بکشد و با خودش همراه کند. این که پوست چقدر کش خواهد آمد به مقدار شتاب وابسته است. اگر شتاب زیاد باشد می‌توان کشیده شدن پوست را به چشم دید. تمرین: پیش خود با جزئیات تصور کنید اگر ماشینی که سرعت زیادی دارد، ناگهان ترمز کند (یعنی شتابی برعکس شتاب بالا داشته باشد) چه اتفاقاتی خواهد افتاد. سلسه هل دادن را اینجا چگونه خواهد بود؟

اتوموبیل افقی حرکت می‌کند، البته دور هم می‌تواند بزند. وقتی که دور می‌زند مسئله چگونه تشریح خواهد شد؟ ماشینی که در خط مستقیم خود حرکت می‌کند، ناگهان شروع می‌کند مثلاً به سمت راست پیچیدن. اشیاء درون ماشین، از جمله راننده، پیش از این همراه با ماشین به جلو حرکت می‌کردند. اکنون ماشین است که به سمت راست می‌رود و مسیرش با حرکت مستقیم راننده تلاقی می‌کند. پس به راننده می‌خورد و راننده را نیز به سمت راست هل می‌دهد. یعنی مثلاً در سمت چپ ماشین به راننده می‌چسبد و او را به سمت راست هل می‌دهد. این می‌شود که وقتی ماشین می‌پیچد ما احساس می‌کنیم به سمت در فشرده شده‌ایم. به زبان نیروی مجازی: انگاری چیزی (نیرویی) ما را به سمت در رانده است. اگر در ماشین باز باشد که به آن برخورد نکنیم از ماشین به بیرون پرتاب می‌شویم. به زبان نیروی مجازی ما به بیرون رانده شده‌ایم، اما درواقع می‌توان گفت که ما به حرکت مستقیم خود ادامه داده‌ایم و این ماشین بود که از ما گذشت و به سمت راست رفت.



تا حالا شتابهایی که از آنها صحبت رفت موازی با سطح زمین بودند. حالا بیایید راجع به شتابی عمودی صحبت کنیم، وقتی که سوار آسانسور هستیم. در ابتدا آسانسور ساکن است و سپس مقداری اندازه سرعت خودش را افزایش می دهد تا ما را به طبقه مورد نظر برساند. سرعتش تغییر می کند، پس حرکت آسانسور حرکتی شتاب دار است. اگر از طبقه همکف به خواهیم به طبقه بالا برویم، آسانسور باید به بالا شتاب بگیرد. این یعنی طناب آسانسور، کابین را به بالا می کشد. سپس کف کابین کف کفشهای ما را هل می دهد. سپس کفشها کف پاها را هل می دهند و همینطور تا آخر، مانند مثالهای قبل. اگر صاف و قرص و محکم ایستاده باشیم تا کل اسکلت به سمت بالا شتاب بگیرد، آنگاه پوست بدن که هنوز توسط کسی کشیده نشده است سر جایش باقی می ماند تا اینکه بالاخره توسط اسکلت کشیده شود. پس اگر شتاب آسانسور به حد کافی زیاد باشد می توان کش آمدن پوست را دید. اما چرا فقط راجع به پوست صحبت کنیم، خون چه؟ اتفاقی مشابه برای خونی که در بدن وجود دارد نیز باید بیافتد. یعنی وقتی قالب بدن به سمت بالا شتاب می یابد، خون ابتدا کمی باید جا بماند و سپس مثل پوست که انگار به سمت پایین بدن کشیده شده است، خون نیز باید کمی به سمت پایین بدن کشیده شود. پس اگر شتاب آسانسور به حد کافی زیاد باشد، فشار خون در پاها بیشتر و در مغز کمتر می شود؛ در نتیجه این اتفاق، آسانسور سواران ممکن است غش کنند.

پرانس باز: راستش را بخواهید همین الانش هم که (احتمالاً) در آسانسور نیستید، اگر بایستید، فشار خون باید در پاهایتان کمی بیشتر از سرتان باشد. چرا؟ خب تقریباً به همان دلیل که فشاری که به کف پایتان وارد می شود بیشتر از فشاری است که به فرق سرتان وارد می آید؛ وزن آنچه بالای کف پا است (یعنی تمام بدن)، به کف پا وارد می شود. همین برای خون نیز صادق است؛ خونهای پایینتر باید وزن خونهای بالاتر را نیز تحمل کنند. طبیعتاً برای خیلی چیزهای دیگر نیز همین مسئله صادق است. آب داخل لیوان در همه نقاط فشار یکسانی ندارد؛ هرچه پایینتر برویم آب داخل لیوان فشارش بیشتر می شود؛ چون آبهای پایینی، تخت روان آبهای بالایی را نگه داشته اند. (اگر آبهای پایینی نبودند، آبهای بالایی به پایین سقوط می کردند، حالا که سقوط نمی کنند دلیلی پشتش است، و آن دلیل، نیرویی است که آبهای پایینی به آبهای بالایی وارد می کنند تا وزن آنها خنثی شود و سقوط نکنند. پس خودشان (آبهای پایینی) تحت وزن آبهای بالایی فشار بیشتر متحمل خواهند شد.) استخر هم همان لیوان است که کمی بزرگتر شده است؛ پس طبیعتاً انتظار داریم هر چه از سطح آب استخر به پایین می رویم، فشار آب بیشتر شود؛ چون آب پایین، بار وزن آب بالای خود را نیز تحمل می کند. به همین دلیل است که گوشهای خیلی از آدمها در اعماق استخر درد می گیرد. اقیانوس هم تقریباً همان استخر است که خیلی بزرگتر شده است. تصور کنید فشاری که به موجودات اعماق اقیانوس وارد می آید چقدر می تواند زیاد باشد. همین داستانها برای هوا نیز وجود دارد. هوای سطح زمین فشار بیشتری نسبت به هوای قله کوه اورست دارد. به خون برگردیم! در هر صورت، این نکته که حتی اگر بیرون از آسانسور ایستاده باشیم، هنوز خون پایینتر فشار بیشتری از خون بالاتر دارد، این حس را به ما می دهد که نکند ما همواره داخل یک آسانسور خیلی خیلی بزرگ هستیم؟! اگر عامل این تفاوت فشار (در خون و آب و غیره) نوعی شتاب باشد، شاید هر جای زمین که ایستاده باشیم، به نوعی شتاب داریم (آن هم به سمت بالا)؟! تنها وقتی می توانیم با خیال راحت

بگوییم شتاب نداریم، که اختلاف فشاری نیز وجود نداشته باشد. این مقدمه‌ای است برای فهم نسبیت عام اینشتین. تمرین: *استدلال بیاورید که در کدام یکی از حالات روبرو اختلاف فشار وجود ندارد: (۱) وقتی در فضا معلق هستیم. (۲) وقتی در آب معلق هستیم. (۳) وقتی در حال سقوط آزادیم (مثلاً به محض اینکه چتر بازی از هواپیما به پایین می‌پرد).*؟ **پرانتر بسته.**

خلبان جنگنده باید آماده تجربه تمام این شتابها (و در نتیجه اختلاف فشارها) باشد. وقتی خلبان فرمان دستی هواپیما را به عقب می‌کشد تا نوک جنگنده بالا رود و هواپیما روی یک منحنی به بالا صعود کند، شتاب بسیار زیادی می‌تواند به خلبان وارد شود، خیلی بیشتر از شتاب آسانسور و چندین برابر شتاب سقوط یک جسم روی زمین. به شتاب سقوط روی زمین، شتاب جاذبه زمین نیز گفته می‌شود. اگر شتاب جاذبه زمین را با g مشخص کنیم، آنگاه آن عددی که در فیلم می‌بینید نشان می‌دهد که خلبانها دارند چند برابر شتاب جاذبه را تحمل می‌کنند. تمرین: *بینید که هر خلبان در چه شتابی از حال می‌رود.*

پس اتفاقی که فیلم آن را توصیف می‌کند با فیزیک سازگاری دارد و به نظر واقعی است، اما متن همراهش اشکالاتی دارد. مثلاً عبارت «فشاری به نام G-Force» معلوم نیست از کجا آمده است. دیدیم که خلبانها تحت شتابهای مختلف قرار می‌گیرند. یا مثلاً مشخص نیست لزوماً آزمایشها برای افزایش تحمل خلبانان هستند یا برای ارزیابی توانایی آنها یا ترکیبی از هر دو. به هر حال کلیت اتفاقی که در فیلم می‌بینیم به نظر امتیاز صداقت کافی می‌گیرد.