

کج فهمی های رایج مفهوم وزن و بی وزنی در آموزش فیزیک

فاطمه بوربور^۱

پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۹

دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۳

چکیده

در توصیف مفهوم وزن و بی وزنی کج فهمی هایی وجود دارد که در آموزش فیزیک به دقت باید مورد توجه قرار گیرد. دیده میشود که تصور بی وزنی عمدتاً در مورد سفینه های فضایی و یا در مورد آسانسور در حال سقوط آزاد به ذهن متبادر می شود. اما مسئله این است که آیا جسم در این حالت واقعا بی وزن است؟ در این مقاله سعی بر این است که به بررسی و تحلیل مفهوم بی وزنی به خصوص بی وزنی در شاتلهای فضایی پرداخته شود و به این منظور ابتدا مفاهیم مقدماتی حرکت، شتاب، جرم، وزن، چارجوبهای لخت و غیر لخت در ارتباط با این مسئله را مورد بازبینی قرار داده و در پایان با استفاده از این مفاهیم دینامیک بی وزنی به روش علمی مورد بررسی قرار گرفته است.

کلیدواژه‌ها: وزن، بی وزنی، چارجوبهای لخت و غیر لخت، جرم.

^۱. استادیار گروه علوم پایه، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران، fboorboor۴۴@gmail.com

مقدمه

حتما بارها و بارها پیش آمده است که فضانوردان را در حالی مشاهده کرده باشید که داخل فضا پیما یا سایر سیستم های فضایی در حالی که به صورت شناور در فضای داخلی غوطه می خورند، به این سو و آن سو میروند و این درحالی است که تصور میشود جاذبه در چنین فضایی بسیار کمتر از جاذبه موجود در زمین است. اما آیا تا کنون به شدت جاذبه تاثیر گذار روی بدن فضانوردان حاضر در فضاپیماها دقت کرده اید چنان که در این مقاله محاسبه شده است این میزان بالغ بر ۹۰ درصد نیروی جاذبه ایست که فضانوردان در سطح زمین تحمل می کنند. با این حال این یک باور نادرست علمی است که تصور شود علت غوطه ور شدن فضانوردان در فضاپیماها به دلیل کم بودن شدت جاذبه وارده بر بدنشان است حال آنکه این میزان تنها ۱۰ درصد کمتر از جاذبه وارده بر بدن آنها روی زمین است. حال فرض کنید شما مسافر فضاپیمای آتلانتیس هستید. همچنان که شما و فضاپیما به دور زمین می گردید، درون کابین خود معلق هستید چرا؟ شما و فضاپیما در حرکت دایره ای یکنواخت دارای شتابی هستید که به سمت مرکز دایره می باشد بنابر قانون دوم نیوتون نیروهای مرکز گرا باعث بوجود آمدن این شتاب می شوند (اشتین، لارابی و بارمن، ۲۰۰۸)^۱. در این مورد نیروی مرکز گرا نیروی کشش گرانشی است که توسط زمین اعمال شده و در جهت شعاع به سمت مرکز زمین است. نکته جالب این است شخصی که در اتومبیلی روی کمانی از دایره حرکت می کند نیز مانند فضاپیمایی که به دور زمین می گردد در حرکت دایره ای یکنواخت می باشد و نیروی مرکز گرا بر آنها وارد می شود اما احساس آنها در هر دو حالت کاملاً متفاوت است (۲۰۱۴ بارامبی)^۲. در اتومبیل نیروی مرکز گرا همان نیروی اصطکاک وارد بر لاستیکها از طرف جاده است که دور زدن را ممکن می سازد. اگر قرار باشد شما هم به همراه اتومبیل حرکت دایره ای یکنواخت انجام دهید باید نیروی مرکز گرایی به شما وارد شود. با این وجود آشکارا نیروی اصطکاک وارد بر شما از طرف صندلی به اندازه کافی بزرگ نمی باشد تا شما را به همراه اتومبیل روی دایره حرکت دهد. بنابراین صندلی از زیر شما سر می خورد تا این که دیواره های درونی اتومبیل به شما فشار وارد می کند. از این پس این فشار نیروی مرکز گرا را لازم را فراهم کرده و شما هم به همراه اتومبیل حرکت دایره ای یکنواخت انجام می دهید. با فشردن به دیواره، دیواره نیز به شما فشار وارد می کند و این نیرو را کاملاً احساس می کنید با این وجود در فضاپیما شما درون کابین خود معلق هستید و احساس می کنید هیچ نیرویی بر شما وارد نمی شود دلیل این اختلاف چیست؟ این اختلاف به علت طبیعت دو نیروی مرکز گرا به وجود می آید. در اتومبیل این فشار بر قسمتی از بدن شما وارد می آید که با دیواره در تماس است. میتوانید فشار بر آن قسمت از بدن خود را احساس کنید. در فضاپیما، نیروی مرکز گرا گرانش زمین بر تک تک اتمهای بدن شما وارد می شود، بنابراین هیچ فشار یا کششی بر هیچ یک از قسمتهای بدن شما وارد نشده و شما هیچ حسی از وارد شدن نیرو به بدن خود ندارید. این احساس را "بی وزنی" می گویند اما کمی زیر کانه است (پارک جی جی، ۲۰۱۰)^۳. در عمل نیروی گرانش زمین بر بدن شما از بین نمی رود بلکه کمی کمتر از مقدار آن روی زمین است. بهتر است دقیقتر و علمی تر به این مسئله پردازیم و به آن از زاویه دید دیدگاههای تازه و مختلف در ارتباط بانی وزنی نگاه کنیم.

ساختار اصلی: دیدگاههای موجود درباره مفهوم وزن

دیدگاه اول: دیدگاه گاليله-نیوتن

۱- وزن

ریسمان شاغولی که در نقطه بالای سطح زمین آویخته شده باشد در جهت نیروی گرانشی واردشونده بروزنه شاغول قرار میگیرد. اجسام متفاوت با نیروهای گرانشی که از لحاظ بزرگی با هم تفاوت دارند به سوی پایین کشیده می شوند. بزرگی این نیرو را وزن جسم می نامیم. این نیرو را با آویختن جسم از یک نیروسنج فیزی که بر حسب نیوتن درجه بندی شده باشد اندازه گیری میکنند. همانطور که می دانیم بناها از شاغول استفاده می کنند تا خاطر جمع شوند که دیوار در راستای قائم است. ریسمان شاغولهایی که در فاصله چند کیلومتری یکدیگر آویخته شده باشند تقریباً با

^۱ Stein, M., Larrabee, T.G. & Barman, C.R. , (۲۰۰۸)^۲ Bharambe, S. (۲۰۱۴)^۳ Park JJ. WK. (۲۰۱۰)

هم موازیند. در چنین فواصلی نیروی گرانشی همواره در یک جهت است. بزرگی نیروی گرانشی وارد بر یک جسم نیز در چنین ناحیه ای ثابت است. به ویژه وزن جرم کیلوگرم استاندارد مقدار ثابتی نزدیک به ۹٫۸ نیوتن دارد.

۲- چارچوب های مرجع آزمایش

باید بدانیم برای توصیف درست یک حرکت از هر چارچوب مرجعی می توان استفاده کرد. بنابراین طبیعی است که از چارچوب مرجعی استفاده کنیم که ساده ترین توصیف را برای ما فراهم کند. به بیان دیگر، برای انتخاب آزادی کامل داریم و می توانیم از این آزادی برای ساده کردن هر چه بیشتر زندگی استفاده کنیم. اما در دینامیک چطور؟ آیا در این مورد هم همان آزادی را داریم؟ متأسفانه حقیقت اینست که در اینجا نمی توانیم از هر چارچوب مرجعی استفاده کنیم و در عین حال قانون دوم نیوتن را حفظ کنیم. قانون دوم نیوتن در همه چارچوبهای مرجع درست نیست. بر قرار کردن رابطه میان نیرو و شتاب در بعضی از چارچوبهای مرجع مستلزم قوانین پیچیده تری است. در این صورت چگونه باید چارچوبهای مرجعی را انتخاب کنیم که قانون دوم نیوتن در آنها درست باشد؟ پاسخ اینست: از مشاهدات تجربی. به خاطر بیایوریم که به اصل اینرسی گالیلئ (قانون دوم نیوتن رسیدیم) و ضمناً به یاد بیایوریم که هر نوع نتیجه گیری بدست آمده از مشاهدات تجربی تنها در محدوده دقت اندازه گیری ها معتبر است. چون از تجربه های آزمایشگاهی واقع بر روی زمین به قانون دوم نیوتن رسیدیم، اکنون می دانیم که چارچوب مرجع کاملاً متصل به زمین - دست کم در محدوده دقت اندازه گیری های ما - چارچوب مرجع خوبی است. اما اتومبیلی با حرکت شتابدار، چارچوب مرجعی نیست که قانون دوم نیوتن در آن صادق باشد (تیو رکس ۲۰۱۵).

۳- نیروهای واقعی و کوریولیس

اگر در یک اتومبیل رو بسته باشید و اتومبیل در یک جاده هموار مستقیم با سرعت ثابت حرکت کند، هیچ نیرویی بر شما وارد نمی آید، مگر همان نیروهایی که به هنگام نشستن بر روی یک صندلی در حالت سکون بر شما اثر می کند. ولی اگر در یک مسیر خمیده به خصوص با سرعت زیاد رانندگی کنید، احساس می کنید که نیرویی بر شما وارد می شود و نکته قابل ملاحظه اینست که با اینکه نیرو بر شما وارد می شود از دید خودتان شما حرکت نمی کنید. آن را اینگونه توجیه می کنید که احتمالاً نیروی دیگری شما را به در فشار می دهد و در جای خود نگاهتان می دارد. این نیرو که از مرکز منحنی وارد می آید، در ست با نیرویی که از طرف در بر شما اثر می کند توازن برقرار می کند. به این طریق ممکن است توضیح دهید که چرا نسبت به اتومبیل حرکت نمی کنید. اما در اینجا با یک سوال جدی روبرو هستیم: چگونه تغییر در حرکت چارچوب مرجع (اتومبیل) نیروهای جدیدی به وجود می آورد؟ آیا این نیروی مرکز گریز واقعی است؟

اکنون ببینیم نیرویی که به هنگام دور زدن اتومبیل واقعاً احساس می کنیم چیست؟ این نیرو از طرف در به ما وارد می شود. این نیرو به اندازه کافی واقعی است ولی اگر فراموش کنیم که در یک مسیر منحنی حرکت می کنیم، ممکن است مرموز به نظر آید. در سیستم مرجع زمین همه چیز روشن است در اتومبیل باید یک نیروی مرکز گرای واقعی بر ما وارد کند تا ما را به جای مستقیم رفتن به دور زدن وادارد. در این مثال حرکت اتومبیل در چارچوب مرجعی که قانون دوم نیوتن در آن صدق میکند شتابدار است، و نیروهایی که شتاب را ایجاد می کنند واقعی اند. اتومبیل به همراه در آن و ما در خم جاده نخواهد پیچید مگر آنکه به وسیله جاده از پهلو به آن نیرو وارد شود. اما، نیروی مرکز گریز یک نیروی واقعی نیست. نیروی به مفهوم کشش یا رانشی که از یک جسم به جسم دیگر وارد می شود نیست (لندسبرگ، گ.س.، بهار ۱۳۷۳). بلکه یک نیروی خیالی یا کاذب است که ما با ارائه آن، اثر شتاب چارچوب مرجع خود را تصحیح می کنیم. ما آن را ابداع می کنیم تا به نظر آید که قانون دوم نیوتن در چارچوب مرجع اتومبیل صادق

^۱ Taibu, Rex, (۲۰۱۵)

است. نیروی مرکز گریز اصطلاحی است که زیاد به کار رفته و کمتر فهمیده شده است. اگر از آن استفاده کنیم باید به خاطر داشته باشیم که در این اصطلاح ابداعی است برای آنکه در توصیف دینامیکی حرکات در یک چارچوب در حال چرخش تصحیحاتی به عمل آوریم.

۴- بی وزنی در سفینه فضایی و نیروهای خیالی

وقتی یک سفینه فضایی با موتور خاموش در خارج از جو زمین در حال حرکت است، گرانش تنها نیروی است که بر آن اثر می‌کند. شتاب این سفینه همواره یکسان است. بنابراین یک چارچوب مرجع متصل به سفینه فضایی یک چارچوب مرجع شتابدار است. آیا در این صورت فضانوردی که میخواهد در سفینه فضایی آزمایشهای دینامیکی انجام دهد باید برای صادق بودن قانون دوم نیوتن دست به ابداع نیروهای خیالی بزند؟ به بیان دیگر آیا قانون دوم نیوتن در سفینه فضایی شتابدار همانند قانون حرکت در یک اتومبیل شتابدار است؟

چنانکه میدانید یک توپ بر کف اتومبیلی که در جهت جلو شتاب دارد، بسمت عقب اتومبیل می‌غلتد. درون یک سفینه فضایی جسمی که در وسط زمین و هوا قرار گرفته است همانجا باقی میماند و موضع خود را نسبت به سفینه تغییر نمیدهد (بشرط اینکه سفینه چرخ نزند و حرکت نامنظمی پیدانکند) اگر فضانورد جسمی را اندکی هل دهد، آن جسم باتندی ثابتی حرکت میکند. بنابراین به نظر می‌رسد که قانون دوم نیوتن در سفینه فضایی "در حال حرکت آزاد" بدون ارائه نیروهای خیالی صادق است. پس دلیل تفاوت رفتار میان اتومبیل شتابدار و سفینه ای که بر اثر نیروی گرانش شتابدار شده است چیست؟

نیرویی که به اتومبیل شتاب می‌دهد تنها بر اجسامی اثر می‌کند که به نحوی با بدنه اتومبیل برهم کنش دارند. سرنشین با اتومبیل شتاب پیدا می‌کنند، چون پشتی صندلی براو نیرو وارد می‌کند. یک آجر بر کف اتومبیل به دلیل وجود اصطکاک شتاب پیدا می‌کند. اما نیرویی وجود ندارد که بر قرص یخ خشک بدون اصطکاک روی کف اتومبیل شتابدار اثر کند و ناظر درون اتومبیل می‌بیند که قرص یخ به سمت عقب شتاب پیدا می‌کند و از اینرو اندیشه نیروی خیالی را بوجود می‌آورد، زیرا برای ساکن نگهداشتن یخ یک نیروی واقعی لازم است. در یک سفینه فضایی نیروی گرانش بر همه اجسام اثر می‌کند، خواه آنها با سفینه برهم کنش داشته باشند یا نداشته باشند، گذشته از این نیروی گرانش متناسب با جرم اجسام درون سفینه است؛ از این رو برای ناظر روی زمین همه این اجسام شتابی همچون شتاب سفینه فضایی دارند (جامباتیستا، ریچاردسون ۲۰۱۱)^۱. اما برای سرنشینان سفینه اجسام در حالت سکون می‌مانند مگر آنکه نیروهای غیر گرانشی بر آنها اثر کند. در اینصورت بنا بر قانون دوم نیوتن با در نظر گرفتن تنها نیروهای غیر گرانشی، اجسام نسبت به سفینه شتاب پیدا می‌کنند. به بیان دیگر در هر چارچوب مرجع شتابدار یک نیروی خیالی لازم است تا قانون دوم نیوتن معتبر باشد و اگر نیروی شتاب دهنده چارچوب مرجع نیروی گرانش باشد، نیروی خیالی دقیقاً نیروهای گرانشی را حذف می‌کنند و چارچوب مرجع درست شبیه به یک چارچوب لخت بدون نیروهای گرانشی رفتار می‌کند. در اینصورت هیچ نیرویی لازم نیست که اجسام را در حالت سکون نگهدارد و در نتیجه هیچگونه اثر گرانی درون سفینه احساس نمی‌شود به همین سبب است که می‌گویند سرنشین سفینه حالت بی وزنی دارد در حالیکه برای ناظران روی زمین وزن فضانورد صفر نیست و برابر حاصلضرب جرم او در شدت میدان گرانشی مکان او در فضا است.

^۱ Giambattista, Richardson, (۲۰۱۱).

دیدگاه دوم: تحلیل دیگر بی وزنی با بکار بردن چند مثال

۱- نیروهای مجازی

حال ما برای تکمیل بحث باید به این پرسش پاسخ دهیم که: برای اینکه قانون دوم نیوتن در هر دستگاه برقرار باشد اختلاف نیروهای وارد بر جسم در دستگاه لخت و غیر لخت چقدر است؟ پاسخ اینست که: اگر در دستگاه غیر لخت علاوه بر نیروهای وارد از طرف سایر اجسام (که برآیندشان F است) بر جسم مورد نظر نیروی خیالی دیگری اثر کند. این نیروی خیالی یا مجازی برابر است با $f = -mw$ یعنی جرم جسم ضرب در شتاب دستگاه غیر لخت با علامت مخالف. در واقع برای جسم ساکن نسبت به چارچوب غیر لخت، برآیند همه نیروها از جمله این نیروی اضافی صفر است. به طوری که قانون دوم نیوتن نسبت به دستگاه غیر لخت صادق است و برای جسمی که نسبت به واگن با شتاب حرکت می کند، برآیند همه نیروها از جمله این نیروی اضافی برابر است با:

$$F + f = ma + mw = m(a + w) = ma$$

به طوری که قانون دوم نیوتن برای دستگاه غیر لخت صادق است. این نیروهای اضافی یا خیالی نیروهای "مجازی" نامیده میشوند. اگر نیروهای مجازی را بحساب آوریم قانونهای اول و دوم نیوتن برای چارچوبهای غیر لخت نیز نظیر چارچوبهای لخت صادقند اما قانون سوم نیوتن در این چارچوبها برقرار نمی باشد چون نیروهای مجازی واقعی نیستند بنابراین عکس العملی ندارند اما باید بحساب آیند.

۲- نیروهای مجازی در آسانسور و ماهواره

حال دستگاه مرجعی را در نظر می گیریم که اجسام متصل به آن فقط تحت تاثیر نیروهای گرانشی اند مانند بدنه ماهواره و مورد ساده تری مانند آسانسور. فرض کنید، طنابی که اتاقک آسانسور از آن آویزان است پاره شود، اتاقک با شتاب g رو به پائین شروع به سقوط می کند. نیروی مجازی (خیالی) وارد بر جسم m که در اتاقک واقع است $-mg$ خواهد بود. علامت منها مبین اینست که نیرو بسوی بالا یعنی خلاف نیروی گرانش است ولی نیروی گرانی وارد بر جسم مساوی mg و رو به پائین است بنابراین این نیروی مجازی را خنثی می کند. در این حالت اگر جسم به ریسمان آویزان باشد کشش ریسمان از بین خواهد رفت و اگر ریسمان سوزانده شود جسم در همانجائیکه نسبت به اتاقک میماند باقی میماند و اگر به چنین جسم آزادی، سرعت بدهیم بطور یکنواخت در خط مستقیم حرکت خواهد کرد تا وقتی که به دیوار برخورد کند. در چنین وضعی شاغول آویخته هیچ وضع تعادل مشخصی نخواهد داشت. اگر وزنه شاغول را به اطراف هل دهیم بجای نوسان در نزدیکی وضع اولیه خود حول نقطه آویز بطور یکنواخت می - چرخد. برای اینکه جسمی نسبت به آسانسور در حال سقوط ساکن بماند نه تکیه گاه لازم است و نه قلاب. اجسام ساکن تغییر شکل نمی دهند در عین حال نیرویی که با آن جسم ساکن تحت تاثیر نیروی وزن تکیه گاه را می فشارد یا آویز را می کشد از بین می رود. بعبارت بهتر وزن از بین می رود. شرایطی که در آسانسور در حال سقوط پیش می آید حالت بی وزنی یا گرانی صفر نامیده می شود همین وضع دقیقاً در ماهواره ای که در مداری حرکت می کند مشاهده می شود (جیمز الف والتر، یوری هابر-شیم، مترجم شریف زاده، خواجه نصیر طوسی، مقبلی، بهار ۱۳۷۳). در واقع حرکت ماهواره سقوط آزاد با شتابی است که نیروی گرانی ایجاد کرده است بنابراین از نظر ناظری که در ماهواره قرار دارد جمع نیروی گرانی و نیروی خیالی برای همه اجسام داخل ماهواره مساوی صفر است. درون اتاقک آسانسور در حال سقوط و ماهواره تمایز بین راستاهای بالا و پائین ناممکن است و اجسام به کف نمی افتند و شناور می مانند. در دست گرفتن حتی جرم بزرگ به هیچ کوششی نیاز ندارد و نظایر آن.

از نظر ناظری که در دستگاه لخت قرار دارد فضانورد شتاب اجسام واقع در اتاقک (از جمله شتاب بدن خودش) را نسبت به دیواره های اتاقک نمی بیند زیرا اتاقک همانند تمام اجسام داخل آن سقوط می کند یعنی شتاب g دارد. همه اینها حاکی از اینست که بی وزنی برقرار شده نه به آن علت است که جاذبه زمین دست از کار کشیده، بلکه درست به این علت است که کارش را انجام میدهد یعنی به همه اجسام شتاب یکسان میدهد.

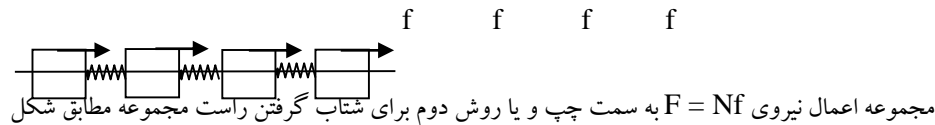
دیدگاه سوم: بی‌وزنی با یک نگاه تازه

در کتابهای درسی فیزیک احساس بی‌وزنی را در حین سقوط آزاد با استفاده از عدم اعمال نیروی تکیه‌گاه بر شخص توجیه می‌کنند؛ به طوری که گفته می‌شود در فاصله‌ای که شخص با زمین یا تکیه‌گاه دیگری تماس ندارد و تنها نیروی وزن به او وارد می‌شود، شخص احساس بی‌وزنی می‌کند حال آنکه در این قسمت از یک مدل بسیار ساده برای تبیین و توضیح این موضوع استفاده می‌شود (مهذبلی، ۱۳۸۷).

به این منظور مجموعه‌ای یک بعدی شامل N قالب که توسط فنرهای مشابه و بدون جرم به هم وصل شده‌اند مطابق شکل زیر در نظر بگیرید. جرم هر قالب برابر m است و مجموعه روی سطحی بدون اصطکاک و در حال سکون قرار دارد.



برای آنکه مجموعه شتابی برابر با a و به طرف راست بگیرد دو راه وجود دارد. روش اول: برای انجام موفقیت آمیز این کار اعمال نیروی افقی f است که به هر قالب مطابق شکل زیر در جهت راست وارد شده است:



مجموعه اعمال نیروی $F = Nf$ به سمت چپ و یا روش دوم برای شتاب گرفتن راست مجموعه مطابق شکل زیر است:



هر چند شتاب هر قالب و در نتیجه مجموعه قالبها در هر دو روش برابر a است ولی یک تفاوت اصلی بین این دو روش وجود دارد. در روش اول هیچ یک از قالبهای مجاور به یکدیگر نیرو وارد نمی‌کنند، در حالی که در روش دوم هر قالب به قالب‌های مجاور خود نیرو وارد می‌کند و در نتیجه فنرهایی که قالبها را به یکدیگر وصل کرده‌اند با توجه به چگونگی اعمال نیروی f به مجموعه قالبها در حالت الف یا ب شکل بالابه ترتیب فشرده یا کشیده میشوند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اجزای سازنده بدن در حین سقوط آزاد آنچه که در شکل دوم بیان شد به یکدیگر نیرو وارد نمی‌کنند و همین موضوع سبب میشود که شخص در حین سقوط آزاد احساس بی‌وزنی کند. همچنین حالتی را در نظر بگیرید که شخص درون آسانسوری ایستاده است و آسانسور به طرف بالا و یا به طرف پایین به طور شتابدار در حرکت است. در این صورت شخص به ترتیب احساس وزن بیشتر و یا وزن کمتر می‌کند. این وضعیت را می‌توان به کمک دو حالت نشان داده شده در شکل سوم توجیه کرد.

محاسبه میزان وزن فضانوردان در ارتفاع ۵۰۰ کیلومتری

یک کیهان‌نورد در ایستگاه فضایی بین‌المللی است که در ارتفاع h برابر ۵۲۰ km و باتندی ثابت $۷/۶ \text{ km/s}$ $v =$ به دور زمین در حال حرکت است. الف - شتاب او چقدر است؟ این دایره‌ای یکنواخت است جرم او ۷۹ کیلوگرم است. فضانورد در حال حرکت دایره‌ای یکنواخت است و بنابراین دارای شتاب مرکزگرایی به اندازه $a = v^2/r$ می‌باشد شعاع r حرکت این کیهان‌نورد $r' + h$ است که در آن r' شعاع زمین میباشد (۶۳۷۰ km) بنابراین $a = v^2/r = ۸,۳۸ \text{ m/s}^2$

این مقدار برابر شتاب سقوط آزاد در ارتفاع کیهان‌نورد است، اگر او به این ارتفاع برده و رها می‌شد به جای اینکه روی مداری در این ارتفاع نگه داشته شود بطرف مرکز زمین سقوط می‌کرد!! و شتاب او در لحظه رها شدن دارای این مقدار بود. تفاوت بین این دو حالت در اینست که وقتی او بدور زمین می‌گردد، همواره دارای یک حرکت جانی می‌باشد و وقتی سقوط می‌کند حرکت جانی هم (سرعت مماسی) دارد بنابراین حرکت او در امتداد مسیر منحنی بدور زمین خواهد بود.

ب- زمین چه نیرویی بر کیهان نورد وارد می کند ؟

۱- اگر او بخواد حرکت دایره ای داشته باشد نیروی مرکز گرایی بر او وارد می شود .

۲- این نیرو همان نیروی گرانشی است که از طرف زمین بر او وارد می شود و همواره در جهت مرکز دوران (مرکز زمین) قرار دارد بنابراین قانون دوم نیوتن که در امتداد محور شعاعی r نوشته میشود این نیرو دارای اندازه زیر است :

$$f = ma = (۷۹ \text{ kg}) (۸,۳۸ \text{ m/s}^2) = ۶۶۲ \text{ N}$$

اگر این کیهاننورد برفراز برجی به ارتفاع $h = ۵۲۰ \text{ km}$ روی ترازو می ایستاد ترازو مقدار ۶۶۰ N را نشان می داد اما در حالت دورانی اگر کیهاننورد روی آن ایستاده بود مقدار صفر را نشان می داد چون در اینحالت هم شخص و هم ترازو در حالت سقوط آزاد هستند و پاهای او نیرویی را بر ترازو وارد نمی کند.

همه آنچه در مورد بی وزنی گفته شد به موردی مربوط است که فقط نیروی گرانشی بر سفینه اثر کند. ولی اگر سفینه تحت تاثیر نیروی پیشران ناشی از موتورهای جت باشد حالت بی وزنی نقض می شود. مثلاً در مرحله "فعال" مسیر وقتیکه موتورها موشک حامل را تا سرعت لازم شتاب می دهند و آنرا در راستای قائم بسوی بالا بلند می کنند نیروی مجازی در راستای قائم رو به پائین و برای جسمی به جرم m مساوی ma است که در آن a شتاب موشک حامل است. بنابراین فضانوردی که حرکت اجسام پیرامونش نسبت به دیواره های اتاقک را نگاه می کند درخواهد یافت که علاوه بر نیروی گرانی mg نیروی مجازی ma نیز در همان جهت بر اجسام اثر می کند. برای دقت بیشتر چون او نمیتواند این دو نیرو را از هم تمیز دهد فضانورد درمی یابد که نیروی $m(g+a)$ یعنی برآیند نیروی گرانی و نیروی مجازی بر اجسام اثر می کند. وضع چنان است که گوئی نیروی گرانشی زمین $g + a/g$ برابر شده است. شتاب موشک حامل ممکن است به مقدار زیادی از شتاب سقوط آزاد بیشتر باشد بطوریکه ممکن است برآیند نیروهای وارد بر اجسامی که نسبت به اتاقک ساکن هستند از چندین برابر نیروی گرانی موثر بر این اجسام تجاوز کند. به این ترتیب تغییر شکلهای ناشی از این نیروهای افزایش یافته نیز نظیر نیروهای وارد از اجسام تغییر شکل یافته یا اجزای آنها بر یکدیگر افزایش می یابند. این حالت را بار g یا اضافه بار نامیده اند. بار g هنگامی دو سه و یا چند برابر g است که برآیند نیروهای گرانشی و مجازی از دو سه یا چند برابر نیروی گرانی وارد بر جسم تجاوز کند. اثر اضافه بارها بر ساختمان بدنی فضانورد بسیار قویتر از گرانی صفر است، ولی در پروازهای فضایی زمان بسیار کوتاهتری (در مدت عمل موتورها) طول میکشد. از دیدگاه ناظر لخت اضافه بارها را میتوان به آسانی توضیح داد چون نیروهای مجازی وجود ندارند اما علاوه بر نیروهای گرانشی نیروهای تماسی که شتاب معینی ایجاد می کنند به سفینه و هر جسم داخل آن وارد می شوند در اینحالت شکل اجسام شتاب گیرنده تغییر شکل می دهد بنابراین نیروهای کشسانی عمل کننده بین اجزایشان چنان اثر می کنند که گویی اجسام ساکنند و گرانش افزایش یافته بر آنها اثر می کند.

بحث و نتیجه گیری

در نهایت با نگاهی از چند زاویه مختلف به این نتیجه می رسیم که بی وزنی ظاهری در فضاپیماها نه به دلیل جاذبه کم بلکه به علت سقوط آزاد فضاپیما است. در چنین سیستمی شاتل و هر آنچه درون آن وجود دارد همواره در حال سقوط آزاد در اطراف زمین می باشند و در حالی که تمامی فضانوردان و سایر اشیاء موجود در فضاپیماها کشش قابل توجهی را تجربه می کنند در حقیقت یک سقوط دسته جمعی مداوم است که آنها به ظاهر بی وزنی را تجربه می کنند. اگر شخصی خواسته باشد بی وزنی واقعی را تجربه کند باید بسیار فراتر از فاصله معمول شاتلهای فضایی با زمین رفته و در حقیقت در اعماق فضا چنین شرایطی را به صورت واقعی تجربه کند.

منابع

- لندسبرگ، گ. س. (بهار ۱۳۷۳) "دوره درسی فیزیک"، جلد اول، چاپ اول، انتشارات فاطمی.
- مهدبی پیروز، (مترجم روح الله خلیلی) (بهار ۱۳۸۷). "چرا در سقوط آزاد احساس بی وزنی میکنیم"، فصلنامه رشد آموزش فیزیک.
- جیمز الف والتر، یوری هابر-شیم، (مترجم شریف زاده، خواجه نصیر طوسی، مقبلی) (بهار ۱۳۷۳) "فیزیک اول"، انتشارات فاطمی.
- Stein, M., (۲۰۰۸), Larrabee, T.G. & Barman, C.R. A study of common beliefs and misconceptions in physical science. *J Elem Sci Edu* ۲۰, ۱-۱۱.
- Bharambe, S. (۲۰۱۴), Study of the Concepts and Misconcepts of weightlessness, *International Journal of Theoretical and Applied Sciences*.
- Park JJ, WK. (۲۰۱۰), Middle-school Student's Misconceptions about Gravity and Vacuum, *NPSM*.
- Taibu, Rex, (۲۰۱۵), "A Study of Conceptual and Language Issues Surrounding Weight, Weightlessness, and Free Fall", *Textbook Analysis, Instructional Design, and Assessment*.
- Giambattista, A., Richardson, B.M., Richardson, R.C. (۲۰۱۱), *College Physics* fourth Ed., McGraw-Hill.