دانشگاه فرهنگیان
فصلنامه پویش در آموزش علوم پایه
دوره هشتم، شماره ۲۷، تابستان ۱۴۰۱

Farhangian University
Quarterly Journal of Education in Basic Sciences
Volume ۸, Issue ۲۷, Spring, ۲۰۲۲

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

فاطمه بوربور[۱]

دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۳ پذیرش:۱۴۰۰/۱۱/۱۹

چکیده

در توصیف مفهوم وزن و بی وزنی کج فهمی هایی وجوددارد که در آموزش فیزیک به دقت باید مورد توجه قرار گیرد. دیده میشود که تصور بی وزنی عمدتا در مورد سفینه های فضایی ویا در مورد آسانسور در حال سقوط آزادبه ذهن متبادر می شود.اما مسئله این است که آیا جسم در این حالت واقعا بی وزن است؟ در این مقاله سعی براین است که به بررسی وتحلیل مفهوم بی وزنی به خصوص بی وزنی در شاتلهای فضایی پرداخته شود و به این منظور ابتدا مفاهیم مقدماتی حرکت ،شتاب ،جرم، وزن، چارچوبهای 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، چارچوبهای لخت و غیر لخت ، جرم.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

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

مقدمه

حتما بارهاوبارها 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 وآن 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 ایدچنان که در این مقاله محاسبه شده است این میزان بالغ بر ۹۰ درصد نیروی جاذبه ایست که فضانوردان در سطح زمین تحمل می‌کنند. با این حال این یک باور نادرست علمی است که تصور شود علت غوطه ورشدن فضانوردان در فضاپیماها به دلیل کم بودن شدت جاذبه وارده بر بدنشان است حال آنکه این میزان تنها ۱۰ درصد کمتر از جاذبه وارده بربدن آنهاروی زمین است. حال فرض کنید شما مسافر فضاپیمای آتلانتیس هستید. همچنان که شما و فضاپیما به دور زمین می‌گردید، درون کابین خود معلق هستید چرا؟ شما و فضاپیما در حرکت دایره ای یکنواخت دارای شتابی هستیدکه به سمت مرکز دایره می‌باشد بنابر قانون دوم نیوتون نیروهای مرکز گرا باعث بوجود آمدن این شتاب می‌شوند(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 می‌کند نیز مانند فضاپیمایی که به دور زمین می‌گردد در حرکت دایره ای یکنواخت می‌باشد و نیروی مرکز گرا برآنها وارد می‌شود اما احساس آنها در هر دو حالت کاملا 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 می‌سازد. اگر قرار باشد شما هم به همراه اتومبیل حرکت دایره ای یکنواخت انجام دهید باید نیروی مرکزگرایی 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 می‌کند. از این پس این فشار نیروی مرکز گرای لازم را فراهم کرده وشما هم به همراه اتومبیل حرکت دایره ای یکنواخت انجام می‌دهید. با فشرده شدن به دیواره، دیواره نیز به شما فشار وارد می‌کند و این نیرو را کاملا احساس می‌کنید با این وجود در فضاپیما شما درون کابین خود معلق هستید و احساس می‌کنید هیچ نیرویی بر شما وارد نمی‌شود دلیل این اختلاف چیست؟ این اختلاف به علت طبیعت دو نیروی مرکز گرا به وجود می‌آید. در اتومبیل این فشار بر قسمتی از بدن شما وارد می‌آید که با دیواره درتماس است. میتوانید فشار بر آن قسمت از بدن خود را احساس کنید. در فضاپیما، نیروی مرکز گرای گرانش زمین بر تک تک اتمهای بدن شما وارد می‌شود، 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 زیرکانه است(پارک جی جی. ۱۰۱۰)[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 علمی‌تر به این مسئله بپردازیم وبه آن از زاویه دید دیدگاههای تازه و مختلف در ارتباط بابی وزنی نگاه کنیم.

ساختار اصلی: دیدگاههای موجود درباره مفهوم وزن

دیدگاه اول: دیدگاه گالیله-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 می‌نامیم. این نیرو را با آویختن جسم از یک نیروسنج فنری که بر حسب نیوتن درجه بندی شده باشد اندازه گیری میکنند. همانطور که می‌دانیم بناها از شاغول استفاده می‌کنند تا خاطر جمع شوند که دیوار در راستای قائم است. ریسمان شاغولهایی که در فاصله چند کیلومتری یکدیگر آویخته شده باشند تقریبا با

---

[۱] Stein, M., Larrabee, T.G. & Barman, C.R. , (۲۰۰۸)
[۲] Bharambe, S. (۱٤۱٤)
[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 می‌توان 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؟ متاسفانه حقیقت اینست که در اینجا نمی‌توانیم 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 وشتاب در بعضی از چارچوبهای مرجع مستلزم قوانین پیچیده تری است . در این صورت چگونه باید چارچوبهای مرجعی را انتخاب کنیم که قانون دوم نیوتن درآنهادرست باشد؟ پاسخ اینست: از مشاهدات تجربی. به خاطربیاوریم که به اصل اینرسی گالیله (قانون دوم نیوتن رسیدیم) و ضمنا به یاد بیاوریم 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 کاملا 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(تیبو رکس ۱۵۱۵)[۱].

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 می‌کنید که نیرویی بر شما وارد می‌شود و نکته قابل ملاحظه اینست که با اینکه نیرو بر شما وارد می‌شود از دید خودتان شما حرکت نمی کنید. آن را اینگونه توجیه می کنید که احتمالا نیروی دیگری شما را به در فشار می‌دهد و در جای خود نگاهتان می دارد. این نیرو که از مرکز منحنی وارد می‌آید، 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 اتو مبیل 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 واقعا 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 دراتومبیل 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 کنندواقعی 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.، بهار۱۳۷۳). 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 اتو مبیل 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.

٤- 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 نیرویی 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 برکف اتومبیلی که درجهت جلوشتاب دارد، بسمت عقب اتومبیل می غلطد. درون یک سفینه فضایی جسمی که در وسط زمین وهوا قرارگرفته است همانجا باقی میماند و موضع خود را نسبت به سفینه نغییر 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 می رسد که قانون دوم نیوتن در سفینه فضایی "درحال حرکت آزاد" بدون ارائه نیروهای خیالی صادق است. پس دلیل تفاوت رفتار میان اتومبیل شتابدار وسفینه ای که براثر نیروی گرانش شتابدار شده است چیست؟

نیرویی که به اتومبیل شتاب می‌دهد تنها براجسامی اثرمی کند که به نحوی با بدنه اتومبیل برهم کنش دارند. سرنشین با اتومبیل شتاب پیدا می‌کنند، چون پشتی صندلی براو نیرو وارد می‌کند. یک آجر برکف اتومبیل به دلیل وجود اصطکاک شتاب پیدا می‌کند. امانیرویی 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 واز 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 ازاین 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 ۱۰۱۱)[1]. اما برای سرنشینان سفینه اجسام درحالت سکون می مانند مگرآنکه نیروهای غیر گرانشی بر آنها اثرکند. در اینصورت بنابر قانون دوم نیوتن با درنظرگرفتن 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 دقیقا نیروهای گرانشی را حذف می‌کنندو 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 بهمین 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.

[1] 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 می‌کند، 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 غیرلخت نیز نظیر چارچوبهای لخت صادقند اما قانون سوم نیوتن دراین چارچوبها برقرار نمی‌باشد چون نیروهای مجازی واقعی نیستند بنابراین عکس العملی ندارند اما باید بحساب آیند.

۲- نیروهای مجازی در آسانسور و ماهواره

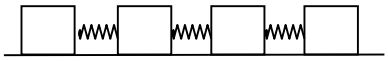
حال دستگاه مرجعی را درنظر می‌گیریم که اجسام متصل به آن فقط تحت تاثیر نیروهای گرانشی اند مانند بدنه ماهواره و مورد ساده تری مانند آسانسور. فرض کنید، طنابی که اتاقک آسانسور از آن آویزان است پاره شود، اتاقک با شتاب g رو به پائین شروع به سقوط می‌کند. نیروی مجازی (خیالی) وارد برجسم m که دراتاقک واقع است mg– 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 نیرو نیروی مجازی را خنثی می‌کند. در این حالت اگر جسم به ریسمان آویزان باشد کشش ریسمان از بین خواهد رفت و اگر ریسمان سوزانده شود جسم درهمانجائیکه نسبت به اتاقک میباشد باقی میماند واگر به چنین جسم آزادی، سرعت بدهیم بطور یکنواخت درخط مستقیم حرکت خواهد کرد تا وقتی که به دیوار برخورد کند. در چنین وضعی شاغول آویخته هیچ وضع تعادل مشخصی نخواهد داشت. اگروزنه شاغول را به اطراف هل دهیم بجای نوسان درنزدیکی وضع اولیه خود حول نقطه آویز بطور یکنواخت می-چرخد. برای اینکه جسمی نسبت به آسانسور درحال سقوط ساکن بماند نه تکیه گاه لازم است و نه قلاب. اجسام ساکن تغییر شکل نمی‌دهند در عین حال نیرویی که با آن جسم ساکن تحت تاثیر نیروی وزن تکیه گاه را می فشارد یا آویز را می‌کشد از بین می‌رود. بعبارت بهتر وزن از بین میرود. شرایطی که در آسانسور در حال سقوط پیش می‌اید حالت بی وزنی یا گرانی صفر نامیده می‌شود همین وضع دقیقا در ماهواره ای که در مداری حرکت می‌کند مشاهده می‌شود (جیمز الف والتر، یوری هابر–شیم، مترجم شریف زاده، خواجه نصیر طوسی، مقبلی، بهار۱۳۷۳). درواقع حرکت ماهواره سقوط آزاد با شتابی است که نیروی گرانی ایجاد کرده است بنابراین از نظر ناظری که در ماهواره قراردارد جمع نیروی گرانی و نیروی خیالی برای همه اجسام داخل ماهواره مساوی صفر است. درون اتاقک آسانسور درحال سقوط و ماهواره تمایز بین راستاهای بالا و پائین ناممکن است و اجسام به کف نمی‌افتند و شناور می‌مانند. دردست گرفتن حتی جرم بزرگ به هیچ کوششی نیاز ندارد و نظایرآن.

از نظر ناظری که در دستگاه لخت قراردارد فضانورد شتاب اجسام واقع در اتاقک (ازجمله شتاب بدن خودش) را نسبت به دیواره های اتاقک نمی‌بیند زیرا اتاقک همانند تمام اجسام داخل آن سقوط می‌کند یعنی شتاب g دارد. همه اینها حاکی از اینست که بی وزنی برقرارشده 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

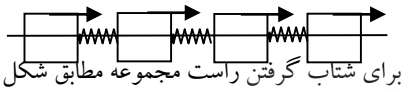
در کتابهای درسی فیزیک احساس بی وزنی را در حین سقوط آزاد با استفاده ازعدم اعمال نیروی تکیه گاه بر شخص توجیه می کنند؛ به طوری که گفته می شود در فاصله ای که شخص با زمین یا تکیه گاه دیگری تماس ندارد و تنها نیروی وزن به او وارد می‌شود، شخص احساس بی‌وزنی می کند حال آنکه در این قسمت از یک مدل بسیار ساده برای تبیین و توضیح این موضوع استفاده می‌شود (مهذبی، ۱۳۸۷).

به این منظور مجموعه ای یک بعدی شامل N قالب که توسط فنرهایی مشابه و بدون جرم به هم وصل شده اند مطابق شکل زیر در نظر بگیرید. جرم هر قالب برابر m است و مجموعه روی سطحی بدون اصطکاک ودر 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 زیردر جهت راست وارد شده است:

f f f f



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

F

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 قالب های مجاور خود نیرو وارد می کند 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 می توان نتیجه گرفت که اجزای سازنده بدن در حین سقوط آزاد مطابق 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 رادر نظر بگیرید که شخص درون آسانسوری ایستاده است وآسانسور به طرف بالا و یا به طرف پایین به طور شتابدار در حرکت است. در این صورت شخص به ترتیب احساس وزن بیشتر ویا وزن کمتر می کند. 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 کیهان نورد درایستگاه فضایی بین المللی است که درارتفاع h برابر ۵۲۰ km و باتندی ثابت ۷/۶ km/s = v به دور زمین درحال حرکت است. الف – شتاب او چقدر است ؟ این دایره ای یکنواخت است جرم او ۷۹ کیلوگرم است. فضانورد درحال حرکت دایره ای یکنواخت است و بنابراین دارای شتاب مرکزگرایی به اندازه $a = v^2/r$ می‌باشد شعاع r حرکت این کیهانورد $r' + h$ است که در آن r' شعاع زمین میباشد(۶۳۷۰ km) بنابراین $a = v^2/r = ۸,۳۸ \ m/s^2$.

این مقدار برابر شتاب سقوط آزاد در ارتفاع کیهانورد 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 می کرد!! و شتاب او در لحظه رها شدن دارای این مقدار بود. تفاوت بین این دو حالت در اینست که وقتی او بدور زمین می گردد، همواره دارای یک حرکت جانبی می‌باشد و وقتی سقوط می کند حرکت جانبی 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 بخواهد حرکت دایره ای داشته باشد نیروی مرکز گرایی بر او وارد می‌شود .

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

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

اگر این کیهانورد برفراز برجی به ارتفاع $h = ۵۲۰ km$ روی ترازو می‌ایستاد ترازو مقدار $۶۶۰ N$ را نشان می‌داد اما درحالت دورانی اگر کیهانورد روی آن ایستاده بود مقدار صفر را نشان می‌داد 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 بی‌وزنی نقض می‌شود. مثلا در مرحله "فعال" مسیر وقتیکه موتورها موشک حامل را تا سرعت لازم شتاب می‌دهند 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 درمی‌یابد که نیروی $m(g+a)$ یعنی برآیند نیروی گرانی و نیروی مجازی براجسام اثرمی 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 براجسامی که نسبت به اتاقک ساکن هستند از چندین برابر نیروی گرانی موثر براین 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 می‌یابند. این حالت را بار g یا اضافه بار نامیده‌اند. بار g هنگامی دو سه ویا چند برابر g است که برآیند نیروهای گرانشی و مجازی از دو سه یا چند برابر نیروی گرانی وارد بر جسم تجاوز کند. اثراضافه بارها برساختمان بدنی فضانورد بسیار قویتراز گرانی صفراست، ولی در پروازهای فضایی زمان بسیار کوتاهتری (درمدت عمل موتورها) طول میکشد. ازدیدگاه 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 وهرجسم داخل آن وارد می‌شوند در اینحالت شکل اجسام شتاب گیرنده تغییر شکل می‌دهد بنابراین نیروهای کشسانی عمل کننده بین اجزایشان چنان اثر می کنندکه گویی اجسام ساکنند وگرانش افزایش یافته برآنها اثر می کند.

بحث و نتیجه گیری

در نهایت با نگاهی از چند زاویه مختلف به این نتیجه می‌رسیم که بی‌وزنی ظاهری در فضاپیماها نه به دلیل جاذبه کم بلکه به علت سقوط آزاد فضاپیما است. در چنین سیستمی شاتل و هرآنچه درون آن وجود دارد همواره در حال سقوط آزاد در اطراف زمین می‌باشند 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 بی‌وزنی را تجربه می کنند. اگر شخصی خواسته باشد بی‌وزنی 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 .

مهذبی 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) (بهار۱۳۷۳)"*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.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی