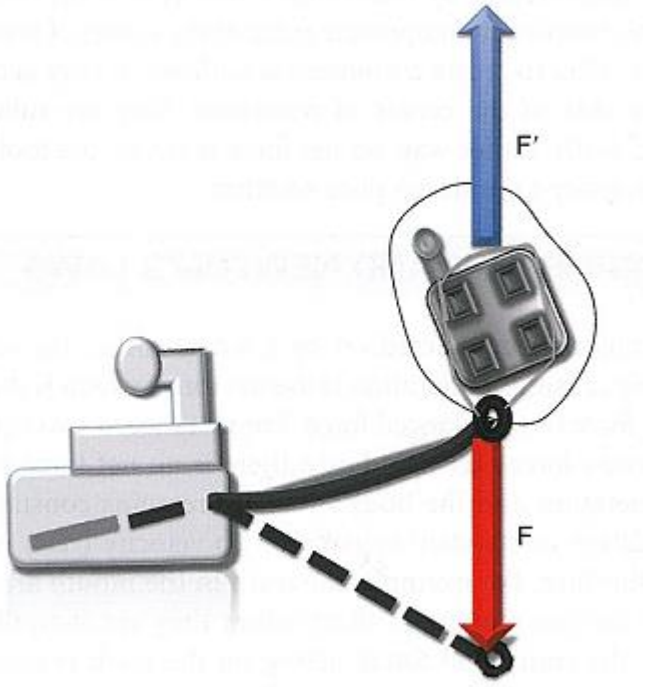
تعادل و قوانین نیوتون

هرگز هیچ شیئ تنها تحت تاثیر یک نیروی منفرد قرار نمی گیرد. فاکتور اصلی ایجاد شتاب، نیروی خالص است که نیروی برآیند یا نیروی بالانس نشده نیز نام دارد. برای مثال، اگر دو نیروی مساوی و مخالف بر یک جسم وارد شوند، هیچ نیروی خالصی برای ایجاد شتاب، تولید نشده و سرعت جسم ثابت باقی می ماند. این وضعیت سرعت ثابت یا عدم وجود سرعت (rest)، تعادل نام دارد. برای مثال دندان ها در دهان در حالت سکون قرار دارند (یعنی برآیند نیروهای وارده بر دندانها صفر است). بنابرین با اصلی مهم در مکانیک مواجه هستیم به نام قانون اول حرکت نیوتون، که اغلب به آن قانون اینرسی هم می گویند. بر طبق این قانون اگر به یک جسم، نیروی خارجی غیر بالانس شده ی خالصی وارد نشود، آن جسم در حالت سکون باقی مانده و یا به حرکت خود با سرعت سابق خود ادامه می دهد. این قانون اول، تنها یک بیان کمّی از نیرو بوده، و یک خصوصیت ضروری ماده است که قبلاً در مورد آن توضیح داده بودیم. قانون اول در شرایط بالینی، سکون ذاتی دندان یا اینرسی دندان که "rest" است را توجیه می کند.

طبیعتاً، برای گسترش قانونهای حرکت باید قانونی را یافت که توضیح دهد با اعمال نیروی خالص به جسم چه اتفاقی خواهد افتاد. قانون دوم حرکت نیوتون بیان می کند که جسم در صورت مواجه با مجموعه ی نامتعادلی از نیروها، در جهت نیروی خالص اعمال شده شتاب خواهد یافت. نگارش ساده ی این قانون به این صورت است: $F = ma$، که در آن F نیرو، m جرم جسم، و a شتاب تولید شده است.

بالافاصله می توان دید که قانون اول تنها یک مورد خاص از قانون دوم است (یعنی نیروی خالص وارد بر جسم صفر است و بنابرین شتاب جسم نیز صفر است).

قانون سوم حرکت نیوتون (عمل و عکس العمل) مستقیماً مرتبط با اعمال روزانه ارتودنسی است. بر طبق این قانون، نیروها همواره به صورت جفت وارد می شوند. هر بار که سیم نیرویی به براکت وارد کند، براکت هم همان نیرو را به سیم وارد خواهد ساخت (تصویر ۱۱-۴). در هنگام شنا کردن نیز فرد آب را به عقب هل می دهد و آب نیز بلافاصله فرد را به سمت جلو فشار می دهد؛ هم آب و هم فرد به یکدیگر نیرو وارد می کنند. چنین پدیده هایی را می توان به صورت زیر خلاصه نمود: هر زمان که جسمی نیرویی را به جسم دیگر وارد کند، جسم دوم نیز نیرویی را به جسم اول وارد می سازد؛ این نیرو ها هم اندازه هستند و در جهات مخالف وارد می شوند. نیوتون این جفت نیرو را عمل و عکس العمل نامید. توجه به این نکته ضروری است که این نیروها به اجسام متفاوت وارد می شوند و بنابرین قادر به خنثی کردن یکدیگر نیستند؛ و به این ترتیب نیروی خالص نیز صفر نمی شود.



تصویر ۱۱-۴ یک فنر cantilever نیروی F را بر روی براکت اعمال می نماید (خط قرمز). با توجه به قانون سوم نیوتون، براکت نیز یک نیروی هم اندازه در خلاف جهت نیروی اول را (F′) را بر روی سیم cantilever اعمال می کند (خط آبی).

مفهوم تعادل

واژه تعادل معانی متعدد متفاوتی را شامل می شود، اما در فیزیک استاتیک، در اصل به معنی یک وضعیت rest است؛ خصوصاً به این معنا است که یک جسم یا سیستم تحت هیچ گونه شتابی قرار ندارد. بنابرین علم استاتیک شاخه ای فیزیک است که با مکانیک اجسام بدون شتاب، یا (برای سهولت و فهم راحتتر ما) اجسام "غیر متحرک" سر و کار دارد. چنین سیستمی در تعادل قرار دارد. برای دست یابی به تعادل، نباید هیچ نیروی نامتعادلی به جسم وارد شود؛ به بیان دیگر، هر نیرویی که به سیستم وارد می شود باید توسط نیروهای مخالفش خنثی و متعادل شود. بنابرین برآیند نیروها باید صفر شود ($\Sigma F = 0$). (طبق قانون دوم نیوتون، اگر سیستمی دارای شتاب نباشد درنتیجه $a = 0$، بنابرین $\Sigma F = ma$ یا $\Sigma F = m(0)$ یا $\Sigma F = 0$. بنابرین هیچ نیروی خالصی بر سیستم وارد نمی شود.)

یک بردار تنها در صورتی صفر می شود که مولفه های عمودی اش صفر باشند؛ در نتیجه ی یک معادله ساده برداری، $\Sigma F = 0$ معادل با سه معادله اجزای سازنده ی آن است: $\Sigma F_x = 0$ ، $\Sigma F_y = 0$ ، و $\Sigma F_z = 0$ (x، y و z سه محور فضایی هستند که پیش از این توضیح داده شد). به همین ترتیب، تمام گشتاورهای خالص در هر سه پلان نیز باید معادل صفر باشد (یعنی، $\Sigma M_x = 0$، $\Sigma M_y = 0$، و $\Sigma M_z = 0$).

تعادل در ارتودنسی

(سیستم quasi-static)

تعادل تنها در سیستم های ساکن (غیر شتاب دار) صدق می کند. با این وجود، ما در ارتودنسی دندان ها را می شوند (یعنی دندانها یک سیستم Upright و tipحرکت می دهیم. دندان ها جابه جا شده، متوقف، استاتیک نیستند). پس چگونه می توان دندان را مشمول قوانین استاتیک نمود؟ برای پاسخ به این سوال باید وضعیت دندان های تحت نیروی ارتودنسی را با معرفی مفهوم سیستم های نیمه استاتیک (یا پروسه های نیمه ترمودینامیک) تعریف نمود. این مفهوم، سیستم یا پروسه ای است که یک توالی از وضعیت هایی را طی می کند که به میزان بسیار کمی شبیه به تعادل است (یعنی این پروسه، بسیار به کندی صورت می گیرد و یک توالی از وضعیت های مختلف دندان را شامل می شود که در هر لحظه ی خاص نزدیک به تعادل هستند). زمانیکه دستگاه های ارتودنسی فعال شده و وارد می شوند، حرکت دندانی که رخ می دهد خیلی کم بوده و در دوره زمانی به نسبت طولانی رخ می دهد. در طی این پروسه، هر زمان که به درون دهان بیمار نگاه کنید هیچ حرکتی نمی بینید؛ با این وجود پس از گذشت زمان کافی، حرکت دندانی مشخص می شود. بنابرین، می توان در هر لحظه آنالیز نیرو را توسط قوانین تعادل، و بدون اعمال خطای قابل ملاحظه ای انجام داد. به بیان دیگر، اینرسی هر جزء دستگاه یا دندان، کوچکتر و قابل صرف نظر کردن است. به همین دلیل قوانین فیزیک استاتیک برای توضیح سیستم های آنی نیرو که توسط دستگاههای ارتودنسی تولید می شود کافی هستند. با این وجود، این قوانین قادر به توصیف نحوه ی تغییر سیستم های نیرو با حرکت دندان، و غیرفعال شدن و تغییر ترکیب دستگاه، نیستند. راه حل مشکلات موجود در فیزیک استاتیک دربرگیرنده ی نیرو ها و گشتاور ها، استفاده از ابتکار و منطق است. هیچ قوانین ساده ای برای توضیح این روندها وجود ندارند. شایعترین خطا، عدم موفقیت در تعیین جسمی است که تعادل آن بررسی می گردد. باید بیاموزید که تمام نیروهای موثر بر جسم را در نظر بگیرید. البته در این راستا، قوانین دوم و سوم نیوتون کمک بسیاری می کنند. با استفاده از قانون سوم می توان به راحتی فهمید که اگر دستگاه نیرویی به یک دندان وارد کند، دندان نیز همان نیرو را به دستگاه اعمال می کند (تصوبر ۱۱-۴ را ببینید)، و همین قوانین به تمام دندانهای دیگری که دستگاه به آنها متصل است نیز اعمال می شود. با توجه به اینکه دستگاه متحرک نیست، جمع تمام نیروها و گشتاورهای تولید شده توسط دستگاه باید صفر باشد.