НАУЧНЫЕ ТРУДЫ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ ЛИТОВСКОЙ ССР.
ПЕДАГОГИКА И ПСИХОЛОГИЯ, VIII, 1966

ОБ ОДНОЙ ТРАКТОВКЕ ПОНЯТИЯ ВЕСА В МЕХАНИКЕ

Л. КУЛЬВЕЦАС

Постановка вопроса и краткий обзор литературы. Хотя понятие веса тел принадлежит к старейшим понятиям механики, его точное содержание, как это ни странно, является предметом непрекращающихся споров, источником глубоких разногласий и даже грубых ошибок[1]. Парадоксальность ситуации возрастает еще и потому, что прошло уже почти 65 лет с тех пор, когда Третья Генеральная конференция по мерам и весам — высший орган Метрической конвенции — единогласно приняла определение веса[2], которое поэтому должно было стать стандартным.

Особую актуальность понятие о весе приобрело в настоящее время в связи с бурным развитием космонавтики и космической медицины[3]. Такие фундаментальные понятия этих наук, как невесомость, перегрузки и др., тесно связаны с понятием веса. Отсюда ясно, почему новые программы по физике средних и высших школ предусматривают углубленное изучение этого интересного понятия. В соответствии с этим за последние годы появилась обширная литература, в которой так или иначе объясняется понятие веса. В стабильный учебник физики для средних школ введен дополнительный учебный материал к теме «Всемирное тяготение», где шире, чем до сих пор, изложено понятие о весе[4].

В помощь учителю физики написаны редакционная статья в журнале «Физика в школе»[5], статья А. В. Перышкина[6], изданы сборник статей и пособие для учителя о весе и невесомости[7] и т. д.

---

[1] См., например, В. Е. Соловьев, О дефектах терминологии в отношении массы и веса, Научные записки Днепропетровского Государственного университета, т. 61, вып. 7, 1963, стр. 58—63; Л. Р. Стоцкий, Новая система единиц и ее применение, «Стандартизация», 1964, № 5, стр. 30, 31; P. Melchior, Gewicht, Masse, Stoffmenge, „Zeitschrift für technische Physik“, 1934, Nr. 3, p. 89—94; A. L. King, Weight and weightlessness, „American Journal of Physics“, Vol. 30, 1962, Nr. 5, p. 387.

[2] Comptes rendus des séances de la Troisième Conférence générale des poids et mesures, réunie a Paris en 1901, p. 68; см. Travaux et mémoires du Bureau international des poids et mesures, t. XII, Paris, 1902.

[3] S. J. Gerathewohl, Zur Physik und Psychophysik der Schwerelosigkeit, Handbuch der Astronautik, herausg. K. Schütte und H. Kaiser, Konstanz, Bd. 1, H. 13, 1962, S. 407—414.

[4] А. В. Перышкин, Курс физики, ч. II, М., 1964, стр. 222, 223.

[5] От редакции, Об изложении понятия веса, невесомости и перегрузки, «Физика в школе», 1961, № 4, стр. 77—83.

[6] А. В. Перышкин, Изучение темы «Криволинейное движение» и «Всемирное тяготение» в IX классе, «Физика в школе», 1963, № 6, стр. 24—34.

[7] Ред. Н. И. Штепа, Вес и невесомость, Сборник статей кафедры физики Орского Государственного педагогического института в помощь учителю физики, Оренбург, 1963; Н. И. Штепа и др., Вес и невесомость, изд. «Просвещение», М., 1964.

Все это, конечно, хорошо, так как действительно помогает учителю повысить уровень преподавания соответствующего материала. Однако, с другой стороны, серьезное беспокойство вызывает то обстоятельство, что во всех этих рекомендациях нет единой точки зрения на то, что такое вес, каким способом его объяснять учащимся; напротив, рекомендации эти часто противоречат друг другу.

Например, в уже упоминавшемся учебнике физики А. В. Перышкина принят следующий путь введения понятия веса: сила $\boldsymbol{F}$ притяжения тела M Землей разлагается на две составляющие (см. рис. 1). Одна составляющая $\boldsymbol{\Phi}$ — это центростремительная сила, направленная перпендикулярно оси вращения OO' и обусловливающая движение тела вместе с Землей по окружности соответствующей параллели; вторая составляющая G называется силой тяжести. Вес же тела определяется как *действие силы тяжести на неподвижную относительно Земли горизонтальную опору или подвес.*

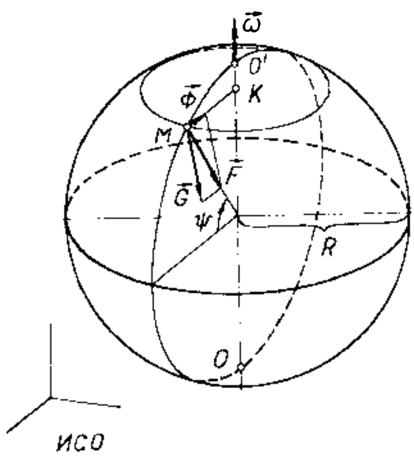

Рис. 1

Сила тяжести объявляется понятием *более общим*, чем вес тела[8].

Напротив, в вышеупомянутой редакционной статье журнала «Физика в школе» весом тела называется составляющая $\boldsymbol{G}$ силы притяжения $\boldsymbol{F}$, вес и сила тяжести рассматриваются как *синонимы.*

С другой стороны, такой путь введения понятия веса не одобряется Н. И. Штепой и др.: «Иногда гравитационную силу, приложенную к телу, находящемуся на поверхности Земли, и направленную к центру массы Земли, рекомендуют раскладывать на две составляющие: центростремительную силу и силу тяжести, проявляющуюся в действии тела на поверхность Земли. Такая трактовка необоснована, тем более что центростремительную силу в школьном курсе рассматривают как равнодействующую всех сил, приложенных к телу, равномерно движущемуся по окружности»[9]. В сборнике статей под ред. Н. И. Штепы сказано еще сильнее: «. . . Такая трактовка нам кажется надуманной и необоснованной . . .»[10]

Вместо такой трактовки авторы пособия предлагают ввести в рассмотрение реакцию связи $\boldsymbol{Q}$ и вес $\boldsymbol{G}$ определять при помощи соотношения $\boldsymbol{G} = -\boldsymbol{Q}$[11].

Еще другой точки зрения придерживаются В. А. Кондаков и Э. Ш. Хамитов[12], которые считают, что в курсе физики средней школы

---

[8] А. В. Перышкин, Изучение темы «Криволинейное движение» и «Всемирное тяготение» в IX классе, «Физика в школе», 1963, № 6, стр. 31.

[9] Н. И. Штепа и др., Вес и невесомость, М., 1964, стр. 37.

[10] Ред. Н. И. Штепа, Вес и невесомость, Оренбург, 1963, стр. 43. В обоих случаях утверждается необоснованность этой трактовки, однако, в чем состоит эта необоснованность (и «надуманность») — не показано.

[11] Там же, стр. 9, 10.

[12] В. А. Кондаков, Э. Ш. Хамитов, Понятия «Вес», «Невесомость», «Перегрузки» в курсе физики средней школы, Ученые записки Куйбышевского Государственного педагогического института, вып. 42, 1964, стр. 205—227.

надо пользоваться также и неинерциальными системами отсчета и понятие веса формулировать при помощи центробежной силы инерции: «Такая трактовка понятия «Вес» лучше, по нашему мнению, отражает причинно-следственные связи в явлении образования веса, чем в методической схеме, опирающейся на систему отсчета «центр массы Земли — «неподвижные» звезды». В этой схеме, по мнению авторов, «влияние силы вращательного происхождения на вес завуалировано»[13].

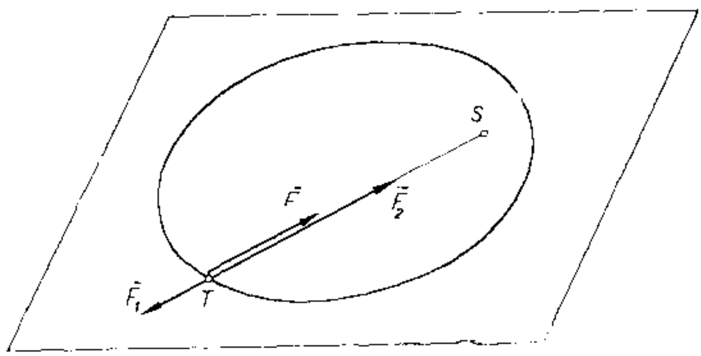

Рис. 2

Таким образом, *спорный характер определения понятия веса тел переносится и в методику физики.* Противоречащие друг другу взгляды и высказывания видных методистов, коллективов ученых дезориентируют рядового учителя физики и вводят опасную путаницу в поддающиеся простому анализу вещи.

Рассмотрим подробнее вопрос о разложении силы притяжения $\boldsymbol{F}$ на две составляющие (см. рис. 1) и попробуем установить, в чем состоит «необоснованность и надуманность» такого разложения. Заметим, что при помощи того же разложения силы $\boldsymbol{F}$ вес тел определен и в некоторых известных общих курсах физики[14]. Вообще же в литературе по физике и механике этот путь определения веса выбирается весьма редко[15].

В настоящей статье мы покажем, что 1) в ИСО[16] разложение силы притяжения $\boldsymbol{F}$ на составляющие силы $\boldsymbol{G}$ и $\boldsymbol{\Phi}$ возможно не для всяких положений тела M (рис. 1): если рассматривать только положения у поверхности Земли, то существуют две симметричные относительно экватора околополярные зоны в виде сферических сегментов (см. рис. 5), в которых данное разложение невыполнимо; 2) безупречная трактовка понятия веса невозможна — по крайней мере в этих зонах — без перехода в НСО, связанную с вращающейся Землей.

Сформулируем точнее задачу, которую надо для этого решить: *определить понятие веса точечного тела М, находящегося на поверхности Земли, исходя из рассмотрения механических явлений в ИСО, по отношению к которой Земля вращается с постоянной угловой скоростью* ω

[13] В. А. Кондаков, Э. Ш. Хамитов, Понятия «Вес», «Невесомость», «Перегрузки» в курсе физики средней школы, Ученые записки Куйбышевского Государственного педагогического института, вып. 42. 1964, стр. 220.

[14] Например, К. А. Путилов, Курс физики, т. I, М., 1962, стр. 127, 128; Б. М. Яворский и др., Курс лекций по физике, т. I, М., 1958, стр. 38, 39; Б. М. Яворский и др., Курс физики, т. I, М., 1963, стр. 101, 102.

[15] Из просмотренных нами свыше ста учебников, энциклопедий, монографий, статей, государственных норм мы не насчитали и десяти представителей этого направления.

[16] Ради краткости вместо слов «инерциальная система отсчета» будем писать ИСО, вместо «неинерциальная система отсчета» — НСО.

вокруг своей оси OO' (рис. 1); *действием других небесных тел на тело M и на Землю пренебречь.*

О разложении реальных сил в ИСО. Начнем с существенного замечания: если оставить в стороне даламберовы силы инерции[17], то *все* силы, которые нам приходится рассматривать в ИСО, суть *реальные* силы — силы взаимодействия материальных тел[18]. Любая реальная сила, действующая на материальное тело M, может быть охарактеризована ее происхождением, т. е. указанием материального тела (или тел), которое является источником этой силы[19]. Если на точечное тело одновременно действуют несколько реальных сил (не исключается случай и бесконечного их множества), то, согласно закону сложения сил, действие всей совокупности сил можно заменить, с точки зрения движения тела, действием одной силы, представляющей их геометрическую сумму, — *результирующей* данных сил[20]. Ясно, что результирующая нескольких реальных сил — тоже *реальная* сила.

Таким образом, результатом сложения реальных сил $\boldsymbol{F}_i$ приложенных к одной материальной точке, является тоже реальная сила $\boldsymbol{F}: \boldsymbol{F} = \Sigma \boldsymbol{F}_i$. Верно ли аналогичное утверждение относительно обратной операции — *разложения* реальных сил? Точнее: если вектор $\boldsymbol{F}$ некоторой реальной силы, действующей на точечное тело M, разложить на составляющие $\boldsymbol{F}_1$, $\boldsymbol{F}_2, \ldots$, то можно ли утверждать, что эти составляющие всегда изображают реальные силы, действующие на тело M? Нет, этого утверждать нельзя. Вот простой пример.

Рассмотрим движение Земли T вокруг Солнца S (рис. 2) как кеплерову задачу. Разложим вектор $\boldsymbol{F}$, изображающий гравитационную силу притяжения Земли Солнцем, на две составляющие $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$. Можно ли утверждать, что векторы $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$ изображают реальные силы, действующие на T, т. е. можно ли указать такое материальное тело или систему тел, которые являлись бы источником этих сил, имеющих показанные на рисунке направления и величины? Разумеется, нет, так как в нашей задаче, кроме Земли T, имеется только одно тело S, сила притяжения которого на расстоянии ST не может превысить величины $\boldsymbol{F}$, а отталкивать оно вообще не в состоянии. В данном случае разложение вектора силы $\boldsymbol{F}$ на два вектора $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$ — *это только геометрическое построение, а не физическое явление:* в ИСО векторы $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$ не изображают никаких реальных сил!

Это, конечно, не означает, что не существует разложений вектора $\boldsymbol{F}$ на составляющие, которые изображают уже реальные силы. Достаточно, например, вектор $\boldsymbol{F}$ разложить так, как показано на рис. 3; векторы $\boldsymbol{F}'$ и $\boldsymbol{F}''$, несомненно, изображают реальные силы. Это явствует из того, что тело Солнца (которое ведь не является строго геометрической точкой) мы можем представить себе состоящим из двух частей S' и S'', таких, что напряженности $\boldsymbol{H}'$ и $\boldsymbol{H}''$ гравитационных полей, создаваемых ими в точке T, равнялись бы соответственно $\boldsymbol{F}'/m$ и $\boldsymbol{F}''/m$, где m — масса Земли; тогда $\boldsymbol{F}' = m\boldsymbol{H}'$ и $\boldsymbol{F}'' = m\boldsymbol{H}''$, и обе силы $\boldsymbol{F}'$ и $\boldsymbol{F}''$ — реальны.

Эти простые соображения приводят к выводу, что *при изучении механических явлений в ИСО имеют смысл разложения векторов действующих сил только на такие составляющие, которые изображают реальные*

---

[17] Даламберовы силы инерции, как и НСО, в курсе физики средней школы не рассматриваются.

[18] Ш.-Ж. де ла Валле Пуссен, Лекции по теоретической механике, т. I, М., 1948, стр. 124.

[19] В. Г. Невзглядов, Теоретическая механика, М., 1959, стр. 224.

[20] Т. Леви-Чивита и У. Амальди, Курс теоретической механики, т. I, ч. I, М., 1952, стр. 308.

силы. Разложения векторов сил, не удовлетворяющие этому условию, должны быть исключены из рассмотрения в механике, пользующейся «языком ИСО».

Разложение в ИСО силы $\boldsymbol{F}$. Теперь рассмотрим разложение вектора силы $\boldsymbol{F}$ притяжения тела M Землей на такие две составляющие $\boldsymbol{\Phi}$ и $\boldsymbol{G}$ (рис. 1), что при обозначениях, данных на рисунке, модуль вектора $\boldsymbol{\Phi}$ равен произведению $m\omega^2 R \cos\psi$ (m — масса тела M), а направление его совпадает с направлением от M до K. Так как в нашем распоряжении

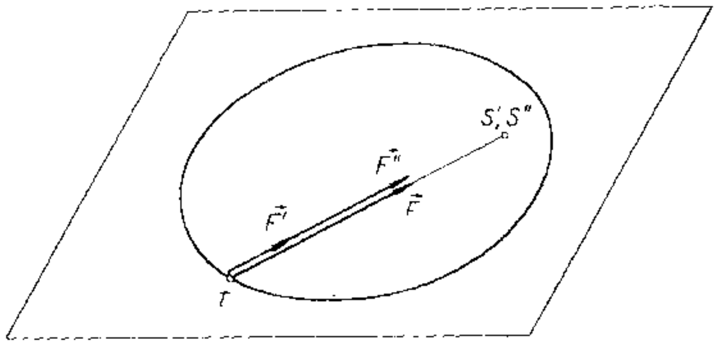

Рис. 3

имеется только ИСО, то естественно возникает вопрос: изображают ли векторы $\boldsymbol{G}$ и $\boldsymbol{\Phi}$ какие-нибудь реальные силы? Если изображают, то мы имеем право вводить это разложение в ИСО и пользоваться им в наших определениях. Но если окажется, что эти векторы не изображают реальных сил, то, согласно сказанному выше, это разложение нам ничего дать не может, и мы должны просто отбросить его, как не имеющего смысла в ИСО.

До сих пор никто не сомневался в реальности составляющей $\boldsymbol{\Phi}$, которая специально выбирается равной вектору *реальной* центростремительной силы, действующей на неподвижное относительно Земли тело массы m в его абсолютном движении по окружности на широте ψ. Все, кто, определяя понятие веса, пользуются рассмотренным разложением вектора $\boldsymbol{F}$ на составляющие $\boldsymbol{G}$ и $\boldsymbol{\Phi}$, единогласно утверждают, что, где бы тело M ни находилось на Земле, именно составляющая $\boldsymbol{\Phi}$, как сила, обусловливает его движение по окружности соответствующей параллели, т. е. что именно она сообщает телу абсолютное ускорение, равное центростремительному[21]. Умножая же массу тела на его абсолютное ускорение, мы получаем *реальную силу*, действующую на это тело, как количество ускорения, сообщаемого ему[22]. Но если составляющая $\boldsymbol{\Phi}$ изображает реальную силу, то непременно должно существовать материальное тело — источник этой силы. Ясно, что в данном случае таким источником может быть только некоторая совокупность материальных частиц Земли, гравитационное притяжение которых и обусловливало бы силу $\boldsymbol{\Phi}$. Таким образом, если составляющая $\boldsymbol{\Phi}$ изображает собой реальную силу,

[21] См., например, О т р е д а к ц и и, Об изложении понятия веса, невесомости и перегрузки, «Физика в школе», 1961, № 4, стр. 77; Б. М. Я в о р с к и й и др., Курс лекций по физике, т. I, М., 1958, стр. 39.

[22] Ch. P l a t r i e r, Mécanique rationelle, v. I, Paris, 1954, p. 112. См. также сноску 18.

то всегда должна существовать возможность указания такой совокупности. Однако оказывается, что это возможно не всегда!

Для упрощения расчетов примем Землю за однородный шар плотности ϱ. В случае точки M, находящейся не очень близко от полюсов Земли (см. рис. 4), указать соответствующую совокупность материальных частиц очень просто: силу $\boldsymbol{\Phi}$ можно получить как притяжение точки M той частью земного шара, которая ограничена некоторой симметричной относительно прямой MK пирамидой, имеющей вершину в точке M (MK — перпендикуляр, опущенный из точки M на ось вращения Земли).

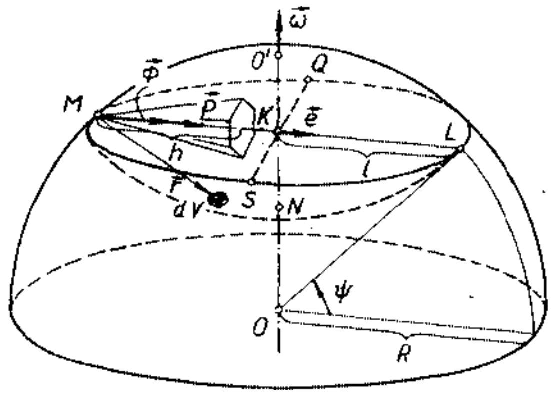

Рис. 4

Действительно, так как в вершине M пирамиды напряженность гравитационного поля, создаваемого ансамблем частиц, находящихся внутри этой пирамиды, направлена по MK и равна, согласно теореме Сомова[23], $\gamma\varrho h\Omega$, где h — высота пирамиды, Ω — телесный угол, под которым видно основание пирамиды из вершины, γ — постоянная тяготения, то, при фиксированных l и h, остается только из равенства

$$m\gamma\varrho h\Omega = m\omega^2 l = \Phi$$

взять соответствующую величину телесного угла Ω. Например, при $h=l$ $\Omega=\omega^2/\gamma\varrho$, и оно не зависит от широты ψ точки M. Это обстоятельство наводит на мысль, что для широт, близких к $\pm\frac{\pi}{2}$, гравитационного притяжения соответствующей части земного шара *не хватает* для создания центростремительной силы в ИСО. Для того, чтобы это точно доказать, заметим, что *максимальная сила притяжения* $\boldsymbol{P}$, *направленная по* MK, *получается от той, и только от той, части Земли* $MO'LNM$, *которая ограничена двумя одинаковыми шаровыми сегментами, имеющими общее основание* $MQLS$ (*круг параллели точки* M) *и высоту, равную* KO' ($=KN$)[24]. Это максимальное значение притяжения $\boldsymbol{P}$ выражается интегралом

$$\gamma m\int \boldsymbol{e}\cdot\left(\frac{\varrho dV}{r^3}\boldsymbol{r}\right),$$

взятым по всему объему, занятому указанными двумя сегментами ($\boldsymbol{r}$ — радиус-вектор, проведенный из точки M к некоторой частице Земли, занимающей объем dV, $\boldsymbol{e}$ — единичный вектор направления ML). Вычислив этот интеграл, что нетрудно сделать, отнеся пространство к системе сферических координат с началом в M, получим:

$$P=\frac{8}{3}m\gamma\varrho R\left(\frac{\pi}{2}-\psi\right)\cos\psi.$$

---

[23] См. Н. Е. Жуковский, Теоретическая механика, М., 1950, стр. 746, 747.

[24] Несимметричная относительно ML часть земного шара, содержащая его часть $MO'L\,NM$, притягивает точку M силой, направленной уже не по прямой MK.

Теперь достаточно решить неравенство

$$P < \Phi = m\omega^2 R \cos\psi,$$

чтобы прийти к заключению:

На широтах ψ, лежащих в интервалах

$$\frac{\pi}{2}-\alpha<\psi<\frac{\pi}{2}, \qquad -\frac{\pi}{2}<\psi<\alpha-\frac{\pi}{2} \qquad \left(\alpha=\frac{3}{8}\frac{\omega^2}{\gamma\varrho}\right) \tag{1}$$

(см. рис. 5), **гравитационное притяжение материальной точки Землей само по себе не в состоянии вызвать ее абсолютного ускорения, направленного перпендикулярно к оси вращения Земли и равного** $\omega^2 R\cos\psi$[25]; иначе: **для указанных широт не существует такого ансамбля материальных частиц Земли, который притягивал бы по закону Ньютона материальную точку, находящуюся на этих широтах, силой $\Phi = \boldsymbol{e} m\omega^2 R \cos\psi$.**

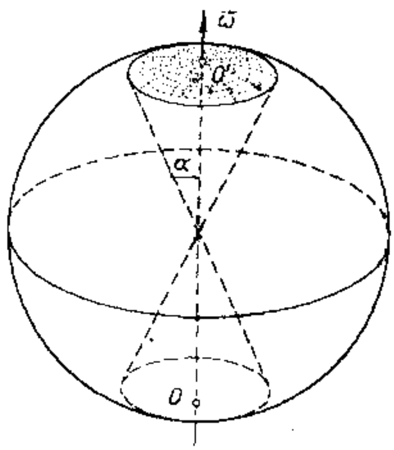

Рис. 5

Отсюда непосредственно вытекает важное утверждение:

В двух околополярных зонах[26], *определяемых неравенствами* (1), *вектор* $\boldsymbol{\Phi}$, *а следовательно, и вектор* $\boldsymbol{G}$, *как составляющие вектора* $\boldsymbol{F}$ *гравитационной силы Земли, действующей на материальную точку М, не изображают никаких реальных сил; следовательно, в механике, излагаемой «на языке* ИСО», *оперировать этими векторами как образами некоторых реальных сил, вызывающих определенные динамические эффекты* (утверждения о том, что составляющая $\boldsymbol{\Phi}$ обусловливает вращение тела по окружности, что составляющая $\boldsymbol{G}$ проявляет себя в давлении на опору и т. п.), *совершенно недопустимо.*

Таким образом, в ИСО разложение силы притяжения $\boldsymbol{F}$ на две составляющие силы $\boldsymbol{\Phi}$ и $\boldsymbol{G}$ выполнимо не для всех положений тела M: в зонах (1) оно теряет смысл. В соответствии с этим в этих зонах бессмысленно и определение понятия веса, опирающееся на такое разложение.

Если тело M находится вне зон (1), то определение его веса как составляющей $\boldsymbol{G}$ силы притяжения $\boldsymbol{F}$ вполне корректно, так как соответствующее разложение не является фикцией. В этом случае единственным недостатком такого определения является его «локальность»: при изменении положения точки M на земной поверхности, например, при полете (за пределами зон (1)) баллистической ракеты дальнего действия, ансамбли точек Земли, обусловливающие реальные силы притяжения $\boldsymbol{\Phi}$ и $\boldsymbol{G}$, тоже изменяются. От этого недостатка свободно определение веса в НСО, связанной с вращающейся Землей.

О правильном определении понятия веса тел. Нам остается, таким образом, ответить на вопрос: как определить «на языке ИСО» понятие веса тел, находящихся внутри зон (1)?

---

[25] Т. е. центростремительного ускорения в переносном движении точки M.

[26] «Ширина» этих зон α вследствие малости ω — небольшая. Однако она заметно увеличивается при удалении точки M от поверхности Земли. Сплюснутость Земли и то обстоятельство, что плотность верхних слоев Земли меньше ее средней плотности, тоже действуют в направлении расширения этих зон.

Мы убеждены, что в данном случае обойтись без перехода в НСО, связанную с вращающейся Землей, даже оставаясь в рамках элементарной механики, невозможно. И вот почему. Вес $\boldsymbol{G}$, согласно декларации Третьей Генеральной конференции по мерам и весам[27], в НСО, связанной с Землей, является *силой, приложенной к самому телу, а не к опоре или подвесу*; это вытекает из того, что если $\boldsymbol{g}$ — приложенный к точке M вектор, а m — скаляр, то произведение $m\boldsymbol{g}$ является вектором, приложенным к этой же точке M[28]. Но в ИСО сила $\boldsymbol{G}$ в зонах (1) реальна только как приложенная к *связям*: центростремительное ускорение $\boldsymbol{a}_\text{n}$ тело M получает под одновременным действием двух реальных сил: $\boldsymbol{F}$ и реакции связей $\boldsymbol{R}$; следовательно,

$$m\boldsymbol{a}_\text{n}=\boldsymbol{F}+\boldsymbol{R},$$

и тело M действует на связи силой, вектор которой равен

$$-\boldsymbol{R}=\boldsymbol{F}-m\,\boldsymbol{a}_\text{n}=\boldsymbol{G}.$$

Поэтому вектор $\boldsymbol{G}$, как приложенный к телу M, не изображает реальной силы и чужд механике «на языке ИСО». В зонах (1) сила, изображаемая вектором $\boldsymbol{G}$, приложенным к самой точке M,— типичная «фиктивная» сила. Нам представляется совершенно естественным следующий способ введения этой фиктивной силы в элементарную механику: обсерватор, находящийся в ИСО, убежденный в универсальной правильности закона: *масса* $\times$ *ускорение* $=$ *равнодействующей сил*, столь плодотворного в его системе, решает «перескочить» в НСО, связанную с вращающейся Землей. Тогда относительное равновесие материальной точки M, подвешенной, например, на упругой нити, ему придется истолковать как результат действия на точку двух сил: натяжения нити $\boldsymbol{R}$ и другой силы, которую он вправе назвать весом материальной точки $\boldsymbol{G}$. Начальное ускорение освобожденной точки M он объяснит действием той силы, которая была раньше уравновешена реакцией нити $\boldsymbol{R}$, т. е. $\boldsymbol{G}$. Поэтому, измерив это ускорение $\boldsymbol{g}$, он напишет: $\boldsymbol{G}=m\boldsymbol{g}$. Проделав некоторые дополнительные измерения, наблюдатель убедится в гравитационном характере поля сил $\boldsymbol{G}$. Таким образом, вектор $\boldsymbol{g}$ он сможет истолковать не только как начальное ускорение свободного падения, но и как напряженность эффективного гравитационного поля, связанного с движущейся Землей и действующего на неподвижные относительно нее тела. После этого он сможет дать точное определение понятия веса материальной точки:

Пусть M — материальная точка, масса которой пренебрегаемо мала по сравнению с массой Земли, K' — система отсчета, неизменно связанная с Землей, и (v) — ограниченная область с системой K' неизменно

---

[27] В силу того, что эта декларация встречается в литературе крайне редко и что на русском языке лишь часть ее приводится, насколько нам известно, в единственной книге (Г. Д. Бурдун, Единицы физических величин, М., 1963, стр. 42), причем в одном существенном для нас месте перевод сделан неточно, — фрагмент этой декларации, в котором дается определение веса тела, мы приводим в языке оригинала и затем даем точный перевод его. „Le terme *poids* désigne une grandeur de la même nature qu'une *force*; le poids d'un corps est le produit de la masse de ce corps, par l'accélération de la pesanteur; en particulier, le poids normal d'un corps est le produit de la masse de ce corps par l'accélération normale de la pesanteur". «Термин *вес* обозначает величину того же рода, как и *сила*; вес тела есть произведение его массы на ускорение силы тяжести; в частности, нормальный вес тела есть произведение массы этого тела на нормальное ускорение силы тяжести».

[28] Р. Граммель, Гироскоп. Его теория и применение, т. I, М., 1952, стр. 14.

связанного пространства, содержащая внутри себя Землю и имеющая размеры, сравнимые с размерами Земли.

Вес, или сила тяжести, материальной точки M в точке P, принадлежащей области (v), в момент времени t есть произведение ее массы на то ускорение, которое материальная точка M, помещенная в момент времени t в точку P и предоставленная без скорости по отношению к системе отсчета K′ действию одних только гравитационных сил, приобретает в ее относительном движении по отношению к системе отсчета K′ в момент t этого движения.

Заметим, что данное определение пригодно для любого выбора ИСО[29] и что в нем Земля рассматривается как абсолютно твердое тело — допущение, обычное в элементарной механике. Однако это определение легко обобщить и на важный для геофизики случай деформируемой Земли (приливы и отливы, деформация твердого тела Земли и пр.). Достаточно лишь в качестве системы отсчета K' взять так называемые *средние оси* Земли[30]. Таким образом, самое общее определение понятия веса[31] может быть следующим:

Пусть M — материальная точка, масса которой пренебрегаемо мала по сравнению с массой Земли, K′ — система отсчета, начало координат которой совпадает с центром инерции Земли и которая обладает тем свойством, что в относительном движении Земли по отношению к этой системе отсчета момент количеств движения Земли относительно ее центра инерции равен нулю, и (v) — ограниченная область с системой K′ неизменно связанного пространства, содержащая внутри себя Землю и имеющая размеры, сравнимые с размерами Земли.

Вес, или сила тяжести, (относительно Земли) материальной точки M в точке P, принадлежащей области (v), в момент времени t есть произведение ее массы на то ускорение, которое материальная точка M, помещенная в момент времени t в точку P и предоставленная без скорости по отношению к системе отсчета K′ действию одних только гравитационных сил, приобретает в ее относительном движении по отношению к системе отсчета K′ в момент t этого движения.

Данное определение можно рассматривать как уточнение того определения веса тел, которое дано III Генеральной конференцией по мерам и весам и которое является неполным, так как в нем ничего не сказано о содержании понятия «ускорение силы тяжести», о величине массы тела, месте его нахождения и системе отсчета, по отношению к которой определяется ускорение силы тяжести.

Таким образом, правильная трактовка старейшего понятия механики — веса тел не укладывается в рамки «языка ИСО». Понятие о весе как бы естественно подводит к новым горизонтам механики, где изучение физических явлений в НСО наравне с явлениями в ИСО ведет к глубоким и интересным обобщениям современной науки.

ВГПИ
Кафедра теоретической физики

Поступило
в марте 1965 г.

[29] Ср. аналогичное определение *тяжести* в кн.: П. Пицетти, Основы механической теории фигуры планет, М.-Л., 1933, стр. 9; однако П. Пицетти вовсе не упоминает о том, что положения материальной точки M ограничены в пространстве. Из множества гравитационных сил, действующих на M, в определении, данном П. Пицетти, фигурирует только сила притяжения Земли (планеты).

[30] Определение и свойства средних осей и среднего вращения Земли см. в кн.: F. Tisserand, Traité de mécanique céleste, t. II, Paris, 1960, p. 506 и сл. и F. R. Helmert, Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie, II. Teil, Leipzig, 1962, S. 410—412.

[31] Заменив в предлагаемом определении термин *Земля* подходящим другим, например *Луна, космический корабль,* получим некоторое весьма полезное расширение этого важного и содержательного понятия.

APIE VIENĄ SVORIO SĄVOKOS TRAKTAVIMĄ MECHANIKOJE

L. KULVIECAS

Reziumė

Straipsnyje nagrinėjamas vienas iš svorio sąvokos apibrėžimų, kuris remiasi kūną veikiančios Žemės traukos jėgos ***F*** išskaidymu į du komponentus — įcentrinę jėgą ir svorio jėgą. Nors šitoks apibrėžimo būdas mokslinėje-teorinėje literatūroje pasitaiko gana retai, elementarioje mechanikoje jis vis labiau įsigali; jis priimtas ir vidurinių mokyklų fizikos vadovėliuose.

Straipsnyje parodyta, kad šitoks jėgos ***F*** išskaidymas į du vektorius — vadinasi, ir juo paremtas kūnų svorio apibrėžimas,— ne visada yra galimas inercinėje atskaitos sistemoje, kuri tik ir nagrinėjama vidurinės mokyklos fizikos kurse; tiksliai nurodytos tos sritys, kur šis išskaidymas nustoja prasmės, ir tos, kur juo galima naudotis.

Norint pateikti teisingą kūnų, esančių bet kurioje Žemės vietoje, svorio apibrėžimą, atitinkantį, be to, III Generalinės konferencijos matų ir saikų klausimais (1901 m.) deklaraciją, yra būtina — bent tose Žemės srityse, kur minėtasis išskaidymas netenka prasmės,— įvesti neinercinę atskaitos sistemą, susietą su besisukančia Žeme.