

从动量流的角度谈重力的定义*

赵雪芹 黄永顺 周小方

(闽南师范大学物理与信息工程学院 福建漳州 363000)

(收稿日期:2015-08-18)

摘要:重力是一个非常重要的物理概念,围绕重力概念存在分歧.力是牛顿时代建立的抽象概念,重力是体现万有引力作用效果的一种效果力,这种抽象的虚拟力概念不利于学生掌握.力也可以看成是动量流强度,文献[11]从动量流视觉定义了重力,这是应该肯定的.但该定义也存在一些问题,对此进行辨析,并用动量流概念重新定义重力,通过对相关问题的解释说明重力新定义的合理性和有效性.

关键词:重力 动量流 超重 失重

1 引言

1.1 用力的概念定义重力

从20世纪60年代起至今,重力的概念不断引起国内外学术界的广泛关注^[1~6],对重力的定义一直存在争议.从力的概念出发对重力的定义主要有以下几种说法^[6]:其一,万有引力就是重力;其二,重力就是地球对物体的万有引力;其三,随地球一起转动的物体,所表现出来的地球对物体的引力,成为物体的重力.我国现在正在执行的国家标准“力学的量和单位”(GB 3102.3-93)给出的定义是:“物体在特定参考系中的重量为使该物体在此参考系中获得其加速度等于当地自由落体加速度的力.”该定义与国际标准(ISO 31-3)一致.

重力定义的分歧也见于主流高中物理教材中,鲁科版《物理(必修1)教师用书》上说:“物体的重力等于地球引力与物体所需向心力的矢量差;”^[7]而人教版教材《物理·必修1》的定义是:由于地球的吸引而使物体受到的力叫做重力^[8].近期,赵凯华教授对重力的各种定义作了辨析^[9],认为“物理名词的含义与物理学史沿革和语境有关,不是一成不变的,通常也没有唯一绝对正确的,需要辩证分析.”

1.2 用动量流概念定义重力

德国卡尔斯鲁厄大学 F. Herrmann 研究小组以实物型量为中心概念,用实物型量的流重新构建了全新的物理课程^[10],在该物理学架构中传统的力的概念用动量流强度取代.

动量是实物型量,与其他实物型量一样从空间的一处流到另一处,流动过程中既不产生也不湮灭,是一种守恒的物理量.电荷、能量、质量等物理量也是实物型量,都具有守恒性质.动量的流动需要动量导体,单位时间流过动量导体的动量即动量流强度(或简称动量流).当动量在动量导体中流动时,动量导体处于拉伸或压缩状态,在弹性范围内,拉伸或压缩程度与动量流的大小成正比.

地球表面附近的任何物体都受到地球的吸引,都有引力动量流流入物体.不考虑地球自转时,由于物体静止,引力动量流不能在物体中积聚,必然会全部从物体流出,从而在物体中形成动量流分布,导致物体内部存在拉伸或压缩.地表上静止的人对重力的感觉源于体内引力动量流分布所致各部位的拉伸或压缩感.基于上述事实,文献[11]给出如下重力定义:一个物体的重力的大小等于从这个物体流出的引力动量流的强度.该重力定义探讨物理问题的视角独特,为物理教学提供了全新思路,具有重要的意义.但为适应涉及物体运动的重力问题,或其他天

* 福建省教育厅重点课题“三位一体”模式下的“卓师教育”培养研究,课题编号:JAS151293

作者简介:赵雪芹(1987-),女,在读研究生.

指导教师:周小方(1963-),男,教授,主要从事物理教学、理论物理和嵌入式系统应用研究.

体上的重力问题的探讨,该定义仍需推敲、商榷,本文进一步讨论.

2 重力动量流定义探讨

2.1 对重力动量流定义的分析

采用动量流概念的重力定义符合人的认知规律,与人们对相关重力现象的感性认识一致.比如,当人自由下落时,从引力场流入人体的动量没有从人体流出,全部积聚在体内,人体中没有动量流分布,人体组织没有拉伸或压缩,从而产生失重的感觉.

重力动量流定义也存在一些科学性问题,值得商榷.首先,对地表上的静止物体,若除引力场外还有某种动量流流进物体时,此时如何从流出物体的动量流中区分出引力动量流?显然“从物体流出的引力动量流的强度”是一个不确定的量,不能用于重力的定义;其次,重力和万有引力都是直接作用于物体的每个质元,虽然万有引力动量流是从物体的各质元流入的,但动量流要从物体内部流出则需经过其他动量导体(如支撑、悬挂等约束作用),而其他动量导体对物体的约束作用是不直接作用于物体的每个质元,因此用流出物体动量流定义重力不能反映重力的物理本源;再次,重力是矢量,而重力的动量流定义只给出重力的大小,未指出重力的方向,而且还规定一个标量(重力的大小)等于一个矢量(引力动量流的强度),不严谨.

此外,在文献[11]中,作者用重力动量流定义解释一些现象时产生了一些谬误.其一,作者既认同“物体的重力应该由它的质量、所处位置和运动状态决定”^[12]观点,但又质疑“在不同的参考系中可以观察到不同的重力”^[4]等结论,质疑的理由是“物体的重力确切地由物体内部由于万有引力引起的应力所决定.虽然物体的运动状态取决于所选的参考系,但从物体流出的引力动量流在不同参考系中是相同的.”事实上,物体内部的应力是施于物体的所有作用共同产生的结果,我们没有办法区分哪些应力是由引力引起的,也无法区分从物体流出的动量流中哪些属于引力动量流.其二,作者认为重力是从物体流出的引力动量流,因此物体的重力最大值等于它

受到的万有引力,不会处于超重状态.事实上,从物体流出的动量流强度是可以超过引力动量流的强度,只是我们没法区分出哪些是引力动量流,认为物体不会处于超重状态是错误的,有悖于客观事实.

2.2 重新定义重力

基于以上分析,下面我们试着仍用动量流概念来给重力下一个新的定义.

考虑以下2个事实.其一,万有引力是直接作用于物体的每个质元,与物体的运动状态无关,而重力是一种效果力,也是直接作用于物体的每个质元,与物体的运动状态有关,万有引力对物体的作用是物体产生重力效果的原因之一.其二,支持力、弹力等力都不能直接作用于物体的每个质元,当物体伴随参考系运动时,各质元都直接参与了伴随运动,而伴随运动又反映物体的运动状态.综上,我们给重力如下定义:在特定参考系中观测,万有引力场流入物体的动量流强度扣除物体伴随该参考系运动的动量流强度就是物体在指定参考系中的重力.

2.3 重力新定义合理性的定量说明

下面定量说明上述重力定义的合理性.设物体 α 和天体 β 的质量分别为 m_α 和 m_β ,宇宙中其他所有天体的引力场流入二者的动量流强度分别为 \mathbf{F}_{G_α} 和 \mathbf{F}_{G_β} ,在这二个引力动量流的作用下,二者作为一个组合天体在轨运行,若只考虑平动,二者均可视为质点,具有相同的轨道加速度 \mathbf{a}_0 ,因此

$$\mathbf{F}_G = \mathbf{F}_{G_\alpha} + \mathbf{F}_{G_\beta} = (m_\alpha + m_\beta) \mathbf{a}_0 \quad (1)$$

一般情况组合天体的尺度总是远小于它与宇宙中其他天体的最小距离,这样可认为物体 α 和天体 β 所在点的引力场强度相同,因此有

$$\frac{1}{m_\alpha} \mathbf{F}_{G_\alpha} = \frac{1}{m_\beta} \mathbf{F}_{G_\beta} \quad (2)$$

由式(1)和(2)可得

$$\mathbf{F}_{G_\alpha} = m_\alpha \mathbf{a}_0 \quad \mathbf{F}_{G_\beta} = m_\beta \mathbf{a}_0 \quad (3)$$

设天体 β 的引力场流入物体 α 的引力动量流强度为 f_{G_α} ,组合天体除在轨运行外,天体 β 还有其他内在的运动分量(如自转、推进等),该运动相对天体 β 质心的加速度为 \mathbf{a}_β .若物体 α 受某种约束作用(支撑或悬挂等),该作用流入物体 α 的动量流强度为 \mathbf{N} ,任意选定参考系,该参考系相对天体 β 的加速度为 \mathbf{a}_r ,在该参考系上观察,物体 α 的加速度为 \mathbf{a} ,则

$$F_{G\alpha} + f_{G\alpha} + \mathbf{N} = m_\alpha (\mathbf{a}_o + \mathbf{a}_\beta + \mathbf{a}_r + \mathbf{a}) \quad (4)$$

由式(3)和式(4)可得

$$f_{G\alpha} - m_\alpha (\mathbf{a}_\beta + \mathbf{a}_r) + \mathbf{N} = m_\alpha \mathbf{a} \quad (5)$$

下面分2种情况讨论.

首先,所选参考系是物体 α 的静止参考系,即以约束物或物体 α 自身为参考系,此时 $\mathbf{a} = 0$,由式(5)得: $f_{G\alpha} - m_\alpha (\mathbf{a}_\beta + \mathbf{a}_r)$ 是与约束作用 \mathbf{N} (支撑或悬挂等)相平衡的动量流强度,此即传统的静力学意义上的重力 \mathbf{W} ,有

$$\mathbf{W} = f_{G\alpha} - m_\alpha (\mathbf{a}_\beta + \mathbf{a}_r) \quad (6)$$

式(6)表明:在物体 α 的静止参考系上观察,天体 β 引力场流入物体 α 的引力动量流强度扣除物体 α 伴随参考系相对天体 β 的质心运动的动量流强度就是静力学意义上的重力 \mathbf{W} .

其次,把静力学意义上的重力概念推广到任意参考系,即在任意参考系上观察,物体 α 的重力仍由式(6)仍定义.按该定义式(5)化为

$$\mathbf{W} + \mathbf{N} = m_\alpha \mathbf{a} \quad (7)$$

若物体 α 不受任何约束作用,物体 α 将自由下落,此时 $\mathbf{N} = 0$, $\mathbf{a} = \mathbf{g}'$,其中 \mathbf{g}' 是所选参考系上的自由落体加速度,由式(7)得

$$\mathbf{W} = m\mathbf{g}' \quad (8)$$

式(8)表明在指定参考系观察,物体 α 的重力就是使物体 α 在此参考系中获得其加速度等于当地自由落体加速度的动量流强度.

由于物体 α 作为组合天体的一部分在轨运行时可看成质点,宇宙中其他天体的引力场流入物体 α 的引力动量流强度与物体 α 在轨运行的动量流强度相抵消,因此研究物体 α 的重力问题时,可不考虑宇宙中其他天体的引力作用.

3 重力新定义的应用

3.1 地表(或月表)附近静止物体的重力

以地面(或月面)为参考,地球(或月球)表面附近静止物体的重力是流入物体的地球(或月球)引力动量流强度扣除物体伴随地球(或月球)自转的动量流强度.

不考虑地球的偏球型与地壳密度不均匀性时,在地表附近,流入物体的地球引力动量流强度近似

为常矢量,大小为 mg ,方向指向地心,其中 m 为物体质量, $g \approx 9.8 \text{ N} \cdot \text{s}^{-2}$ 为地表处的万有引力加速度;物体伴随地球自转的动量流强度的大小与物体所在点的纬度有关,在南北极最小为零,在赤道最大约为 0.0035 mg ,方向垂直指向地轴.月表附近的情况与地表附近相似,所不同的是月表处的万有引力加速度比地表处的小,月球自转比地球慢得多.

在地面(或月面)附近的近似应用中,可忽略物体伴随地球(或月球)自转的动量流强度.以地面(或月面)为参考系,物体的重力即地球(或月球)流入物体的万有引力动量流强度 mg ,可视为恒力,指向地心(或月心).在地面(或月面)上的运动参考系上观察,物体的重力即地球(或月球)流入物体的万有引力动量流强度扣除物体伴随参考系运动的动量流强度,物体的重力与物体的运动状态及参考系的选取有关.

3.2 人造天体上物体的重力

在轨正常运行的人造天体,其推进器处于关闭状态,忽略光辐射动量流的作用.以人造天体为参考系,若除轨道加速度外人造天体没有自转等其他分加速度,则人造天体上物体的重力就是人造天体流入物体的万有引力动量流强度.相比地球或月球,人造天体的质量是微不足道的,因此人造天体上物体的重力非常微小,为微重力,物体可在人造天体上悬浮.

当人造天体处在变轨(或轨道修正)状态,部分推进器处于工作状态,除轨道加速度外人造天体还有变轨加速度,伴随人造天体变轨,人造天体上物体将获得重力.如果在轨正常运行的人造天体有自转运动,人造天体上物体也会获得重力.

3.3 失重与超重

研究地表附近的垂直升降机地板上静置的、质量为 m 的物体,忽略地球自转(即近似应用),以升降机为参考系,以竖直向下为正方向,升降机相对地面的加速度为 a ,此时流入物体的地球引力动量流强度为 mg ,物体伴随参考系运动的动量流强度为 ma ,因此在升降机中观察,物体的重力为

$$\mathbf{W} = m(g - a)$$

若升降机静止(物体亦相对地球静止), $a = 0$,此

时流入物体的地球引力动量流没有在物体内部聚积,单位时间内流出物体的动量流等于流入物体的地球引力动量流,重力 $W = mg$.

若升降机向上加速运动, $a < 0$, 此时流入物体的地球引力动量流为正动量, 由于物体伴随参考系向负方向加速运动, 物体内部不断有负动量聚积, 因此单位时间内流出物体的正动量流必然超过流入物体的地球引力动量流, 表现为超重, 即重力

$$W = m(g - a) > mg$$

若升降机向下加速运动, $0 < a \leq g$, 此时流入物体的地球引力动量流为正动量, 由于物体伴随参考系向正方向加速运动, 物体内部不断有正动量聚积, 因此单位时间内流出物体的正动量流必然少于流入物体的地球引力动量流, 表现为失重, 即重力

$$W = m(g - a) < mg$$

当升降机自由下落时, $a = g$, 流入物体的地球引力动量流全部在物体内部聚积, 流出物体的动量流为零, 物体完全失重 $W = 0$.

3.4 不同参考系观察到不同的重力

物体的重力不仅与它的质量、所处的宇宙空间位置、运动状态有关, 也与观察者所在参考系有关.

3.2 节所述的在轨运行的人造天体上的物体的微重力是人造天体上的观察者所察, 对地面上的观察者, 人造天体及其上的物体的重力仍是流入它们的地球引力动量流强度扣除它们伴随地球自转的动量流强度. 同理, 第三章第3节所述的垂直升降机地板上静置的物体的超重、失重状态是升降机上的观察者所察, 对地面上的静止观察者, 物体所受重力与升降机无关, 都等于其质量与当地地表处的自由落体加速度的乘积, 方向竖直向下.

文献[4]讨论了一个理想实验: 地面上有自左向右匀加速运动的平板车, 平板上垂直向上立一桅杆, 在桅杆顶端静置一物体, 某一时刻该物体自桅杆顶自由下落, 巴特利特分别讨论了地面观察者、平板车上观察者、随物体运动的观察者所观察到物体自由下落前后的重力情况, 其结论是3个观察者观察到3种不同的“重力”情况. 用本文所定义的重力研究上述实验所得结果与文献[4]的结论是一致的, 与我国国家标准(GB 3102.3-93)和国际标准(ISO

31-3) 兼容.

4 结论

重力的多种定义, 引起概念混乱, 主要原因有:

(1) 将地球对物体的万有引力与重力混为一谈;

(2) “视重”或“表观重力”是个多余的概念, 引出了很多混乱;

(3) 重力是虚拟的效果力, 人们对此认识不足.

自从20世纪60年代以来, 特别是随着宇航技术的飞速发展, 人们对微重力、失重、超重的研究不断深入, 对重力的作用与效果有了全新的认识, 在此基础上建立了重力的国际标准(ISO 31-3)和国家标准(GB 3102.3-93), 不论用力的概念, 还是用动量流的概念定义重力, 原则上都不能与国际标准和国家标准矛盾. 仅管中学物理大纲规定不讲非惯性系和惯性力, 但中学物理教材中对重力的定义仍要坚持与国际标准和国家标准兼容的原则, 放弃这个原则, 围绕重力的争论也终将无果.

用动量流的概念定义重力符合人对重力的感知, 文献[11]从动量流角度对重力的定义存在科学性问题, 也与国际和国家标准相背, 本文进行充分的辨析, 用动量流的概念提出重力新定义, 该定义与国际和国家标准兼容.

参考文献

- Allen L. King. Weight and Weightlessness. Am. J. Phys., 30, 387 (May 1962)
- Francis W. Sears. Weight and Weightlessness. Phys. Teach., 1, 20 ~ 23 (April 1963)
- Pirooz Mohazzabi. Why Do We Feel Weightless in Free Fall?. Phys. Teach., 44, 240 ~ 242 (April 2006)
- Albert A. Bartlett. Apparent Weight: A Concept that Is Confusing and Unnecessary. Phys. Teach., 48, 522 ~ 524 (Nov. 2010)
- 范晓波. 重力仅是万有引力的一个分力吗. 物理通报, 2010(4): 70 ~ 80
- 赵坚, 李力. 关于重力与万有引力关系的再探讨. 物理教学, 2011(1): 10 ~ 12
- 廖伯琴. 物理(必修1)教师用书. 济南: 山东科学技术出版社, 2012
- 人民教育出版社 课程教材研究所, 物理课程教材研究开

匀速圆周运动可以这样分解吗

黄尚波

(南安市侨光中学 福建 泉州 362314)

(收稿日期:2015-09-07)

《物理教师》2015年第5期刊登了“三个宇宙速度的多种推导及教学启示”一文。文中作者分别介绍了3个宇宙速度的多种推导方法,其中关于第一宇宙速度的推导方法3作者将匀速圆周运动视为沿切线方向的匀速直线运动和沿半径方向的匀加速直线运动的合运动,并据此推出第一宇宙速度的计算式,笔者认为该方法值得商榷,特在此提出并作如下分析,若有不当之处敬请同行批评指正。

原文的推导方法:应用运动的合成与分解规律

推导。众所周知,按照第一宇宙速度稳定运行的卫星,其运动轨迹基本上与地球大圆重合。如图1所示。

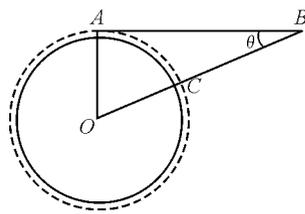


图1

发中心. 物理·必修1. 北京:人民教育出版社,2010

9 赵凯华. 概念的形成是首要的,然后才是名称——谈“重力”的定义. 物理教学,2011(1):9~10

10 F. Herrmann and G. Job 著. 德国卡尔斯鲁厄物理课程—物理(高中精编版)第一册. 陈敏华译. 上海:上海

教育出版社,2007:3-35

11 陈敏华. 重力的新定义:动量流的视觉. 物理通报,2013(2):94~97

12 A. P. French. On Weightlessness. Am. J. Phys., 63, 105(Feb. 1995)

Talking about Gravity Definition from the Perspective of Momentum Flow

Zhao Xueqin Huang Yongshun Zhou Xiaofang

(College of Physics and Information Engineering, Minnan Normal University, Zhangzhou, Fujian 363000)

Abstract: Weight is a very important physical concept. There are differences around the concept of weight. Force is the abstract concept of the Newton era. The weight is a kind of effect force that reflects the effect of gravity, which is not conducive to students to master the concept of virtual force. Force can also be considered as the momentum current intensity. The literature [11] gives a definition of weight from the momentum current perspective. This definition has some problems, which are questioned, and the weight is redefined using the concept of momentum current. The reasonableness and validity of the new definition of weight is explained through the interpretation of the relevant experiments.

Key words: weight; momentum current; overweight; weightlessness