



各向异性的摩擦

——国际物理奥赛

IdPhO2020 理论第二题

张圣兵¹ 宋 峰²

(1. 江苏省通州高级中学 226300; 2. 南开大学物理科学学院 300071)

摩擦力并不总是各向同性的,也就是说各个方向上的摩擦力不一定是相同的。通常情况下,摩擦力的大小和方向取决于物体运动的方向。比如,在物体接触面上存在一定方向的“沟槽”时,各方向上的摩擦力就不同(橡胶对橡胶的摩擦系数,沿着纹理方向和垂直于纹理方向,分别等于 0.48 和 0.34)。摩擦的各向异性会导致不寻常的运动特性,本题将就此特性进行研究。

关于各向异性摩擦,你需要知道什么?

假设一个表面是由各向异性的材料构成的。关于各向异性摩擦力的最流行的模型之一是这么考虑的:作用在物体上的摩擦力 $\vec{F}$ 将取决于物体的运动方向,设互相垂直的 X 和 Y 轴(它们被称为主轴), x 和 y 方向的摩擦力分别为

$$\begin{aligned} F_x &= -\frac{|N|}{|v|} \mu_x v_x \\ F_y &= -\frac{|N|}{|v|} \mu_y v_y \end{aligned} \quad (1)$$

其中 F_x 和 F_y 为摩擦力分量, N 是作用在物体上的法向作用力, v_x 和 v_y 是速度矢量 $\vec{v}$ 的分量, μ_x 和 μ_y 是沿两个主轴的摩擦系数。

在此,可以理解为平面上的坐标轴与主轴相吻合。我们设摩擦系数为 $\mu_x = 0.75$, $\mu_y = 0.5$ 。另有说明的除外。

在本题的 A 和 B 部分,物体均被视为质点。在本题的所有部分中,物体运动的平面都是水平的。

如果可以得到数值答案,则需要给出具体数值。

A 部分: 在水平面上的运动(4.0 分)

A.1 摩擦力的绝对功率值达到最大时,物体速度矢量与 X 轴成的角度 α_1 为多少? 0.5pt

A.2 摩擦力功率的绝对值小于最大值的 1.2 倍时,物体速度矢量应与 X 轴成的角度 α_2 为多少? 0.5pt

A.3 令初始速度的分量 $v_{0x} = 1$ m/s, $v_{0y} = 1$ m/s。一段时间后,沿 Y 轴的速度分量等于 $v_{1y} = 0.25$ m/s。此刻的速度大小是多少? 1.0pt

A.4 设速度为 $v_2 = 1.0$ m/s。为了使轨迹的曲率半径最小,速度矢量应与 X 轴成什么角度? 这个半径等于多少? 已知自由落体的加速度为 $g = 9.8$ m/s²。1.0pt

A.5 在 XY 平面图中,画出在上述摩擦系数下,以 $\alpha_4 = \pi/6$ 和 $\alpha_5 = \pi/3$ 角度发射的物体的轨迹。初始速度的大小是相同的。对于摩擦系数 $\mu_x = 0.4$ 和 $\mu_y = 0.7$ 的情况,再回答该题。1.0pt

B 部分: 物体开始运动的条件(2.0 分)

B.1 一个质量为 m 的物体静止在原点上。有一个力以与 X 轴成夹角 α 施加在该物体上。力的大小

$F(t)=\gamma t$ 随时间线性增长。求物体开始运动的时刻对 α 的依赖性。忽略停滞现象。2.0pt

C 部分: 圆周运动(4.0 分)

两个相同的质点通过一根长度为 $L=1\text{ m}$ 的重量可忽略且不可伸长的杆相连,系统位于一个具有各向异性摩擦的表面上。杆沿着与 Y 轴放置,不接触表面。其中一个质点具有初始速度,其方向垂直于杆。

C.1 假定另一质点保持静止,对于给定的初始速度 v_0 ,求其速度 v 与杆的旋转角度 φ 的关系。1.5pt

C.2 求最大初速度 $v_{0\max}$ 为多少,设另一物体仍保持静止。1.5pt

C.3 如果初始速度为 $v_{0\max}$,则物体在完全停止前走过的距离为多少? 1.0pt

各向异性摩擦在生活中是常见的。比如本题

中给出的例子:两个木块,互相平行放置和垂直放置时,其纹理不同,导致摩擦系数不同。在实际应用中,利用这种特性可制作特殊的材料和器件。比如,将通过3D打印得到的取向性倒刺结构,埋植于某种纳米材料中,在光照射下纳米材料软化,其表面倒刺的取向角度可发生改变,从而引起两个正交方向上的摩擦力发生显著改变。这种光热响应的摩擦各向异性材料可被用作智能开关。

本题涉及到运动学和动力学基础概念。

* * * * *

欢迎读者朋友参与“物理奥赛”系列专题的有奖竞答活动,并在答案公布前将您的解答发送至aosai@ihep.ac.cn 邮箱。对于参与并答对每期题目的前20名读者,编辑部将赠阅1年《现代物理知识》杂志。

封底说明

人造子宫

十月怀胎,瓜熟蒂落,一个新生儿诞生,这是人类最熟知的过程,也是妈妈们经过艰辛迎来最幸福的时刻。而新科技带来新的突破和改变,也影响着人们的生活。近日科学家们推出了“人造子宫”,引起人们的高度关注。

“人造子宫”就是模拟传统生育的子宫环境来人工打造一个子宫,并通过一系列技术手段,最终实现孕育出新的生命。无疑这是目前该领域最大的挑战之一,现在有许多国家的研究团队陆续参与到这个研究中来。美国的科学家目前已经研制出实验用“人造子宫”,用早产的羊羔进行测试。这个“人造子宫”装置外形就像一个塑料袋子,是用特殊材料制成,里面的羊水是用电解质溶液来替代,它有着与传统子宫一样的供养和排泄系统。最终,这个实验中的羊羔孕育成功并顺利降生。该研究团队对外宣称,预计在未来几年将进行人体试验。还有些国家的科学家用兔子、鲨鱼来进行“人造子宫”的实验,也取得了一些成果。我国的科学家也对此十分的关注,并开始了相应的科学研究。

其实“人造子宫”最早是在1923年由英国生物学家、遗传学家J.B.S. Haldane提出的,他预言到2074年,世界上约有70%的婴儿将是体外孕育诞生的。但是目前若将“人造子宫”用于人类,还需进行大量的科学实验与验证,还有许多问题需要解决。相信随着生物工程和材料学的发展与进步,为科研人员突破技术瓶颈提供了良好的条件,“人造子宫”的研制成功指日可待。但是相比该项目的技术问题,其牵扯的伦理问题才似乎是未来横亘在人们面前的大山。“人造子宫”的出现也与克隆技术一样带来争议,对人类传统婚姻、伦理道德带来巨大的冲击和挑战。这就需要社会、心理、法律、伦理等方面的专家共同来研究和解决。

“人造子宫”无疑会给人类不孕不育及早产带来福音,还会在许多领域里得到应用。在科技高速发展的今天,许多人体器官都已相继有了人工替代品,未来还会有更多的成果被发明出来造福人类。

(博文)