

吴大猷先生点评《经典力学》*

沈 惠 川¹⁾

(中国科学技术大学天文与应用物理系 合肥 230026)

摘 要 文章介绍了吴大猷先生对《经典力学》中一些基本问题的意见以及他的近期工作.吴先生认为,Hamilton原理是一个物理原则,而不仅仅是数学变分问题.他还对“齐次问题”和“猝变运动”作了讨论.

关键词 吴大猷,经典力学,Hamilton原理,齐次问题,猝变理论

SOME REMARKS ABOUT «CLASSICAL MECHANICS» MENTIONED BY PROFESSOR WU TA YOU

SHEN Hui Chuan

(Department of Astronomy and Applied Physics, University of Science and Technology of China, Hefei 230026)

Abstract The latest research works, of Professor Wu which are related to the homogeneous problem and Jumpulse theory and his opinions of some basic topics in classical mechanics are discussed in this article. Professor Wu considered Hamilton principle not just as a mathematical problem, but as a physics principle.

Key words Wu Ta you, Classical mechanics, Hamiltonian principle, Homogeneous problem, jumpulse theory

大约在1990年,席泽宗先生从台湾访问回来后曾到中国科学技术大学作过一次学术报告.在报告中席先生提到在台湾曾受到吴大猷先生接待的事.自此开始,我与吴先生就开始了长达十年的通信.吴先生赠书达十多本.1999年1月,吴先生提议我作为他的高级助手参加拟议中的“量子力学基础理论讨论班”(北京),并为他作一篇“评论”.没想到吴先生非但未能成行,反而住进了医院.我对吴先生的身体情况早有思想准备,但他逝世的消息对我来说仍如晴天霹雳.痛泣之下,谨以此文纪念吴大猷先生.

1 吴大猷先生在经典力学方面的论著

吴大猷先生在1998年12月17日给笔者的一封信中,说他“突然变成一古典物理者矣!”

吴先生在其所发表的120多篇科学论文和14本以上的学术著作中,唯一全面涉及经典力学的^[1],只有1977年由联经出版事业公司出版的《古典动力学》^[2]一书.此书1983年由科学出版社重新翻印出版.此外,在由中国大百科全书出版社根据吴先生1974年的《现代物理学基础的物理本质和哲学

本质》^[3]和1992年的《物理学:它的发展》^[4](此书前身是1988年的《物理学的性质、简史和哲学》^[5]和1989年的《物理学:它的发展和哲学》^[6])两书合译的《物理学的历史和哲学》^[7](1997)和另一本由社会科学文献出版社编译的《吴大猷科学哲学文集》^[8]中,也有个别章节谈到经典力学.

关于《古典动力学》一书的成书经过,吴先生在1996年9月10日给笔者的信中说:“那时自己学的古典力学,是我在1941(年)教杨振宁、黄昆等的资本,也是我1956—1957年在台湾教古典力学的讲义(英文的)的底子.这部讲义后来在台湾翻成中文的《古典动力学》.”“我在1956—1957年,我接受Prentice-Hall书局的邀请,签了一合约,答应为他们写一本关于散射,一本古典力学的书...但力学的书,我始终没有写,原因是那时Goldstein书^[9](第一版)刚出来,我觉得我心里计划着重Hamilton-Jacobi理论,在量子论发展的美丽部分,和Goldstein的差不多,又我实在所知不多;决定再写一本和Goldstein

* 2000-03-13收到初稿,2000-07-17修回

1) 法国Louis de Broglie基金会协联成员

观点相似的书。”信的最后一句似与前一句不能相连,但意思是清楚的。

至于吴先生是何时接触到古典力学的问题,在1996年10月13日的来信中,他对笔者说:“南开没有人教物理,我是‘蜀中无大将,廖化作先锋’。1929年秋开学了,只请来一位从美国 M. I. T 习电机工程硕士学位的卢先生教大学普通物理,只好由我教二年级的近代物理和力学。我自习,学了‘古典力学’, Sommerfeld, Born 的‘原子力学’英译本,热力学等;自己摸索,读些量子力学...没有人可请教。”“我自知很清楚:我缺乏创作能力;分析、悟解能力则较好;总算起来,是中上之资。”

1993年,台湾清华大学知道吴大猷先生尚保存着1941年他在昆明西南联大讲授经典力学的手写讲义数十页(英文稿),便向吴先生索讨,吴先生将此讲义稿作为纪念赠送给图书馆。台湾清华大学图书馆后来将此讲义稿影印了几十本。关于这本手稿^[10],吴大猷先生在1996年12月16日说:“1941年秋的那学期,开始时先编了一个‘目录’,排有章节,其实并非‘书稿’,是随课随写的,后来曾作了一些补充,故页数亦不甚连续。”吴先生将台湾清华大学出版的这本精美的影印手稿(有限本)送了些给当年在那班上的学生,如杨振宁、黄昆、李荫远等几个人。笔者有幸得到吴先生的惠赠。吴大猷先生的这本影印手稿的历史,其年代之久远甚于 Goldstein 的《经典力学》,它在经典力学发展史上的重要意义,已不仅仅是学术上的、教学上的了。

2 吴大猷先生关于 Hamilton 原理的论述

众所周知,经典力学是近代物理学的基础和根本,尤其是量子力学和统计力学的许多概念都来自于它。人们在量子力学或统计力学中发现问题,有时不得不从经典力学中寻找原因,因此对经典力学中的每一个条件、每一个步骤,甚至每一句话都必须进行深究。

Hamilton 原理是经典力学中的一个很重要的变分原理。通常的教科书(大概从 Goldstein 开始)中,在由 Hamilton 原理导出 Hamilton 正则方程时,标准步骤是首先将 Hamilton 原理由位形空间推广到相空间,称之为“相空间的 Hamilton 原理”(或“修正的 Hamilton 原理”)^[11, 12];个别作者^[13]未作说明也这么干了。然后再进行变分运算得到正则方程。对这一步骤许多人都习以为常、见怪不怪了。其实其中

隐藏着一个很深刻的物理学误区。

关于这一点,吴大猷先生在1996年9月10日给笔者的一封信中指出:“我在我的古典动力学书中(第201页)指出,关于由 Hamilton 原理导出正则方程部分,许多书都犯同一的错误,即在

$$\begin{aligned} \int_0^\tau L dt &= \int_0^\tau (\sum p_k \dot{q}_k - H) dt \\ &= \int_0^\tau [\sum (\dot{q}_k - \frac{\partial H}{\partial p_k}) \delta p_k \\ &\quad - \sum (p_k + \frac{\partial H}{\partial q_k}) \delta q_k] dt = 0 \end{aligned}$$

中, δq_k 乃任意的,故

$$\dot{p}_k = - \frac{\partial H}{\partial q_k};$$

但 δp_k 则不是任意的,但由于 Legendre 变换,

$$p_k = \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k}, \quad \dot{q}_k = \frac{\partial H}{\partial p_k}$$

故仍得

$$\dot{q}_k = \frac{\partial H}{\partial p_k}.$$

1980年,Goldstein 第二版出来,一位朋友送给我一本台湾翻印本,我试查看第8-5节(第362页至363页),果然 Goldstein 是错的! p 不能视为独立基本的!(Goldstein 不仅是抄人抄错的,他是根本了解错的!...Landau - Lifshitz 便不犯此错)。”

在同年9月23日的信中,吴先生又说到 δp 在

$$\int_0^\tau L dt = 0 \text{ 中不能是任意的问题。他说:“在 } \int_0^\tau L dt = 0 \text{ 命题中,我们是比较各不同途径的运动}$$

(在同一固定的时间中, $t_1 - t_0$ 从 q_k^0 到 q_k^1 的 $\int_0^\tau L dt$ 值),这是 Hamilton 原理本身命题的一部分! 不能忘记了! 因为这个条件(各途径须以同一时间 $t_1 - t_0$ 走完),故在一运动路径 $q_k + \delta q_k, p_k + \delta p_k$ 中的 $p_k + \delta p_k$ 不能任意;否则走 $p_k + \delta p_k$ 径和走 $q_k + \delta q_k$ 径由 q_k^0 到 q_k^1 的时间,则可以不同了。许多书的作者,大概根本不知道 Hamilton 原理本身有此部分! 把它当作数学变分问题看。须知 Hamilton 原理是一个物理(力学)的原则! ...在许多书中,彼此抄袭,根本未懂 Hamilton 原理的命题,可怜得很!”

在1996年10月9日的来信中,吴大猷先生再次指出:“关于 Hamilton 原理中之 δp 不能是任意的这一点,应是无疑的。许多人写书也好,教书也好,根本不记得命题是什么。各比较的路径,是须在同一时间 $t_1 - t_0$ 中完成的,故 δp 不能任意取。否则可以

物理

用很短的时间由 q_k^0 达到 q_k^1 了! Hamilton 原理不是一个单纯的变分问题,而是一个物理命题! 很少人知道这一点.(我在 1941 年在昆明教古典力学时的笔记即指出此点 ...)

吴大猷先生关于 Hamilton 原理的论述,其实在《古典力学》一书中就已写得清清楚楚,但很少有人关心国产货和由吴大猷先生这位中国人写的这段话.

必须指出的是,在由 Lagrange 方程导出正则方程时,没有上述物理概念上的问题.

3 吴大猷先生对“齐次问题”的评论

在 Goldstein 的《经典力学》(英文版第 360 页,第 372 页;中文版第 427 页,第 442 页)中,谈到了所谓“齐次问题”.齐次问题是针对下列 Lagrangian 和 Hamiltonian 之间的变换公式而言的:

$$L = p_k \frac{\partial H}{\partial p_k} - H, \quad (1)$$

$$H = q_k \frac{\partial L}{\partial q_k} - L. \quad (2)$$

齐次问题也是针对 Lagrange 方程而言的:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial q_k} - \frac{\partial L}{\partial q_k} = 0. \quad (3)$$

Rund 指出:“给定一个 Hamiltonian,即能得到相应的 Lagrangian ...,如果假设给定的 Hamiltonian 是动量的一次齐次函数,就不能得到一个等效的 Lagrangian”.他的意思是说,将 $H = p$ 代入(1)式,则有 $L = 0$ (同样,将 $L = q$ 代入(2)式,则有 $H = 0$). Dirac^[14]指出:“如果取 $L = q$,则 Lagrange 方程立即给出 $1 = 0$.于是,大家看到,我们并不能完全任意地选取 Lagrangian,我们必须对 Lagrangian 加上条件,使得 Lagrange 方程不含任何不自洽性.”

Goldstein 在提到“齐次问题”时说(中文版第 427 页):“Dirac 在 1933 年开始发表的许多论文中,提出了一种与众不同的方法,并已归纳在他的简要著作 Lectures on Quantum Mechanics(1964)中.”又说(中文版第 442 页):Dirac“概述了他提出的处理齐次问题的方法,并为此设想了弱约束和强约束的等级体系,略为懂得一点正则变换对于理解问题是有帮助的”.

关于“齐次问题”,笔者(也是吴大猷先生所同意的)认为有必要指出以下两点:

(1) Rund 和 Dirac 所指出的,是在量子场论中才会出现的问题;

(2) 在经典力学中,不可能只有位形而没有动能.关于这一点,在由 Newton 方程导出 Lagrange 方程的演绎过程中看得很清楚.至于符合相对论的 Lagrange 方程,则有另外的形式;这不会对 Dirac 型的(关于 p 是“齐次”的) Hamiltonian 构成威胁.或许,通过正则变换,可将经典力学中的 Hamiltonian 完全化成动量或动能,但这时的 Lagrangian 亦会有所变化(如变成 Routhian 等).因而,Goldstein 有意挑选出来的这个问题只是一个数学问题,而不是物理问题.

“化动量正则变换”和“化动能正则变换”已由笔者找到若干形式^[15].从中可以看出,所谓的“齐次问题”只是一种“佯谬”.在与“化动量正则变换”多少有关的另一个所谓“Landau 阻尼”问题中,笔者曾得到过吴大猷先生的指醒和指点.

吴先生在 1996 年 9 月 10 日来信中指出:“Goldstein 指出 Dirac 所写关于 Lectures on Quantum Mechanics 的小书,Dirac 之 Lectures on Quantum Mechanics 可谓和 Goldstein 书所讲的隔得很远.指引 Dirac 书毫不清楚,对读者毫无用处,有点感觉到这指引有点‘装门面’,不太诚实!”又说:“Goldstein 书内容庞杂而不精.我固然没有机会去‘用’它,但我亦不喜欢它”.

吴大猷先生说“只读名人名著,比如 Dirac”.吴先生与 Dirac 是朋友^[16].

4 吴大猷先生的“猝量”理论

“猝量”(jumpulse)理论是吴大猷先生于 1997 年偶然发现的.

吴先生在 1998 年 12 月 17 日给笔者的来信中说:“文中是 Newton 以来三百余年第一次有人分析猝变运动的细节.所引入的新名词 jumpulse ($\frac{dF}{dt}$) $\cdot \tau$ 乃源自冲量(impulse) (F) $\cdot \tau$,我乃完全用 Newton 力学,无新假设,但可能在实用上(如制动、高尔夫球手)有发展处”.在 1999 年 1 月 1 日的来信中又说:“引入猝量的观念,这确是在应用力学中有意义,也可能是三百年来 Newton 力学系统中可作补充意义的观念.”

套用 Newton 力学中冲量的概念

$$I = \int_0^\tau m \ddot{x} dt = m \dot{x} |_{\tau} - m \dot{x} |_0, \quad (4)$$

吴大猷先生引入“猝量”的概念:

$$J = \int_0^{\tau} m \ddot{x} dt = m \dot{x}|_{\tau} - m \dot{x}|_0. \quad (5)$$

在 Newton 力学中,当

$$\bar{F} = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} F dt \quad (6)$$

时,冲量

$$I = \bar{F} \cdot \tau; \quad (7)$$

而在“猝量”理论中,当

$$\left| \frac{dF}{dt} \right| = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} \frac{dF}{dt} dt \quad (8)$$

时,“猝量”

$$J = \left| \frac{dF}{dt} \right| \cdot \tau. \quad (9)$$

将(5)式和(9)式联立,便建立起“猝量”理论.进一步,笔者设想,可仿照由 Newton 方程导出 Lagrange 方程,由“猝量”方程导出相应的 Euler-Lagrange 方程.

为了讨论“猝量”理论的应用,吴先生在一篇论文^[17]中说:“利用强力弹簧制成的一个牢固的钢性制动器,使一个在轨道上快速运动物体在一较短的路程(比如说,100ft)中制动至停止.可观察到运动物体刚停止时,弹簧是被压缩的,继续压缩弹簧,则反作用力将增大,于是力 F 具有一个大的 $\frac{dF}{dt}$.在碰撞过程中,运动物体的猝量 $J = \left(\frac{dF}{dt} \right) \cdot \tau$ 将变为它的加速度...直至被制动”.

吴先生为这段话所作的图示如下(见图1):

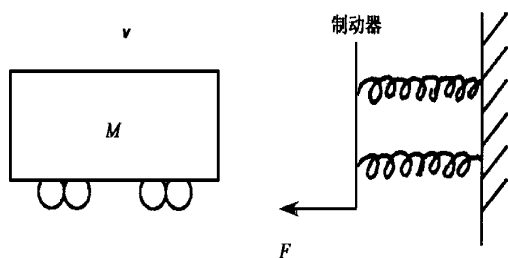


图1 吴大猷先生为“猝量”理论的应用所绘制的示意图

吴大猷先生本来打算于1999年夏天在北京召开一个有关“猝量”理论的讨论会.可惜的是,他因病于1999年春季住进了医院.他的宏伟计划也就搁置起来了.本文开头那句关于“古典物理者矣”的话,就是针对此宏伟计划而言的.

后 记

吴大猷先生是我尊敬的老师.尽管作为后辈我没有听过他讲课,但我一直在信中尊称他为“吴老

师”.从1990年7月7日至1999年1月1日,在他给我的12封来信和他分四五批寄来的十几本书中,我从吴老师那里学到了物理,学会了做人,学会了思考.

吴老师在1999年1月1日的来信中,邀我作为他的助手,为拟议中的“量子力学基础理论讨论班”写一篇综述评论.当我正为此事筹划之时,突然得知吴老师病重住院的消息,因而对年事已高的吴老师的身体状况,我早有心理准备.我在以后给他的两三封信中,一直为他祝福.尽管如此,在乍听到吴老师于3月4日逝世的报道时,我仍然无法接受.没有想到1999年1月1日的来信,竟成了他的绝笔.

在对吴老师的身体状况早有心理准备的前两个月前,我写下了本文,并计划还有后续文章“吴大猷先生评点《量子力学》”和“吴大猷先生谈中国的科学和技术”问世.先将本文送出发表,以遥祭我所十分思念的吴大猷老师.

参 考 文 献

- [1] 沈惠川.自然杂志,1992,15(10):784.[SHEN Hui - Chuan. Nature Journal, 1992, 15(10):784(in Chinese)]
- [2] Wu Ta - You. Classical Mechanics:Langrangian and Hamiltonian Dynamics. Taipei:Leir King Publ.Co.,1977.
- [3] Wu Ta You, Physical and Philosophical Nature of the Foundation of Modern Physics. Taipei:Leir King Publ.Co.,1974.
- [4] Wu Ta You, Physics:Its Development. Taipei:Academia Sinica, 1992.
- [5] Wu Ta You. Nature, Development and Philosophy of Physics. Taipei:Academia Sinica 1988.
- [6] Wu Ta You. Physics:Its Development and Philosophy. Taipei:Academia Sinica 1989.
- [7] 吴大猷.物理学的历史和哲学.北京:中国大百科全书出版社,1997[Wu Ta You. History and Philosophy of Physics, China Great Encyclopedia, 1997(in Chinese)]
- [8] 吴大猷,吴大猷科学哲学文集.北京:社会科学文献出版社,1996[Wu Ta - You. Science-Philosophy Collected Works of Professor Wu Ta You. Beijing:Press of Social Science Document, 1996(in Chinese)]
- [9] Goldstein H. Classical Mechanics(2nd ed.). New York: Addison Wesley Publ. Co., 1980.
- [10] Wu Ta You. Original Manuscript of Professor Wu Ta You: Classical Dynamics. Hsin-Chu: National Tsing Hua Univ. Press,1994.
- [11] 苏云荪.理论力学.北京:高等教育出版社,1990[SU Yun-Sun, Theoretical Mechanics, Beijing: High-education Press, 1990(in Chinese)]
- [12] 秦家桦.经典力学.合肥:中国科学技术大学出版社,1993. [QIN Jia Hua. Classical Mechanics, Hefei: Press of Univ. of Sci. and Tech. of China, 1993(in Chinese)]

(下转第739页)