

漫谈经济物理学

黄吉平

一、导言

“经济物理学”的英文单词是 *econophysics*, 这个词是美国科学院院士斯坦利 (H.E.Stanley) 教授在 20 世纪 90 年代中期提出的。大体说来, 经济物理学就是运用物理学中发展的方法、模型、思想去讨论、分析、理解经济或金融问题。经济物理学自诞生之日起, 就受到了人们的极大期待, ——这里的“人们”也包括传统的经济学家 (或金融学家), 国际上两家著名的综合性学术期刊《自然》(*Nature*) 和《美国国家科学院院刊》(*PNAS*) 已经刊发过不少经济物理学方面的研究论文。可是经过十几年的发展, 经济物理学在经济学家眼中又是什么模样的呢? 大体说来, 经济学家认为: 经济物理学正在对计量金融的一些应用领域产生一些影响; 经济物理学家已经成功发展了一些模型用于解释金融市场中的价格波动; 经济物理学的研究成果多半发表在物理或统计力学方面的期刊, 而非发表在主流经济学期刊, 主流经济学家对经济物理学并无显著印象。此外, 就这个问题, 我自己也与几位经济学家交流过, 获悉他们还有一些更具体的负面印象, 他们认为经济物理学家常常不用经济学家熟悉的语言和方法来描述和处理经济问题, 还有, 他们觉得, 在可预见的将来, 经济物理学家对经济学的研究无法建立类似于牛顿力学那样完整的理论体系。

无疑, 对经济物理学家而言, 情况不容乐观, 还有很长的路要走。

为此, 经济物理学家迫切需要运用经济学知识来武装自己, 并且, 需要研究那些经济学家所关心的问题。如果经济物理学家没有经济学的知识, 而凭借对经济学的一知半解就做研究, 很可能会闹笑话的。例如: 简单重复经济学中公认的成果而不自知; 至于研究经济学家关心的课题, 这个可能应该成为经济物理学可持续发展的重要方向。当然, 也并非尽皆如此。这里试举一例: 经济物理学家非常关心经济数据中蕴含的标度律, 而经济学家并不甚关心, 可是这些标度律有着丰富的物理内涵, 其意义之一就是拓宽了传统的统计物理学的研究范畴,

把已有的统计物理学中的一些物理图像推广到经济或金融系统。——此举显然是带给传统统计物理学家的一个福音。对此, 统计物理学的奠基人玻尔兹曼老先生若能复生, 我相信, 他老人家看到这些成就亦会欣慰万分、并对自己通过自杀离开人世而后悔不迭得捶胸顿足。

此外, 也值得一提的是, 很多主流经济学期刊要求投稿人缴纳审稿费, ——即便论文最终被拒这个审稿费也是要交的, 而物理类的期刊从不作此要求, 物理学家已经习惯了不缴纳审稿费的审稿模式了。我认为, 这也可能是导致经济物理学家没有把更多的成果发表到主流经济学期刊的原因之一。当然, 这仅仅是个猜测, 想来物理学家也“不差钱”, 投稿给物理类期刊也许仅仅是习惯使然。但, 欲使经济物理学成果得到更多的关注, 经济物理学家的这个习惯似乎有做适度调整的的必要。

对比经济学与物理学, 我们可以这么说, 自 20 世纪起, 人类的生活已经被物理学彻底改变了, 例如计算机、激光等。可是, 经济学带给人们的是什么呢? 对比物理学的辉煌, 似乎可以这么说, 作为一门传统的学科, 经济学欲臻成熟佳境, 也还有很长的路要走, 在此过程中, 吸收其他学科 (例如物理学) 中成熟的、可行的经验、方法等, 显得颇有必要。

二、经济物理学的方法论

1. 传统经济学的研究范式

传统经济学的研究范式中多的是定性研究, 少的是定量研究。当然, 不可否认, 在金融或计量经济学中, 也有定量研究。但是, 作为经济学中那些支柱性的研究成果通常都是一些透过现象看“本质”的定性论述, 可是, 也正是这些论述支配着国家的宏观政策走向。下面试着拿市场中“看不见的手”为例来简要说明之。

经济学的鼻祖亚当·斯密 (Adam Smith) 230 多年前就在《国富论》中指出: 自由市场表面看似混乱而毫无拘束, 实际上却是由一双所谓的“看不见的手” (*invisible hand*) 所指引, 引导市场生产出正确的产品数量和种类。人们用这只“看不见的手”

可以成功解释许多现象，并据此得出结论：在“看不见的手”的影响下，市场可以有序运行，政府不必做任何事情。可是1929~1932年期间的经济大萧条导致经济学家不得不重新审视“看不见的手”了，他们认为，“看不见的手”要起作用，必须满足特定的条件，欲满足这些条件，政府必需做适当的宏观调控。可是，2008年起的金融危机再次显示，宏观调控也非万全之举。

2. 传统物理学和经济物理学的研究范式

传统物理学的研究范式是：

第一步，实验研究——开展实验，得到规律；

第二步，理论研究——基于解析理论和（或）计算机模拟建模，得出唯象或基础理论；

第三步，比较理论与实验，验证理论；

第四步，应用。

当然，具体情况具体分析。这里的“第一步”和“第二步”并无严格的先后关系，它们可对调或并列。经济物理学家主要从物理学的视角来审视经济问题。鉴于已有的经济学成就并不令人满意（例如：无法准确预测周而复始的经济危机等），物理学领域已经取得的丰功伟绩使人们有理由期待物理学的研究范式可能对经济学的研究大有裨益。为此，人们在从事经济物理学研究时更倾向于遵守传统物理学的研究范式，——这也从客观上提高了经济物理学成为物理学一级学科下的二级学科的可能。但是，考虑到经济物理学研究对象与传统物理学关注的对象迥异，这里把经济物理学的研究范式归纳如下：

第一步，实验研究——基于既有的经济或金融数据，分析数据，得到规律；开展可控实验，得到规律；

第二步，理论研究——基于解析理论和（或）计算机模拟建模，得出唯象或基础理论；

第三步，比较理论与实验，验证理论；

第四步，应用（或提出政策建议）。

同样，这里“第一步”与“第二步”的先后顺序并不严格。至此，可以给出从事经济物理学研究的三种方法了。

3. 经济物理学的三种研究方法

方法一：统计分析 经济物理学研究范式中提及的基于既有数据的统计分析，是经济物理研究过程中常用的方法。国际上，使用这种方法的课题组

首推当代经济物理之父斯坦利。20世纪90年代起，斯坦利及其合作者就开始广泛地把统计物理中各种成熟的研究方法用于分析经济或金融市场中的海量数据。之后，引起了“统计物理分析”经济（金融）数据的空前热潮。国内学者，如华东理工大学周炜星教授等，在此亦成果赫赫。鉴于被分析的这些经济（金融）数据都源于现实市场，所以，有人把这种方法看作是实验研究，这里“统计方法”本身可以看作是“实验仪器”，而“各种各样的经济或金融数据”则是实验样品。但，真正意义上的“实验”应该是指通过限定某些参量，并调节另外一些参量，从而获得结果的研究方法，物理学家在实验室做的实验当属此类，也就是说，真正的“实验”应该具有“可控性”。显然，“统计分析”并非“可控实验”（controlled experiments），或并非物理学家眼中真正意义上的“实验”。这里值得提及的是，经济物理学家基于统计物理的分析与数学家的统计分析方法有着比较显著的区别。大体说来，物理学家更多关注的则是金融（经济）系统整体的普适性（例如标度律等）。其实，这个区别亦可从“统计物理”（物理学）与“统计学”（数学/统计学）之间的差别来理解之。

代表性研究成果：股票价格的“胖尾”分布（图1）可被视为统计分析方面的一个代表成果。经济学家通常认为股票价格变动遵循的是无规（或高斯）分布，与“胖尾”分布相比，无规分布忽略了股票市场中大的起伏；而事实上，正是这些大的起伏导致了整个金融市场，甚至整个国家的危机。因此，这个分布被揭示后，相关的经济学模型，也需要做修正了。这里值得一提的是，在20世纪60年代，其实已经有经济学家[J. Business 36,394(1963)]提出这个胖尾分布，并认为该分布是列维（Levy）稳定分布，经济物理学家在此的新贡献主要是揭示了这里的分布规律与之前发现的列维稳定分布有所区别，特别是在小概率事件的发生方面，显著偏离了列维稳定分布。

方法二：建模 建模分为基于行为人的建模与非基于行为人的建模。计量经济学家也有不少基于行为人模拟的方法，但是，他们的模拟方法与经济物理中行为人模拟的显著不同在于，计量经济学家更关注的是典型事件（“个性”），经济物理学家更强调的则是不同系统的普适性（“共性”），例如相变、标度律等。至于非基于行为人的建模，例如一些价

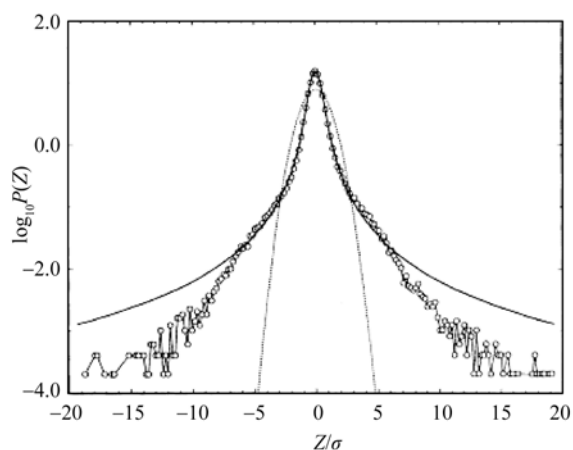


图1 1984年1月~1989年12月6年间高频标准普尔500指数(Standard & Poors' 500 index)的概率密度函数与高斯分布(虚线)和列维稳定分布(实线)的比较。数据尾部显著偏离高斯分布,体现出了“胖尾”现象。此图出自 *Nature* 376,46(1995)

格动力学建模就属此类。

代表性研究成果:从解析理论方面看,Black-Scholes 期权定价公式是一个典型成果。这个公式起源于物理学中著名的布朗运动。因为这个期权定价公式,默顿(R. C. Merton)和斯科尔斯(M. Scholes)在1997年分享了当年的诺贝尔经济学奖。特别一提,非常遗憾,布莱克(F. Black)于1995年已经过世,未能得到此奖,——因为该奖只发给活着的人。可以这么说,正是因为这个公式,使得很多物理学专业毕业的学生获得了在金融学领域发挥光和热的机会。

从计算机模拟方面看,当以瑞士弗里堡大学的华人经济物理学家张翼成教授与合作者在1997年提出“少数派博弈”(minority game)的模型为代表,这个模型随后风靡至今,并得到了显著发展。发展过程中的代表人物有香港中文大学许伯铭教授等人,我课题组2009年在此领域也有新发展,建立了“市场导向资源分配博弈”(图2)。少数派博弈模型及其衍生版本可以用于解释不少金融市场中的程式化事实,——原因不复杂,因为市场是人构成的,分析单个行为人的行为理当最接近市场的本质。

方法三:可控实验 姑且不论法律不允许任何人人为地操控市场,客观上,源于实际金融市场的复杂性,任何人都无法基于真正的金融市场来做实验研究的,——这里的“实验”特指物理学家眼中的可以调控的实验。同样,与行为经济学中真人实验不同的是,行为经济学家关心的是具体特例,而



图2 市场导向资源分配博弈的示意图。一群人选择进入房间1或房间2,这两个房间内分别存放有 M_1 和 M_2 数额的人民币。选择进入房间1的 N_1 人将平分 M_1 ,即每人可得人民币的数额是 M_1/N_1 ;同样,选择房间2的 N_2 人,每人可得人民币的数额是 M_2/N_2 。如果 $M_1/N_1 > M_2/N_2$,则此轮房间1获胜。与实际市场相对应,这里的“人”可以是自然人,也可以是机构投资者,而这里不同的房间则代表不同的投资渠道,其中 M_1 和 M_2 可视为利润。(图中卡通人物、房屋等构成要素源自网络,它们的版权归原作者所有。)

经济物理学家在可控实验中更关注的仍旧是系统内蕴含的普适规律。

代表性研究成果:我们[PNAS 106,8423(2009)]聚焦于非均匀分布的资源分配问题,开展了一系列真人可控实验(表1)。结果发现:即使完全没有实验参加者之间的直接交涉,也完全没有外部力量对参加者进行协调,实验中的虚拟资源的配置还是达到了有效状态,即“看不见的手”起作用了。然后,在“少数派博弈”模型的基础上构建了“市场导向资源分配博弈”(图2)模型。新模型很好地解释了实验结果。与此同时,通过模拟,我们发现“看不见的手”起作用的充分条件是:资源竞争的参与者所持有的策略必须具备足够的多样性,对分布于各处的资源的偏好能随环境演化而自动调整;市场参与者的决策能力必须与环境的复杂程度相匹配。更为有趣的是,在我们的模拟结果中存在多个相变过程,而正是在这些相变的临界点附近“看不见的手”的调节功效可以被发挥到极致,此时的资源分配市场呈现出配置有效、波动稳定、波动方向不可预测的状态。我们的部分实验结论随后被Bohorquez等人用于独立佐证他们论文[Nature 462,911(2009)]中关于“信心阈值”这一基本理论基础的可靠性。

表 1

| 组(人数) | 轮数 | M_1 | M_2 | $\langle N_1 \rangle$ | $\langle N_2 \rangle$ |
|---------|-------|-------|-------|-----------------------|-----------------------|
| G(N=10) | 1~5 | 3 | 1 | 5.4 | 4.6 |
| G(N=10) | 6~10 | 3 | 1 | 8.2 | 1.8 |
| G(N=10) | 11~15 | 3 | 1 | 7 | 3 |
| G(N=10) | 16~20 | 3 | 1 | 7 | 3 |
| G(N=10) | 21~25 | 1 | 3 | 7.8 | 2.2 |
| G(N=10) | 26~30 | 1 | 3 | 4.2 | 5.8 |
| G(N=10) | 31~35 | 1 | 3 | 2.8 | 7.2 |
| G(N=10) | 36~40 | 1 | 3 | 2.6 | 7.4 |
| G(N=10) | 41~45 | 1 | 3 | 2.4 | 7.6 |

第 G 组 10 位玩家 (皆是复旦大学的学生) 参加图 2 所示“市场导向资源分配博弈”的实验数据。此时, 资源比 M_1/M_2 和每轮的人数比 N_1/N_2 皆不公布给这些玩家, 他们获得的外界信息仅仅是“房间 1(或房间 2)赢”。实验过程中, 玩家之间不允许有任何形式的交流。从这个表格可以看出, 人数比与资源比趋于相等, 即似乎其中有只“看不见的手”在起着优化资源配置的作用。即便在第 21 轮, 实验组织者悄悄改变了资源比, 其后, 人数比与资源比仍旧能够趋于相等。

4. 一个争议颇多的话题: 经济物理学赖以成立的可能的物理理论基础

众所周知, 传统物理学得以成立的理论基础就是俗称的“四大力学”, 即统计力学 (含热力学)、经典力学、量子力学和电动力学。

经济物理学是不是也可能以这四大力学为其理论基础呢?

欲回答该问题, 为便于理解起见, 这里先从“经济市场” (经济物理学所关注的对象) 与“复杂流体”的表观相似性出发, 做个比较。关于复杂流体, 这里需要先补充几句, 它是传统物理学中软凝聚态物理所关注的系统, 根据 1991 年诺贝尔物理学奖获得者德热纳 (P. G. de Gennes) 的著作 [Rev. Mod. Phys. 64,645(1992)], 复杂流体主要包括以下四种, 即液晶、高分子、胶体和表面活性剂。

若从研究对象上看, “经济市场” 中的行为人 (散户或机构投资者) 构成了市场中的最小功能单元。所以, 从表观上看, “经济市场” 似乎可被视为“复杂流体” 之一种——一种非传统意义上的“复杂流体”。大体说来: 颗粒悬浮液 (“复杂流体” 中的一个典型系统) 中含有大量的固体颗粒, 这些颗粒在外电场或磁场的影响下, 源于自身极化之特性, 可形成链状或柱状结构 (图 3), 从而使得系统内的颗粒分布从无序到有序。

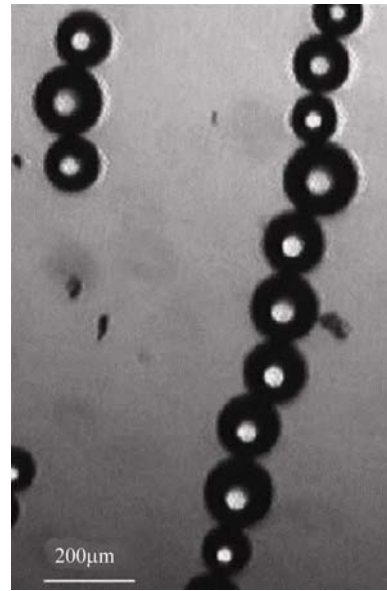


图 3 外电场导致介电颗粒形成链状结构
此实验图片出自 Chem.Phys.Lett. 423,165 (2006)

股票市场 (经济或金融市场之一) 中含有大量的行为人, 他们在外场 (此处“外场” 可以视为国家发布的宏观政策等外界信息流) 的影响下, 源于自身趋利避害之特性, 在某一时期内可形成“买”或“卖” 占据主导地位的状态, 从而使得系统内行为人的行为从无序 (买方与卖方各占 50%) 转变为有序 (买方或卖方占据主导地位)。

至此, 从研究对象上看, 似乎可以这么说, “经济市场” 是一种非传统意义上的“复杂流体”。

然而, 分析“经济市场” 和“复杂流体” 的具体方法尚不尽相同, 人们迄今还无法为两者找出完全意义上或定量上的一致性。曼特尼亚 (R. N. Mantegna) 和斯坦利的经典著作《经济物理学导论》 (中译本) 的第 11 章的标题是《金融市场和湍流》。在那里, 他们声明“我们的目标是论述这两个学科之间的交叉研究是很有用的, 而不是论述根据湍流进行类推在定量研究中是正确的”。他们撰写的第 11 章很好地回答了他们自己提出的一个问题, 即“我们对湍流的研究能否帮助我们研究金融市场上价格的变动呢”。答案是肯定的——正如他们最终的研究结论所显示的。

我想, 人们不应该只满足于“经济市场” 与“复杂流体” 统计规律上的部分定性一致 (而这类一致正是曼特尼亚和斯坦利在他们著作的第 11 章中所关心的!), 我在上文中为两者建立联系的出发点是

建立在这两类系统的微观结构的相似性上。显然，这样的类比可以启发我们做些新的思考：这两类系统中的微观动力学机制是否也有其相似性呢？

针对这个问题，根据上面的简单类比分析（颗粒悬浮液与股票市场），我的答案是：有。换言之，我这里建议我们从构成经济市场的行为人的角度出发，类比传统复杂流体（如颗粒悬浮液等）中的“颗粒们”，去构建我们的基于行为人的模型。我想，这该值得我们深入探讨。从操作手法上看，处理传统复杂流体时常用到的分子动力学模拟方法显然可以为我们构建新的基于行为人的模拟提供有价值的参考。但是，这个任务，任重道远！

我在上文中试图给出“复杂流体”和“经济市场”之间表观上的联系，并试图给出我的观点：“经济市场”可以视为“复杂流体”之一种。但是，前面的内容更多的是现象的论述，作为科学，我们有必要透过现象看本质，较为深入地论述一下两者之间的联系。为此，我这里尝试从这两个系统赖以成立的理论基础做比较，谈下去。

“复杂流体”作为传统物理学所关注的系统之一，它显然以上文提及的“四大力学”为其理论基础，即：统计力学（含热力学）、经典力学、量子力学和电动力学。关于这些，我这里不必过多论述，因为它们早被大量的实验证实了。当然，这里有必要一提的是，对于“复杂流体”，很多时候，人们在研究它们的物理性质时，并不考虑微观的量子效应，这并非说它不满足“量子力学”，仅仅是因为所考虑的性质中，“量子效应”不显著，故而不予考虑。

那么，表象上与“复杂流体”类似的“经济市场”是否也以类似的“四大力学”为其理论基础呢？作为经济物理学领域的研究人员，提出这个问题应该是非常有意义的。这个问题若能讨论清楚，那么我们就为“‘经济市场’是否果真是‘复杂流体’之一种”这个命题找到了科学的答案；更为重要的是，若能清楚回答这个问题，可能有助于人们效仿传统物理学，按图索骥，深入开展经济物理方面的研究工作。对此，我个人的看法是这样的：“统计力学”在“经济市场”中功效显著，这个已经是不争的事实。自20世纪90年代初以来，斯坦利教授及其合作者已经在此领域做出卓越贡献。“统计力学”中的一些标度、相变等图像，在“经济市场”中皆已被完美地揭示出来，这些对理解实际市场有着举

足轻重的意义。故而，我们可以很有信心地说：“统计力学”是“经济市场”的理论基础之一。

“经典力学”在“经济市场”中的贡献，也早为人知。许多传统经济学理论都是基于“供求平衡”提出的，而“供求平衡”正源于“经典力学”中的“受力平衡”。考虑到“经济市场”中“看不见的手”的作用，人们认为，正是这只手引导着市场实现了“供求平衡”。但是，这个“引导力”显然不是“经典力学”中牛顿的三个定律能够简单描述的，因为这个“引导力”是一种“等效力”，它是各种相关“作用”的“合力”，有点类似于“经典力学”中力的合成与分解。从等效的意义上看，我们似乎也可以说，“经典力学”也是“经济市场”成立的理论基础之一。

“量子力学”在“经济市场”中的可能功效，已经有大量的研究。这些研究得到一些学者的狂热追捧，同时，也得到不少学者的无情抨击。类似的争论，在一门新学科诞生之初是非常常见的，不足为怪，就是“量子力学”本身也有此遭遇，“量子力学”诞生之初的不少争议已经构成了科学史上浓墨重彩的、妙趣横生的一页，例如玻尔与爱因斯坦两位大牛之间近40年的争辩等。我认为，当前这些横亘于“量子力学”与“经济市场”之间的争论，并不妨碍“量子力学”成为“经济市场”得以运行的可能的物理基础之一。——对如此年轻的一个研究方向，我又怎么忍心随便否定“她”、扼杀“她”于摇篮之中呢？若无坚如磐石的否定证据，当前我唯有对“她”网开一面。在这个方面，我期望看到更多的争论，这些争论最终可能使得“量子力学”光明正大地登上“经济市场”的殿堂，也可能把“量子力学”彻底驱离“经济市场”的大舞台。

“电动力学”在“经济市场”中的功效，通常不被人注意，至少没有系统地注意过。我们知道，“电动力学”中最重要的物理图像之一就是“场”（如：电场）。处于“场”中的物体，场对它的作用与它对场的反作用，皆可通过麦克斯韦方程组，结合适当的边界条件研究之。其实，研究“经济市场”时，外部信息对“行为人”的影响亦可视为一种“场”的作用，“行为人”在这种“外场”的作用下，调整策略，开展相关的经济活动，其结果亦对“外场”有反作用。当然，这里我们不能简单地应用麦克斯韦方程组来研究，但是，这些思路为人们构建基于

行为人的模拟，开展可控实验研究，确实大有裨益，——尽管这些思路还不成熟。鉴此，我同样认为“电动力学”可以成为“经济市场”得以运行的物理基础之一。当然，倘若我这里的结论非常坚实，仍需更多实质性的研究成果横空出世！

因为物理学家系统地介入经济市场的研究，也就十几年时间，所以，作为一门年轻的交叉学科，亟需进一步的发展。尽管上文阐述了“经济市场”中可能存在的理论基础——“四大力学”，这绝不意味着“四大力学”中所有传统物理规律皆对研究经济市场适用，或可原封不动地照搬套用。需知，我这里比较“经济市场”与“复杂流体”，这绝非目的，仅是期望两者之间建立关系，以便通过类比等研究手法，为更多的突破做好催生的工作。也许，憧憬如斯，实与痴人说梦无异？这里，还得一提的是，这些类比的目的也仅仅是论述“经济物理”与“复杂流体”之间的交叉研究是很有价值的，而不是论述根据“复杂流体”进行类推在定量研究中是正确的。故而，期待这些类比有助于人们探索出更多的、有意义的新课题。也正因为这些目的的客观存在，所以，倘若有人进一步问我：为什么“经济市场”属于“复杂流体”，而不属于“复杂非流体”（或其他）？对于这样的问题，我暂时无法回答，因为区分“复杂流体”和“复杂非流体”与此处目的之间的关系并不大。换言之，只要我们愿意，我们可以说“经济市场”是任何东西，但这么说的唯一前提应该是：是否已经或即将有助正确理解经济市场？如果答案是肯定的，那我们就有继续下去的理由。最后，话说回头，即便人们不把“经济市场”归入“复杂流体”中思考、研究（从研究的多样性角度看，这样的行为理当被允许），但是，它们二者都隶属于“复杂系统”这个大家庭，这却是众所周知的事实——简单说来，复杂系统就是指介于规则系统与无规系统之间的系统。据此，研究复杂系统的一些思想、方法等也许还是可以为两者的互通提供便利的……

三、能否准确预测是检验经济物理学理论正确与否的唯一判据

1976年诺贝尔经济学奖得主弗里德曼（M. Friedman）在他的《实证经济学的方法论》（*The Methodology of Positive Economics*）中给出了检验经济学理论正确与否的判据是：能否准确预测。因此，

要想使得经济物理学理论能够为传统经济学家心悦诚服地接受，能否准确预测也应是经济物理学理论正确与否的唯一判据。但是，这里值得提及的是，正如弗里德曼指出的那样，这里的预测并非单纯预测未来即将发生的事情，还包括预测过去已经发生的事情，当然，前提条件是对这件事情所作的观察尚未进行，或者是虽然对这一事情的观察已经作出，但是，进行预测的人并不知晓。

四、经济物理学的终极目标是什么

这里我不想、也不能脱离现有的基础，过于夸大经济物理学对经济学发展的重要性。物理学家研究自然界时更多地是为了满足自身的好奇，我想，对人类社会（例如经济市场）的研究也仅仅是物理学家满足自身好奇的一个崭新的场所。物理学家为了满足自身的好奇，深入研究了自然界之后的副产品是极大地丰富了人类的物质文化生活。当物理学家再次为了满足好奇，把目光投向人类社会时，显然，人们有理由期待更多。但是，在这些期待被真正兑现之前，任何猜测皆可能沦为不切实际的狂想。因此，当今的经济物理学家唯有埋头苦干、踏踏实实做研究。其实，在对经济现象共同的兴趣以及经济问题对人类的重要性面前，经济学家和物理学家之间根本就不应该有门户之争。需知，应用是随着一门学科的不断壮大而拓展开来的，当前经济物理学这门学科尚处于起步阶段，任何人若以未知的应用价值来揣度这门学科本身的价值，尚言之过早。

五、结束语

经济物理学是一门正在发展的学科，这门学科还很年轻，距离成熟还很遥远。正如1957年诺贝尔物理学奖获得者杨振宁先生在香港中文大学作报告时曾经说过的，年轻人在选择研究课题时，最好在那些正在成长的方向中选择，与一个研究方向一起成长，通常是在科学的殿堂取得成功的一个捷径。经济物理学，正是这样的一个学科，一个适合年轻人接受挑战的新学科。所幸的是，国内在此领域的研究与国际水平相比，并不落后。除了我在复旦大学的课题组之外，当前国内以经济物理为主要研究方向的课题组还有（以姓名笔画为序）：北京师范大学王有贵教授课题组、中国科技大学汪秉宏教授课题组、北京师范大学狄增如教授课题组、浙江大学郑波教授课题组以及华东理工大学周炜星教授课题组等。

身临其境 无拘无束——自由立体显示技术

严 超

从 2009 年底立体电影《阿凡达》在全球同步上映以来,人们对立体影像的热情被迅速点燃,《诸神之战》、《爱丽丝梦游仙境》等各类立体影视作品相继推出;美国男子职业篮球联赛(NBA)、南非世界杯以及多项体育赛事也纷纷采用立体转播以吸引眼球;中外各大显示器制造商如夏普、三星、索尼、维度(DTI)、海信、TCL 等更是大力推出各种可以播放立体影像的显示终端,甚至各大手机厂商也纷纷开始研制立体手机。伴随着与立体相关的显示终端制造、片源设计、信号传输等一系列产业的迅速兴起,人们不禁惊呼:属于立体显示的时代终于到来了。

其实早在 16 世纪,人们就已经开始借助彩色滤光眼镜观看立体图像,后来偏振眼镜、互补色眼镜、光电开关眼镜和立体视头盔相继亮相,由于具有一定的立体视觉稳定度,直到现在很多电影院和游乐场仍然大量使用这些工具进行立体影像的播放,目前市面上已经推出的大多数立体显示器也属于需要眼镜等工具辅助的辅助式立体显示器。但是由于这些辅助工具的使用人们观看立体影像的舒适度会有很大程度的降低,并且一些场合也不适用这些辅助工具,如:战场侦察与通信、飞行员驾驶飞机、原先已戴近视镜的观看者,等等。于是,裸眼观看立体显示成为立体显示技术发展的必然方向。自由立体显示技术、多视点立体显示技术、体立体显示技术、全息立体显示技术等多种裸视立体技术也因此被不

断催生和推动。截止到现在,全球很多高校、企业以及科研单位,如日本东京大学、早稻田大学、美国纽约大学、麻省理工学院、英国剑桥大学、德国德累斯顿大学、韩国汉城大学、台湾工业技术研究院、美国维度公司、日本夏普公司、韩国三星公司、中国 TCL 公司等纷纷展开对这些技术的研究。

上述几种裸视立体显示技术中,多视点立体显示技术为保证观看视点需同时显示四幅或更多幅从不同角度拍摄的视图,因此会对立体片源的压缩、传输、解压缩等工作带来较大压力;体立体显示技术与全息立体显示技术则相对不够成熟;目前,自由立体显示技术同一时刻只需要两幅视图且比较成熟。下面,将从原理、特点、用途以及国内外研究现状几个方面阐述这一技术。

一、被动式立体显示技术的原理

裸眼立体显示的实现主要有三种途径:图像重建、体素重建以及视差立体。由于人眼在空间中位置不同,相互间隔约 65mm 的瞳距,同一观看物体在两眼视网膜上所成的像会略有差异,这就是视差。视差中包含着视场内所有点的纵深信息,通过一系列后续的生理活动,这些纵深信息被恢复出来,于是人们就会感觉到观看到的物体是立体的了。图 1 是视差立体的原理图。

其中黑白相间的方格分别是屏幕上的奇偶列像素(行像素同理),同一时刻,奇偶列像素分别显示左右两幅视图,利用一定的装置使左眼只看到奇列



致谢:在撰写此文的过程中,先后收到组内不少同学的建议、批评和修改,在此一并致以最衷心的感谢,这些同学是:王玮、魏建榕、赵臻、梁源、宋坤钰、郑文智和杨光。

作者简介

黄吉平,复旦大学物理系教授。1977 年生于江苏姜堰。主要在复杂流体与经济物理领域开展研究工作。迄今已经在《物理报道》(Physics Reports)、《美国国家科学院院刊》(PNAS)、《物理评论快报》(Physical

Review Letters)等影响因子大于 3 的国际学术期刊发表论文 30 余篇。一些研究成果已被英国《新科学家》(New Scientist)、美国《科学新闻》(Science News)、美国《光子学谱》(Photonics Spectra)专题报道。Email 地址:



jphuang@fudan.edu.cn ; 课题组网页: <http://www.physics.fudan.edu.cn/tps/people/jphuang/>; 个人博客: <http://blog.sina.com.cn/jiping1977>。