

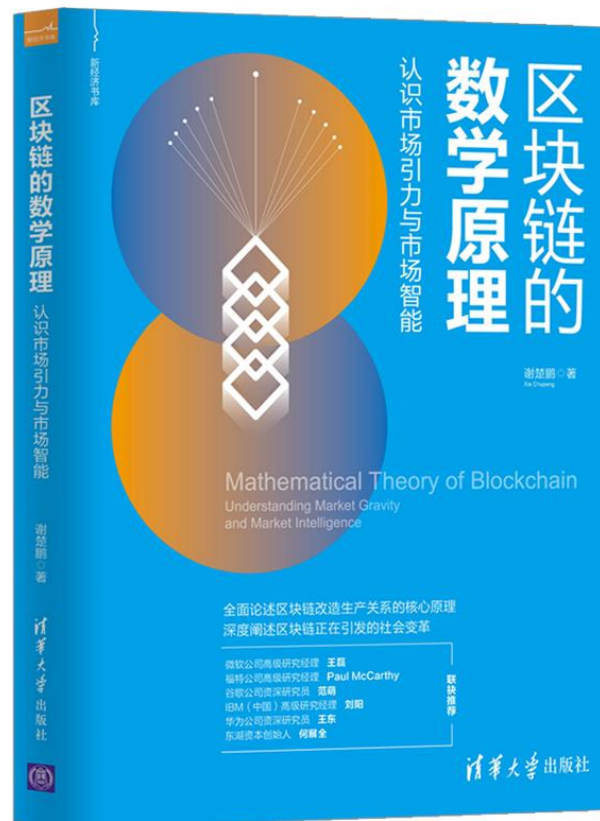
# 区块链的数学原理——认识市场引力与市场智能

谢楚鹏 著

清华大学出版社 2019 年 6 月出版

京东、当当、天猫等各大网上书店有售

<https://item.jd.com/12526377.html#none>



本书是一部系统论述区块链核心原理的著作。全书共分为 7 章，主要内容包括区块链的参照物，网状协作与市场引力，三大市场的微观和宏观引力、经济功与货币发行；市场信息论与市场熵，区块链的动力机制与工作效率；三大市场与三大物理场的统一模型，经济原子与经济元素，私有链与经济原子的对应，联盟链与经济化合物的对应，私有链之间的协作与演化，联盟链的“化学键”，区块链的监管者；公有链与共识，私有链的裂变和聚变；区块链的状态迁移过程，市场智能的典型算法；区块链的重大机遇和创新，价值的互联网，价值的高速公路。本书还探讨了大统一理论，并结合自然科学和社会科学进行了规律的再认识。

本书包括目前区块链急需的创新思想和核心技术内容，可以为区块链、人工智能、电子商务、金融和软件开发等领域的从业人员提供参考，也可对区块链的重大机遇感兴趣的运营管理人员提供参考。

# 区块链的数学原理——认识市场引力与市场智能

致颠覆式创新

区块链

我们的时代和世界的伟大创造以及这本数学原理著作

请看市场的分工，需求与供给的均衡，  
请看“看不见的手”的计算，和共赢的规则，  
它们将在区块链的协议中制订，  
任何人都不会违反，这是共同利益的基础。  
人类市场最深处的秘密被揭示，  
连同物理场中的各种力也不再隐藏。  
太阳对能量收支进行核算，  
大行星组成天体原子，进行能量的生产和消费。  
公司对货币收支进行核算，  
员工组成经济原子，进行商品的生产和消费。  
物理原子的各种现象不再令人惊奇，  
由此书我们终于知道，神秘的电磁场  
能用麦克斯韦方程组表达的原因；目前的物理场  
是个黑盒子，过去都是根据现象猜测原因。  
我们又知道，原子核用了什么样的力  
将质子和中子结合在一起。  
核裂变与核聚变使原子重新组合；  
化学反应让化合物重新组合。  
所有这些，让过去的科学家苦恼，  
学派之间徒然地争吵。  
我们看到，数学驱散迷雾。  
错误和猜疑不再将我们缠绕；  
因为借自分布式的账本，我们能进入去中心化的殿堂，  
并且升入大统一的世界。

亲爱的朋友们，起来！抛弃思维的定式；  
并由此认识市场的智慧，  
它更远离权威和贫穷的生活。  
市场引力，是它开展网状协作  
的基本力量，消费者的权力蕴含着创新的动力；  
元素周期表，是它组织物质世界和人类市场  
的基本模式，私有链和联盟链支持着分工与协作；  
货币如同能量，是价值核算的单位，  
价格波和电磁波一样，是它调节供需的共识机制。  
它破除旧的生产关系，制造新的生产关系，  
解放着生产力，又发展着生产力。  
滥发的货币，和匮乏的创新能力，

是当前市场制度的通病。  
可现在我们被允许进入思想的殿堂，能  
重新认识自然科学的规律，我们也有开启社会科学  
隐秘的钥匙，知道它们相互统一的基础，  
和相互对应的事物。

你们，啊！迎接伟大机遇的人，  
来与和我一起歌唱**区块链**的名字，  
它打开了隐藏真理的宝匣。  
**区块链**，缪斯垂青的创新，万有引力  
也是它力量的源泉，它充满了神力；  
比任何一种智慧更接近神。

## 自序

在机器学习和深度学习等人工智能技术取得突破的时代背后，一场更大的技术革命正在酝酿和迅速发展，那就是区块链革命。如果说机器学习和深度学习增强的是个体的生产力，那么区块链增强的是市场的生产关系。区块链就像一台巨大的市场机器，用大数据作为燃料，用数字货币作为能量，成为价值的互联网，将极大地促进市场经济的发展。

蒸汽机、电动机和内燃机等传统机器制造的是体力，计算机和人工智能等新机器制造的是脑力，而区块链这台大机器，将制造生产关系。历史上，大规模的流水生产线增强了公司的生产关系。生产流水线的出现，使个体之间高效率地协作，让公司变成了一个大机器，而员工则变成了大机器上的一个零件。这成为现代大工业的标志，使工业品第一次出现供大于求的现象。而区块链以大数据为燃料，以数字货币为能量，将同时增强市场和公司的生产关系。每个个体和公司都是区块链大机器中的一个零件，以市场引力作为动力机制，并以提炼后的数据作为汽油。它将建立地球上前所未有的大型协作网络，拥有充足的市场动力和完善的组织结构，将极大地促进创新和财富的增长。

机器学习和深度学习将使生产力获得迅速发展，而生产关系必须适应生产力的发展。区块链正是增强生产关系的技术。精明且嗅觉敏锐的风险投资家们已经看到了区块链发展的必然性，在其他领域的投资消退的当前，区块链的投资却得到了空前的大幅增长。然而，创新总在边缘和混沌中酝酿，它早期的模样影影绰绰很不清晰，摇摇晃晃很不稳定。区块链技术毕竟是新生的技术，还在萌芽的发展初期，我们急需找到其背后的原理，从而设计和开发出更好的区块链技术。

以工业革命为例，牛顿的巨著《自然哲学的数学原理》是开启工业革命大门的钥匙，他用简单而优美的数学公式破解了自然之谜：用几个简明的公式，即力学三定律和万有引力定律破解了宇宙中万物运动的规律，用微积分的概念把数学从静止的变量拓展为连续变化的函数。只要运用牛顿的这些定律，就能设计出想要的机器，例如蒸汽机、现代火炮和火箭等。

杰出的华裔科学家张首晟在谈论区块链时说，“物理学中关于整个宇宙的最核心的公式和标准模型，是用精妙的数学来描写的。社会科学过去一直找不到根本的数学原理，可能的确是不容易找到，因为很多经济行为建筑在人的不理性上，但不等于不存在。”

阿里巴巴集团首席战略官曾鸣也认为，“虽然以阿里巴巴为代表的网络协同模式有巨大能量，但急需理论的创新。新型商业模式已经模糊了传统经济学给出的定义和边界，正在挑战人类智慧的极限。市场的动力机制是什么，市场是怎么演化的？我们讲了这么多互联网经济，却讲不清楚网络效应到底是怎么发生的。传统工业经济的组织方式已经无法适应互联网时代的经济要求，因此，组织模式如何创新是要去讨论和思考的。”

我们的这本著作系统地解答了这些问题。既然大自然最根本的原理是用数学来描写，我们也应该使区块链的规则建立在数学上。大统一理论希望“用一个公式概括整个世界”。基于数学，我们可以总结出来一些永恒不变的规律，使得社会科学和自然科学能够达到大统一的境界，同时使得我们基于计算机算法的区块链更加有效。

我们激动地告诉大家，我们已经找到了这样的核心原理，即“市场引力原理”，它是万有引力公式在市场领域的延伸，能将社会科学和自然科学统一起来。已有的区块链技术，主要侧重于数据加密和存储层面，而对在去中心化后，如何高速有序运转却考虑不多。如果要构建能真正包容所有实体经济和虚拟经济的区块链基础设施，就必须抓住最核心的原理，才能发展出切实有用的技术和增强市场中的生产关系。在区块链中，底层是数学，上层是算法和源代码，再上层是经济行为。在今天的数字世界里，源代码就是法律和法规。如果将信任建立在数学之上，我们可以想像到整个经济秩序都会被改善，也就是整个生产关系都会被增强，市场的巨大潜力将被开发出来，从而创造一个更加共赢的社会。

在区块链这台大机器中，数据提供所需的燃料，市场引力提供所需的动力，而数字货币提供所需的能量，从而构建价值的互联网。价值的交换需要货币和价格，就像热传递需要热量和温度一样。价值的创造需要分工和协作，就像元素周期表中的元素和化合物一样。私有链、联盟链、和公有链对应着实体经济中的各种实体，并通过区块链技术成为这台大机器中的一个零件。区块链具有一种信息的互联网无法具备的力量，将赋予每个个体和公司更大的能力，并更愿意参与到市场的协作当中。

公司制度是改造生产关系的一个范例。工业时代以来的财富创造，很大程度上归功于公司的记账机制。据统计，人类 97% 的财富是在公司诞生后的 250 年间创造的，也就是人类在公司制度下用 0.01% 的时间创造了 97% 的财富。而私有链、联盟链、和公有链也将成为数字时代生产关系的标准形式，它们将会重新定义公司，改造现有的市场制度，并将在数字时代产生更伟大的财富创造。

以区块链为基础的比特币系统像互联网的始祖，即阿帕网那样，已经引发了轰动效应。虽然比特币系统还非常原始，在效率和使用范围方面存在很多的缺陷，但它的思想是非常重要的：比特币算法软件会自动控制任务的难度，以此保证比特币的产生速度。现存比特币数量越多，获取新的比特币难度就越大。据估算，到 2140 年，比特币总量将达到上限，即 2100 万个。在这方面，它参考了物理学中的能量守恒定律，这是数字货币火爆和吸引使用者和投资者的重要因素。在物理学中，能量虽然在不同的形式间转换，但总体的能量保持恒定。对一个经济来说，不应当任意大规模增加货币，否则会带来不公平，并阻碍创新。

由物理学家提出区块链和构建比特币，这并非偶然。我们认为，分布式账本在物质世界中是普遍存在的，没有分布式的记录能量交换的账本，能量守恒根本不可能达成。因此，分布式账本并非是新生事物，而是在物理场和市场中普遍存在的记账方式。物理场对能量进行经济核算，而市场对收入进行经济核算。两种

最高智慧，即物理场中的万有引力和市场中的“无形的手”，都是基于分布式账本中共享的数据来形成吸引力和运转的。这些大数据经过提炼，生成温度和价格等信息，它们是区块链这台大机器的汽油燃料和动力基础。

没有革命的理论，就不会有革命的创新。区块链尽管诞生于数字货币，它依然要回归到市场本身，通过与市场和大数据的结合，才能真正体现区块链的价值。它将增强生产关系，激发个体的力量来实现共同创造、共同制造、和交易流通，实现“*Invented, Made, and Traded In Blockchain*”和个体之间的共赢。本书谨将我们的成果奉献给大家，祝愿区块链技术能更快和更健康地发展，从而发展经济、鼓励创新、和造福全人类。

## 目录

### 第1章 区块链的本质：共赢

- 1.1 区块链的参照物：市场和物理场
- 1.2 连接广泛存在的信息孤岛和价值孤岛
- 1.3 更完善的监管与保障
- 1.4 市场智能：更“聪明”的人工智能
- 1.5 本章小结

### 第2章 区块链的动力原理：市场引力原理

- 2.1 网状协作与市场引力
- 2.2 三大市场的微观引力、经济功与货币发行
- 2.3 三大市场的宏观引力、经济功与货币发行
- 2.4 三大市场与三大物理场的对应
- 2.5 本章小结

### 第3章 市场引力的表现形式：市场动力

- 3.1 商品市场与引力场的统一模型
- 3.2 市场信息论与市场熵
- 3.3 市场引力的作用过程
- 3.4 资本转化与资本循环
- 3.5 区块链的动力机制与工作效率
- 3.6 本章小结

### 第4章 区块链的结构原理：组织结构原理

- 4.1 劳动力市场与电场的统一模型
- 4.2 私有链：经济原子
- 4.3 经济元素与化学元素周期表的统一
- 4.4 私有链之间的协作与演化
- 4.5 私有链节点的能级与跃迁
- 4.6 联盟链：经济原子的化合物
- 4.7 联盟链的“化学键”
- 4.8 区块链的监管者：稀土元素和钢系元素

- 4.9 复杂联盟链的 DNA 模型
- 4.10 宇宙系统的天体原子与周期表模型
- 4.11 本章小结

## **第 5 章 区块链的激励原理：资本转化原理**

- 5.1 金融市场与磁场的统一模型
- 5.2 公有链与共识：公开的价格竞争
- 5.3 价格波与电磁波的统一模型
- 5.4 市场中的“位移电流与超导”现象
- 5.5 投入产出模型与麦克斯韦方程组的等价
- 5.6 市场的供需平衡与“楞次定律”
- 5.7 生产关系资本的转化：私有链的裂变和聚变
- 5.8 基于市场引力的大统一理论
- 5.9 本章小结

## **第 6 章：市场智能的典型算法**

- 6.1 市场的计算系统
- 6.2 商品市场的典型算法
- 6.3 劳动力市场的典型算法
- 6.4 金融市场的典型算法
- 6.5 区块链的状态迁移过程
- 6.6 区块链的市场制度算法
- 6.7 本章小结

## **第 7 章：区块链的未来：价值互联网**

- 7.1 区块链的重大机遇和创新
- 7.2 价值互联网与信息互联网的异同
- 7.3 价值互联网的动力机制与工作效率
- 7.4 价值互联网的组织模式
- 7.5 价值互联网的监管
- 7.6 价值互联网的资本转化
- 7.7 价值的高速公路
- 7.8 本章小结

## 第1章 区块链的本质：共赢



区块链的本质是什么？是去中心化，还是分布式账本？是非对称加密，还是点对点的信任机制？我们认为都不是，这些都只是手段，不是目的，更不是本质。我们认为，区块链的本质，是人工的市场智能，是数字时代个体之间的共赢。

市场智能包含着个体之间的认知，实现着个体之间的数据和资产交换。以围棋人工智能程序 AlphaGo 为代表的人工智能(图 1.1)，使个体可以更好地进行决策，而市场智能使所有的个体达到共赢。我们需要构建区块链这样的信息基础设施改造我们的市场和组织，使交易更公正，效率更高，形成价值的互联网和高速公路。但是这样的区块链技术仍然需要特定的数学原理才能成功运转。已有的区块链著作，主要侧重于数据加密和存储层面，而对在去中心化后，如何高速有序运转考虑不多。如果要构建能真正包容所有实体经济和虚拟经济的区块链基础设施，就必须掌握最核心的原理，从而在算法中实现。



图 1.1 人工智能攻克围棋：AlphaGo 大胜李世石

区块链是使用分布式的账本来建立基于计算机算法的、去中心化的人工市场。它被誉为下一代的人工智能。人工智能是企图了解个体智能的实质，并生产出一种新的能以人类智能相似的方式做出反应的智能机器。而区块链试图掌握市场智能的实质，并创造出一种新的能以市场智能相似的方式做出反应的人工市场。在数字化时代，它将是交易成本最低的基础设施：让计算机能够从事一些过去只有人脑才能完成的交易工作，从而解脱人的一部分繁重的脑力劳动。以 AlphaGo 为代表的人工智能侧重于发展生产力，而以区块链为代表的人工智能侧重于改造生产关系，形成更聪明的数字化企业，构建更公正和更高效的数字化市场。

因此，从狭义来说，区块链是所有交易的公共总账，由按照时间顺序记录了交易的数据区块的链条所组成。从广义来说，区块链是基于计算机算法的人工市



场，是协调所有交易、实现共赢的中枢神经系统。在未来，所有的交易，包括商品交易、雇佣交易、和金融交易都将在区块链上进行，而不仅仅是数字货币的发行和支付，这将更好地促进经济的转型和升级，从而造就更聪明和强大的企业，形成更公正和更高效的市场。

## 1.1 区块链的参照物：市场和物理场

存在两种最高智慧，它们分别是物质世界的万有引力和经济社会的市场引力。它们被誉为上帝的“看不见的手”（图 1.2）。前者引导万物的运动和变化却保持总体的平衡和稳定，而后者引导所有商品的生产和流通，却也保持总体的市场出清和稳定。这两种最高智慧都服从相同的第一原理，即引力原理，本质是追求共赢。理解这种引力原理，将像掌握空气动力学帮助我们设计出更好的飞机那样，帮助我们设计出更好的人工市场。

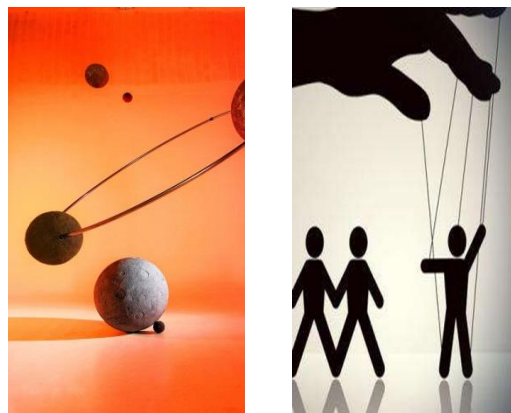


图 1.2 万有引力与市场引力

我们认为，分布式账本在物质世界中是普遍存在的，没有分布式的记录能量交换的账本，能量守恒根本不可能达成。分布式账本并非新生事物，而是在物理场、市场、和生命体中普遍存在的记账方式：物理场对能量进行会计核算，而市场对收入进行会计核算。

同样，在由物质组成的生命体中，DNA（Deoxyribonucleic Acid，脱氧核糖核酸）就像一本基因总账，记录了每个细胞的基因变化，同时又被存储在每个正常细胞中，形成分布式的账本。想象一下，DNA 的无限延伸，就如区块链把一个一个个的区块连成链一样。人体其实是由一个个细胞组成的社区。当某些正常细胞中的 DNA 副本被篡改时，就会形成癌细胞，这就类似于区块链中的恶意节点。癌细胞能够不断复制，并破坏正常的细胞组织，就如同一系列的恶意节点会破坏区块链。因此，分布式账本是自然界的智慧（图 1.3）。



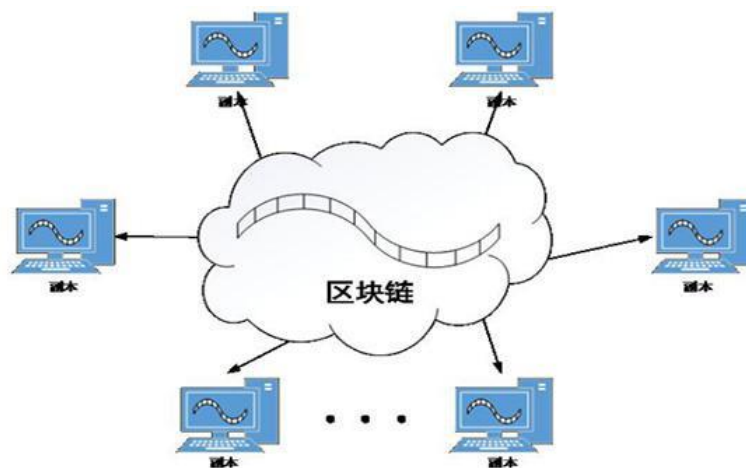


图 1.3 分布式账本

AlphaGo 的参照物是人类的思维和神经系统，而区块链的参照物是人类市场和物理场。通过模仿人类的思维和神经系统，基于计算机算法和大数据的 AlphaGo 击败了人类的最好围棋选手。那么，通过模仿人类市场和物理场，基于计算机算法，我们有可能构建更公正和更高效的数字化市场。

很多人认为 AlphaGo 已经完全打败了人脑，而实际上并没有。首先，相同的智能情况下，人脑只需消耗少得多的能量。同时，人脑的功能更为灵活和丰富，不仅仅会下围棋。而且，人脑占用的物理容积要小得多。因此，在很多方面，人工智能还是需要向人脑学习，从人脑的智能原理中得到启发。

我们认为，物质世界是个精密的、智能的世界，如果不是一个智能的世界，那么能量守恒、质量守恒、电荷平衡、热质交换、电磁感应、光电效应等奇妙而复杂的现象则不可能发生。物理场本质上也是一种市场，体现为能量的转化与电子间的互通有无。它是以电子之间的共赢为底层协议的。而人类的市场是以个体之间的共赢为底层协议的。物理场和人类的市场都体现了市场的智能。

相对来说，物理场是个黑盒子，而人类的市场是个白盒子。然而，从功能上来说，物理场是高速、自动化、和智能的。在物理场的基础上，产生了复杂的生命系统，高级的生态系统，以及神秘的宇宙系统。而人类的市场则相对来说是较为原始、很不完善、和低速的，即只有很低的自动化和智能程度。我们将构建物理场的模型，从而和人类的市场统一起来进行分析。人类的市场虽然很不完善，但毕竟是个白盒子，可以帮助我们理解这个统一的模型。这个统一的数学模型，将成为未来区块链算法中的底层公式，是这个人工市场的所有参与者之间的基础协议，因此也是未来区块链的核心数学原理。

和物理场一样，人类的市场是由大量交互作用的子系统所组成的复杂系统。在纷繁复杂的现象背后，如果经济学和物理学实际上遵循相同的原理，那么我们可以在经济预测中借用物理学中大量的已通过实验证实的数学原理和成功经验，同时，我们也可以通过经济现象这个白盒子来更好地理解这些原理。我们的模型可以为经济预测找到合适的精确方程，从而为大数据的预测提供理论和技术基础。

在区块链技术的基础上，人类的市场有很大的提升空间：即构造信任，减少欺诈和交易成本，提高效率，从而形成高速、自动化和智能化的市场系统。以 AlphaGo 为代表的人工智能侧重于发展生产力，而以区块链为代表的人工智

能侧重于改造生产关系，构造公正、高效、促进创新的人工市场。区块链通过构造一个市场机器，来制造信用和实现交易的“大爆炸”。

正如中本聪所言，目前的区块链应用，比如比特币，还只是一个处于婴儿时期的小规模社区实验。这个项目需要渐渐的成长，这样软件才能一路上保持强劲。区块链以后如何发展，该遵循什么核心原理，将是我们在下文中描述的重点。但总体来说，应该是以物理场和人类市场为参照物，参考它们的智慧，并总结出最根本的数学原理，从而指导区块链的未来发展。

## 1.2 连接广泛存在的信息孤岛和价值孤岛

在过去，各个机构使用中央数据储存库来支持交易流程和计算。拥有者掌握着数据库的控制权，管理着对数据库的访问和更新权限，这限制了透明程度和可扩展性，也使得外部人士难以确保数据记录没有被操纵。由于技术限制，分布式数据库基本上是不可能实现的。但随着软件、通信和加密技术的进步，现在一个跨组织的分布式数据库变得可能了。

分布式的节点有重要的特点：每个参与节点都能自主和及时地获取与自身相关的独特数据，形成自己的隐私。但是，分布式数据库会立即导致一个问题：个体或组织之间是否愿意共享信息，同时，怎么保证共享的信息是真实和有用的？

绝大部分的大数据跟个体信息和个体之间的交易有关。针对个体决策的人工智能需要数据，但数据往往被中心化平台垄断，阻碍创新。目前，个人数据和信息往往都被中央平台获取和割据，形成信息孤岛，个人并没有得到隐私的保护，也没有由于提供本人数据而得到回报。同时，信息孤岛之间也很难进行价值的传输，因此也形成价值的孤岛（图 1.4）。例如，微信和淘宝之间就无法进行价值的互联。

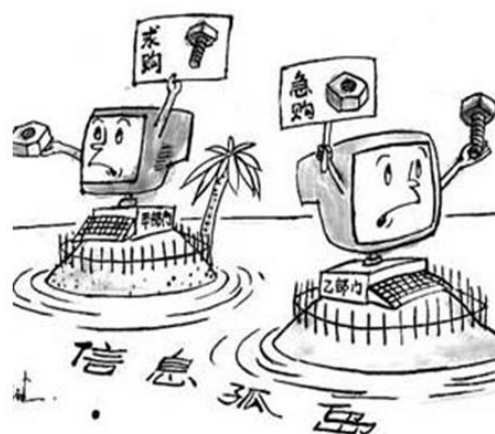
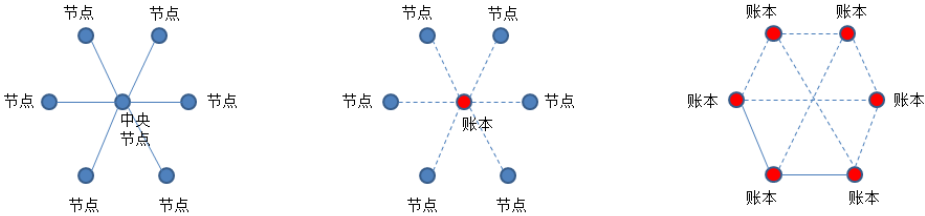


图 1.4 信息孤岛会同时形成价值孤岛

针对这些问题，区块链技术应运而生，来连接广泛存在的信息孤岛和价值孤岛。作为一个人工市场，区块链是一个支持任意数量的参与者、参与者能够自由加入与退出、参与者之间无须互信的分布式数据库。区块链重点考虑的是通过分布式防止欺骗，去中心化和节点完整备份。存储共识机制被用来协调各节点更新区块链。在区块链中，已经提交的数据会被永久保留，无法被修改或抹除。单个节点无法独立管理数据，如果任意更新的话即成为“恶意节点”，此类节点可以通过与其他节点的数据比对发现。

传统的分布式数据库实行的是中心化控制，并且假设每个节点都诚实，主要解决的是节点死机，或者节点间通信不可靠的问题。这显然不符合市场内部节点之间的交易需要信任的事实。区块链由多个节点共同维护一个分布式账本，没有中心化控制的节点（图 1.5）。区块链假设任何一个节点均不可靠，但由于系统内部的诚实节点占大多数，在分布式账本的帮助下，可以搭建一个信任体系，并以此为基础构建一个人工市场。



(a) 中心化的控制 (b) 私有链的虚拟记账中心 (c) 联盟链的多个虚拟记账中心

图 1.5 中心化控制与私有链和联盟链的记账

很多人寄希望于通过国家的强制性法律来解决分布式数据库的共享问题。但这是无法实现的，因为国家没有这么多的资源和精力来强制和监督这些数据的共享。查验数据是否存在，检验数据的质量，以及利益的分配等涉及太多的问题。

区块链的突出价值是通过个体之间面向交易业务的数据共享来降低信任成本（图 1.6）。它简化了通用的业务场景，百分百地集中到交易与结算业务。而这些面向交易业务的数据共享，是以市场引力为动力的。市场引力产生了以利益驱动为基础的信息共享和协作，并可以导致最终的共赢。

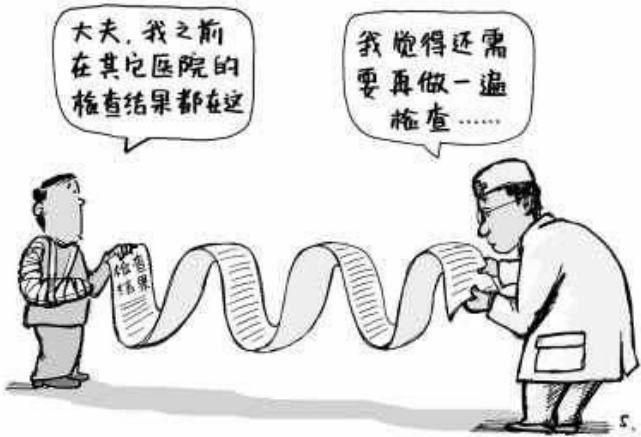


图 1.6 数据的商品化势在必行

在历史上，农产品、劳动、工业品、房地产被一步一步地商品化，和进一步的货币化。未来的数据共享，将涉及到数据的确权和商品化，这将导致人类市场的进一步发展和完善，以及交易的大爆炸和财富的巨大增长。在未来，基于区块链，数据可以被商品化，从而得到充分的共享、交易和利用。在数据商品化的基础上，区块链将构建信用体系，充分提高市场系统的自动化和运行效率。

### 1.3 更完善的监管与保障

在区块链中，仍然需要监管的组织。价值是很难交换的东西，但区块链可以把一个一个的价值孤岛连接成价值的互联网络，进行点对点、智能、可审计的交易，从而支持自由、快速、高效、低成本的价值交换。然而，这些交易数据由什么样的组织来审计，这个人工市场由什么样的组织来监管和保障，仍然是非常重要的问题。只有构建了更完善的监管和保障体系，才能减少欺诈和保障共赢。

在这个人工市场上，交易越是智能化、技术化，就越需要相应的治理和配套机制，从而保障市场交易的安全与公平。区块链技术具有改善业务审计系统的潜力：当前在业务审计过程中，需要花费大量的人力、物力去核查被审计单位的产品价格、质量、资金余额和交易合同等数据的真实性。区块链的技术特点使得所有交易数据都公开透明、不可篡改地记录在区块中，任何交易数据都是可以被查询和追溯的，从而能明显提高审计效率、降低审计成本，提升审计结果的可靠性。区块链使信息更加对称，透明和易于获得，但同时产生的信息过载，也导致了另一种形式的信息不对称。

因此，区块链的监管机构不仅必须存在，而且必须专业化。在这个问题上，物质世界的元素周期表给了我们启发。我们发现，一部分元素，例如稀土元素，在物质世界中是专业从事这种监管和保障的。稀土元素在电子、激光和永磁工业中的突出表现（图 1.7），证实了这一点。我们认为，物质世界是由以电子为个体，基于市场协议来运转的，而以稀土元素为代表的监管组织保障着这些市场的正常运转。正是有了这些保障机构的存在，物质世界在高速和自动化运转的过程中才能保持充分稳定。在区块链这个人工市场中，借鉴物质世界的这些成功做法，将让我们的市场监管和保障更加完善。

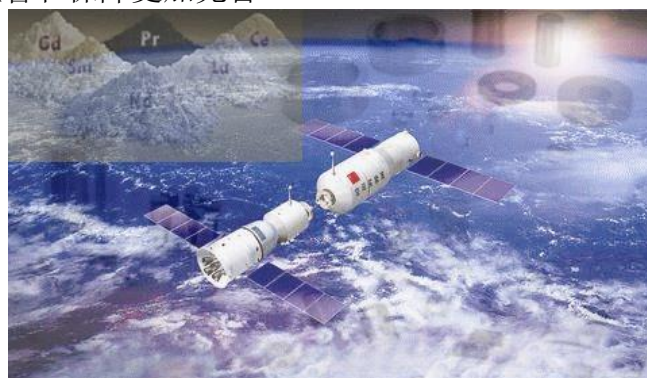


图 1.7 航空航天和国防军工依赖稀土元素实现关键功能

## 1.4 市场智能：更“聪明”的人工智能

目前的人工智能是以神经系统为参照物的。神经系统是个物质系统，但是却产生了记忆、思维和意识。它们代表着个体的智慧。

而市场的智慧，是基于分布式的个体记忆、思维和意识的：每个人记录着已经发生的交易，商品质量和商家信誉等信息，并将这些信息进行传播，从而逐渐满足多样化的商品偏好，和实现多种形式的财富增长。

在一定程度上，市场智能是经济体的意识。当人的身体冻僵时，则会暂时失去意识。如果身体恢复正常体温，则会恢复意识。这说明，人的意识是以身体物质的热效应为基础的。经济体也是类似的：经济体的意识（例如国家意识）是建立在经济体正常运转的基础上的。当经济体崩溃时，也就会失去经济体的意识。

人是社会的动物，个体的力量毕竟有限，协作共赢是人类能在自然界崛起的



最根本原因（图 1.8）。人类之所以能打败各种比我们强大得多的野兽，在自然界崛起，并主宰地球，很大程度靠的就是人与人之间形成了集体，一起协作共赢。最开始人类的协作靠的是语言文字。语言可以产生知识，知识让人类做出推理，从而能够学习。之后有了造纸术、印刷术，协作的效率就更高了，再到股份制、互联网，都是在帮助人类实现协作共赢。

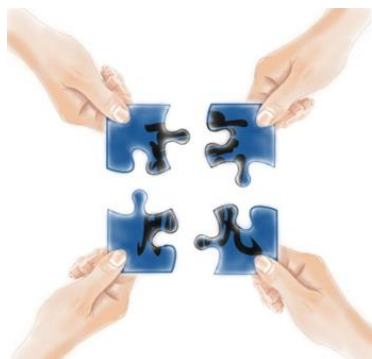


图 1.8 协作共赢是人类崛起的根本原因

现在到了区块链，它是一个人工的数字化市场，是去中心化思想和互联网基础设施与人类经济社会的深度结合。数字技术不仅从物质层面，而且从机能层面复制了现实世界：现实世界的几乎所有实体、实体的运行、和实体之间的互动都有数字的对应。从组织行为看，人、物、和组织之间的信息传递、处理和控制机制也都会实现数字化，并引起组织内外部的互动方式的快速调整和更新。在数字化时代，区块链将更好地帮助人类实现协作共赢。

人工智能技术要想进步，必然需要很大的数据。但是，现在缺乏足够的激励机制让大家去提供数据。而有了区块链之后，在信任机制的基础上，数据能够被价值化，就会出现一个大的数据市场，各方都有动力去提供数据，于是也就产生了更“聪明”的人工智能（图 1.9）。



图 1.9 人工智能时代个体之间的协作共赢

区块链技术具有促进不同经济组织之间自动展开协作、简化协作流程、加快协作效率的潜力。未来，所有的人类交易（包括商品交易、雇佣交易和金融交易）都将在区块链中进行，在交易成本大幅降低的情况下，将会实现交易的大爆炸、协作的高度自动化、和社会财富的巨大增长。

## 1.5 本章小结

区块链未来将如何发展，应该遵循什么核心原理？我们认为，应该是以物理场和人类市场为参照物，参考它们的智慧，并总结出最根本的数学原理，从而指导区块链的未来发展。

物理场的万有引力和人类市场的“看不见的手”是两种最高的智慧，它们都服从相同的第一原理，即引力原理，本质是追求共赢。分布式账本在物质世界和人类市场中都是普遍存在的。物理场对能量收支进行会计核算，而市场对货币收支进行会计核算。

在历史上，农产品、劳动、工业品、房地产被一步一步地商品化，和进一步的货币化。未来的大数据共享，将涉及到数据的确权和商品化，这将导致人类市场的进一步发展和完善，以及交易的大爆炸和财富的巨大增长。在数据商品化的基础上，区块链将构建信用体系，充分提高市场系统的自动化和运行效率。作为制造生产关系的技术，区块链将是下一代的人工智能，它体现了市场的智慧。

## 第2章 区块链的动力原理：市场引力原理



像人类的市场一样，区块链的网络是一个基于个体自愿的自由网络，每个节点都可以随时离开和重新加入网络。节点之间的交易是最典型的协作，并且同样存在三种交易：商品交易，雇佣交易，和金融交易。作为基于计算机算法的人工市场，区块链需要有动力的来源，从而实现节点之间自发的网状实时协作。这个动力的来源就是我们在下文中描述的市场引力。

### 2.1 网状协作与市场引力

个体之间的网状协作，包括商品的互通有无，劳动的雇佣协作，和金融的互联互通。在历史上，农产品、工业品、劳动和资金都依次被商品化，从而成为个体之间协作的基础。在市场的条件下，每个人不再是单打独斗，而是能不断地利用他人的物质、劳动和资金成果。这种协作，不是由某个至高无上的中心来安排的，而是由市场这个无形的手，在价格信号的基础上进行推动的。这个推动力，我们称之为市场引力。

读者们都非常熟悉物理场的引力现象（图 2.1），但是对人类市场中的引力现象却可能熟视无睹。在物理场中，万有引力是任意两个质点或两个粒子间的，

跟质量成正比，跟距离的平方成反比的吸引力，是自然界中最普遍的力。量子力学也认为，引力是由于两个粒子交换引力子所导致的。事实上，在人类市场中也普遍存在着类似的吸引力。在一个拥有很多卖家和买家的市场上，为何商品会被一个卖家交换给某一个买家，而不是被卖家保留，或者被交换给其他买家？为何一个买家最终会向某一个卖家购买，而不是向其他卖家购买？为何我们选择目前的工作单位，而不是跳槽？这些现象表明，市场引力普遍地存在于市场之中。



图 2.1 物理场中的万有引力

每个人交易的动机是追求最大效用或满足，追逐利益的动机导致了动力的产生，并驱动人的行为。某种商品的任意两个买家和卖家之间，应该存在对于交换的吸引力。这个吸引力的大小也应该与买家和卖家的某个经济度量和某个距离度量有关。市场被生动地描述为“看不见的手”，我们在下文中将在定量度的基础上，对这种“看不见的手”进行数学形式化。

在数字资产时代，经济和财富越来越依赖于大量和有效的网状协作关系。例如，Airbnb (AirBed and Breakfast, 爱彼迎房东短租平台) 就是一个新创建的人工市场，它依赖于 Airbnb 系统平台中大量的网状协作关系。这种协作关系，不仅适用于消费关系，也适用于雇佣关系（例如猪八戒平台）和投资关系（例如众筹平台）。这些协作关系是由算法程序驱动的，并最终表现为大量的交易关系，即节点之间的各种合同关系。通信和网络技术实现了账户和使用人之间的充分、高效、和全时的联系。海量的、自动化的、和智能化的交易，将极大地提高协作的数量和质量，并且将直接体现为社会的经济财富。

同样，菜鸟网络能够连接大量的物流公司、大量的快递人员、和大量的仓库，实现海量的价值流转。这是一个分布式的、信息可以同步共享的结构，让所有人的商业信息在参与方之间可以适时、多方、多角度地互动沟通，而不需要一个中央机构在中间做计划和安排。菜鸟网络背后的阿里巴巴只是一个搭台和保障的机构。这是网状协作相对于传统的封闭式供应链的最大优势。

如果运用区块链技术对这些人工市场进行改进，提升监管和保障能力，那么这些人工市场将形成一个全面开放的网络结构，构建充分的信用，并在市场引力的驱动下，产生协作的大爆发和交易的大爆炸，实现价值的海量交易和迅速流转。

总之，网状的实时协作，需要以利益为基础。市场引力描述了这个利益驱动机制，并度量了协同所需要的共赢程度。作为市场的动力机制，市场引力是市场衍生和发展的基本动力。同样，市场引力也将是区块链这个人工市场的基本动力。

## 2.1.1 市场中的引力



在历史上，亚当·斯密深受经典力学大师牛顿的影响，他把牛顿力学方法应用到经济学、伦理学和政治学之中，以此来设计经济社会运行的框架模型。与牛顿的“决不做假设”的格言相对应，亚当·斯密在他的《国富论》(1776)中强调，人的自私决非经济学家的一种理论构造，而是经验的事实，人的自私行为被假定为经济学的根本推动力。与牛顿的万有引力定律相对应，亚当·斯密提出了引导微观利益的“看不见的手”，借助于这只“看不见的手”来实现供给与需求的宏观平衡和微观利益的最大化。

哈雷在牛顿《自然哲学的数学原理》的序言中写道：“请看天空的布局，神圣物质的平衡，请看朱庇特（宙斯）的计算，和造物主的规则，他在初创万物时制订，连他也不会违反，这是他工作的基础。天空最深处的秘密被揭示，使最外面的天球旋转的力不再隐藏。”亚当·斯密在《国富论》中也写道：“他们被（朱庇特）这只看不见的手引导着...”亚当·斯密的体系建立在这样一种观察上：人的动机就是利己，他把利己当作社会理论中的“运动原理”，就像吸引力是牛顿物理学中的运动原理一样。在牛顿的著作中，万有引力被称为物体和天体运动和变化的第一原因（图 2.2）。

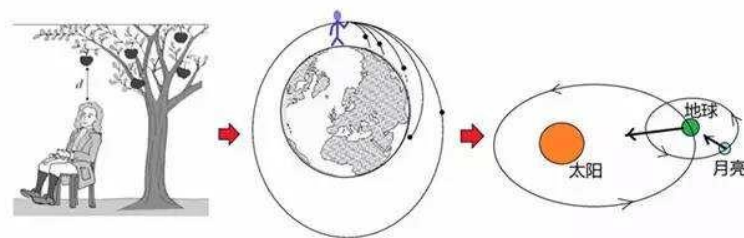


图 2.2 万有引力与太阳、地球和月亮的三体运动

万有引力定律的发现，是 17 世纪自然科学最伟大的成果之一，也是近代科学形成的标志，但引力产生的原因却是长期未解开的谜（图 2.3）。牛顿和爱因斯坦都曾潜心研究，但至今仍无人能完全破解。量子力学也相信，引力是由于两个粒子交换引力子所导致的：在量子引力理论中，电磁波的传播可以用光子来解释，而光子导致引力子概念的提出。因此，万有引力也不再是超距作用，而以引力子为媒介。引力子，在物理学中是一个传递引力的假想粒子。两个物体之间的引力可以归结为组成这两个物体的粒子之间交换引力子。但是，引力子是否存在，仍是物理学界的一个神圣话题：有许多学者试图用仪器来探测它存在的真实性，最终都没有得到理想的结果，它的存在仍然是一个谜。



图 2.3 万有引力产生的原因仍是未解之谜

过去五十年来，贸易引力模型的实证研究非常引人注目。首届诺贝尔经济学奖获得者丁伯根等人最早将引力模型用于研究国际贸易。多个研究者分别独立地使用引力模型研究分析了双边贸易流量，并得出了相同的结果：两国双边贸易规模与他们的经济总量成正比，与两国之间的距离成反比。

自 20 世纪 60 年代以来，引力模型广泛地用于双边贸易流量的实证研究，但因缺乏必要的理论基础，其作为政策分析工具的功能经常受到质疑，因而在相当长时间里没有得到主流经济学的关注。从过去的经济学文献中看，虽然引力模型很好地符合贸易的实际情况，但人们尚未发现合适的理论解释。

我们发现，市场的“看不见的手”和牛顿的万有引力一样，都是一种吸引力，而且都是基于效用（前者基于货币效用，而后者基于能量效用），遵循着相同的原理和规律。我们从经济现象的角度出发，构建市场引力的微观和宏观模型。虽然我们的初衷只是借鉴经典物理学的概念和语言，后续却逐渐取得超出预期的发现和结果。我们将三大人类市场（商品市场、劳动力市场和金融市场）与三大物理场（引力场、电场和磁场）进行对比研究，发现了各种微妙而精细的一一对应关系，并由此导出了对应的公式。我们认为，这个非传统的角度能很好地理解在自然世界和经济社会中都普遍存在的引力现象，并为万有引力提供一种合理的解释。

## 1. 货币型效用

效用，是经济学中最常用的概念之一，是指对于消费者通过消费或者享受闲暇等使自己的需求、欲望等得到的满足的一个度量。历史地看，效用最初被假设为能够被定量地度量，即被假设为一个数字。显然，每一种度量，或者说每一种可度量性，必定最终基于某种直觉。这一直觉，无法，而且肯定没有必要被进一步分析。对产品和服务的喜好程度的个性化偏好，源自于消费者的直接感觉，可以用效用来度量，是影响市场需求的重要因素。

但是，常用的消费者效用函数  $U = U(x, y, z, \dots)$  仅仅允许表示，对同一个消费者来说，在同一时刻，某件物品的效用大于另一件物品的效用。它无法把效用的数值累加起来，更无法进行不同消费者之间的效用比较。这是因为，对于同一个消费者来说，不存在任何在直觉上和时间上有意义的方法，能够把两个效用相加，而且不同消费者之间的效用也缺乏比较的基准，所以常见的效用函数不具有数值特征，也没有计量单位。同时，常用的效用函数通常被设想为给定的和一成不变的，这显然是不现实的。新的体验会产生新的直觉和感受，消费者偏好和效用函数自身应该可以随着消费体验的积累而随时变化。

现代经济的核心是市场，而市场的核心是交换。作为交换的媒介，货币是联系过去与未来、以及买家与卖家的桥梁。因此，在构建我们的动态模型时，我们不采用常用的消费者效用函数，而采用货币计量的预期价值。首先，只要存在耐久性的资产，它就可能具有货币的性质：即使在以物易物的原始时期，预期价值也可以用小麦或者牛羊等单位来进行计量。其次，除非用货币，否则我们不可能讨论变动的预期价值对当期经济行为的精确影响：在现实世界里，我们过去的预期在今天不一定应验，但现在对将来的预期，会影响我们现在的行为。

对买方来说，他占有某个产品或服务的预期货币价值，记为  $v$ ；对卖方来说，他保留该产品或服务的预期货币价值，记为  $u$ 。 $v$  是买家的价值估值，它依赖于买家掌握的知识、理解力和当时的特定情境，取决于特定卖家的信誉、特定商品的稀缺性和质量（包括功能、用途、可替代性等），以及买家的收入、借贷、和

预算等因素。 $u$  是卖家对特定商品的库存、生产周期、技术革新、需求、资金等因素进行考量后的函数值，它也依赖于卖家掌握的知识、理解力和当时的特定情境。其中，稀缺性综合了商品在数量多少、质量高低和种类多样化方面的稀缺性。与人类的无穷需要相比，商品的数量、质量和种类总是不足的。

## 2. 交易距离

交易成本理论是由诺贝尔经济学奖得主科斯在 1937 年提出。他在《企业的性质》一文中认为交易费用是“通过价格机制来组织生产的最明显成本，就是发现相对价格的成本”和“每一笔交易的谈判和签约的费用”等。

交易成本是含糊但不可或缺的概念。交易成本指的是一项交易所需花费的时间、精力和费用。显然，任何交易活动都有交易成本。在交易过程中，费用可以分为三类：搜寻成本，即搜集商品和交易对象信息的成本；信息传递成本，即获取交易对象信息和与交易对象进行信息交换的成本；交易过程中的成本，即议质和议价的成本、决策和签约成本、事后监督的成本和违约成本等。

传统的交易成本是从信息的角度来定义的。但在实际的商品交换中，不仅有信息成本，还有克服买卖双方物理距离的成本。因此我们定义交易距离为卖家和买家之间预计的交易费用，用  $r$  来表示。显然，任何  $r$  都大于零。如果区分信息距离和物理距离，那么交易费用可以划分为克服信息距离的成本( $d_1$ )和克服物理距离的成本( $d_2$ )。

若不考虑信息距离，而仅考虑克服物理距离而花费的费用，则构成交易距离的一个特例，即物质实体的空间。若不考虑物理距离，而仅考虑克服信息距离而花费的费用，则构成交易距离的另一个特例，即信息产品的交换。生物体的基因也具有类似的双重属性，即物质性（体现存在方式）和信息性（体现根本属性）。

## 3. 交易的过程

交易过程可以分解为三个子过程。首先是消费者的搜索和评价过程：产生消费需求之后，如果没有确定的购买方案，他就必须去搜寻相关的商品和生产者。其次是生产者的定价与信息传递过程：这个过程主要是通过价格机制来进行的。再次是买卖双方的协商和签约过程：商品的买卖交易，劳动的雇佣交易，以及资金的借贷交易都存在买卖双方之间的讨价还价和签订合同的过程。

### 2.1.2 典型的点对点交易场景

按与买家的物理距离大小排序，所有的卖家都可被排列在实轴上（图 2.4）。纵轴是信息距离。物理距离和信息距离都以克服该距离所需的货币费用来度量。有的卖家虽然与买家的物理距离较远，但是卖家可以通过更加醒目的广告来减少搜寻成本，从而显著减少信息距离和总的交易距离。

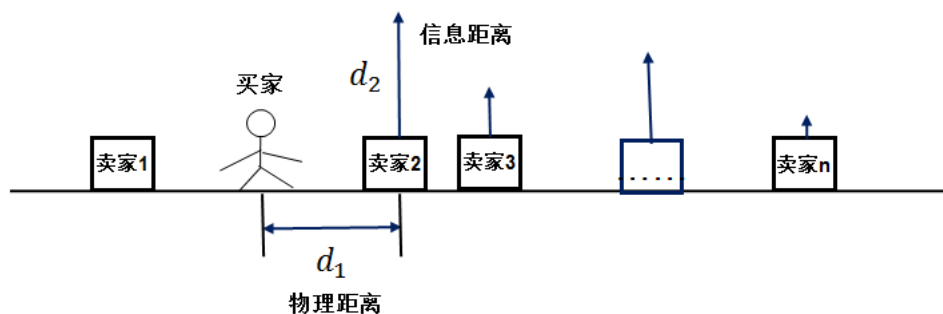


图 2.4 典型的点对点交易场景

用复平面来表示这种场景如下（图 2.5）。

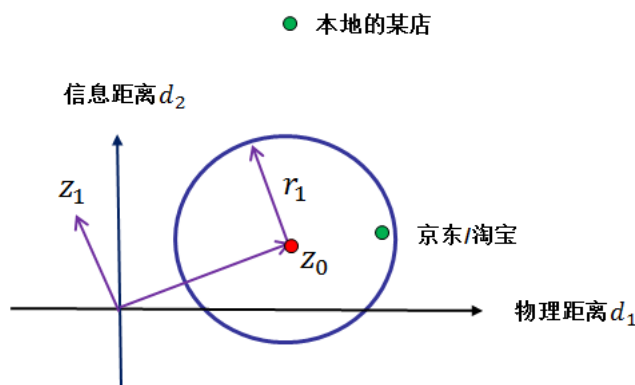


图 2.5 用复平面描述交易场景

具体场景（例如卖家的库存数量、议价空间、商家信誉、和商品匹配程度等）时刻都在变化，因此，获取信息的难度有难易之分，费用有大小之分。复平面被发明的二百多年来，很难合理地被赋予实际含义。我们认为从商业活动的角度出发来定义这个复平面是有道理的，而且在历史上，商业活动经常赋予数学以实际意义：例如负数最初能找到的实际意义是表示亏钱或欠款，而常数  $e$  最初能找到的实际意义是计算复利，这些都与商业活动有关。

在信息和电子商务时代，本地的实体店经常竞争不过外地的实体店，甚至也竞争不过没有实体店的网店，这是因为某些实体店和网店的信息传递更及时，成本更小，而物理距离的远近则被快递的便捷性所弥补。横跨一个国家的物流距离，所需的快递费用常常少于在同一个城市购物的交通费用（比如打的购物的费用）。

在搜索交易对象的过程中，每一个买家或卖家，以其在复平面的位置为中心画半径为  $r$  的圆，则这个圆盘内是所有交易距离小于  $r$  的卖家或者买家的集合。

### 2.1.3 交易的数学表达

每一个买家或卖家，在交易距离  $r$  内，能够考虑的卖家或者买家集合，都是有限的。如果买家或卖家想要考虑更多的卖家或者买家，他们必须准备增加自己的交易成本的支出。对复数的虚部的解释是：信息的增加，可以减小预期的物理距离，并可能提高总效率（即减小  $r$ ）（图 2.6）。例如，在多个备选卖家中，如果买家知道某个卖家总是能给出最优惠的价格，那就不用货比三家了，因而减少了物理距离。而且卖家和买家随时都在相对地运动，如果买家恰好运动到卖家附

近，那么卖家及时获知该信息将有助于销售。例如，滴滴打车之所以能创造新的市场，就在于它让司机能及时获知乘客的需求和位置信息。另外，信息的增加虽然能减小预期的物理距离。但不一定能减小总的交易距离，而最终能否有效减小  $r$  取决于市场环境的情况。

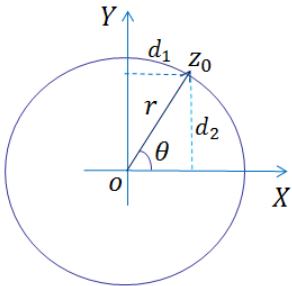


图 2.6 信息的增加可以减小预期的物理距离

对每一个买家或卖家来说，等交易距离的线成为一组同心圆。每个同心圆内都有相应的卖家或买家集合（图 2.7），他们的数量往往是不均匀的，存在密度上的差别。这种差别在很大程度上决定了交易成功的可能性。

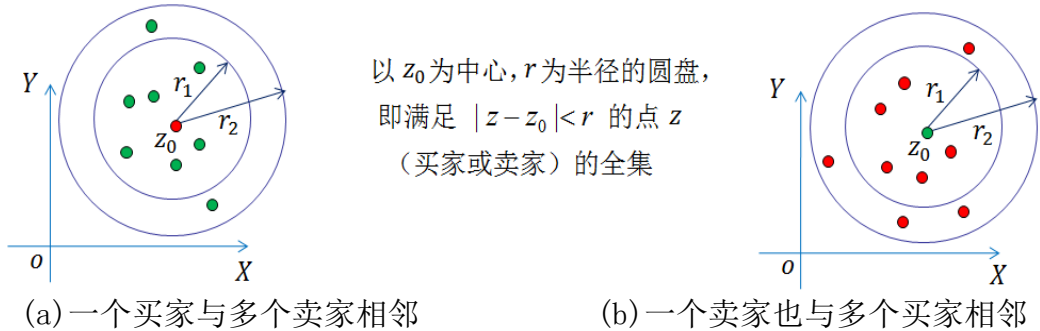


图 2.7 买家与卖家之间的相邻关系

在数学上，我们可以把复平面的坐标原点理解为市场交易点的位置，两个向量相减得到的向量，为交易向量（图 2.8）。市场交换的本质，即通过信息传递和物理位置的移动，使两个点重合，并产生卖家的货币收入和买家的货币支出（类似于能量转移），以及商品或服务的交接。

（货币计量的信息距离）信息成本

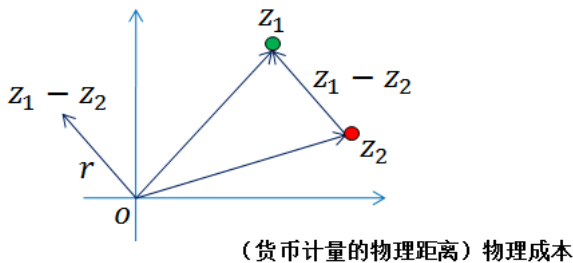


图 2.8 交易的数学表达

信息位移是指买方的信息搜索和卖方的信息传递，而物理位移是指自己和对方的物理移动。其中，信息商品的交换不需要物理位移，而物质商品的交换则既

需要物理位移，也需要信息位移。因此，对于某对买家和卖家来说，要完成交易所需要进行的总位移为  $r = |z_1 - z_2| = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} = \sqrt{d_1^2 + d_2^2}$ 。

交易是普遍存在的，它们是市场运行的基础和最小单位。市场系统总是在“倾向于均衡”转移到“均衡”，然后出现“均衡状态被打破和远离均衡”，再转移到“倾向于均衡”的过程中不断循环。

### 2.1.4 市场的决策空间

物质、信息和能量是组成物质世界的三个基本要素，三者中物质是基础，而能量和信息都源于物质。类似于物质空间，我们定义了市场的决策空间（图 2.9）。该空间分别由物理距离，信息距离和货币收支这三个轴组成，并由交易形成买卖双方的货币收入或支出。同时，在区块链中，由于时间戳标记和数据不可篡改等特性，形成了决策空间的第四个轴，也就是时间轴。

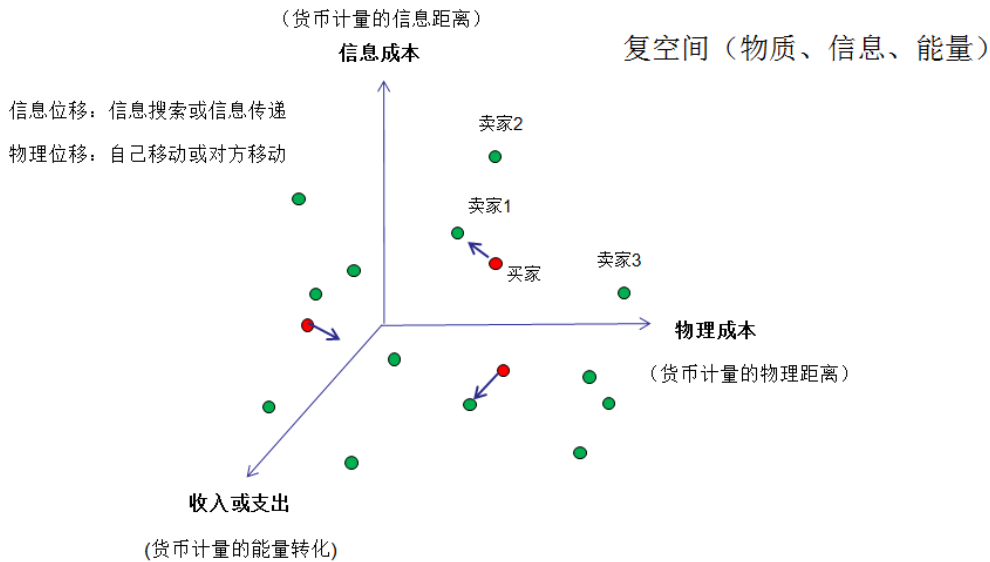


图 2.9 市场的决策空间

### 2.1.5 最简单的商品交易

考虑一个最简单的商品市场，只有一个卖家和一个买家，也就是双边垄断的场景（图 2.10）。我们只考虑商品的单次交易。 $u$  和  $v$  分别是对于卖家和买家来说，占有某商品的价值。为了使该次交易有意义，买家购买该商品的价值必须超过保留该商品对于卖家的价值，即我们必须有  $u < v$ 。

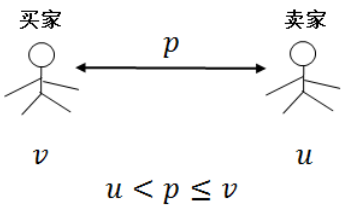


图 2.10 最简单的商品交易



为了方便，当没有交易发生时，我们假设卖家的初始效用为  $u$ ，而买者的初始效用是  $0$ 。卖家和买家都可以选择是否完成交换。如果任何一家选择不交换，那么他们的效用保持不变，仍然是  $u$  和  $0$ 。如果卖家选择交换，他必须向买家提供一个价格  $p$ ，如果买家接受，那么卖家和买家分别得到的效用是  $p$  和  $v - p$ （在交易前，产品已经被生产出来， $u$  为不可收回的沉没成本，决策中不考虑该历史成本，而且卖家在定价时已经使  $p > u$ ）。这一博弈的常识结果是：价格  $p$  将落在卖家和买家的价值之间，即  $u < p \leq v$ 。

因此，初始的效用分别为  $0$ （买家）和  $u$ （卖家），而交易后的预期效用分别为  $v - p$ （买家）和  $p$ （卖家）。如果两家都愿意完成交换，那么两家的总效用  $v$ ，大于初始的  $u$ ，即交易后的预期总效用大于初始的总效用： $v > u$ 。

### 2.1.6 买家和卖家的双向选择

考虑一个较为复杂的情形：在有两个卖家的情况下，某个买家选择其中一个卖家来进行交易。设想买家只考虑卖家的价格  $p$  和交易距离  $r$ （图 2.11a）。当价格一样时，买家通常选择交易距离最近的卖家，但是距离较远的卖家为了获得竞争优势，将选择更低的价格，这将带来不确定性。因此，交易距离和价格都不能单独决定买家的选择，这两个变量共同决定着卖家对买家的吸引力和买家最终决策的概率。

进一步考虑更复杂的现实场景：设想买家不仅考虑卖家的价格和交易距离，还考虑自己的偏好和卖家的商品质量（图 2.11b）。当偏好和交易距离一样时，买家通常选择价格最低的卖家；但是价格较高的卖家为了获得竞争优势，将选择提升商品的质量，这将带来不确定性。同时，如果买家对商品质量的鉴别能力和偏好不同，那么买家对商品质量的价值评价也就会不一样。因此，交易距离  $r$ 、价格  $p$ 、质量  $q$  和偏好  $\theta$  都不能单独决定买家的选择，这四个变量共同决定着卖家对买家的吸引力和买家选择自己的概率。

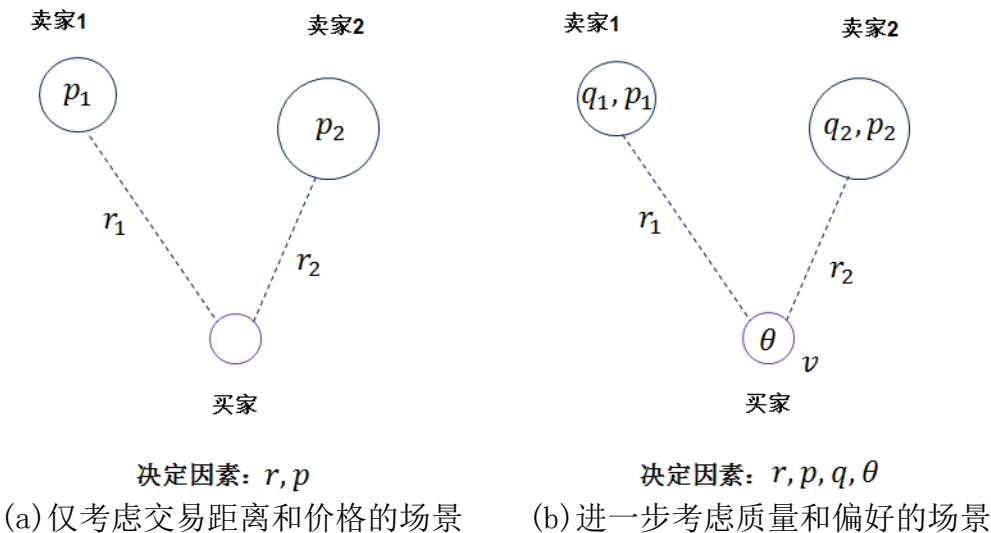


图 2.11 买家和卖家的双向选择

实际上，一个买家和两个卖家的场景也可以认为是市场环境下的“三体”问题，对应着物理场中月亮和地球、太阳之间的“三体”场景：月亮同时受地球和



太阳吸引，并达到平衡，但是如果太阳的吸引力能够变大一些，月亮就会偏离平衡和飞向太阳。同样，某个卖家可以通过改变四个变量中的部分变量来增强市场引力，从而吸引更多的买家脱离其他卖家和选择自己。

举例来说，京东为了和淘宝竞争，会宣称自己平台的商品假货更少，质量更高，这是在商品质量  $q$  上做文章。但是淘宝也会宣称自己的商品种类更多，更能满足消费者多样化的需求，这是在商品偏好  $\theta$  上做文章。居民楼下的便利店为了和网店竞争，会宣称自己离消费者更近，这是在交易距离  $r$  上做文章。京东、淘宝、便利店都会进行或大或小的价格战，这是在商品价格  $p$  上做文章。然而，卖家在任何单个方面的优势并不足以左右消费者的购买决策，最后的市场确定性需要由这四个方面综合来决定（图 2.12）。这也是为什么京东、淘宝、和便利店等商业模式在市场中都能够存在，体现着商业物种的多样性。



图 2.12 价格战与价值战都是竞争策略

如果有卖家能同时做到交易距离最短，商品偏好的满足程度最高，价格最低，和质量最好，那么他就能获得绝对优势，并且立于不败之地。但是商品的偏好与交易距离有天生的矛盾：偏好和商品的多样性密切相关，一旦商品的种类多了，筛选难度的增加就会导致交易距离的增大。同样，商品质量和价格也有天生的矛盾：更高的质量通常需要更多的成本，因而导致更高的价格。因此，卖家难以在四个方面同时达到最优，除非能掌握更先进的技术手段，或者有超乎寻常的创新。

### 2.1.7 共赢的程度

帕累托最优是指资源分配的一种理想状态，即无论做任何调整都不可能使一部分人收益而没有其他人受损。也就是说，当市场运行到高效率时，一部分人改善处境，就必须以另一些人处境的恶化为代价。

经济学理论认为，在一个自由选择的市场机制中，社会的各类人群在不断追求自身利益最大化的过程中，可以使整个社会的经济资源得到最合理的配置。市场机制实际上是一只“看不见的手”，推动着人们从自利的动机出发，在各种交易关系和各种竞争与合作的关系中实现互利共赢的经济效果。既然自由的交易能使交易的双方都能得到好处，那么以交易为基础的市场就能使所有人都达到共赢的最佳状态。

交易中的共赢是效率原则的体现（图 2.13）。在一个卖家和买家都可以自由选择交易对象的市场中，如果商品的交换使得卖家和买家达到相对最高的共赢程度，那么就体现了市场的效率。



图 2.13 共赢的程度体现了市场效率的高低

## 2.2 三大市场的微观引力、经济功与货币发行

三个市场中都存在各自的价格信号，并产生着各自的微观引力。在微观引力的基础上，买卖双方由于协作和交易而产生经济位移，并形成经济功。当市场均衡时，应当遵从货币守恒，不应该发行货币，即用交易费用来奖励交易即可；而当由产品创新或者营销创新引起市场偏离均衡时，则应该发行货币来奖励创新。

### 2.2.1 三大市场的微观引力

我们构建三个市场中的微观引力模型如下：

#### 1. 商品市场的微观引力

我们认为，市场中买卖双方的共赢程度能够衡量双方倾向于交易的吸引力，我们称这种趋向性为市场引力。卖家的满意程度与交易后得到的效用  $p$  成正比，与所需克服的交易成本  $r$  成反比；而买家的满意程度与交易后得到的效用  $v - p$  成正比，与所需克服的交易成本  $r$  也成反比。

因此，我们把双赢程度的度量定义为买卖双方满意程度的乘积，则与买卖双方交易后分别得到的数额  $p$  和  $v - p$  的乘积成正比，与买卖双方所需克服的交易成本的平方成反比。其中，价格是一把双刃剑，增加价格一方面增加了卖家的效用，另一方面减少了买家的效用，降低了成交的可能性。

市场引力也是对交易行为稳定程度的衡量：共赢的程度越高，任意一方放弃交易的可能性则越低。由帕累托效率原则，我们把双赢程度的度量定义为与买卖双方交易后分别得到的效用  $p$  和  $v - p$  的乘积成正比，与买卖双方所需克服的交易成本的平方成反比。因此我们参考物理学的方法，将基于共赢程度的市场引力定义为（图 2.14）：

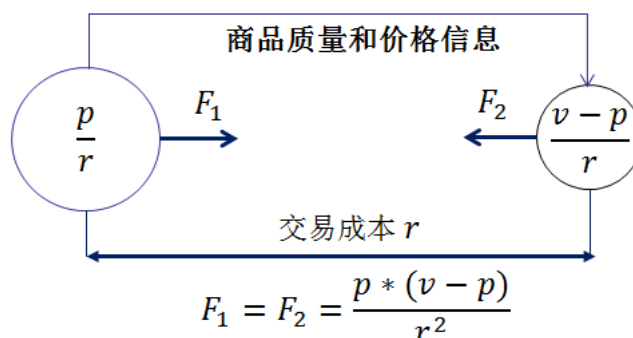


图 2.14 商品市场的微观引力

与万有引力公式相比，我们的公式有如下特点：

- 万有引力定律认为宇宙中任意两个质点都存在引力，而市场引力公式中，未获得价格信息的买家与卖家之间，或者  $v - p < r$  的买家与卖家之间未产生引力；
- 万有引力定律对为什么产生引力目前没有详细的解释，而市场引力模型从买卖双方共赢的角度进行了解释；
- 万有引力与两个物体的质量成正比，而在市场公式中，引力与买卖双方在交易后的货币效用成正比。交易后双方的货币效用越高，那么引力就越大；
- 买卖双方的交易距离是交易成本，而不仅仅是物理距离。在信息社会，这比较容易理解：有了互联网，很多物理空间上相隔很远的买卖双方，也可以用很低的交易成本来完成交易；
- 牛顿认为引力是以无穷大的速度传递的。而爱因斯坦认为，任何一种物理速度都不能超越光速，引力也一样。在市场引力模型中，交易双方需要进行商品价格和数量等信息的传递和感知，而市场的“无形的手”是以信息的传递为基础来实现的。因此，市场引力的作用速度将小于或接近光速；
- 万有引力是一个较为静态的模型，而市场引力模型是动态的。不仅  $r$  可以变化，相互之间传递的商品质量  $q$  和价格信息  $p$  也是可以变化的；
- 万有引力主要是针对天体或物体这样的宏观物体，市场引力是针对交易中的个体，即相当于物理学中的电子这样的基本粒子。

总的来说，我们认为万有引力是引力的宏观形式，而我们的公式是市场引力的微观形式，我们将在后文中导出市场引力的宏观形式，并且与万有引力做进一步的比较。

另外，商品市场的微观引力包含着著名的 4P 营销理论（图 2.15），该理论即产品 (Product)、价格 (Price)、渠道 (Place)、促销 (Promotion) 这四个基本策略的组合。1953 年，尼尔·博登在美国市场营销学会的就职演说中创造了“市场营销组合”这一术语，其意是指市场需求的多少在某种程度上受到该策略组合的影响。作为现代营销理论的代表，它风靡世界，影响并左右了无数公司的营销策略，成为近半个世纪营销领域的核心思想。



图 2.15 市场引力包含着 4P 营销策略的组合

在 4P 理论中，产品策略是指注重产品功能，强调产品的独特卖点；价格策略是指根据不同的市场定位，制定不同的价格策略；渠道策略是指注重分销商的培养和销售网络的建设；促销策略是指公司可以通过改变销售行为来刺激消费者，以短期的行为（如广告、让利、买一送一等）促进需求和销售的增长。而市场引力包含了针对产品功能和质量的估值 $v$ 、价格 $p$ 、和交易距离 $r$ ，分别对应着产品、价格、和渠道这三个策略。而促销策略则是外力，即通过让利来调整价格、通过广告来调整交易距离、以及通过增加产品功能和提高产品质量来调整估值，从而影响市场引力和增加市场需求。因此，市场引力包含着 4P 营销策略的组合。由公式可知，当  $r$  越小，或者  $p$  和  $v - p$  的乘积越大时，买卖的引力  $F$  就越大。

## 2. 劳动力市场的微观引力

在商品市场中，交易行为发生在消费者和生产者之间，表现为商品买卖交易，而在劳动力市场中，交易行为发生在法人和工资劳动者之间，表现为劳动雇佣交易。当劳动被商品化之后，劳动交换的本质是法人与工资劳动者之间的交换关系，即经济组织的法人雇佣劳动者，并支付工资。

在劳动力市场中，法人和劳动者双方在现有市场中的共赢程度，是双方倾向于完成交易的吸引力，我们称这种趋向性为劳动力市场的市场引力。这种引力，也是交易行为稳定程度的衡量：共赢的程度越高，任意一方放弃交易的可能性则越低。我们借用物理学的方法，将基于共赢程度的劳动力市场引力定义为(图 2. 16)：

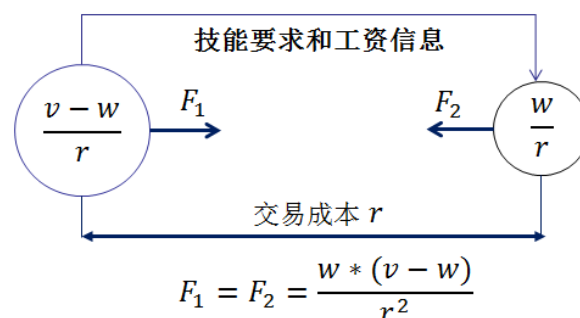


图 2. 16 劳动力市场的微观引力

从公式中，我们看到，引力的产生必须提前有该劳动商品的工资水平信息由法人向潜在的劳动者直接或者间接地传递。在传递的过程中，劳动者需要接收到职位需求和工资信息。由公式可知，当  $r$  越小，或者  $w$  和  $v - w$  的乘积越大时，雇佣的引力  $F$  就越大。

## 3. 金融市场的微观引力

资金供应者和资金需求者通过信用工具进行交易而融通资金，体现了资金所有权和使用权的分离，使得资金成为特殊的商品，通过借贷来实现交换。普通商品的交易，遵循等价交换的原则，通过议价、成交付款、交货而使交易结束，双方不再发生任何关系；而金融市场的交易是信用和投融资关系的建立和转移过程，交易完成之后，信用和投融资关系并未结束，还存在本息的偿付和收益分配等行为。金融市场的交易中，卖方获得运用资金的权利，买方则取得投融资的利息和

控股等权利。

资金需求者和资金供应者在金融市场中的共赢程度，是双方倾向于完成交易的吸引力。我们借用物理学的方法，将基于共赢程度的金融市场引力定义为（图 2.17）：

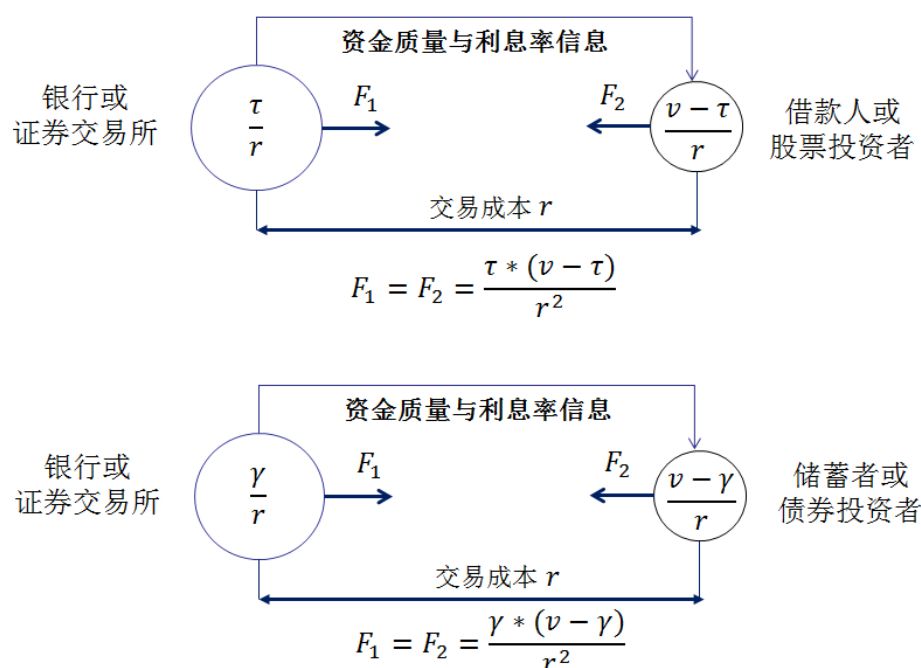


图 2.17 金融市场的微观引力

在金融市场中，资金成为特殊的商品，需要通过金融中介来交易。金融市场中的交易中介至少有两种：银行和证券交易所。显然，银行是一个中介机构，在储蓄者和借贷者之间担任中介。而证券交易所是个隐形的中介，作用类似于银行：它的客户资金都是在银行托管，参与交易所的投资，资金必须通过银行进行“银商转账”进入交易所的保证金账户，银行对交易所的保证金账户进行第三方存管。因此，证券交易所的背后就是银行：银行担任简单资金商品的交易中介，而证券交易所担任复杂资金商品的交易中介。从公式中，我们看到引力的产生，必须提前有该金融商品的利率水平信息被资金供应者直接或者间接地向资金需求者传递。由公式可知，当  $r$  越小，或者  $\tau$  和  $v - \tau$  的乘积越大时，借贷的引力  $F$  就越大。同样，当  $r$  越小，或者  $\gamma$  和  $v - \gamma$  的乘积越大时，储蓄的引力  $F$  就越大。

## 2.2.2 买家的决策与交易的“自由落体”运动

在博弈论中，冯·诺依曼通过分析社会的交换经济，建立了静态的均衡理论，但尚未建立起一个动态的理论。真正的动态分析，研究的是市场中精确的运动规律。在物理学中，自由落体运动(图 2.18)是一种不起眼的现象，但正是对这一极为简单事实的研究，及其与天文观测数据的对比，产生了力学。我们也在分析一个类似于“自由落体运动”的典型交易场景。





图 2.18 物理场中的自由落体运动

考虑一个简单的市场，由两个卖家和一个买家组成。两个卖家销售同一种商品，但是价格不一样。在已知有两个卖家和交易距离一样的情况下，如果商品质量一样，那么买家就必然选择价格低的那一家。由于两个卖家都不愿意失去客户，那么价格高的商品就通常具备更高的质量。因此当  $p_1 > p_2$  时，通常有  $q_1 > q_2$ ，即优价表现为优质。

更进一步，假设买家对两个商品具备较好的质量鉴别和估值能力：由于  $q_1 > q_2$ ，那么  $v_1 > v_2$ 。在预算充足的情况下，买家将权衡  $\frac{v_2 - p_2}{r_2}$  和  $\frac{v_1 - p_1}{r_1}$  来做出“与谁

交易”的选择。当  $\frac{v_1 - p_1}{r_1} > \frac{v_2 - p_2}{r_2}$ ，且  $v_1 - p_1 > 0$  时，买家将选择与卖家 1 来交易；

当  $\frac{v_2 - p_2}{r_2} > \frac{v_1 - p_1}{r_1}$ ，且  $v_2 - p_2 > 0$  时，买家将选择与卖家 2 来交易。

在这两种情况下，买家将分别被卖家 1 或者卖家 2 吸引，并进行交易行为。这个交易过程就是人类市场中的“自由落体”运动(图 2.19)。引力大小由相应的

$v$ 、 $p$ 、和  $r$  来决定，即  $F = G \frac{p(v-p)}{r^2} = (v-p) * a$  ( $a$  为交易的加速度)。



图 2.19 人类市场中的“自由落体”运动

很多经验事实表明，对于同一种商品，在交易成本相等的情况下，高质量且稀缺度较高的（通常表现为高价格）商品的成交速度快于低质量且稀缺度较低的（低价格）的商品（图 2.20）。以苹果公司的 *iphone5* 和 *iphone6* 这两个商品为例：当两个商品同时可售，且交易距离几乎相等时，*iphone6* 的成交速度会明显高于 *iphone5*。因此，我们认为，商品质量对交易速度有促进作用：商品质量越高，交易的加速度就越大。同时，也有很多经验事实表明，渠道的建立和品牌的塑造有助于提升买家的认知，减小交易成本  $r$ ，并最终增大交易加速度  $a$ 。



图 2.20 更高质量而且稀缺的商品引发抢购

在极端理想和不考虑其他阻力的情况下，我们得到类似于物理场中自由落体运动的计算结果：

$$t = \sqrt{\frac{2r}{a}}, \text{ 其中 } a = \frac{p}{r^2}, \text{ 因此 } t = \sqrt{\frac{2r^3}{p}}。$$

我们看到，交易加速度和交易时间由  $p$  和  $r$  决定。其中，在市场竞争的条件下， $p$  主要由商品质量来决定，即优质才能优价。商品质量越高，交易时间就越短，单位时间内可以完成的交易就越多。同时，交易距离也是影响交易时间的重要因素，从幂的级数上甚至超过商品质量的影响，因此影响最为明显。这也是为什么营销创新的重要性在短期内经常超过质量创新的重要性。另外，虽然交易的产生取决于买家的效用，但交易时间和买家的效用无关。对于卖家来说，提升交易速度的明智策略是优先减小交易成本，并同时努力提升商品的质量，做到优质和优价。这是符合已知的众多商业事实的。

### 2.2.3 微观的经济功与“去中心化”的货币发行

中本聪在其原始论文中提出：“对每个区块的第一笔交易进行特殊化处理，该交易产生一枚由该区块创造者拥有的新的电子货币。这样就增加了节点支持该网络的激励，并在没有中央集权机构发行货币的情况下，提供了一种将电子货币分配到流通领域的一种方法”。

同时，“另外一个激励的来源则是交易费。如果某笔交易的输出值小于输入值，那么差额就是交易费，该交易费将被增加到该区块的激励中。只要既定数量的电子货币已经进入流通，那么激励机制就可以逐渐转换为完全依靠交易费，那么本货币系统就能够免于通货膨胀”。

中本聪提出的这种机制，可以由我们的市场引力模型来证明其合理性：对于商品市场  $F = \frac{p(v-p)}{r^2}$ ，在买家作出选择后，市场引力在运动的方向上做功，即：

力 \* 位移 = 功（图 2.21）。市场均衡时，对于买家： $v - p = r$ ；而对于卖家： $F * r = p$ ，即市场引力做的功等于成交的金额。对于买家的参与激励来说，只需要获得交易费  $r$  就足够了，如果激励超过  $r$ ，就会引起通货膨胀。



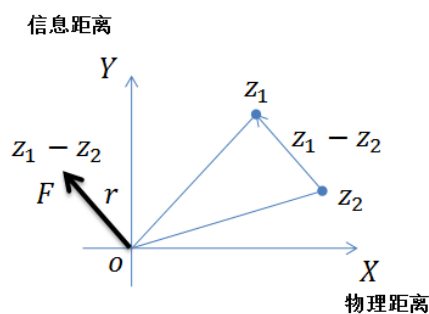


图 2.21 微观经济力、经济位移、与经济功

当市场偏离均衡时，对于买家： $v - p > r$ ；而对于卖家： $F * r > p$ ，即市场引力做的功大于成交的金额。偏离均衡通常是由于商品创新或营销创新引起的，因此，商品创新和营销创新可以带来熵减。同时，引力的大小也得到提升，即表现为  $F > \frac{p}{r}$ ，而不是  $F = \frac{p}{r}$ 。于是，买家的参与和创新激励就会超过交易费  $r$ ，

这就需要发行新的货币。

也就是说，当创新出现时，市场引力做的经济功可以超过成交的货币金额，于是需要发行新的货币来代表这个超过的部分，以满足这种“能量”不守恒的需要。在没有创新的情况下，就应该“能量”守恒：如果任意发行货币就会违反能量守恒和导致通货膨胀。功的英文是 **work**，含义是工作，而有意义的工作有重复工作和创新工作之分，其中，创新的工作通常更为重要。

以区块链为基础的比特币没有特定的发行机构，而是依靠一套去中心化的发行机制，谁都有可能参与制造比特币，并逐步将比特币发行出去。比特币系统相当于一个去中心化大帐本，每个区块就是这个账本中的一页，系统自动生成比特币作为奖励来激励矿工参与记账。在这个过程中，各个区块不仅仅是按时间顺序链接的，各个区块之间也体现了难度上的递增。该系统存在动态提高挖矿难度的机制，这个挖矿及其难度值，实际上是模拟着创新及其难度值。创新越到以后，难度就越高，需要更多的劳动者利用更多的资本才能实现下一代的创新。在现实中，第一个实现创新的人，也应该自动获得一定量的新增货币，作为货币的发行过程，这样既可以激励创新和增加全社会的福利，又可以避免通货膨胀。

同样，在雇佣交易和借贷交易中，技能创新和金融创新的出现，也使市场引力做的经济功超过成交的货币金额。这些创新也可以带来熵减。因此，也需要发行新的货币来代表这个超过的部分。这与中本聪的货币发行思想是一致的。

从物理学上来说，在 1840 年，焦耳证明了电能(功)同热量之间的转换关系。但是在偏离均衡的情况下，是否仍然存在能量守恒，从而只存在熵增？焦耳对此并未证明。然而，如果只存在熵增就会导致热寂，这显然与物质世界和宇宙系统的现实不相符合。我们认为，在均衡时，物理场固然保持能量守恒，但是物质世界的创新导致物理场偏离均衡时，可以产生熵减，并导致能量不守恒。例如，生命系统的创新体现了物质世界的创新，并且表现出熵减，即由低级走向高级，由简单走向复杂。

同样，我们认为，在均衡时，人类市场固然可以保持资本守恒，但是在创新导致人类市场偏离均衡时，可以产生熵减，并导致资本不守恒。商业模式的创新体现了人类市场的创新，并且表现出熵减，即由低级走向高级，由简单走向复杂。

## 2.2.4 单个生产者的经济功大小（某个价格水平下的总需求即其经济功的大小）

需求的圆锥体最初由德国经济学家奥古斯特·廖什在 1940 年提出来。需求的圆锥体即三角形  $pQV$  绕  $Y$  轴旋转产生的圆锥体所形成的市场区。该市场区的质量公式即为单个卖家(生产者)在单次销售过程中的总需求。

不同于廖什，我们提出需求曲线是钟型曲线，而不是他所使用的直线。实证研究表明，需求曲线通常是曲线而不是直线（图 2.22）。

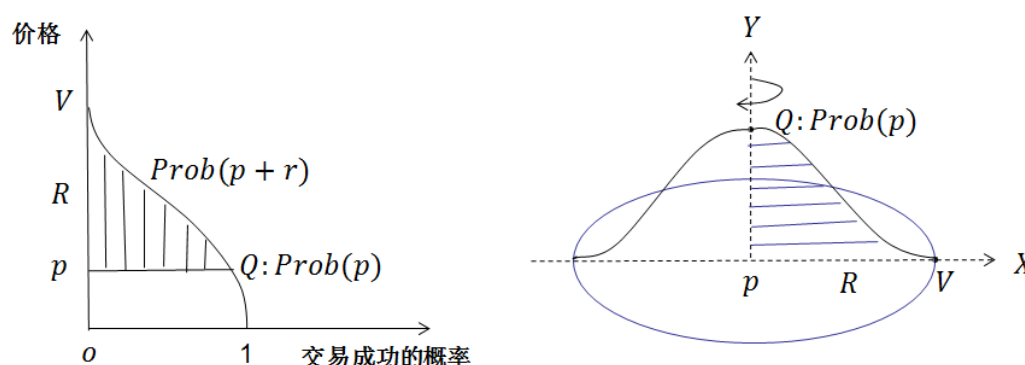


图 2.22 单个生产者的经济功大小

假设所有的客户都有相同的需求曲线和相同的商品估值  $v$ 。那么，一个生产者在某价格  $p$  下的需求总和为：

$$D = 2\pi \int_0^R \rho(r) * f(p+r) * r * dr$$

其中，

$D$ ：卖家（即生产者）设定价格  $p$  时，所对应的总需求；

$R$ ：商品估值  $v$  的最大值  $V$  与商品价格  $p$  的差值；

$R$ ：潜在买家与卖家的交易距离；

$\rho(r) = \rho_0 * e^{-b*r}$ ：潜在买家的分布密度，该密度是他们与卖家之间交易距离的函

数。卖家通常将销售中心设置在人口最稠密、交通最便捷、和信息最集中的区域，因此，距离销售中心越远，潜在买家的分布密度就越小；

$f(p+r)$ ：潜在买家最终购买的概率为  $\text{Prob}(p+r)$ ，该概率与  $v$  和  $p+r$  的差值成正比。差值越大，交易成功的概率通常就越高。其中， $p+R$  对应的交易成功概率为 0，而当  $p$  和交易距离趋向于 0 时，交易成功的概率趋向于 1。

因此，在均衡的条件下，单个卖家在单次销售过程中，在他的市场区所做的功为其总效用，即  $p * D$ 。在创新引起偏离市场均衡的情况下，他所做的功就会大于  $p * D$ ，形成熵减。

如果我们对称地沿  $Y$  轴截取圆锥体的一个面，我们看到的曲线是一条正态分布曲线，即中间高，两端逐渐下降且完全对称的钟形曲线。 $p$  作为市场价格，相当于数学期望，反映了集中的趋势：在非常有限的交易距离之外，购买概率趋近于零，即交易都将在市场价格或市场价格附近完成，交易价格过小或者过大都很不现实。交易距离相当于偏离市场价格  $p$  的程度，反映了总需求的离散程度。

因此，价格与交易距离是决定购买概率的两个关键参数，而且购买概率的分布曲线符合集中性和对称性。

## 2.2.5 市场中的运动定律

利益驱动是人类既普遍又深刻的一条基本规律。在市场中，人的行为受其需要和动机支配着，而人的需要和动机在本质上又是对利益的追逐，因此人完全是按照价值判断的利益取向来选择和行动的。利益驱动是需要和动机的有效激励，也是个体行为的基础和起点。我们构建出三个市场中利益驱动的运动定律如下：

### 1. 商品交易的三个运动定律

类比于牛顿力学的三大定律，在考虑交易距离的情况下，我们可以从现实中的大量基本经验事实通过类比得出市场引力和交易行为的三个定律如下：

➤ 利益主体对自身利益的强烈追求是交易行为的驱动力。

在未收到卖家价格信息，或者卖家要求的价格  $p$  与  $r$  之和高于买家的预期货币价值  $v$ （即  $v - p < r$ ）的情况下，交易不进行，买家相对于该卖家保持静止状态；

➤ 利益主体追求最大的效用，当预期效用价值越高时，追求的努力程度和强度就越大。

在一个或多个卖家要求的价格  $p$  与  $r$  之和低于买家的预期货币价值  $v$ （即  $v - p > r$ ）的情况下，买家选择其效用和  $r$  的比值，即  $\frac{v-p}{r}$  的最大值所对应的卖家进行交易，从而产生交易行为（买家相对于  $\frac{v-p}{r}$  未取得最大值的其他卖家仍保持静止状态）。在交易的过程中，需要卖家配合买家进行交易，卖家配合和促进交易的努力程度取决于其效用  $p$  和  $r$  的比值，即  $\frac{p}{r}$ ，这个值越大，则卖家越不愿意放弃交易，使得交易完成的稳定性更高。

我们定义交易速度为单位时间花费的交易费用。价格  $p$  是对商品稀缺性的度量，大量经验事实表明，稀缺性越大，则买家在单位时间内交易速度的增量越大，表现为买家先来先得和争先恐后的抢购行为，以及稀缺性随交易的进行而更加稀缺的事实。而交易费用  $r$  体现为一种阻力，该费用越高，则买家在单位时间内交易速度的增量越小。

我们定义交易加速度  $a$  为买家在单位时间内交易速度的增量。交易加速度由商品的质量高低、库存多少和种类特殊性等因素决定的价格水平  $p$ ，以及交易费用  $r$  来决定，并由公式  $\frac{p}{r^2}$  来度量。

该公式由市场引力公式和  $F = (v - p) * a$  得出，后者也是符合市场中的交易现象的。交易加速度与  $p$  成正比，而与  $v - p$  反向变化。

$v$  不变时，买卖双方是零和博弈。为避免零和博弈，卖家应努力影响和提高买家对其产品的预期占有价值  $v$ ，这样卖家效用  $p$  的增加才有更大空间。在这种非零和博弈场景下，卖家可以通过技术创新来提升产品质量，通过营销创新来控制产品的库存，并通过广告来传递质量和库存信息，从而影响买家的估值  $v$ 。

- 交易行为是在自愿平等基础上的互利互惠的价值交换活动。  
买卖双方之间的作用力和反作用力，大小相等，方向相反。

## 2. 雇佣交易的三个运动定律

根据牛顿力学的三大定律，在考虑交易距离的情况下，我们从现实中的大量基本经验事实可以类比地得出市场引力和雇佣行为的三个定律如下：

- 利益主体对自身利益的强烈追求是交易行为的驱动力。  
在劳动者未接收到职位需求和工资信息，或者招聘职位的工资水平低于劳动者的最低要求，或者法人对劳动者工作能力的预期货币价值  $v$  低于该职位的工资水平  $w$ （即  $v - r \leq w$ ）的情况下，交易不进行，该劳动者相对于法人保持静止状态；
- 利益主体追求最大的效用，当预期效用价值越高时，追求的努力程度和强度就越大。

存在一个或多个劳动者的工作能力预期货币价值  $v$  高于该职位的工资水平  $w$ （即  $v - r > w$ ）的情况下，法人选择其预期效用和  $r$  的比值，即  $\frac{v-w}{r}$  最大的一批劳动者来依次发出工作录用通知，直到有满足条件的劳动者愿意接受为止。劳动者则会根据一段时间内收到的工作录用情况来比较工资的高低，并选择能使其报酬函数  $\frac{w_{ik}}{r_{ij}}$  最大的法人进行后续的交易（即接受公司安排和持续地工作）。

交易加速度  $a$  由劳动这种特殊商品的质量高低、供给多少和种类特殊性等因素决定的工资水平  $w$ ，以及交易费用  $r$  来决定，并由公式  $\frac{w}{r^2}$  来度量。

$v$  不变时，法人和劳动者双方是零和博弈。为避免零和博弈，劳动者应努力影响和提高法人对其劳动的预期价值  $v$ ，这样劳动者效用  $w$  的增加才有更大空间。在这种非零和博弈场景下，劳动者可以通过技能创新来提升劳动质量，通过营销创新（例如工会和资格认证等）来控制劳动的供给，并通过简历投递、猎头的辅助、和内部推荐等方式来传递质量和供给信息，从而影响法人的估值  $v$ ；

- 交易行为是在自愿平等的基础上互利互惠的价值交换活动。  
法人和劳动者双方之间的作用力和反作用力，大小相等，方向相反。

## 3. 金融交易的三个运动定律

根据牛顿力学的三大定律，在考虑交易距离的情况下，我们从现实中的大量基本经验事实可以类比地得出市场引力和借贷行为的三个定律如下：

- 利益主体对自身利益的强烈追求是交易行为的驱动力。  
在未接收到资金供应者要求的利率水平，或者资金供应者要求的总利息  $\tau$  高于资金需求者的预期货币价值  $v$ （即  $v - r \leq \tau$ ）的情况下，交易不进行，资金需求者相对于该资金供应者保持静止状态；
- 利益主体追求最大的效用，当预期效用价值越高时，追求的努力程度和强度就越大。

在一个或多个资金供应者要求的总利息  $\tau$  低于买家的预期货币价值  $v$ （即  $v - r > \tau$ ）的情况下，资金需求者选择其效用和  $r$  的比值，即  $\frac{v-\tau}{r}$  的最大值所

对应的资金供应者进行交易，从而产生交易行为。在交易的过程中，需要资金供应者配合资金需求者进行交易，资金供应者配合和促进交易的努力程度取决于其效用  $\tau$  和  $r$  的比值，即  $\frac{\tau}{r}$ 。

资金供应者的效用  $\tau$ ，也就是交易的利息，可由利率水平来体现。从一定程度上可以说，利率水平也是传递资金质量的信号。资金质量体现在资金额度、使用范围、借款期限、到款速度、还款方式等几个方面。交易加速度  $a$  由资金这种特殊商品的质量高低、供给多少和种类特殊性等因素决定的利息水平  $\tau$ ，以及交易费用  $r$  来决定，并由公式  $\frac{\tau}{r^2}$  来度量。

在  $v$  不变时，资金需求者和资金供应者双方是零和博弈。为避免零和博弈，资金供应者应努力影响和提高资金需求者对其产品的预期占有价值  $v$ ，这样资金供应者效用  $\tau$  的增加才有更大空间。在这种非零和博弈场景下，资金供应者可以通过金融创新来提升资金质量，通过营销创新来控制资金的供给，并通过各种金融政策来传递质量和供给信息，从而影响资金需求者的估值  $v$ 。

➤ 交易行为是在自愿平等的基础上互利互惠的价值交换活动

资金需求者和供应者双方之间的作用力和反作用力，大小相等，方向相反。

## 2.3 三大市场的宏观引力、经济功与货币发行

在宏观上，市场引力表现为经济体之间的贸易引力。在宏观引力的基础上，经济体由于贸易而产生经济位移，并形成经济功。当市场均衡时，应当遵从货币守恒，不应该发行货币，即用交易费用来奖励贸易即可；而当由技术创新或者营销创新引起市场偏离均衡时，则应该发行货币来奖励创新。

### 2.3.1 经济体

经济体是某个区域的生产关系的总和，它是政治、法律、哲学、宗教、文学、艺术等上层建筑赖以建立起来的经济基础。经济体可以指一个地区，一个国家，或一个多国群体(如欧盟，东盟等)。其中，多国经济体是多个国家为了达到优惠的贸易政策，从而实现共同的经济利益以应对激烈的市场竞争而组建的经济共同体。像每个人或公司一样，每个经济体都会进行会计核算，拥有自己的账本。

经济体对应于物质世界的物体、生物体、或者天体。就像物体、生物体、或者天体会崩溃或分解一样，一个经济体也可能崩溃或分解，依附其上的各类公司将消亡或者转移到其他经济体。一个正常运转的经济体可能具有意识，比如国家意识，但是该经济体瓦解之后，就不再具备该意识。

区块链中每个节点背后的主体，由于地理位置或者法律等因素，在现实中是归属于某个经济体的。这些经济体可以称为区块链经济体。和节点之间存在市场引力一样，各个区块链经济体之间也存在着市场引力，从而展开网状的协作，并导致商品、劳动力和资本在经济体之间流动。

### 2.3.2 贸易的引力模型

已有的贸易引力模型可以看作宏观的市场引力模型。贸易引力模型的思想

概念源自于物理学中牛顿提出的万有引力定律。人们普遍认为，最早将引力模型用于研究贸易的是 Tinbergen(1962)（首届诺贝尔经济学奖获得者）和 Poyhonen(1963)，他们分别独立使用引力模型研究分析了双边贸易流量，并得出了相同的结果：两国双边贸易规模与他们的经济总量成正比，与两国之间的距离成反比。

引力模型是贸易领域中最常用的经验方程。它是经济学中到目前为止，实证上最成功的模型之一。自从 1960 年代提出以来，它在数量巨大的、涉及空间的经济研究中表现得非常出色，无论是研究商品流动，还是研究要素流动，都可以应用引力方程对数据进行分析。对引力方程的深入探索不仅能让我们对经济规律有更清楚的理解，而且也可以作为一种合适的方式对贸易的性质进行深入分析。

由于引力模型所需要的数据具有可获得性强、可信度高等特点，贸易引力模型的应用越来越广泛，成为国际贸易流量的主要实证研究工具。贸易引力模型在双边贸易流量影响因素问题上具有较强的解释力，而且在诸多应用中取得了较大的成功。大部分研究表明，无论是从贸易整体上看，还是从行业层面上看，贸易伙伴的 GDP (Gross Domestic Product, 国内生产总值)、空间距离、人口和制度安排都是显著的影响因素，其中，GDP 的影响尤为显著。

引力方程研究的对象是双边贸易流（图 2.23），它以两国经济总量、距离、贸易联盟或贸易壁垒等来解释双边贸易，形式清楚，解释变量都属于可观察量，方便应用。自提出至今，引力方程对数据拟合良好，拟合的参数相当紧凑地集中在较小范围，应用基础相当坚实。迄今为止，经过五十年发展和研究，引力方程已经成为国际贸易领域的基准模型，应用到各个领域，而且在近年的研究中有不断升温的趋势。同时，引力方程对空间经济学的研究也具有重要意义。



图 2.23 贸易流是宏观引力模型的关键

但是，由于缺乏必要的理论基础，其作为政策分析工具的功能经常受到质疑，在相当长时间里也没有得到主流经济学的关注。20 世纪 70 年代末以来，随着新国际贸易理论不断发展，理论界又掀起了对引力模型实证和理论研究的高潮，但从以往的研究中，人们尚未发现合适的经济理论基础。因此，我们从互惠共赢的角度来提出贸易引力模型的理论基础。

### 2.3.3 互惠共赢的角度

和我们在微观部分的分析一样，我们从贸易的产生根源和互惠共赢的角度来



探求引力模型的理论基础如下：

# 1. 商品贸易的推动力

国际经济学中的赫-俄模型说明了这个原因，赫克歇尔和俄林认为两个国家的资源条件是不一样的，所以生产不同产品所耗费的资本不同，这就产生了比较价格。

用一个例子来说明比较价格，如本国和外国同时生产 A、B 两种商品，本国生产 A 产品需耗费 1 单位成本，生产 B 需耗费 2 单位成本，而外国生产 A 产品需耗费 2 单位成本，生产 B 需耗费 1 单位成本。这样，本国 A 产品的价格比外国低，称为 A 产品的比较价格具有优势，B 产品的价格比外国高，称为 B 产品的比较价格具有劣势。所以从利益角度出发，本国会选择从国外进口 B 产品而不用自己生产，把更多的资本投入到 A 产品出口。因此每个国家会选择进口比较价格居于劣势的商品，出口比较价格居于优势的商品，国与国之间的贸易由此产生。

同样，由大卫·李嘉图在 1817 年提出的古典比较优势理论表明，如果在自由市场中有能够生产两种商品的两个国家，而且两国的劳动生产率之间存在差异，那么每个国家都将通过出口具有比较优势的商品和进口具有比较劣势的商品，从而增加它的总需求和总消费。在两国之间，劳动生产率并不是在任何产品上都是相等的。每个国家都应集中生产并出口具有比较优势的产品，进口具有比较劣势的产品，双方均可节省劳动力，从而获得由专业分工所带来的提高劳动生产率的益处。总之，贸易可以给双方带来互惠和共赢。

我们同意李嘉图关于贸易带来共同利益的观点，但不赞同李嘉图的假设，即由于自由贸易，会导致商品价格在任何地方都相同。我们认为，价格变化是渐进的，因此价格差异在各个地区之间都是普遍存在的，这符合广泛存在的经济现实。我们认为平均价格的差异(即  $P_H - P_L$ )是贸易的推动力：只要存在价格差距，而且在两个经济体之间存在适当的渠道(即  $r$  不是无穷大)，贸易引力就一定存在，从而必定会产生贸易流量。经济体间的贸易实际上是通过微观层面的大量的商品交易实现的：价格较高地区的个体通常对同一商品的估值更高，即稀缺度更高，因此更希望从其他地区进口该商品，进口的价格在  $P_H$  和  $P_L$  之间。

同样，在热运动中，热量传递的必要条件是存在温度差，该温度差也被称为传热的推动力。传热是指由于温度差引起的能量转移，又称热传递。由热力学第二定律可知，凡是有温度差存在时，热就必然从高温处传递到低温处，因此传热是自然界和工程技术领域中极普遍的一种传递现象。由此可见，物理场中的温度差对应着人类市场中的平均价格差异 (图 2.24)。





图 2.24 如同温度差导致传热，价格差也导致贸易流

## 2. 宏观的市场引力

设两个经济体 A 和 B 的 GDP, 分别为  $\sum_{i=0}^{T_1} p_i$  和  $\sum_{i=0}^{T_2} p_i$  (图 12)。用  $P$  表示最终商品和服务的平均价格,  $T$  表示最终商品和服务的总交易数量, 并且经济体 A 的平均价格高于经济体 B, 即  $\sum_{i=0}^{T_1} p_i = P_H * T_1$ ,  $\sum_{i=0}^{T_2} p_i = P_L * T_2$ 。两个经济体之间的贸易表现为经济体 A 从经济体 B 进口, 反过来说, 是经济体 B 向经济体 A 出口。

进口贸易的预期结果是使经济体 A 的  $P_H$  降低为  $\alpha * P_H$  ( $0 < \alpha < 1$ )。由于平均价格的降低, 使该经济体内的商品消费量增加, 即  $T_1$  增加为  $\rho * T_1$  ( $\rho > 1$ ), 并通常导致 GDP 增加, 表现为当  $\alpha * \rho > 1$  时,  $\alpha * P_H * \rho * T_1 > P_H * T_1$ 。那么经济体 A 通过进口而获得的预期 GDP 增长为  $(\alpha * \rho - 1) * P_H * T_1$ 。

同时, 出口贸易的预期结果是使经济体 B 的  $P_L$  升高为  $\beta * P_L$  ( $\beta > 1$ )。由于价格的提高, 使该经济体内的商品消费量减少, 即  $T_2$  减少为  $\delta * T_2$  ( $0 < \delta < 1$ ), 并也通常导致 GDP 增加, 表现为当  $\beta * \delta > 1$  时,  $\beta * P_L * \delta * T_2 > P_L * T_2$ 。

那么经济体 B 通过出口而获得的预期 GDP 增长为  $(\beta * \delta - 1) * P_L * T_2$ 。

当贸易使得两个经济体的预期 GDP 都增加时, 双方可以获得共赢。共赢的程度取决于双方获益的大小: 如果在  $r$  的限制下, 双方都没有更好的可替代的选择, 那么贸易关系是稳定的; 如果任何一方有更好的获益选择, 那么贸易关系将被随时减弱或者终止 (比如提高关税来增大  $r$ , 从而减弱双边的贸易关系)。

用  $r$  表示由于信息不对称、运输成本、贸易壁垒、关税、语言和法律差异等因素造成的贸易费用, 即贸易距离。如果考虑该贸易距离  $r$ , 那么经济体 A 对该双边贸易的评价函数为  $\frac{\Delta GDP_1}{r}$ , 而经济体 B 对该双边贸易的评价函数为  $\frac{\Delta GDP_2}{r}$ 。

我们定义宏观的市场引力  $F$  来衡量双方互惠和共赢的程度, 即:

$$F = \frac{\Delta GDP_1 * \Delta GDP_2}{r^2} = (\alpha * \rho - 1) * (\beta * \delta - 1) * \frac{GDP_1 * GDP_2}{r^2} = G \frac{GDP_1 * GDP_2}{r^2}$$
, 在该公式中,  $G = (\alpha * \rho - 1) * (\beta * \delta - 1)$ 。如下图 2.25 所示。

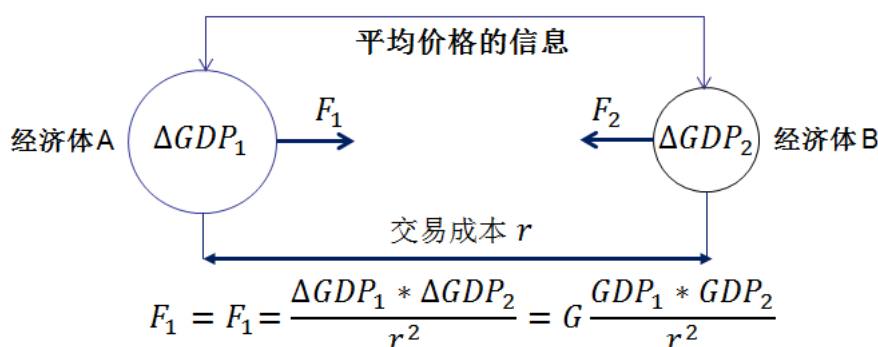


图 2.25 经济体之间商品贸易的宏观引力

我们看到，F 存在的必要条件是  $\alpha * \rho > 1$  和  $\beta * \delta > 1$ 。如果这两个条件不能同时符合，那么 F 不存在，即两个经济体之间没有贸易的吸引力。

在现实中，通常不止存在这两个经济体，即还有很多备选贸易对象。因此，每个经济体都在寻找使自己预期收入最大的贸易对象，并努力减小贸易距离。

从公式中可以看到，两个经济体的价格差  $P_H - P_L$  是贸易的推动力。只要存在价格差，而且具有合适的渠道（即贸易距离  $r$  并非无穷大），就一定会产生宏观的市场引力和贸易流量。

### 3. 更复杂的场景（既区分行业，又区分进口和出口）

如果两个经济体 A 和 B 的行业之间存在互补，而且每个经济体的进口和出口流量都比较显著，那么每个经济体都需要计算两种引力，即进口贸易的引力和出口贸易的引力。假设两个经济体都有  $x$  和  $y$  两个行业，在  $x$  行业，经济体 A 的平均价格较高，表现为 A 从 B 进口；而在  $y$  行业，经济体 B 的平均价格较高，表现为 A 向 B 出口。

设  $x$  行业占经济体 A 的 GDP 比例为  $x_1$ ，占经济体 B 的 GDP 比例为  $x_2$ ，那么经济体 A 在  $x$  行业获得的预期 GDP 增长为： $(\alpha * \rho - 1) * P_{XH} * T_{XH}$ ，经济体 B 在  $x$  行业获得的预期 GDP 增长为： $(\beta * \delta - 1) * P_{XL} * T_{XL}$ ，则：

$$F_X = \frac{[(\alpha * \rho - 1) * x_1 * GDP_1] * [(\beta * \delta - 1) * x_2 * GDP_2]}{r^2}$$

设  $y$  行业占经济体 A 的 GDP 比例为  $y_1$ ，占经济体 B 的 GDP 比例为  $y_2$ ，那么经济体 B 在  $y$  行业获得的预期 GDP 增长为： $(\varphi * \varepsilon - 1) * y_2 * P_{YH} * T_{YH}$ ，经济体 A 在  $y$  行业获得的预期 GDP 增长为： $(\theta * \epsilon - 1) * y_1 * P_{YL} * T_{YL}$ ，即：

$$F_Y = \frac{[(\theta * \epsilon - 1) * y_1 * GDP_1] * [(\varphi * \varepsilon - 1) * y_2 * GDP_2]}{r^2}$$

这两种引力的合力（两个力在同一条直线上，且方向相同）为：

$$F = F_X + F_Y = [(\alpha * \rho - 1) * (\beta * \delta - 1) * x_1 * x_2 + (\theta * \epsilon - 1) * (\varphi * \varepsilon - 1) * y_1 * y_2] * \frac{GDP_1 * GDP_2}{r^2} = G \frac{GDP_1 * GDP_2}{r^2}$$

在该公式里  $G = (\alpha * \rho - 1) * (\beta * \delta - 1) * x_1 * x_2 + (\theta * \epsilon - 1) * (\varphi * \varepsilon - 1) * y_1 * y_2$ 。

其中， $F_X$  存在的必要条件为  $\alpha * \rho > 1$  和  $\beta * \delta > 1$ ； $F_Y$  存在的必要条件为  $\theta * \epsilon > 1$  和  $\varphi * \varepsilon > 1$ 。两种引力都存在时，才有合力的存在，但也可以只存在一种引力，即进口的吸引力或者出口的吸引力。

因此，宏观经济体的市场引力为  $F = F_X + F_Y = G \frac{GDP_1 * GDP_2}{r^2}$ ，其中， $G$  为引力系数。多于两个行业的贸易情况，也可以依此类推。

从公式中，我们可以看到，引力系数  $G$  是很小的正数，但不是恒定的常数。我们认为，宏观的市场引力公式与物理场的万有引力公式有着相同的原理，因此，引力系数也有相同的来源。在物理场的万有引力公式中， $G$  最早由卡文迪许在 1798 年用扭秤测量得出，而历史上发表的万有引力常数的数值变化很大。近代的一些著名物理学家（例如狄拉克）则认为万有引力常数并非定值，这符合我们由市场引力公式得到的观点，即引力常数在不同的阶段和场景下也会不同。

狄拉克是量子力学的奠基者之一，对量子电动力学作出重要贡献。他曾是剑桥大学的卢卡斯数学教授，以狄拉克方程闻名于世，狄拉克和薛定谔共同获得了1933年度诺贝尔物理学奖。

从公式中，我们还可以认识到：

- 微观的市场引力衡量单个交易的作用力大小和方向，而宏观的市场引力衡量贸易流量的作用力大小和方向；
- 在某些场景下，宏观的市场引力可能不存在；
- 贸易发生后，平均价格仍可能保持不变：即一部分商品价格升高，另一部分商品价格降低，这导致平均价格不变。这和物理学传热过程中，平均温度可能不变是一致的。例如，人体的体温波动很小，但是传热却时刻都在发生。

#### 4. 贸易的加速度问题

设两个经济体的 GDP, 分别为  $\sum_{i=0}^{T_1} p_i$  和  $\sum_{i=0}^{T_2} p_i$ , 也可表达为  $P_H * T_1, P_L * T_2$ 。平均价格  $P$  是商品稀缺性的货币化度量，也就成为加速度的基础，表现为贸易中先来先得和抢购的现象。平均价格  $P$  越大，则表明商品越稀缺。如果  $P$  越大， $r$  越小，则加速度越大。同时，市场容量或生产能力的大小也是加速度存在的基础，以总交易量  $T$  为标志的市场容量或生产能力越大，则加速度越大。

我们定义这两个经济体的贸易加速度分别为  $a_A = G \frac{P_L * T_2}{r^2}$  和  $a_B = G \frac{P_H * T_1}{r^2}$ 。

在贸易的过程中，消费主导型经济体 A 的贸易加速度受生产主导型经济体 B 的平均价格和生产能力、系数  $G$ 、以及两个经济体之间的贸易距离的影响；而生产主导型经济体 B 的贸易加速度受消费主导型经济体 A 的平均价格和市场容量、系数  $G$ 、以及两个经济体之间的交易距离的影响。其中，系数  $G$  由两个经济体的贸易互补程度来决定。如果  $P$ 、 $T$ 、 $G$  的值较高，且  $r$  的值较低，则贸易加速度较高。在需要改变交易距离和重新达到均衡的情况下，贸易加速度是很重要的，它决定了调整速度的快慢和变化的剧烈程度。在过去二十多年中，美国是消费主导型经济体的例子，而中国是生产主导型经济体的例子，两个经济体之间的贸易迅猛地重塑了双方的经济结构，拉近了双方在经济、文化和政治方面的距离，使得两国的利益较为紧密地“捆绑”在一起。美国挑起的贸易战会调整两个经济体之间的交易距离，而调整的过程也将受到贸易加速度的影响。

### 2.3.3 经济体之间的劳动力和资本流动

在物理场中，当速度、温度和浓度的梯度在物质系统中同时存在时，动量、热量和质量转移往往同时发生，这被称为“热质交换”。同样，在市场中，当物价水平、工资水平和利率水平的梯度在经济系统中同时存在时，由于贸易引力，商品、劳动力和资本的流动也可能会同时发生。我们已经分析了商品的流动，同理，对劳动力和资本的流动分析如下：

让  $W$  代表平均工资水平，设经济体 A 的  $W$  高于经济体 B，即  $W_H > W_L$ 。对于经济体 A，我们有  $GDP_1 = R_1 = N_1 * W_H + (R_1 - N_1 * W_H)$ ；对于经济体 B，我们有  $GDP_2 = R_2 = N_2 * W_L + (R_2 - N_2 * W_L)$ 。和商品市场中的贸易一样，在劳动力市场中，劳动力跨经济体流动的驱动力是  $W_H > W_L$ （图 2.26）。

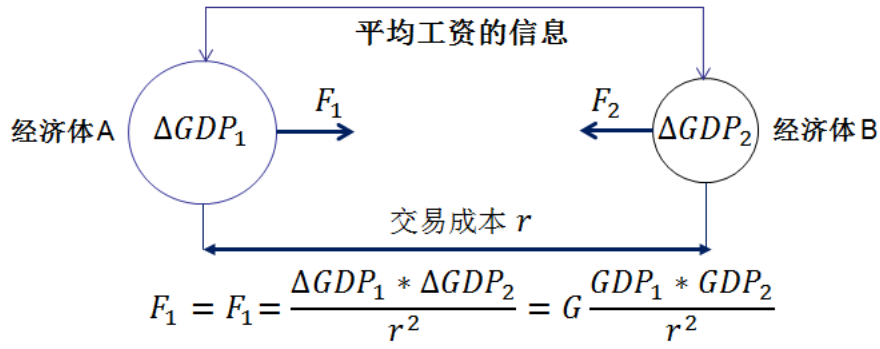


图 2.26 经济体之间劳动力迁移的宏观引力

对于经济体 A，劳动力在流入，从而劳动力的数量  $N_1$  增加为  $q * N_1$  ( $q > 1$ )。劳动力的涌入降低  $W_H$  为  $g * W_H$  ( $0 < g < 1$ )，同时，人均产值减少为  $\theta * \frac{R_1}{N_1}$  ( $\theta < 1$ )。因此， $\Delta GDP_1 = q * N_1 * g * W_H + \left( \theta * \frac{R_1}{N_1} * \gamma * N_1 - q * N_1 * g * W_H \right) - R_1 = (\theta * \gamma - 1) * R_1$ 。

对于经济体 B，劳动力在流出，从而劳动力的数量  $N_2$  减少为  $\mu * N_2$  ( $0 < \mu < 1$ )。劳动力的流出增加  $W_L$  为  $t * W_L$  ( $t > 1$ )，同时，人均产值增加为  $\varphi * \frac{R_2}{N_2}$  ( $\varphi > 1$ )。因此， $\Delta GDP_2 = \mu * N_2 * t * W_L + \left( \varphi * \frac{R_2}{N_2} * \mu * N_2 - \mu * N_2 * t * W_L \right) - R_2 = (\varphi * \mu - 1) * R_2$ 。

同样，由资本流动所带来的 GDP 增长说明如下：让  $i$  代表平均利息水平，让经济体 A 的  $i$  高于经济体 B，即  $i_H > i_L$ 。对于经济体 A，我们有  $GDP_1 = R_1 = M_1 * i_H + (R_1 - M_1 * i_H)$ ；对于经济体 B，我们有  $GDP_2 = R_2 = M_2 * i_L + (R_2 - M_2 * i_L)$ 。和商品市场中的贸易一样，在金融市场中，资本跨经济体流动的驱动力是  $i_H > i_L$  (图 2.27)。

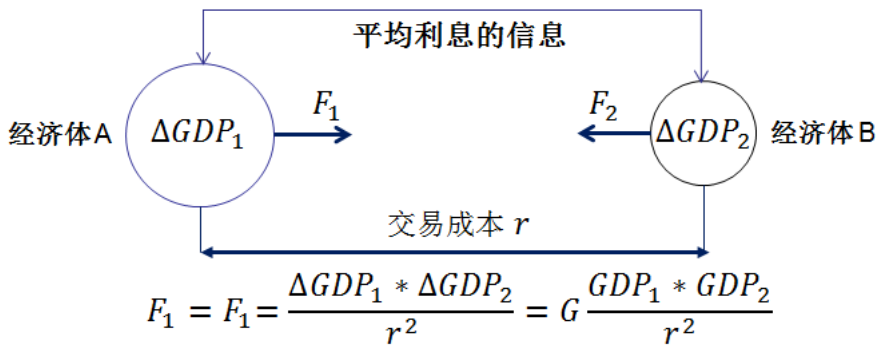


图 2.27 经济体之间资金转移的宏观引力

对于经济体 A，资本在流入，从而经济体内的投资次数增加为  $\varepsilon * M_1$  ( $\varepsilon > 1$ )。资本的流入减少  $i_H$  为  $f * i_H$  ( $0 < f < 1$ )，同时，每次投资的产值减少为  $\epsilon * \frac{R_1}{M_1}$  ( $0 < \epsilon < 1$ )。因此， $\Delta GDP_1 = \varepsilon * M_1 * f * i_H + \left( \epsilon * \frac{R_1}{M_1} * \varepsilon * M_1 - \varepsilon * M_1 * f * i_H \right) - R_1 = (\epsilon * \varepsilon - 1) * R_1$ 。

对于经济体 B，资本在流出，从而经济体内的投资次数减少为  $\vartheta * M_2$  ( $0 < \vartheta < 1$ )。资本流入增加  $i_L$  为  $u * i_L$  ( $u > 1$ )，同时，每次投资的产值增加为  $\sigma * \frac{R_2}{M_2}$  ( $\sigma > 1$ )。因此， $\Delta GDP_2 = \vartheta * M_2 * u * i_L + \left( \sigma * \frac{R_2}{M_2} * \vartheta * M_2 - \vartheta * M_2 * u * i_L \right) - R_2 = (\sigma * \vartheta - 1) * R_2$ 。

综上所述，当价格水平、工资水平和利息水平的梯度同时存在时，由于宏观的市场引力，商品、劳动力和资本的跨经济体流动可能会同时发生。其中，商品的跨经济体流动是最常见的。对于这三个市场而言，由于宏观的市场引力都相等，因此假设  $\Delta GDP_1 = (\alpha * \rho - 1) * R_1$ ， $\Delta GDP_2 = (\beta * \delta - 1) * R_2$  是商品贸易所带来的经济增长，那么由于 GDP 的恒等式，我们分别可得：

$$\begin{aligned} \text{对于经济体 A, } \alpha * \rho &= \theta * \gamma = \epsilon * \varepsilon, \\ \text{对于经济体 B, } \beta * \delta &= \varphi * \mu = \sigma * \vartheta. \end{aligned}$$

上述两个公式就是在三个市场中，各个经济体的各项参数的联动关系，这些联动关系让市场引力  $F = G \frac{GDP_1 * GDP_2}{r^2}$  和引力常数  $G$  在三个市场中保持相同。

例如，如果在发展商品贸易的同时，限制劳动力的迁移，那么随着 GDP 的增长，两个经济体的工资水平在短期内都将增加，但对劳动力迁移的限制会阻碍双方 GDP 的持续增长。同样，如果在发展商品贸易的同时，限制资金的转移，那么随着 GDP 的增长，两个经济体的利率水平在短期内都将增加，但对资金转移的限制会阻碍双方 GDP 的持续增长。

## 2.3.4 三个市场的宏观引力的恒等式

经济体是为了获得预期的收入而启动生产的，因此我们这里计算的 GDP 是预期的总（产值）收入，而不是已经实现了的收入。这个预期的 GDP 相当于凯恩斯的有效需求概念。假设某个产业链的生产过程由  $m$  个企业组成，而且各个企业都按照中间产品衔接的顺序来排列：产业链的起始端为生产最终产品的企业，而且每个企业都依次从下一个企业采购中间产品或者原材料。

在这个产业链中，生产最终产品的企业 1 的预期销售收入为  $R_1$ ，为了获得这个销售收入，需要在生产过程中向企业 2 购买中间产品的预期成本为  $R_2$ ；因此，企业 2 的预期销售收入为  $R_2$ ，为了获得这个销售收入，需要向企业 3 支出的预期成本为  $R_3$ ；由此类推。因此，该产业链中所有企业的预期（产值）收入的总和为  $(R_1 - R_2) + (R_2 - R_3) + (R_3 - R_4) + \dots + (R_m - 0) = R_1$ 。其中，产业链的末端只有劳动和天然原材料的投入，因而不需要货币资本的投入，即预期成本为 0。因此，预期的最终产品的总销售收入等于该产业链中所有企业的预期收入的总和，即  $\sum_{i=1}^T p_i = R_1$ 。

在生产法的 GDP 计算中，总产品价值扣除生产过程中投入的中间产品价值，得到的价值增加值即为  $\sum_{i=1}^T p_i$ 。在投入劳动和资本后，生产出最终产品，并通过销售实现了预期的产出值，那么商品市场的实际产出值就为该价值增加值。因此，生产法是从商品市场的角度计算的。

在收入法的 GDP 计算中，工资 + 利润 + 利息 + 租金 + 税收 + 折旧 =



劳动者和法人的总收入。生产是由劳动的投入开始的，劳动的投入产生了价值增值，利润、利息、租金、税收和折旧都来源于这个价值增值，因而劳动力的雇佣是获得这些预期收入的基础。在劳动力市场中，劳动者和法人的总货币收入为： $\sum_{j=1}^N w_j + \sum_{j=1}^N (V_{Ej} - w_j) = \sum_{j=1}^N V_{Ej}$ ，其中  $N$  为劳动者的总人数， $V_{Ej}$  为某个劳动者  $j$  的边际产值（收入）， $V_{Ej} - w_j$  为某个劳动者  $j$  所创造的边际利润，并且由  $V_{Ej}$  的定义可知： $\sum_{j=1}^N V_{Ej} = \sum_{i=1}^T p_i$ 。因此，收入法是从劳动力市场的角度计算的。

在支出法的 GDP 计算中，**企业投资支出** + 居民消费支出 + 政府购买支出 + （出口-进口）= 资金提供者和资金需求者的总收入。生产也是从资本的投入开始的，资本的投入也产生了价值的增值：基于中间产品的消耗链，企业的投资支出产生了基于投资乘数的产出价值，即价值的增值，居民消费支出、政府购买支出、和（出口-进口）支出都来源于这个价值增值，因而对企业的投资支出是获得这些预期收入的基础。在金融市场中，资金提供者和资金需求者的总货币收入为： $\sum_{k=1}^M \tau_k + \sum_{k=1}^M (V_{Fk} - \tau_k)$ ，其中  $M$  为资本的支出总次数。 $V_{Fk}$  为某次资本支出  $k$  的边际产值（收入），而  $V_{Fk} - \tau_k$  为该次资本支出所创造的边际利润，并且由  $V_{Fk}$  的定义可知： $\sum_{k=1}^M V_{Fk} = \sum_{i=1}^T p_i$ 。因此，支出法是从金融市场的角度计算的。

在一个典型的生产函数  $Q = f(L, K)$  中，企业的产出是两个输入变量，即劳动投入和资本投入的函数。资本需求者从资本提供者那里获得资金，并进行企业投资支出。企业的投资支出体现了资本所有者为维持和发展企业所花费的投资，这对应着企业法人为维持和发展工人所花费的工资。从这个意义上来说，收入法和支出法分别对应着生产函数中的两个要素，即劳动投入和资本投入。而生产法对应着生产函数中的产出。

也就是说，在劳动力市场中，劳动雇佣的货币投入由劳动者的工资来体现，劳动投入带来的预期总产值收入是  $\sum_{j=1}^N V_{Ej}$ ，表现为 工资+利润+利息+租金+间接税+折旧（GDP 收入法）。在金融市场中，企业投资的货币投入由企业的投资支出来体现，资本投入带来的预期总产值收入是  $\sum_{k=1}^M V_{Fk}$ ，表现为 居民消费+企业投资+政府购买+净出口（GDP 支出法）。在商品市场中， $\sum_{i=1}^T p_i$  表现为生产结束后，最终商品的总销售收入（GDP 生产法）。

因此，从 GDP 的三个计算角度得出宏观的恒等式如下：

$$\begin{aligned} \text{GDP}_{\text{生产法}} &= \text{GDP}_{\text{收入法}} = \text{GDP}_{\text{支出法}} \\ \text{GDP} &= \sum_{i=1}^T p_i = \sum_{j=1}^N w_j + \sum_{j=1}^N (V_{Ej} - w_j) = \sum_{k=1}^M \tau_k + \sum_{k=1}^M (V_{Fk} - \tau_k) \\ \text{最终：GDP} &= \sum_{i=1}^T p_i = \sum_{j=1}^N V_{Ej} = \sum_{k=1}^M V_{Fk} \end{aligned}$$

前一个公式体现了马克思经济学的剩余价值概念，而后一公式则是体现了 GDP 三种核算方法的一致性。如果我们用平均数来转化上述公式，则有  $GDP = P * T = S * N = E * M$ ，其中  $P$  是指所有交易的平均价格， $T$  是指商品的总交易次数； $E$  是所有资本支出的平均产值（收入）， $M$  是资本的总交易次数（以资本的总支出次数来衡量）； $S$  是指所有劳动者的平均产值（收入）， $N$  是劳动者的总雇佣人数。由于是运用在经济总量的大宏观层面，所以上述 7 个变量都是总量性变量，且都是从交换层面上定义的。因此，我们得出：

$$F = G \frac{GDP_1 * GDP_2}{r^2} = G \frac{(P_1 T_1) * (P_2 T_2)}{r^2} = G \frac{(S_1 N_1) * (S_2 N_2)}{r^2} = G \frac{(E_1 M_1) * (E_2 M_2)}{r^2}$$

在上述公式中， $P * T = E * M$  与著名的费雪方程式的数学形式相同，但是不同于费雪方程式中的变量定义：在费雪的方程式中， $M$  是指货币总量， $V$  是指货币流通速度，而我们没有从这个角度进行考察。马克思经济学认为劳动力是特殊的商品，我们同意该观点，同时，我们认为资本也是一种特殊的商品。劳动和资本都是价值的源泉，它们不仅创造出能够弥补自身价值的价值，而且可以创造出新的剩余价值。商品、劳动和资本体现了三个市场的价值增殖、交换和联系。

因此，三个市场在宏观层面上的市场引力实际上是完全相等的，任一市场的引力计算都足以同时得出其他两个市场的宏观引力。这不同于微观层面的市场引力，因为在微观层面上，数学形式和引力值的大小都是不同的。

### 2.3.5 宏观的经济功与“去中心化”的货币发行

在宏观层面上，市场引力所做的功是：功 = 力 \* 位移。在市场均衡时，则  $\Delta GDP_2 = r$ ，那么  $F * r = \Delta GDP_1 * \frac{\Delta GDP_2}{r} = \Delta GDP_1$ 。也就是说，市场引力所做的功等于  $\Delta GDP_1$ 。当偏离市场平衡时，则  $\Delta GDP_2 \geq r$ ，那么  $F * r = \Delta GDP_1 * \frac{\Delta GDP_2}{r} \geq \Delta GDP_1$ 。也就是说，市场引力所做的功大于  $\Delta GDP_1$ 。

和微观的经济功一样，当市场引力所做的功大于货币计量的 GDP 时，由于这是经济体在交易成本、商品质量、劳动力素质和资金质量等方面创新所引起的，因此，应该在货币发行方面得到激励。功的英文即 work，含义是工作，而有意义的工作有重复劳动和创新劳动之分，其中，创新劳动通常更为重要。

当这些创新出现时，市场引力做的经济功可以超过成交的货币金额，于是需要发行新的货币来代表这个超过的部分，以满足这种“能量”不守恒的需要。在没有创新的情况下，就应该“能量”守恒：如果任意发行货币就会违反能量守恒和导致通货膨胀。

以区块链为基础的数字货币将没有特定的发行机构，而是依靠一套去中心化的发行机制，任何经济体或个人都有可能参与制造数字货币，并逐步将数字货币发行出去。和比特币系统的新增区块一样，技术创新和营销创新的难度也会随着时间流逝而递增。创新的过程就像挖矿，其难度是动态提高的，需要更多的经济体进行紧密的协作，集中更多的劳动和资本才能实现下一代的创新。在现实中，第一个实现创新的经济体，也应该自动获得一定量的新增货币，作为货币的发行过程，这样既可以激励各个经济体的创新和增加共同福利，又可以避免一个经济

体放水而导致输出型的通货膨胀。

我们认为，在均衡时，人类市场固然可以保持资本守恒，但是在创新导致人类市场偏离均衡时，可以产生熵减，并导致资本不守恒。生命系统的创新体现了物质世界的创新，并且表现出熵减，即由低级走向高级，由简单走向复杂。同样，在技术创新和营销创新的基础上，商业模式创新体现了人类市场的创新，并且也表现出熵减，即由低级走向高级，由简单走向复杂。

## 2.4 三大市场与三大物理场的对应

人们经常借用物理学中的词汇来描述各种经济现象，比如经济过热、通货膨胀、经济增长的引擎、贸易引力、经济聚集力和分散力、金融杠杆、需求弹性系数、经济梯度、经济的极化与扩散效应等。这说明人们已经或多或少地发现物理学和经济学之间有着隐含的对应关系。人们希望像利用物理学中的动力系统那样，找到推动经济高质量和低风险发展的动力系统，并加以利用，从而增加社会福利。

我们将人类的三大市场与物理的三大场对应起来，这是构建两种顶级智慧的统一模型的基础。将人类的思维与电子的思维联系起来，可以追溯到布尔逻辑。布尔逻辑最初是研究人类的思维规律的，但是克劳德·香农展示了布尔逻辑同样能够在电子学中广泛使用，这是计算机芯片和大规模集成电路的思维基础。同样，香农也展示了热力学的熵公式也能完美地用来分析人类的通信系统。事实上，人脑由电子组成，因此人脑的思维也是基于电子的运动。

在我们的理论中，电子与劳动者对应，他们分别是三大物理场和三大市场中的个体。前者为了获得最大的能量，而后者为了获得最大的收入，从而受到驱动和运动。电子之间的协作和共赢，形成了万有引力和物理原子，而劳动者之间的协作和共赢，形成了市场引力和公司。为了简便起见，我们将市场经济中的所有存在雇佣关系的经济组织，包括企业、政府机构、非盈利组织、和事业单位等都称为公司，而将这些经济组织在法律意义上的所有者或者负责人称为法人。同时，我们将公司称为“经济原子”。

### 2.4.1 GDP 与质量的对应关系

$$GDP = \sum_{i=1}^T p_i = \sum_{j=1}^N w_j + \sum_{j=1}^N (V_{Ej} - w_j) = \sum_{k=1}^M \tau_k + \sum_{k=1}^M (V_{Fk} - \tau_k)$$

由于贸易引力模型和万有引力遵循相同的形式，我们认为物理场和人类市场遵循相同的原理，由类比可得：

$$Mass = \sum_{i=1}^T f_i = \sum_{j=1}^N m_{Pj} + \sum_{j=1}^N (V_{Ej} - m_{Pj}) = \sum_{k=1}^M m_{MPk} + \sum_{k=1}^M (V_{Fk} - m_{MPk})$$

即：

$$Mass = \sum_{i=1}^T f_i = \sum_{j=1}^N (m_{Pj} + m_{Nj}) = \sum_{k=1}^M (m_{MPk} + m_{MNk})$$

在该公式里， $Mass$  为物体的质量， $f_i$  是由于热辐射所产生的电磁波辐射的能量，表现为电磁波的频率，其平均值体现为物体的温度； $m_{Pj}$  是质子  $j$  的质量；

$m_{Nj}$  是中子  $j$  的质量； $m_{MPk}$  是磁质子  $k$  的能量， $m_{MNk}$  是磁中子  $k$  的能量。根据爱因斯坦的思想，质量和能量是统一的。我们将磁质子和磁中子定义为磁场中的粒子，它们类似于电场中的质子和中子。我们认为，磁质子和磁中子构成总的磁场能量，并等于总质量。

牛顿在其著作中也写道，整个物体的吸引力起源于其微小部分的吸引力复合而成。每个物体的每一个极小的小部分，按照物质的量，都有它们自己的吸引力。牛顿在研究万有引力的同时，还对自然界其他的力感兴趣。他把当时已知的三种力，即重力、电力和磁力放在一起考虑，认为它们都是在可感觉的距离内作用的力。他企图找到另外两种力的规律，但未能如愿，因为磁力实验的结果不够精确。

我们的公式完美地体现了物理场中三种力之间的联系和统一关系。从上述的公式中看，经济体的 GDP 与物体的质量在模型参数和实际含义上有着一一对应的关系。这是构建两种顶级智慧的统一模型的基础。

## 2.4.2 万有引力的完整形式和解释

宏观经济体之间的三个市场引力在数值上相等，因此，我们用一个恒等式就可以同时衡量三个市场中的引力大小，即：

$$F = G \frac{GDP_1 * GDP_2}{r^2} = G \frac{(P_1 T_1) * (P_2 T_2)}{r^2} = G \frac{(S_1 N_1) * (S_2 N_2)}{r^2} = G \frac{(E_1 M_1) * (E_2 M_2)}{r^2}$$

这是与微观层面不同的地方（即微观的三个市场引力公式和数值均不相同）。其中， $G \frac{(S_1 N_1) * (S_2 N_2)}{r^2}$  这一项，从定义上来说，相当于物理学中的引力公式  $F = G \frac{M_1 * M_2}{r^2}$ 。我们在后续章节将介绍经济原子和其原子质量的计算。 $\sum_{j=1}^n w_j + (V_{Ej} - w_j)$  为单个经济原子的质量（其中， $n$  为某个经济原子的员工人数）， $\sum_{j=1}^N w_j + \sum_{j=1}^N (V_{Ej} - w_j)$  即为经济体中的所有经济原子的总质量（对应着物理场中的物体质量  $M$ ）。因此，我们认为，牛顿的万有引力公式实际上只是电场的引力公式。但是由于三个物理场的宏观引力相等，因此，根据电场的宏观引力值可以立即推知另外两个物理场的宏观引力值。

我们认为物理场和人类市场遵循相同的原理，因此宏观物体之间的三个引力在数值上也相等，即：

$$F = \frac{\Delta q_1 * \Delta q_2}{r^2} = \frac{\Delta M_1 * \Delta M_2}{r^2} = \frac{\Delta m_1 * \Delta m_2}{r^2}$$

因此，

$$F = G \frac{q_1 q_2}{r^2} = G \frac{M_1 M_2}{r^2} = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

其中  $q_1$  和  $q_2$  是两个物体的电荷量， $M_1$  和  $M_2$  是这两个物体的质量， $m_1$  和  $m_2$  是这两个物体对应的磁极能量。并且  $q = \sum_{i=1}^T f_i$ ， $M = \sum_{j=1}^N (m_{Pj} + m_{Nj})$ ， $m = \sum_{k=1}^M (m_{MPk} + m_{MNk})$ ，同时， $q_1 = M_1 = m_1$ ， $q_2 = M_2 = m_2$ 。

在此公式中，热效应(热辐射)对应着商品市场，电场对应着劳动力市场，磁场对应着金融市场。热效应与电荷有关，这是由物理学的热电效应所证明的。热电效应是通过热电偶直接将温差转换成电压，反之亦然。热辐射是由带电粒子的热运动产生的电磁辐射。从这个意义上说，库仑定律与热辐射有关，并对应着我们的恒等式的第一项。第三项由麦克斯韦在其名著《电磁通论》中进行了介绍。基于我们的分析，这两项与牛顿的万有引力构成了一个恒等式。

综上所述，我们认为牛顿所导出的万有引力只是完整形式的第二项，而完整的形式总共有三项。如果你把牛顿的万有引力应用到星系旋转的方式上，你很快就会发现：星系应该分崩离析。我们认为，这是因为牛顿的万有引力只是整个形式的第二项。它本身能从数学上解释许多现象，但如果缺失了恒等式中的其他两项，就无法解释许多其他现象。因此，这个恒等式将三个场描述为一个统一的整体，每个场的变化影响着相同的宏观引力。很久以来，许多顶尖科学家都在努力，希望建立一种统一场理论，即将万有引力、电磁力、分子力、原子核力等理论统一起来。我们认为，我们的恒等式是建立这种统一场理论的关键。

因此，我们对万有引力的解释是：我们假定所有物质都是由“智能粒子”组成的。粒子（例如电子）都是“理性的”，因为它从感知到的机会中追求最大的能量，在三个物理场（即引力场、电场和磁场）中作出交换的决定，并寻求以最小的代价获得最大的利益。在微观层面上，每个场中的粒子为了获得更大的能量而进行相互作用，从而产生万有引力。在宏观层面上，物体相互吸引从而获得各自能量的增加。我们在物理场中的智能粒子假设与人类市场中的经济人假设相统一，并且得到了物理场中最小作用原理和能量守恒定律的支持。

有些人可能反对我们的智能粒子假设，认为智能行为只存在于人类。然而，许多事实表明，粒子具有智能行为。现代量子力学也认为引力是由两个粒子之间交换重子而引起的。我们认为粒子的运动和交换行为是在认知的基础上追求最大能量而引起的，这导致了粒子之间的能量转换。电子的思维和人类的思维有一致之处，这可以由布尔逻辑说明：布尔逻辑最初是研究人类的思维规律的，但是克劳德·香农展示了布尔逻辑同样能够在电子学中广泛使用。事实上，人脑由电子组成，因此人脑的思维也是基于电子的运动的，同时，人类的组织和市场被认为是分布式计算系统的典型表现。

支持我们假设的另一个事实是维纳过程，它描述物理场中的布朗运动(图 2.28)。这个数学过程在人类市场中经常被应用。例如，在著名的 Black-Scholes 期货定价模型中，几何布朗运动被用来模拟股票价格，这是被广泛应用，而且极为准确的股票价格行为模型。物理场和人类市场在数学上的一致性表明，粒子的“随机”运动极可能是由高速的、智能的价值交换引起的，而不是像传统观点认为的那样，由快速运动的分子碰撞而引起的。

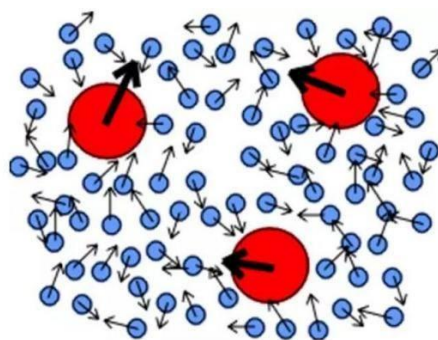




图 2.28 物理场中的布朗运动

在我们的理论中，物理场中的电子与人类市场中的劳动者相对应，质子和中子分别对应于劳动者的效用和法人的边际效用。物理场中的万有引力与市场中的“看不见的手”相对应，同时，物理场中的电磁波机制与市场中的价格机制相对应。就像价格机制调节经济世界一样，电磁波机制也是调节物理世界的基础。从这个意义上说，宇宙是一个经济系统，基于三个物理场来进行运转。我们认为化学元素是智能的经济组织，而且，不同性质的化学元素代表了它们在物质世界的分工。

因此，我们从微观和宏观两个层面推导出来的市场引力公式也将同样适用于万有引力。我们可以类似地得出万有引力的三个微观形式为：在以热运动为表现方式的引力场中：

$$F_A = \frac{f \cdot (v_A - f)}{r^2}; \text{ 在以原子和化合物为表现方式的电场中: } F_B = \frac{m_p \cdot (v_B - m_p)}{r^2}; \text{ 在以能量为表现方式的磁场中: } F_C = \frac{m_{mp} \cdot (v_C - m_{mp})}{r^2}, F_D = \frac{m_Y \cdot (v_D - m_Y)}{r^2}。$$

类似于市场引力，万有引力的位移和功可以表示为：

$$\text{根据 } F = \frac{\Delta M_1 \cdot \Delta M_2}{r^2} = G \frac{M_1 \cdot M_2}{r^2}, \text{ 如果 } \Delta M_2 = r, \text{ 那么 } F \cdot r = \Delta M_1 \cdot \frac{\Delta M_2}{r} =$$

$\Delta M_1$ ；如果  $\Delta M_2 \geq r$ ，那么  $F \cdot r = \Delta M_1 \cdot \frac{\Delta M_2}{r} \geq \Delta M_1$ 。从这两种情况可以看出，功(即能量)与质量的变化有直接的关系。这符合爱因斯坦的质能方程的思想，不同的是，我们认为，当物质世界的创新发生时，万有引力所做的功能够大于质量的增加值。创新是伟大和重要的：正是由于创新的出现，物质世界才能产生不断从低级走向高级的生命系统，才能出现在种类上不断丰富、在能力上不断完善的生物物种和对应的生态系统，才能衍生出浩瀚无边的星际系统。

## 2.5 本章小结

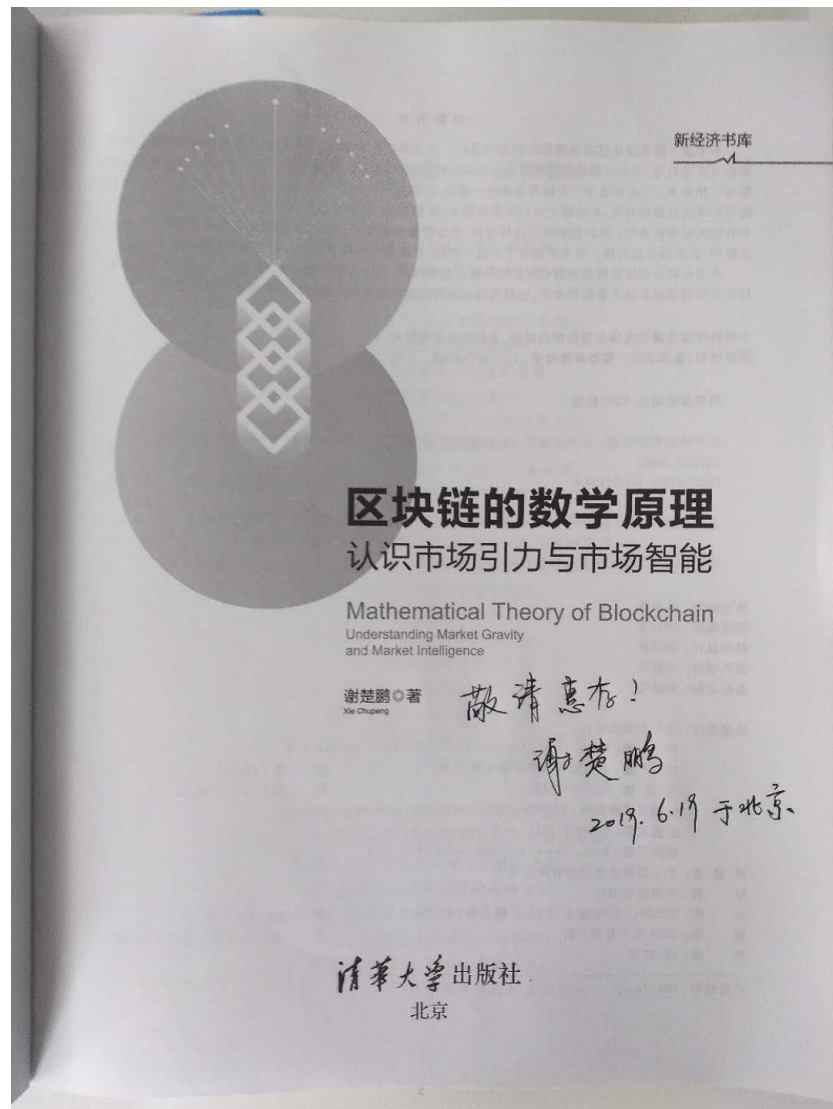
万有引力定律的发现是现代科学的一个标志。这一定律是牛顿基于第谷和开普勒的数据观测总结出来的，但三百多年来，万有引力的成因仍是未解之谜。我们认为牛顿的万有引力是不完整的，因为如果把它应用于星系旋转的计算，你很快就会发现：在万有引力的作用下，星系应该是分崩离析的。

本章首先对最简单的市场现象，即交易活动，进行了数学描述。我们从微观和宏观两个层面定义和分析了市场引力。由于贸易引力模型和万有引力遵循相同的形式，并且它们都符合经验数据，所以我们认为人类市场和物理场都遵循同样的原理，即市场原理。基于市场引力的完整形式，我们提出了万有引力的完整形式，并对万有引力提供了基于市场原理的解释。

在对万有引力的解释中，我们假定所有物质都是由“智能粒子”组成的。粒子被认为是“理性的”，因为它们三个物理场中，寻求以最小的代价获得最大的能量。我们的智能粒子假设对应着人类市场中的经济人假设。我们认为，物理场中的万有引力对应着人类市场中的“看不见的手”。物理场中的电磁波机制与人类市场中的价格机制相对应，它们是产生引力、协作和交易的基础。

我们的市场引力模型的微观部分与量子力学相对应。现代量子力学也认为引力是由两个粒子间的重子交换引起的，两个物体之间的引力可以归因于构成这两

个物体的粒子之间的引力。同时，我们的市场引力模型的宏观部分对应着经典物理学中的万有引力。



如果要构建能真正包容所有实体经济和虚拟经济的区块链基础设施，就必须理解区块链核心的数学原理，从而在算法中实现。本书对区块链的原理进行了系统的数学和文字描述，并结合自然科学和社会科学理论解读，是一本有深度的区块链科普读物。