

第2讲 伽利略和牛顿

伽利略的发现以及他所应用的科学的推理方法是人类思想史上最伟大的成就之一，而且标志着物理学的真正开端。

Albert Einstein

他以几乎神一般的思维力，最先说明了行星的运动和图象，慧星的轨道和大海的潮汐。

Newton 墓志铭

1. 伽利略的科学思想方法

在第11讲中，我们说过，十五、十六世纪欧洲文艺复兴，文艺复兴的精神首先出现在意大利，意大利是文艺复兴的摇篮。但意大利的首府罗马却又是当时欧洲的宗教中心，马有天主教会的首脑——罗马教皇以及教会的行政机构——宗教裁判所。所以，在意大利境内，新兴的自然科学同宗教神学~~的~~新旧两种不同^的宇宙观的斗争最为激烈。这场斗争的中心人物是意大利的伟大物理学家和天文学家伽利略。(Galileo, 1564-1642)。

伽利略是和开普勒同时代的伟大科学家，他是第一位近代人物，是实验物理学的奠基人。文艺复兴之后人们口中神乎其秘的机械在他那个时代的工作中获得了实际的结果。Galileo不但给近代科学制定了合理化的程序，而且用能实际做出的发现证实了这个程序的效果。这是近代科学诞生的标志，是科学认识的重大转变，是人类历史上最伟大的成就之一。

伽利略出生于比萨(Pisa)一个布商~~的~~家庭。七岁那年他进入比萨大学攻读医学，渐渐地他的兴趣转向数学和物理学。于是他跟一位工程师学了数学，并以医学~~转读~~数学。学了大约八年~~后~~，他向一位

隆那(Bologna)大学申请一教师职位,但因他不够优秀而遭拒绝.最后由于朋友的相救,二十五岁那年 Galileo 欲他的母校帕多瓦大学聘为数学教授.

在那里,他开导了由 Aristotle 派的科学.他讨厌人们把 Aristotle 当作真理的化身,他说 Aristotle 并非穷尽对自然界的认识. ^{你们这些人有眼睛,有头脑,}却要用 Aristotle 的眼睛^{他质问 Aristotle 的人说}来用,甘愿沦为 Aristotle 思想的奴隶?"

伽利略说,我们不应以亚里士多德的著作研究自然世界,而应该从事实、实验来研究自然世界.他是这么说的,也是这么做的. ^{这使那些亚里士多德主义者}他的实验开辟了一套新的科学方法,即将观察与实验、物理思想与数学^{这些}结合起来的科学研究方法.在伽利略之前,有人倡导实验,也有人重视推理,但把二者有机地结合使之完善并作出典型范例的却是伽利略.这是伽利略给后人道下的宝贵精神财富.

伽利略为了驳倒亚里士多德的理论, ^{他的这种新的理想重蹈了古代科学家,改造性地从事科学思想}把他的思想方法付诸实施,这立即导致了一场伟大的^{僵化}的局面.发现.他用他的望^这镜证实了哥白尼的学说,他用他的新力学推翻亚里士多德的物理学.不仅如此,他还实际发明了摆钟、^和温度计,

他也是望远镜和显微镜的独立发明者。鉴于他的许多重大发明，人们称他为近代发明之父。所以，伽利略是一位科学家。

2. 伽利略的天文学发现

伽利略对天文学的~~重要~~一大功绩是开创了望远镜天文学。^{正是由}
~~伽利略开始~~，^{正是从他开始}科学获得了研究星空世界的了无动力工具，人类的目光得以深入宇宙。
~~带来了天文学的快速发展。~~
~~伽利略开始~~，^{正是从他开始}科学获得了研究星空世界的了无动力工具，人类的目光得以深入宇宙。

~~正是由~~
~~伽利略开始~~
~~正是从他开始~~

第一个发明望远镜的人并不是伽利略，而是荷兰的一位眼镜匠和他的儿子。传说有一天，父亲不在家，孩子拿着几块镜片玩。偶然把两片透镜一前一后摆开，眼睛朝着两块镜片重叠的方向看去，只见一毛茸茸、凸眼睛的怪物，挥舞着前爪向他爬过来。孩子吓呆了，^{吓坏了}尖叫一声，赶紧跑开了。他顺着方才镜片重叠的方向，在窗框上找到一只大苍蝇，正在搓动着两只前爪……这时孩子不再害怕了。他把镜片捡起来，重做一次同样的试验。这一回，他没有再见到怪物，却看到远处城里的钟楼自如变得近在咫尺了。放下镜片，钟楼又跑回远处。

父亲回来后，孩子把这件事告诉了父亲。这位眼镜匠被吸引了。于是他

做了一根长管子，在管的两端各装上一块透镜。用管子望着东西，远处的物体就会变近。

~~他~~就这样在玻璃透镜发明以后^三世纪，望远镜问世了。这位眼镜匠把它~~放大~~放大窥管，并把它卖给军人用于战争。
_{叫做} _{大加制作。}

伽利略的儿子写信告诉伽利略，说荷兰一位眼镜匠发明了一种放大窥管，能把远处的物体拉近。于是伽利略查阅研究光学方面的知识，没有多久，他便重新发明了望远镜。伽利略就是这样的人，在他不知道有望远镜

~~之前~~这样东西，便制造出^{一个}给~~自己~~来^{试验}看看。
_{某样东西之后} _{立刻}

尽管眼镜匠和他的儿子首先发明望远镜，但他们望远镜的放大倍数只有2-3倍。而伽利略不断改进他的望远镜，最后竟创制到了^{几百倍}。今天他的望远镜仍收藏在意大利佛罗伦萨科学史博物馆。

与眼镜匠不一样，伽利略首先想到把望远镜指向天空。他说：“列举一下这件工具到底能给陆上和海上的事业带来多少和什么样显著益处，实在是多余的。我权且把地上的事搁置一旁，首先事观察天空。”

1609年末黄昏，伽利略用他初制的望远镜窥探月亮，发现

这望远镜里他看到了从未见过的景象。他看到：月球背面覆盖着苍古巍峨的大山和平原，还有无数象火山口那样的环形山。这一切同地面经树木等地相似！“天上”和“人间”原来是同样的世界，这哪象亚里士多德所言的那样，天是完美无缺的，天地是两重世界。

伽利略根据他的望远镜观测绘制了第一幅月面图，他还根据月球上山脉投下的阴影创造性地测量出月球山脉的高度。7000m

伽利略又把望远镜指向银河，这使他大吃一惊。乍一看揭开了银河这层千古之谜。原来那条模糊的宽带、悠悠的银河竟是一群密集的繁星，星的数量比肉眼所见的要多得无法计数。这一切无可怀疑地证明了布鲁诺预言的正确性，宇宙确实大得无可比拟。

当伽利略把望远镜用来观察太阳时，发现太阳盘上有黑色的斑点——太阳黑子，这又一次说明亚里士多德为天完美无缺的说是错误的。他注意到太阳黑子周期性地移动，他测得了这些变化，从而证明了布鲁诺关于太阳绕轴自转的断言。

1610年1月7日这一天是伽利略作出自己认为最重要发现的一天，这也是哥白尼学说胜利的开始。那天晚上，伽利略把他的望远镜



拿望远镜木星。伽利略发现木星的左右两侧分布着一些亮点，起初他以为是恒星，不久便他察觉起来，这些亮点伴随着木星在慢慢移动，一时向左移过去，一时向右转回来，往复循环不已。伽利略很快认识到，这四个亮点不是别的，正是木星的4颗卫星。今天这四颗卫星都称为伽利略卫星。

伽利略发现了木星的4颗卫星，高兴极了。他认为他为哥白尼学说找到了有力的证据。他看到的那幅图案，宛如太阳系的一个缩影。伽利略由此断定，地球也正是这样带着他的卫星——月亮绕太阳运行的。

同年九月的一个晚上，伽利略得到了另一惊人的发现。他这次把望远镜瞄准金星，眯起一只眼睛凑近目镜一看。他惊呆了，他看见一个小小的月牙在放空。他简直不敢相信自己的眼睛，明亮的金星变成一弯峨眉月。伽利略很快明白过来，行星跟地球一样是被太阳照亮的，那以内行星绕太阳转动时，在地球上看来也应该同月亮一样，发生夜相的相位。即也有圆缺。星过起来。伽利略的这一发现再次证明哥白尼学说支持哥白尼学说的又一有力证据。
~~日提供了~~

~~除~~除上述发现外，伽利略还发现了火星的两卫星和土星的光环。为了保护他的秘密，伽利略~~并未~~进一步证实所做出的发现，他暂时把自己的发现用一句暗语公布于世。开普勒后人研究了很长时间，也猜不着的科伦布发现了

什么。最后伽利略公布了暗理的过程。值得一提的是，木星有一个匀称而美丽的光环，它是双望远镜所见到的最美丽的天体，是太阳的一件艺术珍品。不过，1610年正好看木星将要闭合的时候，伽利略从望远镜里看去，模糊不清，象是一颗极小的圆球。到1616年的利略~~又~~又看到这现象，但他始终不解这究竟是啥东西。这~~个~~谜~~团~~，直到半个世纪以后才由荷兰科学家惠更斯予以揭露，并解释了光环隐现的原因。

1610年伽利略刊布了《星际使者》一书，叙述了他的天文新发现。于是人们将~~这~~地~~球~~争相^说传播，哥伦布发现了新大陆，伽利略发现了新宇宙。

伽利略的这些发现违背了人们崇信的教义和亚里士多德的权威哲学。因而这些发现不是没有经过什么斗争就使人们接受的。阿诺德的人说，这些发现是望远镜上的透镜的幻象，是^{眼睛}的错觉，是玻璃片中的光的反射。他们把望远镜斥为“渎神的玩具”，可是他们甚至不愿意向望远镜里去看一眼。

然而伽利略自有有利于他见地非的论据。整个欧洲都向他索取望远镜，或者在他指导下去制造望远镜，于是他的观测结果从各方面得到证实。

那些维护传统教义和权威理论的人，看见在事实面前快失败了，于是便借教皇的权力来保证他们的意见的胜利。这些蓄着鬃鬃的墨人终于在1616年将哥白尼的《天体运行论》列为禁书。于是拥护^地心说与动说的各种学说和做法被禁止。又实际上，伽利略对哥白尼学说的大力宣传鼓动，已经使他的敌人天主教会警觉起来，他们感到宗教教义受到致命威胁。眼看“大厦将倾”，教会真的不忧如忡忡？是一场斗争在所难免地发生了。

布鲁诺因为拥护科学真理，~~最终~~^遭教会迫害，最后被活活烧死。现在，伽利略成了第二个受害者。

1616年3月5日，天主教会断然“决议”，宣布哥白尼学说为异端，^{于是}哥白尼的《天体运行论》与一切拥护他学说的著作被列为禁书。教会的决议说：“太阳不动地居于宇宙中心之说，是虚的和荒唐无稽的。因为它违背圣经，是异教邪说。同样，地球不位于宇宙中心而不断运动并绕昼夜自转，在哲学上是虚的、荒唐无稽的，至少从神学观点看是罪孽深重之说”。

决议颁布后不久，伽利略就被第一次召到罗马，在教宗法庭前受审。教会警告他，“以后不准再用任何口头或文字的方式替哥白尼学说作辩护，否则你便是第二个布鲁诺”。在这种淫威的胁迫下，伽利略不得不答应从此不以任何

式、言论或著作去支持、维护或宣传哥白尼学说”。

但是恩烈既已支持，便不容易停下来。在整个欧洲，哥白尼学说和伽利略的学说渐渐得到学者们的承认。开普勒因采取日心说，发现了行星运动的定律。伽利略通过望远镜这^种新观测，发现大量和行星的位相，^{这些}天文学新发现说明了哥白尼学说的正确性。

经过长共用的考虑，伽利略决定采取大胆的措施。他汇集一切能证实哥白尼学说的论据和理由，写成一部经过创造性构思的巨著，定名为《关于两大世界体系的对话》¹⁶²⁴⁻¹⁶³²。之所以采用对话的形式，完全是为了不使教会恼火。在1630年^{出版}教皇^在批评伽利略发表著作，但他的书必须是^在科学的而不是教义的。书籍出版前必须经教会审查。伽利略《关于两大世界体系对话》一书，在^{通过}教会的审查之后，于1632年出版。

伽利略在这部著作里总结了他在自然科学方面的新发现，^{通过}三位^中角色的争论，伽利略无情地批判了亚里斯多德—托勒密的^{地心}学说和唯心主义宗教宇宙观，^并精确地论证和发展了哥白尼的日心学说。他让^一个角色提出流行的观点，让另一个角色对他作巧妙而坚定的争论，指出这些

那绘声绘影、疑假还真的铺陈渲染，论
述时的天文学描绘出一幅幅栩栩如生的图景，
书中人物跃然纸上，呼之欲出，趣味盎然。

11

观点的冲突和新观点的力量。全书写得清楚、直接、机智而又深邃。虽然
讨论的是科学课题，但至今仍被认为是文学杰作。

这本书和伽利略后来写的《关于两门科学的话语》

伽利略在《关于两大世界体系的对话》一书的第二天对话中，论证了地球的自我
运动。书中人物萨尔维蒂蒂说：“地球是渺小的，而恒星宇宙和地球比起来
是渺无边际；地球放在恒星宇宙里只像算沧海一粟。我们没法让它相信，
恒星宇宙在转动着，而小小的地球却是静止的。”书中另一位人物沙格利陀
说：“我觉得，如果有人认为，为使地球保持静止状态，整个宇宙应当转动，是
不合理的。试想有人登上大厦顶端，又看着全城和周围的景色，是看全城
都绕着他转动合理，还是他转动头颈观看全城合理？因此，我的有理由
认为，不是‘天转’而是‘地转’，地动说要比地静说可信得多。”

伽利略《对话》一书问世后受到读者的热烈欢迎，也很快震动了天主
教会。教会认为这部书比洪水猛兽还要可怕和有害。尽管书编在外地，
但得进教会的同意，1632年古稀的伽利略还是被再度传往罗马受审。
此时伽利略已身患疾病，他在罗马的望德有能令他在的朋友为他辩护，
但这一切并不能挽救他。

宗教法庭上一片阴森恐怖，扼杀全教指控的伽利略改口警告，
 选择并宣传哥白尼的“太阳静止和大地运动”的谬说，是对圣经的
 亵渎和对教会的藐视。《对话》序言称颂哥白尼的格“运用之于基督教”，
 对亚里斯多德的诠释家辛普利欧百般丑化，妄图动摇对亚里斯多德和圣经
 的信仰。法庭以布鲁诺被烧死的命运来恫吓伽利略，要他认罪，公开
 悔悟。

伽利略据理争辩，指出《对话》只是赞同哥白尼学说的萨尔维
 阿蒂和托勒玫学说拥护者辛普利欧之间的对话。作者本人没有下过结论。
 《对话》序言中也明确指出哥白尼学说是“作为一种纯数学假说来叙述”
 “为的是要简化数学，而不是由于自然界必然如此”。他愤怒斥责扼杀主
 教说：“你们无理地要求一个科学家去背弃自己的感情和那些无可争辩的
 的证据。这是你们在制造异端！”

审讯持续三个月，伽利略拒不认罪。迫使罗马教皇乌尔班八
 世大为震怒，他亲自出马干预，下令对伽利略进行“严厉审判”。尽管
 宗教法庭不舍怜惜“异端”的生命，但碍于伽利略这样举世闻名
 的大科学家，还不致轻易将他处死，迫使他“悔悟”，显赫是上策。于是教

伽利略的判词施行一种叫“不眠”的刑罚。审讯象马拉松似地持续五十小时，法官每隔4小时轮换批，不让伽利略有片刻的休息和安享。刽子手们把一件件刑具摆到他面前，告诉他受刑时的可怕惨状，——

那头发斑白的伽利略，岁月艰辛折磨得精疲力竭，极度虚弱，再也支撑不住了。终被教会的明办迫下，在悔罪书上签字认罪：我，伽利略，现年七十岁，亲临法庭受审，双膝下跪，两眼流泪，双手捧接圣经，以虔诚的信心宣誓：我违背教义，我诅咒我的罪孽，我悔恨我的过失，不应该宣说地球运动的邪说”。第二天，教会法庭宣布了对伽利略的“判词”：“为了处分你这样严重和有罪的错误和罪过，以及为了你今后更加审慎和给其他人作个榜样和警告，我们宣布，用公开的命令禁止伽利略《关于两大世界体系的对话》一书；判处暂时把你正式关入监狱以内，根据我们的同意，以及使你得救的忏悔，在三年内你要每周读七次忏悔^词之歌一次，我们仍保留对你减刑、变更和取消你忏悔的权力。”

伽利略终于认罪了，天主教会如获至宝。他们把伽利略的“忏悔”大量散发，^以以此事迷惑人们，遏止哥白尼学说的传播。但是，他们错了。伽利略在听定宗教法庭判决时，^就喃喃自语：“不管怎样，地

球还是在运动的啊。”人们争相传诵这句口号，这是对教会的所作所为看得更清楚了。 没有人相信教会的鬼话。

伽利略的“忏悔”虽然保住了他的性命，他却从此成了宗教裁判所的终身囚犯。失去了人身自由。在临刑前，他才在一大公爵的请求下，获准在狱外执行。但他在宗教法庭的严密监视之中，伽利略把他的学生托里拆利等人召到身边，口述他的一些思想。不久，他又双目失明，直到1642年1月8日患重病死去。整个欧洲失去了一位大学者，但他留下的思想与发现却对科学产生了影响，一直到爱因斯坦。

3. 伽利略的新力学物理学贡献

伽利略不仅是近代科学方法论的奠基人，还是这簇天学的开创者，而且他缔造了新力学，对物理学作出了同样不朽的贡献。正如亚里士多德被人们誉为“古代的阿基米德”。哲学家Hobbes说，Galileo是给予我们打开通向整个物理领域的大门的人。

下面我们一起来看看伽利略在力学方面的辉煌成就，看看他是怎样打开

通向与物理领域的相门的。

(1) 落体定律 在我所说世界上, 重物下落的现象人所共知, 几乎每个人都曾感受到重力的作用。Aristotle 首先解释了重物下落的原因, 他的解释说, 一切物体都有它的自然位置, 对于气、水、火、土四大元素, 土的自然位置在最下面, 然后上面依次是水、气、火, 即火的自然位置在最上面。Aristotle 说, 一切物体都要回到自己的自然位置, 这是~~物体~~^{万物}的~~本性~~^{共有}和共性。他说, 石子要下落, 因为它属土, 自然位置在下面; 气往上冒, 是因为它的自然位置在上面。Aristotle 就这样地解释了重物下落的原因。他进一步得出结论说, 越重的物体下落越快。这是为什么呢? 他说, 越重的东西, 土成分越多, 回到自然位置的愿望越强烈, 因此下落得^它越快。~~而且~~^{而且}物体在下落~~时~~^时, 离自然位置越~~来~~^来越近, ~~因此~~^{因此}下落的愿望越~~来~~^来越强烈。~~由此可以得出结论~~^{这也说明}越重的物体下落速度越快, 花的时间少。

Aristotle 的这种错误理论似乎同日常经验相符合, 因此~~为~~^为人们所接受。这个错误理论在延续了 1900 年^多之后, 终于被伽利略纠正过来。

Aristotle 认为不同物体下落有快慢, 伽利略也没注意到这一点, 但

他观察到，不同物体在空气中下落速度的差异比在水里要小。对此进行分析，伽利略猜测说，如果介质越稀薄，物体下落速度的差异就越小。他说：“当观察到这点之后，我得出结论：在一个完全没有阻力的介质中，所有物体以同一速度降落。”
~~伽利略说~~ ~~在空中不同物体下落速度一样。~~

~~据说伽利略在比萨斜塔做了^{开普勒}次著名的实验，他让一个100磅重的铁球和一个10磅重的铁球同时从54.62米的塔顶落下，^{两个}铁球同时着地。~~

据说，伽利略为了反驳亚里士多德的上进落体理论，曾登上约55m的比萨斜塔做落体实验。据伽利略学生讲，当年做实验时有许多教授、哲学家和学生在场。人们议论纷纷，一些人^{对伽利略}说竟敢^{挑战}着亚里士多德理论感到好奇，更多的人则在嘲笑。爱德的伽利略，^{想着}他是如何^敢出丑的。伽利略^{不慌不忙}，他^让一个100磅重的铁球和一个10磅重的铁球同时从50多米高的塔顶落下，^又人们看到两球一齐开始下落，差不多是平行地下降着，并一齐着地。伽利略^{甚至}做了这个实验多次，^{终于}以两个重量不同的球同时着地^{宣告}了亚里士多德落体理论的破产。

但那些迂腐的教授们^道在铁的事实面前还不肯屈服，他们硬说伽利略在做实验时捣了鬼，还说天爷帮了伽利略的忙。为此，他们对伽利略仇恨在心，终于在1591年(28岁)把伽利略赶出了比萨大学。

1591年伽利略离开比萨大学，来到帕度亚(Padua)，当上了帕度亚大学的数学教授。在帕度亚呆了18年后，~~为了逃避教会的迫害，伽利略逃到了佛罗伦斯担任宫廷首席数学家。不久，50他娶了一位大公爵的遗孀为朋友，他来到佛罗伦斯，~~反而遭到教会的迫害(高教会如近并没有减少，~~由于佛罗伦斯离宗教中心很近，伽利略反而更加不自由。于是他走向了比萨生的大悲剧。~~~~~~

^{于帕度亚}
在1600年~~他~~被^{于帕度亚}明令逐令之后，世界各地纷纷买望这境的订是到愿之而来，使他应接不暇。可是他不计任何报酬，~~他~~把^{于帕度亚}这~~份~~份^{于帕度亚}份~~明~~明^{于帕度亚}明~~有~~有^{于帕度亚}有~~献~~献^{于帕度亚}献~~给~~给^{于帕度亚}给~~城~~城^{于帕度亚}城~~民~~民^{于帕度亚}民~~斯~~斯^{于帕度亚}斯~~公爵~~公爵^{于帕度亚}公爵。这样一来，公爵在慷慨大度上也不甘落后。他下令聘任伽利略为帕多瓦的终身教授，他的年薪约等于五千之的购买力。但后来的伽利略撕毁了合同，为了逃避教会的迫害，在帕度亚呆了18年之后，伽利略在一位大公爵的邀请下，不愿认学地来到佛罗伦斯担任宫廷首席数学家，来到

佛罗伦斯之后，他发现与地磁象的木板，教会的^{的时}不仅没有减少，而
~~反而~~由于高教会西了，更加失去自由。于是他到佛罗伦斯，也走向了厄运里的大悲剧。
~~他~~ 1633年被教会囚禁开始，直到~~悲惨地~~死为止。
 1644年

好，现在我的回到落体问题。伽利略不仅~~实验~~证明了Aristotle落体理论是错误的，而且用逻辑分析的方法找到了亚里士多德理论。他没有用同样大小的铁球和木球，按Aristotle的说法，铁球超过了木球的位置的厚望类型，下落~~的~~比木球快。今把铁球和木球绑在一起的也不管，显然这能免下落的厚望和速度应该介于铁球和木球之间。因为铁球快，木球慢，最后必然是折衷的结果。又铁球和木球绑在一起必然~~的~~铁球重，因此~~绑在一起时~~一定是铁球下落快。由此~~得出矛盾~~，对此，伽利略问题地说：“发明逻辑的人并不一定会使用逻辑”。
 Aristotle理论是荒谬的。

伽利略在批判了Aristotle的落体理论之后，由于相信自然界的数学简单性，~~用同样大的球~~他开始去寻求物体下落的规律。他考虑物体以怎样的~~方式~~下落，而不是象Aristotle那样决定物体下落的原因。在Aristotle看来，科学的任务就是要解释物体为什么~~这样~~，在解释~~清楚~~原因之前任何其它的研究都是没有价值的。

因此伽利略下落这一事实，^{下落}伽利略首先想到必须解释重物的原因。而伽利略
 则不意这些，他说：“^{研究}落体运动的加速度的原因何在，不是研究它的必要部分”他
 关心的是用公式表达的另的知识。因此他^{研究}重物怎样下落。从^{研究}落到开始运动
 的工作即表明大概是用数学设计的，^{伽利略}认为^{研究}重物下落规律也必定可以用简单
 的数学公式表示。最简单的就是比例关系，^{伽利略}他发现^{研究}下落^{物体}与时间成正比；发现

21时后，他改用下落速度与时间成正比。这次他成功了，^{伽利略}发现了 $v=gt$ 的简单公式。
 1638年的伽利略的伟大著作《关于两门新科学的对话》^{伽利略}和^{伽利略}在书中
 48科学地^{伽利略}在1638年出版的《关于两门新科学的对话》^{伽利略}中描述了著名的
 斜面实验，论证了^{下落}重物垂直或沿斜面下落^{伽利略}时路程是 S 与时间平方成正比，
 从而确立落体定律。他说：“让铜球沿光滑槽滚下，并且注意下降所需时
 间，我们不止一次地^{伽利略}重复进行实验，使两次观测所得时间相差^{伽利略}不超过百分
 的^{伽利略}，做过这一步并判定其可靠性之后，再让铜球只滚槽长 $\frac{1}{4}$ 的距离，12次
 下降时间，^{伽利略}发现它^{伽利略}确实等于先前的一半。接下来试作其它距离：全程的 $\frac{1}{2}$ ， $\frac{2}{3}$ ，
 $\frac{3}{4}$ 或任一分值。这样的实验整整重复100次。发现经过的距离与时间平方总成正
 比，并且对铜球沿之滚下的槽板，各种坡度都保持这样的关系”

从伽利略这段描述可以看出，他的斜面实验设计思想是向式的证明。

他利用斜面来测量时间，用斜面来缓冲重力，并把物体以直接测量的速度和时间的关系就称为路程和时间的关系。他通过实验证明路程和时间平方成正比，而这正是匀加速直线运动的一个重要特性。因此伽利略断定斜面运动是匀加速直线运动。然后伽利略进一步作为推断，即使不论斜面的倾斜度如何，铜球滚动都遵守时间平方关系，即当斜面倾角增大至垂直时，铜球的下落运动也仍然是路程与时间平方成正比，即自由落体运动也是匀加速运动。这样的伽利略推断也说明了物体下落的规律，建立了新的落体理论。

(2) 惯性定律 惯性观念的改变，是古代与中世纪的哲学渗透到近代物理学最重要的标志。在伽利略以前，人们所信奉的是亚里士多德的力学观点，即力决定物体的运动速度，在撤除外力作用时物体速度为零，^{也就是}静止不动。伽利略第^一次批判了^{所谓的}这个“规律”，他通过分析一个最著名的理想实验来说明物体的惯性。他^{设想}一个球从一个斜面上滚下，^{然后}冲上另一个斜面。他发现不论^第一个斜面倾斜度如何，小球冲上^{另一个}斜面的高度总与原来的高度一样。他^{设想}如果第二个斜面倾斜度越来越小，则小球滚动的距离越长。当倾斜度小到极限位置时，那就意味着小球将

永远地沿平面滚下去。他在《关于两门科学的话》中写道：“设想沿水平面无限地射出任意一个粒子，则我们知道……只要这个平面无限大，这个粒子将永远沿着这个平面均匀地运动着。”因此伽利略完全体会到了物体的惯性，他实际上发现了惯性定律即后来的 Newton 第一定律，就是物体不受外力作用时保持静止状态或匀速直线运动。

(3) 相对性原理 伽利略的相对性原理是物理学的一重大革命。前面说过，开普勒《天体运行论》的发表，引起了一场激动人心的关于宇宙体系的大论战，反对开普勒学说而维护亚里士多德-托勒密体系的人，最有利的一条论据就是：如果地球绕太阳转动，向上抛出的物体下落时为什么不会落在抛出点的西边呢？站在地球上的人类为什么觉察不到地球的运动呢？1632年伽利略在他出版的《关于两大世界体系的话》书中对上述问题作出圆满回答，给哥白尼体系以决定性的支持，
从而

伽利略说：把你和一些用帆关在一号大船甲板下的舱里，让你的带着几只苍蝇、蝴蝶和其它昆虫，舱内放一只大水缸，其中有几条鱼。然后挂上一只水瓶，让水一滴一滴地滴到下面的一个广口盆里。船停着不动时，你凝神观察，昆虫都同等地向舱内各方向飞行，鱼向各方向随便行动，水滴滴过

但是否匀速，若观察者所处参考系不同，则对同一个运动看到的运动情况却可以是不一样的。如你在船甲板上竖直上抛一球，你看到小球确实是在作竖直上抛运动，但站在平行于船速方向的岸上的人看到的小球运动则是斜上抛运动。

22

下面的实验是：你把任何东西扔给你的朋友时，只要距离相等，各方向用力相同。你双脚齐跳，无论向哪个方向，跳过的距离都相等。当你仔细观察这些事情之后，让船以任何速度直线前进，只要运动是匀速的，也不会左右在地才摆动。你将发现，所有上述现象丝毫不受变化，你也无法从其中任何一个现象来确定船是在运动还是停着不动。即使用匀速运动得相当快也是一样。这就是说，在封闭的船舱里，做任何力学实验都不可判断出究竟船是在运动。

用参考系的概念来说，以^{匀速}自速运动而不会左右摆动的船舱是一惯性参考系，在一个惯性参考系中能够看到的种种物理现象，在另一惯性系中必定也毫无任何差别地看到，即所有惯性系都是共有的。这就是伽利略相对性原理。地球近似于惯性参考系，所以人类觉察不出地球在运动。也正因为地球是近似的惯性系，^{人们}可以通过精密的实验观察到地球运动。

伽利略的这个相对性原理不仅从根本上支持了哥白尼日心说，而且后来成为 Einstein 建立狭义相对论的两条基本原理之一。~~（所以相对论确实伟大）~~
(这次是伽利略的三项贡献)

除了上述三项伟大发现之外，伽利略还对物理学做出了许多其它重要的贡献。他是第一个意识到光的速是有限的并试图测定光速的人 (Arabella)。

Descartes 都说走的速度是无限大, 而伽利略则认为走速有限. 他设计了一个在地面上用两个山头间打走闪亮的方法测定走速的实验, 但由于走速太大, 他的实验失败了.

一直到19世纪科技进步, 测定走速才成为可能. 菲索1849年进行了地面测定. 1850年

傅科 Foucault 利用旋转镜法首次实现实验室中的走速测定. 1875年迈克尔逊

Michelson 用傅科方法作走速测定, 1926年^他测定走速 $c = 299796$ 公里/秒,

误差不过4公里/秒. 是第5重要的近代声学的研究者(他提出声成理论,

并开始进行关于音调. 谐波和弦振动的研究工作. 这工作被 Mersenne 和

Newton 继承, 成为十八世纪中数学工作的主要驱动力). 他对摆所作的

重要观察促成了其后惠更斯 Huygens 的一系列工作 (1583年伽利略还是医科

大学生时就在比萨大教堂做礼拜时惊奇地发现,

天花板上的大灯尽管每次摆动幅度不一样, 但每次摆动所持续的时间却准确地相等, 当时他是用脉搏计时间的. 伽利略发现这一事实后, 下

子跳了起来, 弄得在场的人大吃一惊. 礼拜完毕后, 他马上回到家里, 将

一块石头系在绳子上重复这个实验, 得到同样结果. 为伊舍选择? 伽利略

没能解决, 摆的教学理论直到1673年由 Huygens 建立. 惠更斯在1657. 1658

和1673年先后获得钟摆专利, 并于1658和1673年写成《时钟》以及著名

的《摆式运动中或关于时钟上摆的运动几何的功用》两书. 第5提~~出~~出了摆

的数学理论，证明了单摆的运动规律： $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 。进而发明了表内的弹簧摆，并由此创立了渐近曲线的理论。他在做出落体定律和惯性定律两项发现之后，又发展了抛射体运动的理论，成功地解决了炮弹运动轨迹这一古老课题。他证明了炮弹的水平运动和垂直运动是彼此独立进行的。运用这一运动合成的原理，他得出炮弹的运动轨迹是抛物线，并证明炮弹倾斜45度时射程最大。伽利略的这一工作后来对牛顿解释天体运动有很大贡献。

4. 伽利略和开普勒的遗孀工作比较

(把这两位伟大科学家的工作比较一下是有益的。)

伽利略和开普勒是同时代人，两人是朋友，常有书信往来。但奇怪的是两人的关系都互不理解对方的成就，却很好地配合。开普勒打破了天体只沿圆周或匀速运动的旧天文学观念，但在力学问题上，他却沿袭西里斯受德的旧力学见解，认为运动体需要不断施加力才能保持运动。伽利略和开普勒则恰恰相反，否定开普勒的力学观念，阐明运动毋须用力来维持，但却坚持旧天文学观念，认为行星运动是匀速圆周运动。他们的这种固执与缺陷致使他们两人都未能实现力学和天文学的

伟大综合，^{过程}错过了后来 Newton 建立的那种动力的机会。

正如伽利略奠定了实验力学的基础一样，开普勒奠定了实验光学的基础。伽利略天才地发明了望远镜，结束了人类肉眼观测天象的~~时代~~。但他对望远镜的光学基础却没有多少研究，~~而这~~^{而这}竟是由开普勒完成的。

自从伽利略~~发明~~^{首先}望远镜问世之后，开普勒开始认真地研究光学。他发现了透镜成像的光学原理，^{研究并}首先解释了伽利略望远镜放大的机制。他提出加长望远镜物镜焦距和镜筒长度可以减少望远镜的球面象差的理论。他设计了一种不同于伽利略望远镜的~~开普勒式~~望远镜，即把伽利略的凹透镜做成的望远镜改造成两个凸透镜做成的望远镜。这种望远镜^{研究并}今天称为开普勒式望远镜。开普勒式望远镜^{研究并}虽然所成的像是倒像，~~但~~^他望远镜^{研究并}不仅放大了，而且正如开普勒指出的那样可以在~~望远镜~~^{望远镜}平面上~~观察到像~~^{观察到像}，使得这种望远镜可直接用来测定天体的位置，~~这大大提~~^{这大大提}高了天文望远镜的性能。今天开普勒式望远镜仍被广泛使用。

开普勒在光学方面还提出了光线随距离减弱的平方反比定律，1611年他发表了他的著作《折光的研究》，总结了他^{研究并}在光学方面的~~工作~~^{工作}。他还在1621年

刊布他最后之作——《观测福星志》。这是开普勒在完成临终前下的工作。这颗星表是天文学史上最值得称赞的一部星表，因它的完备和准确度远胜前人。在以后的百餘时间里，该表一直被天文学家和航海家奉为至宝。它的制订从来没有认真地保留到现在。

很显然，开普勒是借别人的眼睛“作出他的科学发现，而伽利略则是自己的天文望远镜”。两人却信奉哥白尼学说，都对哥白尼学说深信不疑。1597年的伽利略曾致书开普勒，表达他对哥白尼学说的信心，但对哥白尼学说的嚣张气焰有所顾忌。有些犹豫。开普勒在复信热情地鼓励了伽利略，他写道：“把你的双足与连同的脚踏出来，我们把力量合拢起来，^{在一起}就能推动车子前进；有了你的科学证明，将有力地支持飞在遭受不公正折磨的你的同道们”。最后他鼓励伽利略道：“^{勇敢地}前进！”

伽利略虽然也遭受宗教会的迫害，但他有一些学生和朋友一直在^{帮助他}，而开普勒~~却~~。而这样一位为科学展开拓道路的勇士，一生却是在极端艰难的环境下度过的。连年的战争，长期漂泊，生自贫困以及来自教会的迫害，不断困扰着他。在他表甲之年，为向宫廷

索取20余年的欠薪，他长途跋涉去拉提明。1630年11月15日他不幸染伤寒死在途中，只留下几件衣服和一些书籍。

1642年伽利略也因病倒下了，科学界从此失去了两位先锋战士。

可就在伽利略去世的这一年，人类智识的地平线上又站起来了一位叱咤风云的伟大人物。这个人把开普勒和伽利略的工作发扬光大，以磅礴之势创立了近代自然科学。他对人类文明影响之深远已经超越了一些国家的兴衰存亡。凡有资格作出判断的人，都一致认为他是人类曾出现过的极少数了不起天才之一。~~这个人是谁呢？他就是艾萨克·牛顿。~~（~~下边我们介绍牛顿~~）
这个人不是别人，他正是艾萨克·牛顿。下边我们介绍牛顿的生平和他的丰功伟绩。

5. 牛顿 ~~和他~~ 及其《原理》

在西方科学革命浪潮汹涌澎湃之际，在伽利略去世的^{1642年圣诞节}（1642年12月25日）在英格兰的沃尔斯泰甫^{（圣诞节）} ~~村~~ ^{中村子里}，生了一个早产的婴儿。这个婴儿号泣早多，可他父亲仍然在他出生之前就已经去世了。这是一个瘦弱的、先天不足的苍白的用膏药小孩。给他接生的接生婆甚至没有料到他会活下来，她说：“咳，这么一个小不点儿，我简直可以把他塞进一只杯子里去！”命运就这样以开玩笑的试将^{这位}叱咤风云的思想家^{这位}送给了小不点儿正是后来的牛顿。

介绍到我们这个世界来。

牛顿的童年是和他的母亲在一起度过的。由于他母亲再嫁，他就由外祖父抚养。十二岁时，他进了公立学堂，并在一位开药房的人家寄宿。据这位药房的老药剂师讲，牛顿是一个“很中曹的房客，淘气的小鬼”。他不断地捣捣把戏，捣弄可怜的老药剂师，弄得这位药剂师大伤脑筋，毫无办法。

小牛顿喜欢搜集大大小小的管子、锯子和钉子，制造种种奇怪的小玩意儿。他看到药剂师的房子附近正在建造一架风车（磨坊），于是决定也制造一架他自己的风车。他宣称，这架风车将有很大的改进，推动风车运动的将不是风而是动物。他说，把一只老鼠缚在一架有轮子的踏车上，然后在轮子前面，^在踏车老鼠恰恰可望而不可及的距离处放上一粒玉米，老鼠想吃玉米，^腿腿必地就踏呀踏。使轮子转个不停。

（这使人联想起爱迪生小时候“学鸡下蛋”的故了。看来科学家的^{童年}童年都有与众不同之处，对某些问题有独特见解。）

牛顿还喜欢放风筝，西拿山于“空中航行的魔术”。有一天晚上，他把

小伙伴们召拢来，带着恶作剧的眼神说：“我要叫我们这里的乡下佬吓得半死，我刚做好风车了，准备把它们系在风筝的尾巴上，飞到乡下佬的房顶上，他们一定以为是天上整蛊掉下事了吧！”

牛顿从小就这样好动、顽皮，他并不爱学习，对功课没有兴趣。成绩自然不好。有一次牛顿仿制了风车，拿到班里去显弄。一个成绩优良而傲慢的同学瞧不起牛顿，他轻蔑地讥讽说：“牛顿，你的手到来了，连一个木匠还可以。可风车为谁转动？你懂把这门道理讲给大众吗？”牛顿一时面红耳赤，答不出来，窘得面红耳赤。那个傲慢的同学得意地把小风车扔在地上，粗手一脚把它踩坏，并破口大骂牛顿是笨蛋。牛顿哭了，哭得那样伤心。从此他变了，他变得沉默寡言，变得刻苦用功。不久他的成绩超过了那个欺负他的同学，之后又居全班第一。

牛顿14岁那年，他的继父病故，由于生活困难，牛顿的母弟要他辍学务农。于是牛顿从学校回家，参加田间劳动。有一次，他被牧牛，在树下看书，连牛羊散了都不知道。他舅父看到后没有生气，反而以为牛顿有出息。在他舅父的劝说下，牛顿的母弟承担起家庭生活的全部重担，让牛顿重返学校学习。

复学便勤奋好学的牛顿欣喜若狂。他以更大的热情继续攻读。两年后, 19岁的牛顿如愿以偿地考入剑桥大学三一学院。(1661年)

剑桥大学三一学院是当时摆脱了中世纪教会影响、传播最新科学知识的著名高等学府。这里有优越的教学设备、丰富的图书资料、^{剑桥}一流的学术氛围和学识渊博的教师。牛顿进入三一学院后如鱼得水, 他如饥似渴地学习各种知识, 其中包括希腊文、天文和神学。他自己还钻研了 Descartes 的《几何》, 哥白尼(Copernicus)的《天体运行论》, Kepler 的《光学》, 伽利略(Galileo)的《关于两大宇宙体系的对话》等著作。

1665年, 牛顿刚结束了他的大学课程, 学校就因伦敦地区鼠疫流行而关闭。于是牛顿只好回到他的家乡沃灵顿农圃。在家乡幽居的两年, 是牛顿科学出发的黄金时期。在此期间, 牛顿终日思考问题, 完成了微积分、万有引力定律和光的分析三大发现。

1667年瘟疫过后, 25岁的牛顿又回到剑桥三一学院继续学习和研究。1668年他获得硕士学位, 并被选为剑桥三一学院的研究员。

1669年, 牛顿的恩师、微积分的发明者之一、剑桥大学三一学院

自然科学讲座——卢卡斯讲座(Lucasian)的第一任教授巴罗(Barron)作出了极不平凡的举动，他兼授自然科学卢卡斯讲座教授的职务，把这个职位让给他小十二岁的二十七岁的牛顿。巴罗的这一举为日后牛顿成为举世闻名的科学巨匠铺平了道路。一直到今天，巴罗此举仍被传为美谈，的确这是科学宫殿里一件永放光辉的珍品。

这里说一下，当牛顿1661年进入剑桥大学时，剑桥大学的教制及课程透着浓厚的中世纪经院哲学的气息，学校规定讲授逻辑、语法、历史、神学等课程。只是在两年之后，剑桥大学三一学院出现了新气象，H.卢卡斯创设了一个别开生面的讲座，规定讲授自然科学知识，~~地~~地理、天文、物理和数学。巴罗这个博学的科学家就担任了这个讲座的^{包括}主任教师。正是他，把牛顿引向自然科学，对牛顿的才华极为赞赏；

巴罗自己精于数学和史学，~~当他~~当他看到牛顿在数学方面超越自己时，他非常高兴地^{而又谦虚}说：“我对数学~~是~~是天赋有造诣^但，和牛顿相比只相当一个小孩。”于是他乐为伯乐，让“千里马”牛顿接替了自己的职位。

(在我看来，现在中国“千里马”并不缺，可就是伯乐“太少！”)

(现在三一学院牛顿用雕像之比，立有巴罗的铜雕像，为后世所景仰)

讲授光学，他的

牛顿接任巴罗职务之后，讲课并不显得惊人，也不特别受学生欢迎。但是，在解决难题方面，牛顿却远超人，他专心致力于科学的探索。

1672年牛顿开始公布他的发现，他~~发现~~早在1668年仰观天象时就发现一件怪事，不同的光线有不同的折射度。根据这个原理，牛顿设计制造了一具反射望远镜。这种新型望远镜不同于伽利略、开普勒的望远镜，它是由~~凸~~凹面镜组成的，能够清楚地把物体放大好几倍。牛顿的这种反射望远镜是对已有望远镜的重大改进，今天牛顿的反射望远镜仍被光学界广泛使用。1668年牛顿制造的还是6英寸长的小型反射望远镜。1671年牛顿又制造了第二台更大的反射望远镜，~~他把复制品送给英国皇家学会~~这次他声称他的望远镜恰好放大了38倍（当时普通的2英尺长的望远镜却只能放大13-14倍），并把他的望远镜拿到皇家学会展出。这次展出获得了极大的成功，牛顿开始引起人们的注意并被选为英国皇家学会的会员。（值得指出，牛顿为了磨制反射望远镜的镜面，他才掌握了磨制及抛光精密光学镜面的方法。这种方法直到现在仍是现代光学加工的主要手段，只是最新精密加工的新设备才

便方法上有了进一步的革新。)

1672年牛顿在《皇家学会哲学学报》上发表了他的第一篇正式的科学论文“关于光和颜色的新理论”。这篇牛顿以相当熟练的心情写成的论文却遭到了同时代大多数人的严厉批评，其中包括 Hooke 和 Huygens 在内。牛顿吃了一惊，决心以后再不发表任何东西。但是他还是在1687年^{这便}年又~~发表~~了一篇光学论文，这篇论文中他提出了光是由光的微粒组成的粒子学说。

这一次他又遭到了暴风雨般的批评，特别 Hooke 和 Huygens，他们对于光的本性持有不同的看法。这次 Newton 下决心以后再公开他的成果。1703年胡克去世了，牛顿认为~~发表~~^{研究著作}他~~发表~~光学著作^{著作}的时机已经来到。于是在胡克去世后的第二年即1704年，牛顿出版了他的经典著作《光学》。牛顿的《光学》共为三篇，完整地介绍牛顿本人的光学成就。用现代语言来说，书的第一篇是几何光学和棱镜光谱实验，第二篇是光的薄膜干涉现象，第三篇是光的衍射和引力问题。^{牛顿}这部书是十七世纪光学方面的最重要著作。^{因为过难}牛顿也就成为开普勒之后对光学作出重要贡献的第二人。

但是，牛顿最伟大的贡献不是在光学方面，而是他所建立的力学_{体系}。

体系和他对万有引力定律的完整的阐释。他在这一领域的卓越工作集中反映在1687年出版的牛顿的划时代的不朽巨著《自然哲学的数学原理》之中。正是这部著作的出版，使得牛顿永垂青史和这地为后人所敬仰。本来，牛顿早就完成了^{这些}发明，但他不愿意拿出来公开发表。他担心他在力学方面的^{这些}工作象他的那两篇论文一样受到严厉的批评。另外，他喜欢平静，不愿意卷入无休止的争论之中。于是他把他的发现写成文稿，锁进箱子就算了事。也许他真想象他所说的那样死后再公开发表。但1684年8月天文学家哈雷(Halley)的来访，促成了牛顿~~在~~^进《自然哲学的数学原理》的著作。

这部巨著提前发表了。哈雷劝诱牛顿，如何根据引力与距离平方成反比^{的关系}来证明开普勒的第一定律，即行星受太阳引力的作用而沿椭圆轨道运行。牛顿说不用再证明了，这个问题我早已解决。于是他打开箱子，拿出他的手稿给哈雷看。从手稿上，哈雷看到牛顿确实彻底地解决了与引力有关的各种问题，而且还把力学的基本概念和规律明确地提出来了，他甚至还解决到了

书中~~要~~精彩的论证，简洁深邃的表述使各科学界为之倾倒、折服。

35

地球的形状。哈雷看了之后，认识到这是一部很有价值的重要著作。于是再三催促牛顿赶快整理出版。牛顿说他没有时间出版此书，哈雷便拿着牛顿的稿本到英国皇家学会去审查，请求资助出版。可皇家学会却说经费不足，要暂时等一等。哈雷做了，最后他拿出自己的钱帮助牛顿出版了这本里程碑式的划时代巨著。（这是一部精美的科学著作，是世界物理学史和天文学史的一块重要的里程碑）

1687年牛顿的“自然哲学之数学原理”终于发表了，这部巨著一论问世，

立刻被人们认为是人类智慧的至高成就之一，哈雷称赞它是一部“无与伦比的论著”，后来的拉格朗日把牛顿的“原理”誉为人类心灵的最高产物。他认为牛顿生逢其时，不但是历史上最大的天才，而且也是最幸运的一位天才。拉格朗日说：“宇宙只有 π ，而只有 π 人能做宇宙规律的阐释者。”~~这个人就是牛顿~~ 牛顿很幸运地成为这 π 人之一。（这些评价虽然有些感情用事，但也确实有些道理。）
Lagrange的

《原理》一书初版于1687年，在1713年、1725年牛顿对它作了两次修订。

在这部巨著中，~~牛顿~~^{他通过}提出了他的力学三大定律和万有引力定律，把地面物体的运动和天体运动统一起来，从而完成了人类文明史上第一次自然科学的大综合。它不仅标志着十六、十七世纪科学革命的顶点，而且也是人

人类文明进步的划时代标志。

《原理》书虽然问世于英国，但它早已是全世界的共同的科学里程碑。三百年来，牛顿受到人们的高度崇敬，他的《原理》也对三百年间的自然科学和自然哲学的进展产生了极其深远的影响。可以毫不夸张地说，《原理》一书所奠定的物理基础和方法，启迪了人类与西伯利亚的印第安智慧。迄至今日，人们关于自然过程的物理认识都可以看作是牛顿思想的一种系统的发展。

同学们，三百年在人类文明史上只是个短暂的日子。但自牛顿以来这三百年，人类在建设自己的文明大厦中的卓有成效的功绩却是三百年前所有历史时期都不能比拟的。人类文明取得这样迅速的进步，主要归功于牛顿和他的先驱者。（万有引力定律是今天宇宙航行的理论基础，预言人造卫星）
牛顿和他的《原理》将永远为后世所纪念。

所以 1942年12月，中国正处于抗日战争的国难时期。在这样的不平静条件下，中国人也还没有忘记对这位科学伟人的纪念。中国共产党延安、中国物理学界、天文界、数学界在昆明、重庆、成都、福建永安等八个城市分别隆重举行纪念伟大的牛顿诞辰三百年。（在延安的纪念会上，徐特立同志发表了热情洋溢的讲话。）45年后的1987年，中国科学技术史学会、中国

物学会、中国数学学会、中国政学会、中国农学会、中国力学学会、中国化学学会、中国仿生学理论研究会、引力与相对论天体物理学学会这九个学术团体又聚一堂，举行庆祝牛顿的《自然哲学的数学原理》出版三百周年大会，缅怀牛顿的丰功伟绩。今天，我在这里向你们介绍牛顿的先进事迹也是出于我们对牛顿和科学的崇拜。

牛顿的“原理”在今天受到很高的评价，粗无论怎样评价都不会过份。可在当时，“原理”并没有立即被人们所理解。人们认为他的学说粗野离奇，希望把但丁、莎士比亚笔下的富于想象的浪漫主义情趣的宇宙变成一个冷硬、^{说地}~~天~~天色的死宇宙，一个服从机械规律的宇宙。~~这真可惜~~人们指责说，他割裂出来的那个没有灵魂的宇宙又是什颜色呢？他用他的数学理论制造出来的那个什么样的奇异的上帝？还不是一个没有灵魂的机器上帝！^{思想同思维！}

^{当时一位批评家宣称：}“这位阴沉沉的数学家，一生也找不到二十个跟他跑的人。”（不要笑），这在~~后来~~批评家的预言是正确的。在《原理》出版后，^{打破潮流}牛顿又活了40年，40年后他的气运也还差共不过一打。^{抗拒新潮流就是一种}

在历史上，科学的新发现总要遭到顽固势力的阻挡，按照贝弗里奇的意见，一项对~~世界~~知识的创造性贡献，起初人们嘲笑它是荒谬的、不科学的。

的成没有用的；之后，人们说其中可别有些道理，但尔这派不上你实际的用场；最后，新发现已获得普遍承认。这时，许多人说这个发现并不新鲜，早就有人想到了。现在牛顿的发现正好不被人理解的第阶段。过后我们将看到，万有引力定律获得承认后，胡克等人说这发现并不新鲜，他们早就想到了。于是牛顿担心的争论又发生了。他又被卷入优先权的争论之中。

下面我们来看看牛顿是怎样建立起万有引力理论的，胡克为什么和他争论？

6. 万有引力定律

科学上每一个新概念的^{理论}出现，都有它自身的发展过程。万有引力理论也不例外。哥白尼就曾经说过地球之为球形是由于地球的各部分间存在着相互^{理论}吸引力。他相信这种力也存在于其它天体。开普勒为了解释他的行星运动定律也已经领悟到行星世界是由某种统一的力量联系起来的。他认识到这支取行星运动的统一的力量来自太阳，并且断言力的作用随距离的增加而减少。他说，两物体之间存在着吸引力，这种吸引是相互作用的，如同磁铁吸引铁，铁也吸引磁铁一样。他甚至还看到两物体之间引力大小视物体多少而定。他在《论行星运动》一书中叙述了他对引力作用的一些看法，~~他~~他写道：“重力不还是物体之间相互结合之力。这种力使物体有结合在一起

的趋向：“假使地球不吸引海洋里的水，由于月球的引力，它们便会奔向我们的卫星”。

在开普勒的著作中象这样与引力有关的论题还很多，因此^{可以说}开普勒已经窥见到万有引力，他的一些观点已经包含有天体力学的萌芽。很可惜，开普勒没有伽利略的惯性观念。他认为，天体运动^也需要^有外力来维持，否则就会互相吸引而聚成一团。其实他不知道这个外力就是物体的惯性。这个错误使得开普勒没有的奔逃、最高目标，~~也~~只是对行星运动的原因作些虚会的猜测。

到了牛顿，他把伽利略的自由落体定律和抛射体运动理论来比到天上。他作如下的设想：在高塔上向水平方向抛出一块石子，石子的路线在引力作用下不断往下弯，在不远的地方落到地面；如果用力为显态，石子就能抛得远些，弯下的程度也慢些；如果抛射时用力是够大，使得石子路线的弯曲正如同地面弯曲一样，那么这块石子将永远落不到地面，好象被抛到地平线以外去了。如果大气阻力不减它的速度，石子就会象卫星一样^{环绕}绕地球旋转。

现在真是地球的卫星，环绕地球旋转。^{牛顿的设想}牛顿的设想^{认为}月亮可看作与抛射体。它的运动应当符合伽利略对抛射体运动所作的分析，即月球的曲线运动应当可以分解为两种简单的直线运动。一种是由惯性而引起的~~直线运动~~，一种是把月球拉向地球的运动。地球的引力便是使月球离开直线运

~~不断偏向地球,并沿现在的轨道绕地球运动的力.牛顿说.~~

我们知道,天体沿曲线运动就必须连续不断地改变运动方向,而运动方向的连续改变意味着有力持续地作用在这天体上.因为如果没有力的作用,天体将因惯性而作匀速直线运动.对于行星来说,我们把作用在行星上的力分解成两个部分,一部分是沿着太阳到行星的连线而指向太阳的力,另一部分是垂直于向径方向的力.根据 Kepler 行星运动第三定律,行星运动的面积速度为常量,因此可以证明垂直于向径部分的力为零.现在我们得到如下结论:连续不断作用在行星上的力,其方向永远指向太阳.其实这力就是太阳对行星的吸引力.由此行星运动可分成如下两种简单的直线运动:一种是垂直于向径方向的因惯性而引起的匀速直线运动,一种是沿向径方向的在太阳吸引力作用下的加速直线运动.

接下来的问题是证明作用在行星上指向太阳的力正好就是太阳对行星的^引力.如果行星作匀速圆周运动,则按照牛顿^的第三定律,更甚的向心加速度公式和 Kepler 第三定律 ($\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{R_1^3}{R_2^3}$) 可以推导出太阳对行星的力与距离平方成反比 ($a = \frac{v^2}{r} = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$, $a_1 : a_2 = \frac{4\pi^2 R_1}{T_1^2} : \frac{4\pi^2 R_2}{T_2^2} = \frac{R_1 T_2^2}{R_2 T_1^2} = \frac{R_1 R_2^3}{R_2 R_1^3} = R_2^2 : R_1^2$).

实际上牛顿和胡克最初都是^{这样}得出了力与距离平方成反比的理论的。但是我们的知道，开普勒第一定律告诉我们，行星运行的真正轨道^{不是圆而是椭圆}是椭圆。因此如何从开普勒的三条定律推导出引力与距离平方成反比决不是一件简单的事，^而从平方成反比的到普鲁的引力定律~~也不~~同样^{非常}困难。在~~在~~牛顿之前，^{（相同时）}质量和重量混为一谈，质量概念含糊不清。胡克在他的研究和伽利略的工作之后^{最终}明确地定义了质量，阐明了他的第二运动定律。~~牛顿~~^{最终}应用他^{在此基础上}

^{第一次}他用的新的数学方法——微积分学，非常精确地从Kepler定律导出万有引力定律的数学表达式。^{重要的是}~~更进~~一步，^还牛顿把太阳和行星间的引力定律推广到宇宙中任何两个质点、两天体上。牛顿总结说，宇宙间任意两个质点都彼此相互吸引，引力的大小与^{它们}质量的~~乘积~~^{乘积}成正比，而与它们之间距离的平方成反比。这就是万有引力定律。 $(F = G \frac{m_1 m_2}{r^2})$

(自然和自然规律隐没在夜幕中，上帝说“让牛顿出来吧”，于是万物呈现光明！
波普 Pope (英国诗人) 为牛顿写的墓志铭

命运使他^{牛顿}处在人类理智的^{历史}转折点^上……^{在他以前和以后}，都还没有人能象他那样地决定着西方的思想、研究和实践的方向。

正好在二百年前^{牛顿}闭上了他的眼睛。我们觉得有必要在^{这样}的时刻^{来纪念}这位杰出的天才。
Eisenstein (1927)
牛顿逝世一百周年纪念

月球绕着地球运动, 如同行星环绕太阳运动一样遵守 Kepler 定律, 支配这种运动的力正是地球对月球的引力. 作为万有引力定律的典型例证, 牛顿证明了保持月球在甚轨道上运动的地球的引力正如相当于离地球为月地距离这么远的物体的重力. 这一事实清楚地论证了万有引力的存在和万有引力定律的正确性.

地面物体的重力加速度 g 已由伽利略的实验精确地计算出来, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$. 设地球半径为 R , 则已知月地距离为 $60R$. ~~根据引力定律, 对质量为 m 的物体, 在月球那儿的距离外重力为 mg . 因重力与距离平方成反比, 故有~~

~~对~~ 设在月球那儿的距离外, 物体的重力加速度为 g_1 , 则由引力定律, $mg = G \frac{Mm}{R^2}$, $mg_1 = G \frac{Mm}{(60R)^2}$, 两式相比得到 $g_1/g = \frac{1}{60^2}$, 从而 $g_1 = \frac{9.8}{3600} = 2.7 \text{ 毫米/秒}^2$.

另一方面, 按照 Huygens 的向心加速度公式, 月球的加速度 g_1 月球环绕地球 (离地球一样远的任何物体加速度一样)

为 $g_1 = \frac{v^2}{r} = \frac{(2\pi r/T)^2}{r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$. r — 月地距离
 $T = 27.32 \times 86400 \text{ 秒}$ T — 恒星月
 27日 7时 43分 11秒

以恒星为参照物时月球绕地球运动一周所用时间。我们平常所说的月，并不是恒星月，而是月球绕地一周所用的时间。例如两次圆月之间的时间，叫做朔望月，29日12时44分3秒。根据当时的地球半径5534公里，牛顿算地月距离 $r = 60R = 332040$ 公里，代入Huggens公式求得 $g_1 = 2.3$ 毫 $g/秒^2$ 。两个数值不一致，难道保持月亮在轨道上运动所需的力不只是地球的引力？那 g 的定律是不对的了。牛顿失望极了，他在地上放下笔，不愿再给想物体之间的相互吸引力了。这是1666年的事了。

~~1666~~16年后也就是1682年，法国科学家皮卡尔向地球对地球进行了研究，他发现地球上1°纬度之间相距69.1英里（约112公里）而不是前人所说的60英里（约96公里），牛顿知道笛卡尔死后，燃起了新的希望，他计算了后来的地球半径和月地距离，按Huggens公式重新算得月球的向心加速度 $g_1 = \frac{v^2}{r} = 2.7$ 毫 $g/秒^2$ 。月球的向心加速度与重力加速度惊人地一致，正说明保持月球在轨道上运动的力正是地球的引力。于是伽利略的落体定律被推广

到天上. 地面物体的运动和天体运动统一起来了. 牛顿的
 这一~~工作~~ 剥去了两千年来在崇敬天体运动的神秘外衣, 他通
 过~~证明~~ 证明天体的和地上的 ~~牛顿定律~~ 天壤无别, 天
 地服从同样的自然规律, 这~~也~~ 表明 ~~笛卡尔的~~ 天体是
 宇宙并非那么神秘可怕. 笛卡尔的“天体是
两个世界”的论断是荒
谬的.

~~在确信万有引力定律是正确的之后, 牛顿开始用它来解释开
普勒的三大定律, 说明行星的运动何以如此. (当然, 也正是开普勒的三
定律引导他发现万有引力定律).~~

在应用万有引力定律时, 牛顿遇到个困难, 这也是当时科学
家所关心的^{共同}问题, 就是讨论天体与巨大物质的引力时, 例~~如~~把~~它~~
们^{看作}质点集中在中心的质点来处理. 因为严格地说, 万有引力定
律只是两质点间的引力定律. 牛顿在作番努力之后, 终于用他的微
积分回答了这个问题. 答案是肯定的, 可以把天体看作质点集中在中心的
质点来处理. (~~《原理》~~ 第1卷命题73与命题74)

接下来牛顿以神一般的思辨力来证明开普勒的三大定律，说明行星和卫星的运动，预言彗星的运行，解释大海的潮汐，推測地球的形状，论证地轴的进动（地球的发差26000年）。他的这些辉煌成就集中反映在他的《原理》一书中。

《原理》的第一卷以一些微积分的定理开始，然后讨论了物体在^{定点}力作用下的运动。命题1至命题15用来讨论引力和开普勒定律的关系。总体而言，牛顿在这15个命题中证明了下面三个重大结论：(1) 两个物体按照引力彼此吸引的结果必然是小的物体围绕着的大的物体作椭圆运动，总大的物体位于椭圆的焦点上。（这已经证明了开普勒的第一定律）(2) 若一物体受定点力的作用作圆锥曲线运动，则总力与物体到定点距离平方成反比。（牛顿也证明了逆定理）。(3) 在圆锥曲线上运动的物体，若力指向中心（焦点）的充要条件是开普勒的面积定律（第二定律）成立。在证明了向心力的论题之后，牛顿又推出了Kepler的第三定律（命题15）。这样，~~牛顿成功地证明了行星的运动，揭开了开普勒三大定律之谜，阐明了~~
~~第1次~~ ~~证明~~ 开普勒三大定律之间的联系及其重要意义。

(当时,不可否认,正是开普勒的三条定律引导他走向万有引力定律)

根据实际的天文观察,彗星的轨道却是圆锥曲线.于是根据上面的定理牛顿得出彗星一定是在太阳的引力作用下运动的.但1至~~至~~彗星轨道为~~圆~~抛物线,若是椭圆则是又长又扁的扁椭圆.

比如^新1680年彗星在1680年11月与1681年3月两次出现,牛顿起初以为是彗星在直线上运动的两方不同的彗星,Flamstead通过观察提醒牛顿,它们只是同一彗星绕太阳一周运动.于是牛顿通过计算1680年所见的那颗彗星是以太阳为焦点的一颗星彗星,它绕太阳的向心力服从距离平方反比定律.起初牛顿~~也~~以为这颗彗星的轨道是抛物线,后来他和哈雷一起进行了计算,得出这颗彗星的轨道是一个绕太阳而又长又扁的扁椭圆,哈雷预言这颗彗星76年回归一次.这颗彗星今天就称为哈雷彗星.(1P101P86)

在天中彗星很好辨认,它们会连横穿天空时,后面拖着拖着巨大的尾巴(抛头散发).当彗星出现时,有时^时几天或好几个月都可见到它在天空穿行.较大的彗星回归时看过去很亮很

因为彗星形状特别而

47

以见。过去的人以为彗星的出现预示着将有可怕的危险临头。比如1066年哈雷彗星出现，英国人以为敌人将向他们发动进攻。今天我们对彗星的结构、成分、运动规律有了很多的研究，就不用再害怕了。

彗星运动的轨道是圆锥曲线，不一定是椭圆，可能是抛物线或双曲线。牛顿说，当彗星运动到很接近于某一大行星时（如木星）由于行星的引力影响，原来的椭圆轨道可能变为张开的抛物线或双曲线轨道，即沿着太阳运行的周期彗星离开太阳而到更加遥远的宇宙空间。也有的彗星原来沿抛物线或双曲线运动，当受到行星引力影响较大时改为沿椭圆轨道运行，而成为太阳系系的成员。

在今天已经知道的25颗彗星中，有19颗彗星是椭圆轨道，274颗是抛物线轨道，52颗是双曲线轨道。

牛顿在解释了彗星运动之后，又证明了地球不是一个圆的球而是一个扁球，而且他计算了扁率。他的结论是扁球的扁率是 $\frac{1}{3}$ 。今天我们知道地球在赤道鼓起。牛顿用扁率的大小及向心力，计算了地球上的引力在地球表面上的变化，从而求出物体重量上的变化。他证明扁球的引力与这个扁球的质心集中在它的中心时引力是不一样的。

然后他的解释是岁差(地轴运动)。他的解释的依据是:地球不是
 围绕太阳的圆环而是沿着赤道凸出的。因此,在月球的引力作用下,
 地球的受力点实际上不是地球的中心,而是周期性地
 在地球绕太阳轴上运动。这个变化的周期用 Newton 计算出来是 2600
 年。今天地球^{岁差}的~~岁差~~量~~大~~运动~~的~~周期也正好是 2600 年。
~~知道~~

然后 Newton 用引力理论解释了大海的潮汐(即同时对着月亮
 与背着月亮的海水涨大潮和小潮)。

他认为造成大海涨潮的原因^{上35}是月亮和太阳的引力。月球是主要的第一
 因素,太阳是第二位的因素。他用太阳的引力算出了太阳涨潮的~~文~~涨。
 由观察大潮与小潮的~~文~~涨,他求出了太阳涨潮并估计了月球的~~质~~质量。

接着牛顿就研究月亮的运动。自古以来，关于月亮人类就有许多美丽的传说。自刻夜越更深，月光情的良宵佳节，诗人就满怀无限情，浮想联翩。可在科学看来，月球的运行复杂无比，令人头痛，大伤脑筋。现在牛顿是第一对月球运行感到头痛的人。

月球运动主要受地球的影响，但由于它的距离大，离地球之远，影响它的因素有很多，很微小的位置偏差都感观观察到。牛顿权她已经发现了导致月球运动不规则的七项因素。但他徒劳无功，也不能较准确地确定月球位置（今天用的是卜利在30年时间编的月球运动表，1944年，从使用性来看，理论它与实际值还符合得很好。）

（如果所有摄动（扰动因素）都考虑进去，那与惠尔月球运动的~~结果~~层共有1650项之多）。于是牛顿天天望着月亮发呆，一个人总是呆呆地望着眼睛瞧着月亮。这是怎么回事呢？人们认为牛顿已精神失常，说这是长期熬夜苦思研究导致的，也有的说这是因为与胡曼夫人的争讼引起精神失常，还有说这是因为他的仆童打翻了蜡烛熄灭了他十年的研究^{造成他}神经错乱。
我们讲牛顿是最幸运的天才，命运使他处在人类理智的历史转折点上。可牛顿也是一位不幸者，他一生遭到了这样那样的误解。

他生活得一丝不苟，闹出了许多笑话。据说有一次他请朋友司徒克雷博士吃饭，朋友来了，他是讲他的实验，讲到实验室做实验去了。司徒克雷过了很长时间，不见牛顿出来，于是毫不客气地坐了起来，他吃剩的炖鸡骨头都打在桌上。~~牛顿出来~~过了一阵，牛顿^把兴冲冲地从实验室出来。当他看到盘子里鸡骨头和餐具时，拍着自己的腮门笑着说：“哦，我以为我已经用过过的了。”然后又进实验室去了。司徒克雷见了，捧腹大笑。为了科学研究，牛顿终身未婚，虽然他和一表姑娘处得还不错。据说，牛顿也曾经有一瞬间良爱的，有着青春迫不得已的冲动。他曾经向一位相识的年轻姑娘求婚，他紧紧地拉着她的手，会惺惺地^地看着他的心上人。可在此紧要关头，他的心思忽地溜到另一个世界去了。他头脑中只剩下了无穷个量的二项式定理。他象做梦一样抓住她的手指把乞求作通烟斗的烟盒，硬往烟斗里塞。闹得姑娘大叫声，牛顿才清醒过来。他~~道歉~~歉地说：“啊，亲爱的，别怨我吧！我知道，总是不行了。看来

我是这一辈子打棍的！”

牛顿对科学作出了不朽的功绩，可他最后却去信仰上帝。他说，他的一切工作都为了证明上帝的存在，说明上帝的伟大。他的思想冥冥行星运动的动力最初从何而来（切线方向初速度）他无法解释，只好把他归结为上帝的第一次推动。于是牛顿象柏拉图评论的那样，科学革命从肉眼向教条挑战开始，以牛顿~~的~~上帝出来干~~涉~~天体运动的告终，但是牛顿只许上帝干涉一次。牛顿在1687年也是（1687）出版后的第三~~卷~~头，就不再研究科学，而追随着他的老师研究神学了。他~~也~~他努力想推算上帝究竟是在哪一天创造的。他~~在~~宗教神学方面也留下了^{整整}150万字的手稿，人们~~的~~赞赏（印刷与《史学》）的时候，又有谁会去问津他那神学著作^{博士的}呢？

同学的，我的讲座已经告一段落，~~人~~人类文明从希腊开始，希腊如此，罗马亦然。在晚近世界思想的黑暗世纪^{15世纪}：文艺复兴^{16世纪}，~~文~~文艺复兴的大旗，要风扬在欧洲大陆，启蒙科学获得了

科学的发展

52

他的生命、科学巨匠哥白尼、~~培根~~、~~笛卡尔~~、开普勒、伽利略、
牛顿等西欧一场科学革命冲破了中世纪封建势力和经院哲
学的层层罗网，不断取得胜利。到了牛顿，他明智地奠定了
近代科学的基础，对人类的进步产生了不可估量 在科学的基础
的指向。今天爱用其他的话来~~说~~超过了牛顿理论，可
谁又能忘记当年这位叱咤风云的思想家以及他所建立的思维
力量呢？人类将世世代代记住这位科学巨匠，牛顿的名字也
将永垂不朽。^{拿天学之间，}我的信任结束。

* 他(牛顿)以磅礴之势作出如此重大贡献之时，实际上几乎创立了现
代物理科学，从而对人类文明影响之深远超过了一些国家的兴衰存亡。
凡有资格作出判断的人都一致认为他是人类所曾出现的极少数超越
天才之一。