



学科素养趣味课堂，读一本书，爱一门课
参照课程标准，用小说笔法重写物理课本，读故事学物理



刘继军◎著



物理课
相对论史话

2



南京师范大学出版社
NANJING NORMAL UNIVERSITY PRESS

鬼脸物理课 ②

相对论史话

GUI LIAN WU LI KE

刘继军◎著



南京师范大学出版社
NANJING NORMAL UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

鬼脸物理课. 2 / 刘继军著. -- 南京: 南京师范大学出版社, 2019.2

ISBN 978-7-5651-4001-3

I. ①鬼… II. ①刘… III. ①中学物理课—课外读物
IV. ①G634.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 301958 号

书 名 / 鬼脸物理课. 2

作 者 / 刘继军

责任编辑 / 陈 晨

责任校对 / 张新新

出版发行 / 南京师范大学出版社

地 址 / 江苏省南京市玄武区后宰门西村 9 号 (邮编: 210016)

电 话 / (025) 83598919 (总编办) (0371) 68698016 (邮购部)

网 址 / <http://www.njnup.com>

电子信箱 / nspzbb@163.com

印 刷 / 河南省四合印务有限公司

开 本 / 710 毫米 × 1010 毫米 1/16

印 张 / 17

字 数 / 260 千字

版 次 / 2019 年 2 月第 1 版 2019 年 2 月第 1 次印刷

书 号 / ISBN 978-7-5651-4001-3

定 价 / 35.00 元

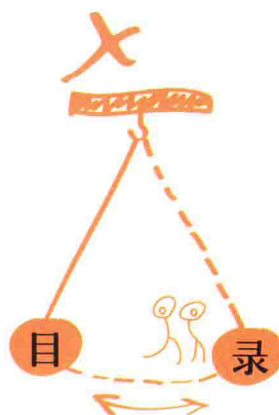
出 版 人 彭志斌

南京师大版图书若有印装问题请与销售商调换

版权所有 侵权必究



读一本书 爱一门课



第十章 狭义相对论（上）曙光 001

- 1. 追光 003
- 2. 教我如何不信你 007
- 3. 《论动体的电动力学》 012

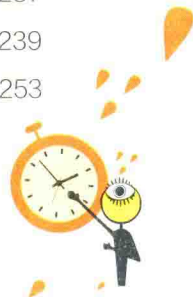
第十一章 狭义相对论（下）新世界 049

- 1. 时间膨胀 052
- 2. 质能关系 061
- 3. 四维时空 069
- 4. 光障 VS 中微子 117
- 5. 宇宙在召唤 148





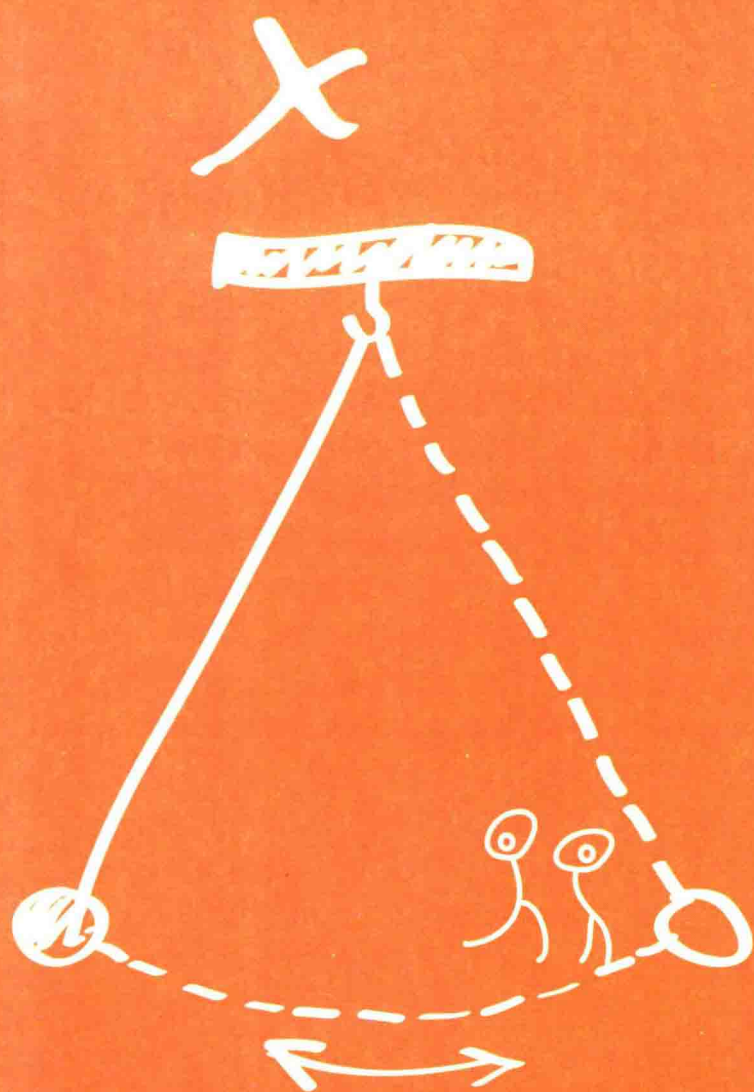
第十二章 广义相对论（上）山重水复	151
1. 一个矛盾与一个 BUG	153
2. 等效原理	157
3. 重新认识一下质量	161
4. 光线弯曲	164
5. 空间弯曲	166
6. 爱因斯坦圆盘	169
第十三章 广义相对论（中）柳暗花明	179
1. 超级武器	181
2. 测地线	187
3. 张量	190
4. 爱因斯坦场方程	193
第十四章 广义相对论（下）铁证如山	201
1. 光线偏折	203
2. 水星进动	217
3. 引力红移	225
4. 精益求精	237
5. 引力波	239
6. 参考系拖曳	253



第十章

狭义相对论（上）

曙光





追光

1895 年,风景如画的瑞士阿劳镇,一个 16 岁的少年脑子里出现一个古怪想法:一条美丽的光线划破夜空,去宇宙深处 happy,我追上去以速度 c 与它同去,会看见什么?一条优美动人的振荡的曲线——光波?但经验和麦克斯韦方程组告诉我,不会发生这样的事情。或许,这条光线看起来和我坐在教室里看它时没什么分别。

从此,这个问题如影随形,他这样胡思乱想,痛并快乐着,欲罢不能。

光速虽快,但思想可及,总有一天,我会窥透你的秘密!

转眼 10 年过去了。

1905 年,繁华而优雅的瑞士首都伯尔尼,一辆公共汽车例行公事地穿梭于繁华的街头。后车窗,一双永远好奇、清澈而又深邃的眼睛,看着伯尔尼最著名的钟塔,胡思乱想的脑子里又蹦出一个怪问题:“如果公共汽车以光速飞行,会怎样?”

我说:“会散架。”

他没理我,脑子里却出现了一只指针被定住的钟。如果公共汽车以光速飞行,那么,钟发出的光追不上车,在车上人看来,钟的指针就定在光速飞行的那一刹那。如果超过光速呢?指针倒转……时间和空间是一体的,是能够变形的网状结构……





追光

你知道,他就是10年前的那个追光少年。这个满脑子奇思怪想的家伙,现在瑞士伯尔尼专利局供职。他下了这趟公共汽车不久后,就发表了一篇与本职工作无关的论文——《论动体的电动力学》。

这时是1905年6月。

他指出:只要人们愿意抛弃绝对时间的观念,以太就纯属多余。

哟,几百万年的时间观念,你说抛弃就抛弃,你以为你是谁?

当然,看见本章的题目时你就知道了,他就是本书的第三位超级牛人——阿尔伯特·爱因斯坦,天才中的天才,巨人中的巨人。

但当时,他的名字不像现在这样如雷贯耳。

他去年才从专利局的临时工转正,得到这里的最低职称:三级技术员。因此,他提出的古怪理论没有引起人们的注意。

1905年6月,还记得这个时间吧?庞加莱发表了《论电子动力学》,提出类似的观点。我们知道,爱因斯坦的论证比庞加莱的论证更接近物理,后者认为这个问题是纯粹数学性的,而且至死不接受爱因斯坦的理论解释。尽管如此,我们也不应该忘记,庞加莱从数学上与爱因斯坦的理论无意契合,前者的盛名,在促使人们后来接受相对论等方面,起到了重要的作用。

现在想想,《论动体的电动力学》的发表,真是悬而又悬。我们一条一条来看:

①爱因斯坦当时的地位平庸到了极点,在世人眼里,他与巍峨的科学殿堂毫不沾边,而他这篇论文的剑锋,却直指这座殿堂的塔尖和中柱。

②爱因斯坦当时赖以谋生的专业,与这篇论文所涉及的领域毫不相干,这就是说,没持证你就上岗了,还想当师傅。这样一个完全的“外行”,提出了一个匪夷所思的观点,挑战当时的整个物理学体系。

③论文观念奇特,完全出乎直观认识之外,不像牛顿理论那样容易理解,包括物理学家也难以理解相对论,加之上述情况的影响,条件极其不利,但影响巨大的《物理年鉴》居然发表了它,让后人不得不佩服主编普朗克(就是当年被老师泼凉水的那个孩子)的慧眼和胸襟。如果换一个人看稿会怎样?



④作者名字前面没有挂上一排各位领导的名字,干净利落。

在这种条件下,如果某些环节是另外的样子,这篇旷世奇文和爱因斯坦的命运又会如何?

实际上,1905年,爱因斯坦发表的论文不止这一篇,他发飙般地发表了6篇论文!

大哥,2017年,咱国在SCI上发表的论文就有三十几万篇,现居世界第二。小爱6篇而已嘛,用得着“发飙”,句尾还浪费一个惊叹号?

亲啊,对不起,忘了说,这6篇论文的分量,够得上4个诺贝尔奖:

3月发表《关于光的产生和转化的一个启发性观点》,提出光量子概念,给出光子能量公式 $E = h\nu$,完美解释了光电效应。

4月发表《分子大小的新测定法》,创造了一种测定分子大小和数量的新方法。

5月发表《热的分子运动论所要求的静止液体中悬浮粒子的运动》,解释了布朗运动,终结了物质是否由分子或原子组成的争论,也解释了不同物质互相接触时彼此进入到对方中去的扩散现象:从浓度大处向浓度小处扩散,分子排列越松散、温度越高,扩散越快。

6月发表《论动体的电动力学》,给出狭义相对论的出生证,成为物理革命的宣言。

9月发表《物质的惯性同它所含的能量有关吗?》,完美诠释了质能关系,得出永垂不朽的 $E = mc^2$ 。

12月发表《关于布朗运动的理论》,进一步充实了关于布朗运动的研究。

这6篇论文为物理学三大领域——物质结构原子论、量子论和狭义相对论奠基,还顺便为其他学科,例如统计学等做出卓越贡献!

苍天啊,大地呀,世上原来真的有奇迹啊!哪位神仙姐姐给我出个主意吧:面对如此天才,除了膜拜,我们还能干些什么?

我想,那句话只有用在这,才字字掏心、毫无虚伪、绝不夸张:我对你的景仰有如滔滔江水连绵不绝,又如黄河泛滥一发不可收拾!



1905 年因此光芒四射,史称爱因斯坦奇迹年,以至于 100 年后的 2005 年也跟着沾了光,被世界物理界和联合国确定为“国际物理年”,纪念爱因斯坦和他所做的工作,全球人民尤其是物理界狠狠地狂欢了一年。



葡萄与至尊宝之专业与业余

但在 1905 年,人们并没有意识到这一点,因为这几篇论文对人类科学的影响力直到很久以后才逐渐显露出来。可见,思想超前,目光高远,必经曲高和寡之痛。

《论动体的电动力学》所确立的思想,被人们称为“相对论”,爱因斯坦觉得名实不符,如果自己取名,宁可叫它“不变性理论”,因为物理学定律对所有观察者都是一样的。但大家都喜欢叫它“相对论”,众怒难犯,众愿难违,爱因斯坦的命名权就这样被广大人民群众剥夺了。

那个追光少年,经过 3 600 多个日日夜夜的苦苦求索,终于羽化成蝶,不是羽化成仙,超凡入圣,开创了人类的新纪元!

不是吧大哥,3 600 多个日日夜夜就能这样,那我 14 000 多个日日夜夜的苦苦求索,怎么连个屁都没见到?不公平啊!

亲啊,动不动就咆哮是不好的,吓到小朋友怎么办,就算吓不到小朋友,吓到猫猫狗狗也是不好的嘛。人家是天才嘛!你以为随便谁努努力就能为所欲为?不要和天才比,要和自己比,比自己以前强,力气就没白费。就算不比以前强,力气也没白费,不然在这片逆流里,一不小心就会被卷退十万八千里啊,所以还是好好努力吧……



光速不变,咱们真的信了吗?即使信了,咱们能理解光速不变是个什么情况吗?

我们知道,转变观念可不像换零件,新的来了旧的拿走,它更像是换血,搞不好新的也会被污染成旧的。

后面的内容,与光速不变密不可分,离开它,就没有下文。所以,咱找点儿空闲,找点儿时间,揣着好奇,再回来看看,让自己就像相信“月有阴晴圆缺”那样,不仅对它深信不疑,还能把它作为一个常识来使用,这样在以后看爱因斯坦的推导时,能够自然想到,某处是由光速不变得来的。

麦克斯韦用方程证明了,迈克尔逊-莫雷实验证实了,我们通过观测也亲眼看到了——光速不变。好像还有一件事没做,那就是思想实验,光速不变原理还可以通过一个有趣的逻辑来证明。这里又要用到小学算术……唉,真麻烦。

嫦娥姐姐,吴刚哥哥,快放下那只兔子,演出开始了!

为了嫦娥,地球人你和月球人吴刚吵架。

吴刚很气人,你很生气,后果很严重。

你随手把看月亮用的手电筒(恭喜你成为使用该电器观测月球的第一人)朝吴刚扔过去,手电筒脱手的一瞬间,你还无耻地摆了个 pose 给嫦娥看。

因为吴刚在月亮上,所以你和吴刚间的距离 s 是 38 万千米,手电筒的速度 v 为 15 万千米/秒(即使是为了嫦娥,扔这么用力你也太狠毒了),光速 c 为 30 万千米/秒。

假如光速是可以与光源的速度叠加的,那么,那个 pose 的影像会以光速正常向吴刚传去,而手电筒的影像会以手电筒速度与光速之和向吴刚传去。



地对月导弹



现在我们根据光速可以叠加的假设,分别算一下三个时间:手电筒影像到达吴刚的时间,pose 影像到达吴刚的时间,手电筒到达吴刚的时间。

根据小学算术,求 3 个时间都用同一个公式:时间 = 距离 ÷ 速度。

手电筒影像到达吴刚的时间 = $38 \div (15 + 30) = 0.8\dot{4}$ 。就是说,你扔出手电筒 $0.8\dot{4}$ 秒后,吴刚看到手电筒向自己飞来。

pose 影像到达吴刚的时间 = $38 \div 30 = 1.2\dot{6}$,也就是说,你扔出手电筒 $1.2\dot{6}$ 秒以后,吴刚才看到你的 pose。

手电筒到达吴刚的时间 = $38 \div 15 = 2.5\dot{3}$,也就是说,你扔出手电筒 $2.5\dot{3}$ 秒以后,吴刚中招。

运算结果告诉我们,假设光速可以叠加(可变),那么,吴刚先看到一个手电筒飞向自己,又过了 $0.4\dot{2}$ 秒才能看见你扔手电筒的 pose,这和事实不符。

不仅如此,这样还会出现一个诡异的现象,因为手电筒脱手的一瞬间,手与手电筒的速度相等,前臂次之,上臂更慢,身体最慢,所以,你的手发出的光,会和手电筒影像一起到达吴刚,然后依次是前臂、上臂、身体发出的光到达吴刚。

所以,可怜的吴刚看到的是:一只手把手电筒扔向自己,随即手消失,手电筒继续执着地飞向自己,它后面,手消失的地方,依次闪现前臂、上臂,然后隔了一小会儿,出现你的 pose。

如果算上你身体转动的加减速,他还会看见半个你。难怪他都忘了躲这只不远万里而来的手电筒。

这件事太诡异了,以至于喜欢看恐怖片的吴刚强烈要求再来一遍,把你和他正在生气这件事忘得一干二净。

“太刺激了。”他说。

“心胸太宽广了!”你由衷赞叹。

“这也许是脑袋刚才被手电筒砸了的缘故。”我分析。

“无聊。”嫦娥说。

“我们离他远点吧,砸到小兔兔怎么办?”超级自恋的玉兔说。

于是嫦娥抱着玉兔,飞到地月距离的 4 倍处,与你、吴刚三点成一线。

面对一个测不准的投手,躲在目标后面也许才是最安全的,嫦娥想。现在,



她的确很安全:她离你 152 万千米,离吴刚 114 万千米。

“可以开始了吗?”你邪恶地玩着手电筒,捡了大便宜似的跃跃欲试,体会着如何完美重复刚才那个 pose。

“等一等,这次我们加点剧情。”吴刚兴奋地说,“刚才,手电筒飞了 $2.5\dot{3}$ 秒到我的脑袋。这次,你还那样扔,朝月桂树旁边扔,我先躲在月桂树洞里,在手电筒到达的那一瞬间,我隆重出场,看看是个什么效果!”

“大哥,你一出来就挨砸,啥也看不成啊。”你心里这样想着,嘴里却说:“真是太有创意了!月桂树真不白砍啊!是不是砍一斧长一智?”太坏了你。

吴刚兴奋地钻进树洞。你举起手电筒。

“开始!”我说。

手电筒还是那个手电筒,月亮还是那个月亮,pose 还是那个 pose 哟,速度还是那些个速度。

吴刚精确地出现在手电筒到达的时刻、到达的地方。手电筒依然正中头顶。

除了吴刚什么也没看见,其他一切似乎跟上次没什么区别。

但是,几秒钟后,嫦娥惊叫起来,玉兔惊跳起来。

因为嫦娥和玉兔看见了更诡异的事。

她们看到什么了?我们算算几道光到达嫦娥的时间,就知道了。

手电筒出发时的光: $152 \div (15 + 30) = 3.3\dot{7}$ 秒。

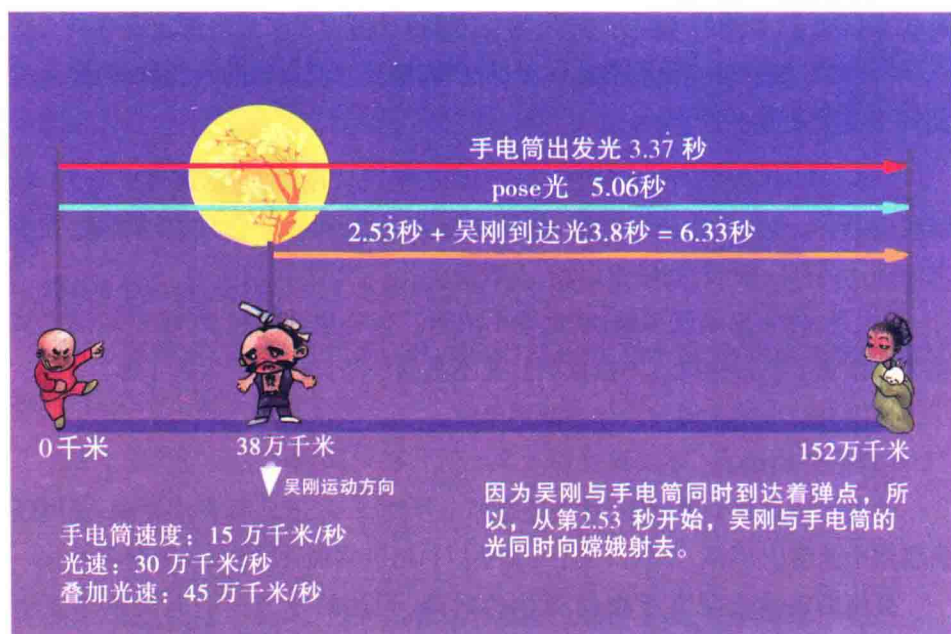
pose 的光: $152 \div 30 = 5.0\dot{6}$ 秒。

吴刚到达着弹点的光: $2.5\dot{3} + 114 \div 30 = 6.3\dot{3}$ 秒。

这就是说,嫦娥和玉兔先看见一只手电筒朝月桂树飞去(手、手臂就不说了,跟前面一样),过了 $5.0\dot{6} - 3.3\dot{7} = 1.6\dot{8}$ 秒,才看到你扔手电筒的 pose,又过了 $6.3\dot{3} - 5.0\dot{6} = 1.2\dot{6}$ 秒,发现吴刚出现在月桂树旁,就在刚才手电筒的转折点,脑袋好像被什么砸了一下……穿越了?!好像又没有啊?!嫦娥和玉兔无辜地对视着。

为什么要拿地月距离甚至更远来说事?因为这样算出来的时间差我们更容易分辨、更容易理解,其实不论抛物的距离远近,道理是一样的。根据你用手手电筒扔吴刚的例证的原理,如果光速可以叠加,你和朋友打乒乓球时,你将每次





还是地对月导弹

都先看见球朝你飞过来,然后才看见朋友挥拍。这样玩法是不是太诡异了?

其实,用“诡异”二字,并不能够说明不诡异的就是事实,因为我们的现实,诡异到偶尔不诡异我们会觉得更诡异。

这里需要特别强调的有两点:

①这里的诡异,是指与观测严重不符,到目前为止,无论是日常观测,还是科学观测,都没有发现事件后发先至的诡异现象。光速在事实上是没有叠加的。也就是说,光的传递速度是不随着光源速度的改变而改变的。

②如果你坚持不信,那好,你也可以套用上面的公式,把光速不变的情况算一下,我保证,不会出现事件顺序颠倒的诡异现象。这与观测相符,所以我敢跟你打赌。

在光速不变这个问题上,实际观测十分靠谱,我们可以这样推测一下:

在浩瀚的星辰中,除了自转轴恰好指向我们的天体以外,其余天体在自转时,都是一侧转向我们,另一侧转离我们,周而复始(若想象不出来,攥起拳头转一下就看出来了)。如果光速可以叠加,那么,两侧发出的光,速度就各有差异。这些星光,动辄需要几百上千甚至几十亿年才能到达地球,在这漫长的旅程中,快光必定超出慢光很多年到达地球,而它们,在我们视野中都是有位移的,那



么, 我们会观测到很多成对的月牙状恒星, 或者线状星轨。

但实际上, 我们从未观测到这种情况。

在后面的红移、蓝移中(第十四章“引力红移”一节), 我将用咱俩小时候常玩的一个游戏作为例证, 再次证明光速是不变的。

什么? 你问后来你和嫦娥姐姐怎么样了? 你们的私事居然来问我? 她当然还在月亮上, 去吧。刚才我俩比赛薸兔毛时, 吴刚在旁边还提起你来着。

“光速不变”后来成为狭义相对论的两条基本原理之一。有反相对论者认为这一原理是荒唐的, 他们利用声速在相同密度的空气中传播速度相同这一现象, 套用爱因斯坦的推导方法, 推导出以“声速不变”原理为基础的“相对论”, 来反证相对论原理错误。

本人看后, 不得不承认这种做法十分聪明, 但这些大侠忽略了一个基本事实: 声音本身不是一种独立存在的物质, 而是物质的振动, 这种振动的传播以及传播速度, 依赖于产生振动的物质, 而这些物质的运动速度是可变的。比如, 声速是 340 m/s , 你在 30 m/s 的风中喊话, 你的声音会以 370 m/s 的速度传向下风口——可与介质速度叠加。再比如, 列车以 30 m/s 的速度匀速前进, 我在车厢里说话, 声音会相对于列车这个惯性系以 340 m/s 的速度传播, 但在轨道边站着的你看来, 声音以 370 m/s 的速度传向车头, 而以 310 m/s 的速度传向车尾——可与惯性系速度叠加。

不必举更多例子, 我们把声音传播的可变结果与光速测量的结果对比一下, 就知道二者根本不是一回事, 声音只是相对于它在其中传播的介质而言速度不变。

还有一点很关键: 光是独立存在的物质。所以, “声速相对论”可以看作一个阿凡提式的机智。

好了, 我们用能想到的各种方法得出了同一个结果: 任由咱们怎么折腾, 光速对我们都涛声依旧。所以, 小情侣们交流或交换感情, 不要空口套白狼式的海誓山盟, 也不要“钻石恒久远, 一颗永流传”式的物质象征, 因为这些东西只是变得慢一点而已, 物理学、地质学、心理学和化学都纷纷告诉我们, 没有不变的东西, 除了光速。

光速作为一个物理常数, 在现代物理学中具有极其特殊的意义。由于其确定性, 光速被作为确定时间和空间的基准。

