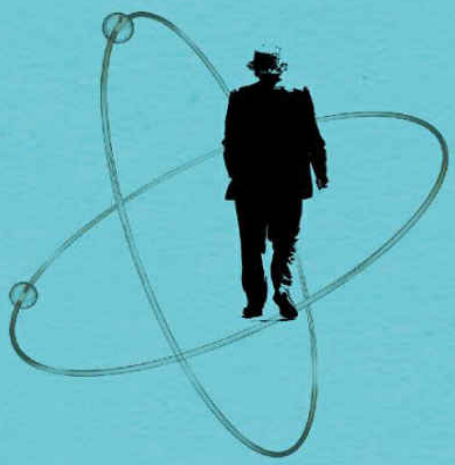
散步是物理学家的天职

范洪义 著

物理和诗，
都是在不懈追求着用最简洁的手法
描述最美丽的东西。



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

散步是物理学家的天职

范洪义　著

上海交通大學出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

图书在版编目（CIP）数据

散步是物理学家的天职／范洪义著．—上海：上海交通大学出版社，2018

ISBN 978-7-313-18418-4

Ⅰ．①散…　Ⅱ．①范…　Ⅲ．①物理学－通俗读物　Ⅳ．①04-49

中国版本图书馆CIP数据核字（2017）第279746号

散步是物理学家的天职

著　　者：范洪义

出版发行：上海交通大学出版社

地　　址：上海市番禺路951号

邮政编码：200030

电　　话：021-64071208

出 版 人：谈　毅

印　　制：上海万卷印刷有限公司

经　　销：全国新华书店

开　　本：880mm×1230mm　1/32

印　　张：7.75

字　　数：148千字

版　　次：2018年2月第1版

印　　次：2018年2月第1次印刷

书　　号：ISBN 978-7-313-18418-4/O

定　　价：58.00元

版权所有　侵权必究

告 读　者：如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话：021-56928277

内容提要

本书作者致力于物理研究50余年，渐渐认识到物理学家是一些寻闲解悟的人。“寻闲”，表面上看是没事找事，实际上是在平凡中寻奇崛，闲中现智、闲中求实。

本书的闲话余笔就是围绕着物理学家在散步中寻闲解悟展开的。读者可以从他们的闲思遐想中体会其思考问题的角度、模式和方法，在他们的闲情偶寄处体会他们的风雅、幽默和真知。

书中既有反映西方物理学翘楚智慧和风雅的故事，也阐述了中华先贤优美文章中有关物理的教学理念和闲情逸致，文贯中西，既可为理学人欣赏，也适合文学人通读。





緣



前言

物理学家是聆听自然作息脉搏的声学家，是描绘自然规律的写意画家。在中国古代早有格物致知、格物穷理说，例如老子的思想中就有“道之为物，惟恍惟惚，惚兮恍兮，其中有象，恍兮惚兮，其中有物”。但“物理”这个词作为一门学科最早见于明末学者方以智的《物理小识》中。清末的洋务学堂，更把物理、化学等学科称为“格致”，即“格物致知”的简称。

现代物理分为实验物理和理论物理，前者主要体现“智”，后者则体现“慧”。

人对自然界的第一阶段认知是时空感。时空感决定了人生无处不物理，故物理之为学也，随在可致于用，不择时、不择地，即学即赏即行。间尝取其有趣者，随笔记录。物理学家细推物理虽趣舍万殊，快然自足，然胡不为长期所之生倦？皆赖其闲情有所寄而不谐于俗。余对此每有会意，便欣然撰文自娱，久之集成卷帙。

从事物理研究是件艰苦且砥砺毅力的活，然而也是物理学家的闲情偶寄之处。杜甫曾说：“陶冶性灵在底物，新诗改罢自长吟”，说明探理和搞文学应该相辅相成。本书就是笔者在物理先贤的闲情偶寄之处体会他们的智慧和生活情趣，介绍他们的思维方式和方法，结合我国历代先贤的趣味小故事和意味深长的韵事佳言集文成册的，文科阵营和理科阵营的人都可以阅读，在空暇时随便翻翻，对于启迪读者对物理的兴趣和提高欣赏物理的水平会有所裨益。

本书的写作过程本身就是一个物理学家在文史哲园地中的散步，其间却有无心之得，绝非浮光掠影之闪，可算是意外之喜。如有诗可

以信手拈来：

晨起仍困慵，出户散疲惫。
浮云空自闲，浓雾湿须眉。
几人提笼鸟，不争是与非。
芭蕉露数滴，是谁忧思泪。

然而，本书与其说是笔者在科研闲暇之时写的，还不如说是挤兑科研时间写的。文章写作临末了，常有两只闲鸟结伴飞来啄啄窗户，发出“笃、笃”之声，像是要问笔者在书案上写有几多闲篇，又像是要警告闲书不宜读，更何况写乎？看来，好闲乃清福，不能长致也，于是搁笔。

笔者鲜见寡闻，只抽孤绪。虽殚苦心，也有愚处，希望读者对此书窾启未逮。

目 录

前言
闲思悟理
- 理论物理学家的写意画
- 放风筝的物理
- 不求甚解地读量子科普作品
- 读物理书的艺术
- 关于物理的几则幽默
- “白云回望合，青霭入看无”新解
- 文学中的“比”与物理学中的“比”
- “时将书法作画法”——小议数学和理论物理的关系
- 漫谈时间
- 日常生活中的科学表述
- 物理与禅
- 物理人读《超然台记》
- 杜甫诗《小至》中的物理
- 以物理观点读欧阳修的《钟莛说》
- 我怎样启发研究生的想象力
- 读马赫《感觉的分析》的一点体会
- 讲授量子力学宜介绍科学思维
- 如何提高欣赏理论物理的才能
- 小议物理抽象
- 理论物理学家之诫
- 写论文宜一气呵成
- 似曾相识每弯月，颠沛流离各自星
- 谈避免科研上的“宫墙数仞不得其门终外望”
- 直觉让我发明IWOP方法
- 从孙悟空的火眼金睛漫谈量子算符函数的排序

量子力学的魅力——从数理统计谈表象
量子力学的魅力——从几何图形谈算符排序
理论物理研究心得漫谈
基尔霍夫热辐射定律与爱因斯坦辐射跃迁理论之理解
漫谈怎样自学理论物理
《新量子光场》绪言
《数学物理方法的量子力学观》前言
从德布罗意的波粒二象理论和δ－函数谈傅里叶变换
当以最简捷的方式理解理论物理
物理学家不应回避形而上学
从曹冲称象谈到测斑马皮的热吸收率
自编物理歇后语
物理学家的蒙太奇思维
理论物理学家的“下盲棋”思维
谈教师怎样出考题
闲游古今
马可尼的走运和蔡元培的愧疚
望黄麓镇西黄山日落
悠闲的失眠
我与竹诗
与科研有关的对联
读书苦——诗五首
看吴冠中的画对研究物理的启示
小议不朽的理论物理文章——旷如无天，密如无地
独有书癖不可医
谈名气
看似寻常最奇崛
闻名强似眼见——想象的风景
却道天凉好个秋
试申严复“物竞天择，适者生存”的意义

谈“过目成诵”
温庭筠《商山早行》赏析
从曾国藩和左宗棠的摩擦谈论文署名
读杨慎的《东流不溢》
从孔子学琴说到学物理
读吴敏树的《杂说·药》
庄子与马赫
论中文字的书写顺序
燕京大学的借书牌与校训
胡刚复老教授签发的一份初中毕业证书
焦竑与徐光启，玻恩与海森堡
师生之喻水茶
学习一定要循序渐进吗?
小议“思维导图”
《书李伯时山庄图后》对写物理教科书的启迪
看漫画与悟物理
物理学家为何关心鱼是否快乐
因果互换的思维模式
河滩寻石
古诗中的因果与物理探索
读古诗，品物理
“圈”内闲谈
聊托物以幻化，寓至情于奇想
伽利略——理论物理学家的先驱
为什么说狄拉克是天才
闲情偶寄于一本量子力学书的大学生
论心只觉宜狂士，得句常疑复古人
言者无聊，闻者有心
爱因斯坦和海森堡谈论马赫的思维经济原则
狄拉克的得意之作

谈论文评价
评费曼的一个史学观点
卡文迪许实验室人才辈出的原因
心羡游僧处处家——散步是理论物理学家的天职
跋

闲思悟理

理论物理学家的写意画

我在20多年前为奥林匹克物理竞赛选手作报告时曾经指出，“物理学家是注意聆听自然韵律的音乐家，也是描绘自然规律的画家”。再具体点说：物理学家是面对自然现象的写意画家，这种“写意”，便是设法将自然规律描述出来。

理论物理的公理基础不可能从经验中提取出来，必须自由地创造。例如，量子力学的坐标算符X和动量算符P的基本对易关系，$[X,P]=\mathrm{i}\hbar$，并非从经验中积聚，而是海森堡、玻恩和狄拉克等人依靠自由意志所创造的，这就是一种“写意”。

对于画家而言，写意画是国画的一种画法，即用简练的笔法描绘景物，注重神态的表现和作者情趣的抒发，是一种形简而意丰的表现手法。写意画主张神似，用笔虽然不苛求工细，但较工笔画更能体现所描绘景物的神韵，也更能直接地抒发作者的感情。写意画多用生宣纸，纵笔挥洒，墨彩飞扬。董其昌有论：“画山水唯写意水墨最妙。何也？形质毕肖，则无气韵；彩色异具，则无笔法。”明代徐渭题画诗也谈道：“不求形似求生韵，根拔皆吾五指裁。”中国近代写意画的代表人物除了明代的徐渭，还有清代的吴昌硕、齐白石等。他们的画“言简意赅”、灵动生气，引人玩味。齐白石的写意画创新感鲜明，他曾作诗：“曾经阳朔好山无，峦倒峰斜势欲扶。一笑前朝诸巨手，平铺细抹死工夫。”

为什么将物理学家比喻为写意画家呢？要知道，自然界是人类敬畏的对象，从不将其规律直接示人。古人在自然面前的态度，可总结为：顺从（submit），承受（sustain），幸存（survive），屈服（succumb）。物理学家靠感觉（后设计实验）观察自然，但是感觉

有时是不可靠的。例如，在伽利略以前，人们以为重物下落比轻物快；又如，在量子力学诞生前，人们以为海水的蓝颜色是天空的颜色返照形成的。关于自然的奥秘，人类只能说或多或少地猜到一些，至于其中多少能表述为成型的、永恒的理论，则没有把握。加之微观世界本身受海森堡所发现的“不确定原理”的支配，对于自然规律的描写，其写意成分就更浓了。但是，物理学家的“写意”，不带个人情绪好恶，这是与画家作画的不同之处。

画家作写意画，工笔是基本功。我看陈少梅画的流水中漩涡，线条粗细均匀。理论物理学家的基本功则是物理感觉，以及从数学中把握物理的功夫。

学工笔画，半年可初见成效，而培养一个写意画家需十年。按齐白石的话来说，写意画是“寂寞之道”。至于优秀的理论物理学家，定要有与众不同的“寂寞”性灵，心游目想，忽有妙会，其论文能写出自然之神韵，其结论具有长远的科学价值和普及教育的意义，可以影响人类的生活，所以可谓凤毛麟角。

放风筝的物理

布燕踏云梯，临风慢惬意。
空舞迷过鸟，高乘采爽气。
升降牵手线，张弛贯物理。
不敢令决眦，恐惊载客机。

这首诗是我年轻时偕妻子和孩子放风筝时所作，仰望蓝天，心旷神怡的时刻，还是忘不了物理。

懂一点物理知识对于放风筝有帮助。风劲气流强时，风筝平面会在空中陡然竖直，致使风筝因瞬间无升力顶住而倒栽下来，此时具备相关物理知识的人便知道应该立即松松手中线，即调整一下风筝线上的张力，风筝就有可能再借得风势而昂起头来。当风势颓时，气流的顶力不够，在风筝下落时，放风筝的人应及时扯抖放线，使得风筝有迎上较强气流的机会而抬起头来，再适时收线。此所谓“升降牵手线，张弛贯物理”。

记得我当时买的是一个酷似燕子的风筝，在科大操场放飞。恰逢一群鸽子经过，它们居然在风筝旁飞绕了好几圈才离开，此所谓“布燕踏云梯，临风慢惬意。空舞迷过鸟，高乘采爽气”。当时那种爽快的心情，现在回忆起来，还是童心未泯。

放风筝时，我还想到了本杰明·富兰克林（1706—1790）。1752年6月的一天，富兰克林冒着生命危险将天空中的闪电引到地面上来研究。他和儿子一起用不容易潮湿的绸子糊了个风筝，并将一根长一英寸的一头磨尖的金属丝用放风筝的亚麻线系在骨架的上端，亚麻线的另一头接在了一段不长的丝质绳子上，并系上了一把金属钥

匙。当风筝越来越高，乌云大块聚集时，富兰克林看到与丝绳连在一起的亚麻线表面有几处散开并直竖了起来。他试着用食指靠近钥匙，一道电火花从他的手指上闪过。富兰克林通过这个风筝实验证实了闪电就是大气中的放电现象。从此，人类认识了自然界中一个令人恐惧的现象的实质。后来，富兰克林又发明了避雷针。有人称：“他从天空抓到闪电，从专制统治者手中夺回权力。”

可惜我们的祖先却以为打雷闪电是龙在天空行走、打喷嚏，他们陶醉于龙的图腾，以至于几千年来无人去探讨这些自然现象的物理原理，因此也不可能养成理论物理的思维模式并一代一代传承下来了。

不求甚解地读量子科普作品

最近有不少介绍量子纠缠、薛定谔的猫等理论的科普作品（包括译作）。有人知道我是研究量子理论的，就对我抱怨说，即便是量子的科普，他们也看不懂。又问，这些解释量子纠缠的科普书值不值得读？怎样读？

我的回答是像陶渊明那样：“好读书，不求甚解；每有会意，便欣然忘食。”读科普作品应作如是观。不求甚解，指只求知道个大概，不求彻底了解。对书中有疑问的章节不认真看待、不深入探讨。只要能欣赏科普中的文学色彩、历史背景，长一点见识，就是收获。尤其是搞文科的人，读一些量子论方面的科普作品，可以了解那些科学家在干什么，并增进想象力。

科普书尽管要写得容易读，但其科学内容要正确，不能只求浪漫。科普可以借助漫画或动漫等形式，但不能荒诞不经。

我虽然研究了几十年的量子力学，写过不少科研论文，但还不敢动笔写这方面的科普书，担心写得不到位，误导读者，真是“欲说还休”。因为我始终牢记伦琴的教诲：“物理是一门必须用老老实实的努力来证实的科学。也许有人能用某种方式来解释一个问题，使外行的听众误信他们已经理解了这个讲演。可是这等于进一步传播了肤浅的知识，这比不通俗化更坏，更危险。”

我的朋友何锐也曾说：“我以前也是个科普书爱好者，搜罗了很多科普书。后来做科研才明白，读科普书对做科研并没有多大帮助，而且也明白了有些科普书实际上并没有起到科普的效用，甚至会扰乱视听，就好像这句话，‘不说还清楚，越说越糊涂’，读科普增长不

了做学问的本领，甚至也增益不了多少知识。当然也不乏一些优秀的科普作品，能把问题说得比较明白透彻……能写出雅俗共赏的科普书太不容易了，这要求作者必须具备深厚的专业素养，而且能够理解读者在什么地方会产生疑问，应机施教，当然也要有相当的文采，让人读来不感到枯燥乏味。”

唐代白居易有诗文：“书不求甚解，琴聊以自娱……昏昏复默默，非智亦非愚。”这也许就是局外人读科普作品的一种写照吧。

读物理书的艺术

幽默大师林语堂先生曾写过一篇文章《读书的艺术》，我读后才知他的读书是指读文科的书，“兴味到时，拿起书本就读”。至于兴味怎么来的，林先生没有说。他推崇李清照夫妇一边剥水果，一边赏碑帖的方式；或是一面品佳茗，一面校经籍。也许是一看见有水果或佳茗，兴味就到了吧。而我以为，陶渊明的“好读书，不求甚解；每有会意，便欣然忘食”才是读文科书的艺术。请注意，陶渊明的读书忘食与李清照夫妇的读书品食是截然不同的。

那么读物理书有无艺术呢?

爱因斯坦说：科学家读自然之书必须由他自己来寻找答案，他不能像某些无耐心的读者在读侦探小说时常做的那样，翻到书末先去看最后的结局。在这里，他既是读者，又是侦探，他得找寻和解释（哪怕是部分的）各个事件之间的联系。即使是为了使这个问题部分地解决，科学家也必须搜集漫无秩序地出现的事件，并且用创造性的想象力去理解和连贯它们。

我的读书艺术（或说方法）则是：读普通物理书是带着问题读，即想好现在要读的内容是要解决对于自然现象的什么困惑；读理论物理书则要问此理论的物理背景和推导思路是什么。在读书过程中，要“挑剔”地读，不满足于书本上的陈述和答案，问自己能否发展或改进书上的内容，尝试看出书本背后隐藏着的东西。

拿来一本新书，浏览一下确定此书值得读以后，边读边推导，边读边质疑，边读边联想，读完一章后用自己的话重述一遍其要旨，将之简单化。总之，读书要掩卷而思，凝卷成段。

更重要的是，花长时间读了一本书或一篇文献，一定要写出有关的论文或心得体会来，否则你的读书就是为读而读，收获不大。

有的书要读全，而大多数的书只要按需地读，取哪段读、如何用数学推导和物理类比双管齐下地读，这才体现读书的艺术呢！

读物理书的另一种艺术是一目十行，指的是一眼就能看出文章的核心，这是在搞了几十年研究后才能练就的本事。诗曰：

常惭胸中点墨少，
时恐书藏落俗套。
一月一回逛新街，
品流品位寻翰瑶。
黄生借书堪仿效，
每临书市读分毫。
信手翻来唯知识，
过目诵出皆情操。

关于物理的几则幽默

1

爱因斯坦怀疑量子力学的概率假说，指出：上帝不掷骰子。

玻尔回应说：请不要告诉上帝该做什么，不该做什么。

狄拉克说：也许最终还是爱因斯坦对。

范生说：吾等不如上帝睿智，猜不透上帝，只好掷掷骰子去猜猜上帝的旨意，碰碰运气。

2

佛说：色即是空，空即是色。

范生说：现在发射的“悟空”火箭去探测暗物质，即是让孙悟空去体验“色即是空，空即是色”也。

3

六祖慧能偈语“……本来无一物，何处惹尘埃”，也许是在预示暗物质吧。

4

南唐李后主（李煜）是我国早期“理论物理学家”，他早就提出“剪不断，理还乱”，深刻阐明了量子纠缠的特点。

5

范进中举后大脑处于纠缠态中，胡屠户一个巴掌使他坍缩到清醒状态。

6

普朗克说科学上的假问题比人们想象的多得多，爱因斯坦怀疑量子力学的概率假说，所以他若健在，会相信量子计算机能做成吗?

7

量子计算机倘若能做成，速度如此之快，上帝就真的不用掷骰子了。

“白云回望合，青霭入看无”新解

唐代诗人王维以“白云回望合，青霭入看无”为偌大的一座终南山写照，很是传神。这两句话的意思是刚刚还离散的白云，蓦然回首发现已经合上；阴霾的雾气层待进入其中后就看不见了。有人以为这是明写云的移动、水的蒸发，暗写时间的快速流失。

我认为这两句诗对于我们科研人员而言可有新解。

研究人员在实现科研目标的过程中，常有意想不到的问题产生，使得看来似乎清晰的目标变得模糊了，所谓“青霭入看无”，或是“草色遥看近却无”。这时就要像维纳的控制论所论述的那样，把正确表述问题的信息作为新的求解目标，使大脑神经系统适应新情况，启动“负反馈”，重新控制科研的进程。

另一方面，在持续的思索过程中，人的大脑不能像电脑那样随时存储想法，有时想到后面却把前面的关键点忘了，迷失了思路，茫然有失，用“白云回望合”来描述很是恰当。这大概就是人脑不及电脑之处吧。

文学中的“比”与物理学中的“比”

中国诗词都讲究比兴，南朝梁钟嵘在《诗品》中说：“文已尽而意有余，兴也。因物喻志，比也。”

刘勰在《文心雕龙》中说：“故比者，附也。兴者，起也。附理者切类以指事，起情者依微以拟议。起情故兴体以立，附理故比例以生。”

意为：所谓“比”，就是比附的意思；“兴”，就是起兴的意思。比附事理的，用贴切的类比方法来说明事物；因物起兴的，依靠含义微隐的事物来寄托情意。因为触物起情，所以起兴的手法得以成立；因为比附事理，所以比喻的手法得以产生。

物理学中的“比”一般指两个物理系统的雷同之处。例如，一个电容－电感回路可以比作一个谐振子，一个约瑟夫森结可以比作一个复摆，等等。“比”可促进物理学的发展，如狄拉克将量子对易括号类比为经典泊松括号；笔者将几何光学的ABCD定理发展为量子光学的ABCD定理，将菲涅尔衍射对应量子光学相干态的正则演化等。“比”也可深化人们对物理的认识，例如笔者和吴泽将基尔霍夫的黑体辐射定律与爱因斯坦的光辐射理论类比；又与笪诚将激光通道比拟为经济领域的一个投资－利润关系方程。

即使是两个物理公式之间的类比，也会使人感到自然界的魅力而“想入非非”。例如，将万有引力和电学的库伦力做类比：两者都与距离的平方成反比，更深层次的意义是什么呢？

类比能诱使想象，但类比不是万能的。例如，不能把电子自旋类比为经典角动量。这里有个故事，发生在1935年：年轻的物理学家乌

仑贝克和古德斯密特提出电子具有第四个量子数，即自旋$\hbar/2$的想法，把它写成了论文投稿，并去征求物理学泰斗洛仑兹的意见。洛仑兹认真看过后，写了一大篇算稿指出电子的经典半径是$e^2/(mc^2)$，如果它以角动量$\hbar/2$旋转，那么电子表面的速度将是光速的10倍，而这是不可思议的。乌仑贝克和古德斯密特听后，脑袋都要炸了，想撤稿也来不及了。可是，其后事情的发展却是自旋$\hbar/2$的想法是正确的。原来，洛仑兹仍然在经典力学的框架中做计算是不对的。

使用了类比也并不是就能得到正确的结论，所以类比要恰到好处。借助于数学推导和更全面的物理考虑，有时能防止过于天真的类比。例如，梅厄夫人根据积累的实验数据发现，如同化学元素周期表那样，原子核存在壳层。壳层的封闭由一种叫“幻数”的数指明，当一个核包括的中子数或质子数是一个幻数时（通常取2，8，20，28，50，82，126），核子特别稳定。但是她开始研究时给出的核幻数数目不正确。她向费米抱怨她的苦恼，费米问她：“你确定已经把核子的自旋轨道相互作用考虑在内了吗？”

梅厄夫人恍然大悟，知道了问题的症结，在费米的指引下，她很快成了原子核壳层结构理论的奠基人。

“时将书法作画法”——小议数学和理论物理的关系

有人将数学和理论物理的关系比喻为一个硬币的两面。乍一听来似乎不错，但知道莫比乌斯带的人也许会质疑这种说法。莫比乌斯把一根纸条扭转180度后，两头再黏接起来做成的纸带圈，具有魔术般的性质。普通纸带具有两个面（即双侧曲面），一个正面，一个反面，两个面可以涂成不同的颜色；而这样的纸带只有一个面（即单侧曲面），一只小虫可以爬遍整个曲面而不必跨过它的边缘。这种纸带称为“莫比乌斯带”。硬币上的小虫从一面爬到另一面需跨过它的边缘，而理论物理中数学无处不在，两者是水乳交融的关系，所以将数学和理论物理的关系比喻为一个硬币的两面是不妥当的。

若将数学和理论物理的关系比喻为书法与绘画的关系，我觉得有一定的道理。明代书法家兼画家文徵明有诗句云：“翠蘚摹古文，剥蚀如鼎篆。”他具体地将书法与绘画作一对照，将书法技巧融入绘画之法。清代的吴昌硕也深谙此理，常将书法之道用在画法上。后来的黄宾虹受其影响，画树枝时常以小篆笔法代之。

理论物理学家有时不得不自创数学，好比一个画家自创一个书写体。一个好画家，往往也是书法家。但是，书法家不一定会绘画。一个好的理论物理学家，其数学一定不错，但一个大数学家却不一定有物理背景。

漫谈时间

我国宋代大文豪苏轼有一首词《水调歌头》，其中有四句为：“明月几时有？把酒问青天，不知天上宫阙，今夕是何年？”他的前人李白也曾写过：“青天有月来几时？我今停杯一问之。”这个问题太难，以至于比他晚一千年左右的一大批伟大的物理学家也答不上来。天上宫阙这个宇宙的年龄究竟多大？那就要先知道宇宙的生日。那么宇宙诞生表示时间的开端吗？在它创生前有时间吗？一批天体物理学家观察到宇宙膨胀的事实，根据多普勒效应认为宇宙起源于大爆炸，这意味着时间必定有开端。天文学家又根据宇宙3K背景辐射认定确实存在一个早期宇宙。可是又有人认为，时间先于存在，宇宙的创生只是整个有关宇宙历史演化中的一个事件。时间无穷无尽，既无开端也无终止，即便在宇宙创生前的不稳定体也伴随着时间。

另一个关于时间的棘手问题是：时间有流逝方向吗？

如果自然界不确定时间的流逝方向，则自然定律对时间反演就不变，即科学定律并不区别过去和将来，时间就只被认为是一个简单的对照参数，因而带有人为的成分。可是宇宙在膨胀而不是收缩，人的生命死而不可复生，给出了时间流逝的方向。伟大的孔夫子早在两千多年前就在川上曰：“逝者如斯夫。”他感觉到了时间流逝的方向，在这个方向上我们可以记忆过去而不是未来，这是一个心理行为的时间箭头。

可是当一个人超凡脱俗、旷放洒脱时，就会超越时间而遗世独立。

我国南宋时期连中三元的张孝祥在1166年被谗言诬告，罢职从岭南回归老家，行舟经过洞庭湖时，看到浩渺的水面上“素月分辉，明河共影，表里俱澄澈”，“悠然心会”，感到自己“稳泛沧溟空阔”，与时空已浑然一体，他不禁扣舷独啸，发出了“不知今夕何夕”的感叹。其词全文为：

洞庭青草，近中秋，更无一点风色。
玉鉴琼田三万顷，著我扁舟一叶。
素月分辉，明河共影，表里俱澄澈。
悠然心会，妙处难与君说。
应念岭表经年，孤光自照，肝胆皆冰雪。
短发萧骚襟袖冷，稳泛沧溟空阔。
尽挹西江，细斟北斗，万象为宾客。
扣舷独啸，不知今夕何夕！

张孝祥“不知今夕何夕”的感叹使人想起爱因斯坦关于时间的看法。在爱因斯坦的狭义相对论中，光速是联系时间与空间的一个不变物理量，因而没有了绝对时间的概念，所以他说：“时间是一个错觉。”这以后，爱因斯坦又提出了广义相对论，根据这一理论，空间－时间是由于在它们中间的质量和能量的分布情况而弯曲的，光线沿着时－空的测地线进行。反过来，空间－时间的结构影响了物体运动和力的作用方式。空间和时间不仅影响着发生在宇宙中的每一件事，也被其影响。正如一个人不用空间和时间的概念不能谈宇宙的事件一样，在广义相对论中，在宇宙界限之外讲空间和时间是没有意义的。

可是从热力学看，时间不是错觉，体现大量分子集体行为的不可逆性（熵增加原理）到处可见。冰与热水混合成为温水，但温水不会自动分离成为冰与热水。生命与熵的产生相联系，是一个不可逆过

程。这是一个热力学时间箭头，即在这个时间方向上无序度或熵增加。只要注意到无序和有序的区别，时间就有了方向。

而量子物理学家对于时间这个概念也感到两难的头疼，反映波函数演化规律的薛定谔方程是时间反演不变的，而测量时所导致的波函数坍缩却是不可逆过程，这正是说不清道不明的所在。坍缩过程需要时间吗？坍缩时系统的熵是如何变化的？近来人们常挂在嘴边的由量子纠缠引起的量子隐形传输需要时间吗？

怎样统一广义相对论和量子力学呢？宇宙学家（如霍金）设想，未来可能诞生的量子引力理论会证明时空是有限的，却是无边的。为此必须引入“虚”时间的概念。虚时间是不能和空间方向区分的。如果一个人能在虚时间里向前走，他应该能够转过来并往后走。这表明在虚时间里，往前和往后之间不可能有明显的差异。这与“实”时间的特质大相径庭，在“实”时间里，前进和后退方向存在着巨大的差异。

令物理学家争论不休的“时间”，在我国古人那里却有简明的阐述。古人发明的“时”的繁体字是日字旁上一个土下一个寸，表示日光普照土地，须珍惜寸光。“间”是日照入门。尽管正直的古人偶尔会发出“浮沉千古事，谁与问东流”的感叹，但古人的时间观念是很强的。古训有“一寸光阴一寸金，寸金难买寸光阴”。曾国藩则认为“做人从早起”。孔夫子则提出，根据时间的推延来修缮人的品格：“三十而立，四十而不惑，五十而知天命。”古人也很早就注意到日行影移，并发明了日晷；也会根据动物的习性确定时间，如闻鸡起舞。

那么，在科学家的眼里，时间究竟是如何量度的呢？

先规定两个相继春分点间的时间长度为一个平均太阳日，其1/86 400为一个“太阳秒”。但地球的运行总有些不规则，于是人们规定铯－133辐射9 192 631 770个周期波的时间间隔为1秒。随着科学

的发展，物理学家所能测量的最短的时间是光行走10^{-35}米需要的时间。实际上某些短命的基本粒子的生存时间也可以作为时间的度量。测量微观粒子的寿命，也就是测量其在照片上的径迹长度，即测量其能量。而根据量子力学，能量与时间乘积的不确定度大于等于普朗克常数，时间的精确量度是受制约的，但这起码说明了时间是客观存在的，它与能量共存。

在地球考古中，人们找到有放射性原子的那些物质，通过测量其半衰期，就可以推断出那种原子自进入所测物质以来所经历的时间。据此方法，人们推断太阳系的寿命已经超过4.5×10^{9}（45亿）年。

众说纷纭的人们会求助于先知的哲学家。与有的物理学家认为时间先于存在的看法不同，哲学家通常认为时间依赖于对物质的感知而存在，时间是自然界不稳定性的反映。我们地球的年龄正是从其不稳定性而量得的。

关于地质学的时空概念，有如李白在《春夜宴从弟桃花园序》中写道的：“天地者，万物之逆旅也；光阴者，百代之过客也。”抑或说，空间系物质的客舍，而物质运动的历史则展现了时间。地质学的时间论，首先是了解地质历史。地质体可以建造、改造和转移，唯独其历史不能营造和改变。

基于广义相对论可以认为，时间的均匀性、持续性、流逝性等主要性能基本是由地球物质在空间运动中的极盛峰值量、阶段持续量、速度变化量等的演变所展示。时间、空间、物质是统一的，可以认为地质体的组成（沉积岩、岩浆岩、变质岩及其组合中的矿物、元素、同位素）和结构及演化是一个整体。可测量的表观时间（非绝对时间）是地质体变革的极强值、时限值、速度值的量度。地球的时间观或可称为地球的演化观，地质演变呈现单向性（不可逆性）及其无限延续发展的阶段性特征，以及在阶段期间的均匀性变化和阶段始末的突发性变化。

地球的生存状态由很多因素决定，但归根结底由时空决定。时间的一维绵延和空间的三维广延都是物质延展性的表现。时间的流逝可展示出地球组成结构不断地发展变化，而时空的大系统环境决定了地球演化似具周期性的螺旋式发展。依据广义相对论，人们测算现今所能认识的宇宙，已经生活了约137．5亿年（如若不认可宇宙起源于大爆炸，认为可能存在年龄比大爆炸还要古老的遥远星系，或者认为我们认识的宇宙只不过是居于一个黑洞的产物，则是另一码事）。银河系的形成稍晚一些，大约在100亿年前，地球与球粒陨石基本是同时形成的，地球生成至今约有45．67亿年的历史。

总而言之，自古至今，人们对于时间性能的关注热情未减。我们语言中的昨天、今天、明天的时间性，清晰又明确。有的人以为，中文中不带有过去式、现在式、将来式就是缺乏时间观念，这或许是欠妥的。诚然，不同民族对于时间的表达方式是存在差异的。

（与中国科技大学地球与空间科学学院刘德良合作）

日常生活中的科学表述

爱因斯坦与同为物理学家的玻恩一家很熟。有一次，玻恩夫人问爱因斯坦：你是否相信任何事情都能完全科学地进行表述？爱因斯坦回答道：但那是毫无意义的。你如果把一首贝多芬的交响曲描述为波的压力的变化，这样的描述是没有意义的。

爱因斯坦说的是，我们去商店买盐，不会说买氯化钠；去乘高铁，不会打听加速度是多少；在喧闹的场合，也很少有人会去了解噪声的分贝数。这也许就解释了为什么歌星或小品演员受欢迎的程度远远大于科学家，即便是居里夫人这样的名人也深有体会。在第二次获得诺贝尔奖后，她应邀去德国讲学。火车抵达柏林，她从窗口看见车站上挤满了各种各样的欢迎人群，感动得几乎要流出眼泪来。可是下了车来到站台时，她才发觉那么多人并不是来欢迎她的，而是来迎接一个拳击手的。居里夫人毕竟是居里夫人，她冷静地从人缝里往车站外挤，一点也没觉得受到了冷落。

于是出现一个问题：随着科学技术的进步，高科技产品不断进入寻常百姓家，科学术语（如激光、超导）也越来越频繁地得到使用，那么，在日常语言中，科学内容和观念的表述应该渗透到什么程度呢？

可是我想不下去了，因为我意识到这个问题没有定量的答案，渗透到什么程度是顺其自然的。但能肯定的是，科学语言的普及远不如网络语言在百姓中的传播势头汹涌。至于我，因为不在网上聊天，所以至今还是个“网盲”。

物理与禅

自从我听了禅宗六祖慧能的故事后，曾有一度对禅师很崇拜，觉得他们的悟性真高。慧能年轻时听别人念经就能参出佛意，太先知先觉了，如果他们学物理，一定能大有作为，尤其是慧能的顿悟说，更令我佩服得五体投地。

可是，有两个基本点我感到有些迷惘：①修行高的禅师能悟出能量有一个基本单位吗？即自然界存在一个基本的常数——普朗克常数吗？即便能，他能给出具体的数值吗？②当两个人在争辩是风在动还是幡在动时，慧能的回答是你们的心在动。换句话说，倘若你们不注意幡，它就不动。这使得我联想到爱因斯坦对哥本哈根学派的诘难：月亮只有在我们看它时才存在吗？鉴于这两个迷惘，我对禅师的说教一直保持戒心，即使我努力使禅说能对应上物理学家的经验。

譬如说，我读到了宋代禅宗大师行思的参禅心得：“参禅之初，看山是山，看水是水；禅有悟时，看山不是山，看水不是水；禅中彻悟，看山仍是山，看水仍是水。”就拿它来“套”物理。

就拿雨后的天空有时会显现虹来说吧。有人开始觉得特美丽、特有意思，待到他学了相关物理知识，知道虹的彩色也可以用分光镜来实现后，就感到索然无味了。所谓开始看时，虹是虹，再看时虹就不是虹了，是七色的组合了。

又譬如，理论物理学家看有关物理的数学公式也有这样的感觉。我们看麦克斯韦方程组，初看只是体会方程中字母符号代表的意思，E 表示电场，B 表示磁场等；再看就想到了电动机、发电机等；待到

彻悟时，就能从这个数学式把握物理规律，如高斯定律、安培环路定律、位移电流、电磁波等，这才是真正的“看”啊。

说起看，对由狄拉克符号表达的量子力学公式，也有类似的认知过程和体会。

所以说，物理学家看一切东西，常常心有旁骛。看到海的蓝色并不去欣赏海，而是关注海水为什么是蓝色的，于是脑海里就涌出拉曼散射的结果；见到汽车鸣着喇叭开过来，就想到多普勒效应。而禅师在一旁打着坐，却漫不经心地说：“这是你的心在动。”

物理人读《超然台记》

《超然台记》为北宋文豪苏轼之大作。这篇文章表达了作者尽管有少许失意、苦闷之情，也能保持超然达观。

我作为一个物理人，发现在文中提到“物”的地方可以“物理”理解之。

例如：

凡物皆有可观。苟有可观，皆有可乐，非必怪奇伟丽者也。

一位高手的英文翻译为：All things are in some sense worth seeing, andareconsequentlysourcesofpleasure: itisnot necessary that they should possess either rarity or beauty.

文学家译为：任何事物都有可观赏的地方。如有可观赏的地方，那么都可使人快乐，不必一定要是怪异、新奇、雄伟、瑰丽的景观。

物理学家译为：日常生活皆有可研究的物理。凡有可研究的地方，都可使人快乐，不必一定要是怪异、新奇、雄伟、瑰丽的生活体验。

又如：

物有以盖之矣！彼游于物之内，而不游于物之外。物非有大小也，自其内而观之，未有不高且大者也。彼挟其高大以临我，则我常眩乱反复，如隙中之观斗，又焉知胜负之所在？

英文翻译为：Men do so only because they are the slaves of objective existences. Thus, if existences are considered objectively(as regards themselves), all ideas of their dimension is lost; whereas, if they are considered subjectively(as regards ourselves), then there are none to which the idea of dimension does not apply. When the idea of dimension plays an important role in our mind, we become troubled and perplexed, as though we see a battle through a chink and are asked to decide with which party the victory lay.

文学家译为：这是外物蒙蔽人呀！他们这些人局限在事物之中，而不能自由驰骋在事物之外；事物本无大小之别，如果人拘于从它内部来看待它，那么没有一物不是高大的。它以高大的形象横在我们面前，那么我们常常会眼花缭乱反复不定了，就像在缝隙中看人争斗，又哪里能知道谁胜谁负呢？

物理学家译为：要认识物理的本质不易啊！人生活在经典力学框架内，而没有跳出来看，所以难以发现相对论和量子论。物理原理是不论孰重大孰渺小的，抓住其本质来探索原理，没有不重大的。只是当自然界的规律在我面前显现时，其美感使我眼花缭乱反复不定了，好比在缝隙中看大自然，又哪里能知道人定胜天呢？

也许此自圆其说的译文有点牵强附会，一千年前的苏轼哪里会知道相对论和量子论呢？我只是聊以自娱耳。

杜甫诗《小至》中的物理

古人诗词中明显提到物理的有唐代诗人杜甫，他的《曲江二首》之一如下：

一片花飞减却春，风飘万点正愁人。
且看欲尽花经眼，莫厌伤多酒入唇。
江上小堂巢翡翠，苑边高冢卧麒麟。
细推物理须行乐，何用浮名绊此身。

杜甫意识到，理解物理学的美并揭示自然规律是何等的快乐，而浮名只会碍事绊身。

杜甫的另一首诗《小至》也谈到了物理方法测示气候：

天时人事日相催，冬至阳生春又来。
刺绣五纹添弱线，吹葭六琯动浮灰。
岸容待腊将舒柳，山意冲寒欲放梅。
云物不殊乡国异，教儿且覆掌中杯。

小至是冬至前一日。“葭”是初生的芦苇。“琯”是古代乐器，用玉制成，六孔，像笛。“动浮灰”是指，古时为了预测时令变化，将芦苇茎中的薄膜制成灰，放在律管内，节气到来时，律管内的灰就相应飞出。冬至前灰飞向下，冬至后则灰飞向上，因冬至一阳生，阳气舒展故，所以诗的3—4句是讲：刺绣女工因白昼变长而可多绣几根五彩丝线，吹管的六律已飞动了葭灰。写出了冬天里孕育着的春天气息。

这种用苇膜烧灰放在律管内，通过观测第六管灰动来测示气候、应冬至节的物理方法很聪明，使人联想到古人用琴弦的松紧或炭的轻重来指示空气湿度的方法，这种质朴的物理思想，很有几分智慧。

以物理观点读欧阳修的《钟莛说》

我国古代文人少有研究自然科学者，至于有理论物理学家思维方式的人就更少了。我偶尔读到北宋文人欧阳修作的《钟莛说》，其文很短，记录于此。

甲问于乙曰：“铸铜为钟，削木为莛，以莛叩钟，则铿然而鸣。然则声在木乎？在铜乎？”

乙曰：“以莛叩垣墙，则不鸣；叩钟则鸣，是声在铜。”

甲曰：“以莛叩钱积，则不鸣，声果在铜乎？”

乙曰：“钱积实，钟虚中，是声在虚器之中。”

甲曰：“以木若泥为钟，则无声，声果在虚器之中乎？”

译文：

甲问乙说：“用铜铸钟，把木头削成杵，用杵撞钟，就发出铿锵的轰鸣。然而声音是发自木头呢？还是发自铜呢？”

乙说：“用杵撞墙，就没有轰鸣声；撞钟就有轰鸣声，这声音发自铜。”

甲说：“用杵撞钱堆，就没有轰鸣声，声音肯定发自铜吗？”

乙说：“钱堆积是实的，钟是中空的，那声音是在空的器具中。”

甲说：“用木头撞泥土做成的钟，就撞不出轰鸣声，声音肯定是发自有空腔的器物之中吗？”

欧阳修在文中假设了有甲乙两人在辩论声音的来源，这个做法（问难法）类似于如今的思想实验。实验仪器是铜钟、钱积和莛等物。甲是步步进逼，说明声不在钟，不在铜，也不在虚器之中？而乙是步步退却，“在钟”“在铜”“在虚器中”，最后的结局是三道防线全部崩溃，辩无可辩而停止。所以此文为实至名归的反面作证。

但从理论物理学家来看，此文不能就这样戛然而止。还应该继续探究铿锵轰鸣的声波的频率（钟形器皿边界决定的声波方程的本征模）、振动在泥巴中的传播和在金属铜中的传播的区别等问题。尽管如此，此文用实的钱堆、虚空的泥钟接连替换铜钟来诘难，表明了欧阳修具有朴素的理论物理思维。

我怎样启发研究生的想象力

爱因斯坦是发挥想象力的典范，他在年轻时就想象自己以光速运动观测一个光波，终于提出狭义相对论。主修理论物理的研究生需要想象力，怎样启发他们的想象力呢？孔子曰：“不愤不启，不悱不发。举一隅不以三隅反，则不复也。”这段话的意思是：教学生，先让他独立思考，不到他苦思冥想怎么也弄不明白，从而着急、郁闷乃至悲苦的时候，不去启示他、开导他。南宋的大儒朱熹逐字逐句解此句说：“愤者，心求通而未得之意。悱者，口欲言而未能之貌。启，谓开其意。发，谓达其辞。物之有四隅者，举一可知其三。反者，还以相证之义。复，再告也。”数百年来，学者们一般都认同朱氏之说。

不过，我的做法稍有不同，我不忍心研究生的郁闷乃至悲苦的神色出现，也不愿意看到他们花了不少时间而只是在原地踏步。好比看别人下象棋，一个棋手有极好机会走几步就可将死对方，却因看不出好棋路而失去良机，真是急煞观棋者。当学生对于某一物理问题的想象活动有滞碍时，我就向他提出一个相对简易的问题。既然老师问了，学生是错是对总要给个答案。不少情形下，他们是信口开河的。在我分析批驳这类胡答后，学生不得不去展开自己的想象，迫使自己用心去体验这个新问题与已有知识的关联和异同，从一系列有逻辑性的判断趋近问题的本质。想象的工作往往就是由这种有意识的、理性的思维加以引导的，一定的视觉形象（如在脑海里的透镜成的像）就会浮现在眼前，瞬间的想象就形成了。然后，我又提出新问题来使学生重复这种思维过程。将这样的训练日常化，学生就会养成有意识地展开想象力翅膀的习惯，从最初的头脑空空进入到模糊不清、杂乱无

章的状态，直到出现稳定的正确的暗示，赶紧把它们记录下来，就得到了想象的成果。这就是所谓人的心理活动的自省，只有积之在平日，才有可能得之在俄顷。

君子坦荡荡，小人长戚戚。想象力的发挥也与一个人的胸襟大小有关，胸无芥蒂的君子，想象力也更为丰富。

读马赫《感觉的分析》的一点体会

我研究理论物理凡50年，从未考虑过人对物理现象所产生的感觉与人的心理活动之间的关系。在中学的政治课中我就听说了唯物主义和唯心主义的概念，前者指出先有物质才有人的感觉（所谓物质第一性，意识第二性）。课本上说唯物主义是正确的，而唯心主义是荒谬的。有了这个从青年时就注入头脑的看法后，我就不再有也许会与感觉有违的想法。

后来学了狭义相对论，才知道人的感觉不完全可靠。例如，人们的感觉都认为确定的时间只有一个，直到爱因斯坦指出各个惯性坐标系的时间可以不同，才如梦初醒。时间这个东西，我国古人就感觉到它的存在，但还是有点不可捉摸，例如张若虚的《春江花月夜》中有这样的句子：

江天一色无纤尘，皎皎空中孤月轮。
江畔何人初见月？江月何年初照人？
人生代代无穷已，江月年年只相似。
不知江月待何人，但见长江送流水。

那么爱因斯坦为何能如此睿智，发现同时的相对性呢？这个问题我在脑子里思索了好久。直到有一天我在一个旧书店里买到了一本恩斯特·马赫的书《感觉的分析》，才似乎有了答案。

马赫写道：“物理学家的时间与时间感觉系统不一致。当物理学家要决定一段时间时，他用相同的或假定为相同的过程，如摆的振动、地球的旋转等作为度量的标准。这样，与时间感觉相联系的事实

就受一个（物理）反应的制约，并且这个反应的结果，即所得到的数目代替了时间感觉，去对思想进展做更准确的决定。与此完全一样，我们调节我们关于热过程的思想，不是按照物体提供给我们的热感觉，而是按照这样一种更确定的感觉，这种感觉是通过察看水银柱的高度，从温度表的反应得来的。通常以空间感觉（地球的角度或表盘上的时计路程）代替时间感觉，又以一个数目代表空间感觉。”

读了这段话，就容易想到不同的惯性系上的人有他自己的钟，也许爱因斯坦所提出的同时的相对性以及时空一体观就是从马赫那里得到的启迪。马赫的系列书中对牛顿的绝对时间、绝对空间的批判（他认为物体并没有绝对的加速度，而只有相对于遥远星系的加速度）以及对惯性的理解，对爱因斯坦建立广义相对论起过积极的作用，成为后者写出引力场方程的依据。难怪爱因斯坦把马赫书中阐述的思想称为“马赫原理”。马赫的“物理学与心理学混合论”也在量子力学哥本哈根学派的一些物理学家中产生过强烈的反响。

例如，物理学家狄拉克曾说起过哥本哈根学派创始人尼尔斯·玻尔的一个小故事：有一次在离哥本哈根不远的地方散步时，玻尔让我们注意他的手杖，他说，“如果用这根手杖做观测的工具，那么在它撞击不同物体时，仿佛触觉是在手杖末端，而不是在握它的手上，尽管正是手接受撞击感觉的。手杖好像正是人手的延长”。

我的朋友何锐看了我这段文字，写信给我说：“马赫的思想基本上是唯心主义的（或者是心物一元论的）。我们对世界的认识无一不是直接或间接来自我们的感觉器官，很难想象出离开我们的感觉经验以外我们对世界还有什么确定不移的认知。而对感觉经验的综合和判断，又离不开人的意识，因而从这个态度出发引出唯心主义的世界观是在所难免的。但是，世界呈现给我们的绝不是那么简单。自然科学告诉我们，重复地做同一个实验都会得出相同的结果，而且这个结果可以用自然科学的原理来预测，既然如此，我们仿佛又不得不承认独

立于人的意识之外有一个客观的世界——物质世界，这个客观世界受到严格的因果铁律宰制。如果人们的思想进一步延伸，就会觉得身体也是物质的，意识只不过是身体的物质反映，这样就形成了绝对的唯物主义世界观。但是，现代科学特别是量子力学的发展正在严峻地挑战纯粹唯物主义的思维模式。首先，量子力学的测量问题悬而未决，在其中仿佛需要意识的介入，这也给唯心论者的逆科学思考预留了一定的空间。量子力学中还有诸多问题，比如EPR佯谬涉及的全域相关性理念，这在爱因斯坦看来是幽灵般的超距作用，却成为量子信息理论的研究基础。马赫的感觉学说，与其说是唯心论，毋宁称其为心物一元论，因为它统合了物质和精神实体，代之以他所谓的‘要素’的复合体，因此他也消解了康德所谓的现象世界之外的本体（也即物自体）。马赫的学说从根本上而言是一种经验主义，他对科学的见解很独到，科学只能描述不能解释。为什么这么说呢？我以为在这里他肯定了真理的相对性，同时也给科学的本质下了一个定义，既然科学建立在概念的基础上，而概念无非是建立在感觉基础上的抽象物，我们没有理由认为科学描述的对象的客观性，其对应着真实不二的世界。”

马赫是一位具有批判精神的理论物理学家，在研究气体中物体的高速运动时发现了激波。马赫确定了以物速与声速的比值（即马赫数）为标准，来描述物体的超声速运动，1马赫=340 m/s，也就是声音的速度。

可惜，我国的物理教科书中似乎鲜有介绍马赫思想和著作的内容。

讲授量子力学宜介绍科学思维

讲授量子力学不但要讲解科学知识，还应该讲点科学思维，即量子力学从思维学的角度又该怎样论述？讲授不注重思维方式，学生就不知道量子力学这座高楼大厦是如何建起来的。

量子力学理论能有今天这样的深邃和宏大，是若干个物理大师各自独到的科学思维交融的结晶。大师们从多个不同的角度审视微观世界的实验现象，他们不但给出了知识，也提供了科学思维的模式。众所周知，海森堡和薛定谔的思维方式不同，分别造就了矩阵力学和波动力学。狄拉克的思维与他们又不相同，成就了量子力学的符号法。爱因斯坦的思维模式与哥本哈根学派的不同，助推了围绕量子纠缠理论的争论。

一棵百年松树，从它的东边看像一条游龙蜿蜒，从南边看则像一只孔雀。一个人也是如此，从不同的角度看，美丑不同，所以肖像画家主张画人像要寻找最能表现此人气质的一面。研究量子力学也是如此，物理学家费曼就是从作用量的角度切入研究，得到了量子力学的路径积分表述。

我研究量子力学的一个思维特点是注重算符排序论，想象自己是外星人，有特异功能，能一眼将不可交换的算符看作是可交换的，这种思维方式能发展出一套相空间量子论，它是经典分析力学和经典统计力学的飞跃。在经典框架内，一个粒子的坐标q和动量p可以同时精确地测量，在$q-p$相空间中以一个相点作代表。而在量子论中，坐标q和动量p不可能同时精确地测量，其在相空间的代表不再是一个点，而起码是一个小圆（量子力学满足极小不确定关系的是一个相

干态），于是自然产生了新问题，经典统计物理中的刘维尔定理到了“量子社会”如何修改？为了解答这个问题，我发展了相干态理论。

我的另一个思维特点是注重光学变换与量子力学幺正变换的联系与相互映照。在此思路引导下，我提出了量子光学ABCD定理、量子Fresnel算符、分数压缩变换等。

还有便是充分发挥表象的功能，对于一个动力学问题首先考虑有无合适的表象去清晰地表述问题。例如，我建立的纠缠态表象能将密度算符的量子主方程转换为薛定谔方程，经求解带来方便。

我编写的《量子力学律髓简学》一书，就向初学者提供一个能快速习惯量子力学律髓（规律、精髓）的读本，它从坐标－动量的基本对易关系出发，以波粒两象为准绳、以粒子产生和湮灭的机制为例，至理简明地引入狄拉克符号和量子力学表象，使读者能较容易地了解量子力学的最顺畅有效的“语言”——狄拉克符号法和作者创造的有序算符内的积分理论（狄拉克符号的“语法结构”），从而较深入地熟悉和掌握量子力学的程式和习惯，在思维模式等方面融入“量子社会”。

如何提高欣赏理论物理的才能

物理理论是需要欣赏的，会欣赏者才可对其谈研究。对美玉的欣赏有卞和，他能从石头中辨别玉。音乐的欣赏古有师旷之耳。《淮南子》指出：“耳不知清浊之分者，不可令调音……必有独闻之耳，独见之明，然后能擅道而行矣。”中国有句古话——对牛弹琴，就是说对于非音乐的耳朵，再美的音乐也没有用。

理论物理欣赏与文学欣赏不同。就文学而论，有“人心贵直，文心贵曲”的说法，含蓄蕴藉、委婉波折之言容易被读者接受。而在物理理论欣赏方面，给人的感觉是越简洁越好。诚然，欣赏物理理论如同欣赏诗词一样，本身需要读者的思考、共鸣与想象，欣赏者要有参与意识，知其事，明其理，入其境，智者甚至能悟出作者原本没有的想法。

值得指出的是，单纯的对物理的直觉，还谈不上欣赏。就理论物理而言，欣赏是从产生形象思维（有时靠数学推导帮助）到掌握规律的过程，是逐步深化的过程，也是一种审美情趣的提升。

要提高欣赏理论物理的才能，需在以下几方面努力：

（1）要训练数学推导的能力，提高数学修养，学会从数学公式中看出物理意义来。

（2）训练简化和抽象的本领。

（3）从多方面提高自身的艺术修养，要知道理论物理是以美为追求目标之一的。

（4）欣赏与质疑相辅相成，所以还要提高科学质疑的本领。

（5）训练举一反三的能力，在欣赏物理的同时发挥想象力。

（6）磨炼端正的人品和科学道德，因为人先要有善根，才能滋养慧根。

物理欣赏的心理条件是处在虚静境界，虚则易纳新，静则利滤思。

小议物理抽象

抽象是指从众多的事物中抽取出共同的、本质性的特征，而舍弃其非本质的特征。抽象思维是人们在认识活动中运用概念、判断、推理等思维形式，对客观现实进行间接地概括，从而获得超出靠感觉器官直接感知的知识。空洞的、臆造的、不可捉摸的抽象是不科学的抽象。物理学中的科学抽象需要现代数学帮忙。

抽象的角度取决于分析问题的目的，不同角度的抽象，结果可能不同。做理论物理研究需要抽象能力，抽象要恰到好处，正所谓“物微意不浅，感动一沉吟”。一个最好的物理抽象的例子是麦克斯韦总结了电磁学的库仑定律、安培环路定律和法拉第电磁感应定律，引入涡旋电场和位移电流的概念，将矢量场论抽象为精炼的微分方程组，预言了光波就是电磁波。这里必须指出，麦克斯韦之所以果断地在方程中加入位移电流项，是因为他在研究中发现了有趣的情况。例如，把两块中间夹有介质的金属板接在交变电源上，介质内并没有自由电荷，也不存在传导电流，可是依然产生磁场。所以麦克斯韦认为这里的磁场是由另一种电流形成的，该电流存在于任何变化的电场中，称为“位移电流”。

美国物理学家盖尔曼曾说：“在我们的工作中，我们总是处于进退两难的困境中，我们可能会不够抽象，并错失了重要的物理学成果；我们也可能过于抽象，结果把模型中假设的目标变成了吞噬我们的真实的怪物。”

抽象的能力因人而异，有被常人认为是抽象的东西，在个别人看来是“小菜一碟”。数学家庞加莱就这样描述过另一位数学家厄密：

“与厄密先生讲话，他从不唤起具体的形象；然而你很快就发觉，最抽象的本质对于他来说也像活着的生物一样。”

物理抽象不同于哲学抽象。例如，看到一个钟摆，物理学家关心摆动周期与摆长的关系；而哲学家觉得人生就像一个钟摆，钟摆的一端是无聊，而另一端是痛苦，当欲望得不到满足就痛苦，当欲望得到满足就无聊。因而曾有人比喻说：物理学家是探险者，而哲学家是观光客或评论家。

理论物理学家之诫

物理学是人类的物质创造和精神思考的成果，是人类现代文明的重要组成部分。理论物理学作为物理学的重要分支起着基础作用，它从实验中抽象，又指导实验，预言实验现象。理论物理深刻地影响了人类的时空观、美学观、哲学观以及经济和文化活动方式。对物理现象进行实验研究并把实验的方法与数学方法、逻辑论证相结合，在一代代天才的大脑的孕育下，终于形成了理论物理的几门基本分支。在某种意义上说，理论物理需要天才，千军万马的研究人员也敌不过一个“爱因斯坦”。

理论物理研究需要幻想，但不是胡思乱想，不是随心所欲。费曼曾有的放矢地说：“我不喜欢这种并不面面俱到的计算方法，不喜欢他们对自己的思想都不加验证的态度，不喜欢这种一旦与实验不符就另寻解释的思路——找到后就会说：‘你看，还是对的嘛’。”

这是对理论物理研究者的告诫。另一诺贝尔奖得主、物理学家马丁纽斯·韦尔特曼也强调，理论概念都必须得到实践检验，他批评不论超对称还是弦理论都不满足这个判据，认为它们都不过是理论猜想而已。按大物理学家泡利的话说“它们连错都算不上”。这也是对用计算机数值模拟来比对物理结论的人的告诫：不要以更换程序的伎俩去凑数值结果。

一门理论，如果去实践经验甚远，又与好几支抽象数学嫁接，那么这种理论逃不掉退化的命运，不管是否有人苦心去修补它。

写论文宜一气呵成

鲁迅先生曾经对夫人许广平说：“写小说是不能够休息的。过了一夜，那个创造的人脾气也许会两样。”这是鲁迅的经验之谈。那么为什么会有如此的转折呢？我以为这与作者的瞬时情绪有关，当一个作家休息时间过长后，原来活跃着的脑细胞可能激发不到原先的状态了。

写文艺作品的作家如此，科研人员在写科研论文时更是如此。爱因斯坦酝酿狭义相对论时，几乎什么东西都不想吃。他的夫人以为他病了，就问他哪儿不舒服。“亲爱的，”他说，“我有一个惊人的想法。”喝了点咖啡，他就走到钢琴前开始弹琴，不时地记下一些什么。大约过了半个小时，他上楼回书房，并关照夫人说，别让来人打扰他。此后，他在楼上待了两个星期，只是在黄昏时出去散一会儿步，活动活动，然后又回到书房工作。每天吃的饭菜，都由他的夫人送上楼。有一天，他终于从书房里走下来，面色很苍白。“喏，就是这个。”他对夫人说，一面疲惫地把两张纸放在桌上——那就是他提出的相对论。

爱因斯坦连续工作两个星期，脑细胞被长期地“熬煎”着，终于将物理想清楚。这是所有科学工作者孜孜以求、焚膏继晷的真实写照，正所谓“趁热打铁才能成功”。

如果中途休息时间过长，脑细胞已经返回到“真空”状态，即脑子空空如也了，就必须花时间再回忆，把脑细胞激发到上次停下来的境地，那是多么的事倍功半啊！

我自己也有过这样的经历，在处理疑难问题时，好几天茶不思饭不想，脑子歇息不下来，保持于“激发态”，直到问题明朗后，才能香香地补个觉。

一气呵成的论文，其笔势易淋漓，不见堆垛之迹；其文脉也顺畅，如白云在空。

似曾相识每弯月，颠沛流离各自星

万千世界，种种现象，按什么规律行事呢？这就是物理学家朝思暮想的事情。“万影皆因月，千声各为秋。”有不少现象看似大相径庭，却可以用类似的方法求其端倪；又有很多现象看来是相似的，但遵循的规律却不同，所谓“似曾相识每弯月，颠沛流离各自星”。

在研究中，觉察物理相似性是前进的推动因素。麦克斯韦善于从类比中悟出共性，他写道：“为了不通过一种物理理论而获得物理思想，我们就应当熟悉现存的物理相似性。”所谓物理相似性，我认为是在一种科学定律和一些能够相互阐明的定律之间存在着的局部相似。

例如，狄拉克看到海森堡的文章中蕴含的对易括号，马上联想到经典力学的泊松括号。

我用正规乘积算符内的积分法对坐标本征算符组成的$\left|\frac{x}{\mu}\right\rangle\langle x|$积分，得到单模压缩算符

$$\int_{-\infty}^{\infty}\frac{dx}{\sqrt{\mu}}\left|\frac{x}{\mu}\right\rangle\langle x|=\exp\left(\frac{-a^{\dagger 2}}{2}\tanh\lambda\right)\exp\left[\left(a^{\dagger}a+\frac{1}{2}\right)\ln\operatorname{sech}\lambda\right]$$

$$\exp\left(\frac{a^{2}}{2}\tanh\lambda\right),\ \mu=e^{\lambda}$$

积分的结果自动出现$a^{\dagger 2}$，a^2和$a^{\dagger}a+\frac{1}{2}$，它们组成一个封闭代数。在建立纠缠态表象$|\eta>$后，$|\eta>=\exp[-\frac{|\eta|^2}{2}+\eta a_1^{\dagger}-\eta^* a_2^{\dagger}+a_1^{\dagger}a_2^{\dagger}]\left|00\right>$类比上式对$\left|\frac{\eta}{\mu}\right\rangle\langle\eta|$积分

$$\int\frac{d^2\eta}{\pi}\left|\frac{\eta}{\mu}\right\rangle\langle\eta|=\exp(-a_1^{\dagger}a_2^{\dagger}\tanh\lambda)\exp[(a_1^{\dagger}a_1+a_2^{\dagger}a_2+1)\ln\operatorname{sech}\lambda]\exp(a_1a_2\tanh\lambda)$$

得到双模压缩算符，其间自动出现$a_1^{\dagger}a_2^{\dagger}$，$a_1a_2$和$(a_1^{\dagger}a_1+a_2^{\dagger}a_2+1)$，它们也组成一个封闭代数。

又例如，我曾用纠缠态表象写下超导Josephson结的玻色性哈密顿量，导出Josephson方程，发现其可与量子摆类比。

在注意物理相似性的时候，我们还必须更注意相异性。例如，由麦克斯韦方程组推出“光就是产生电磁现象的媒质（以太）的横振动”，传播电磁与传播光“只不过是同一种介质而已”。以太充满整个宇宙，光波与电磁波的常定传播速度——麦克斯韦的光速：$c=1/(\varepsilon\mu)$，ε是真空介电常数，μ是真空磁化率常数。相似于机械波在介质中的传播，从麦克斯韦的电磁理论看，有以太存在，以太是测定光速的绝对参考系。整个麦克斯韦方程组只对于绝对静止的以太参考系才是成立的。

因此，麦克斯韦在指出电磁扰动的传播与光传播的相似之后写道：电磁波可在其中传播，究竟是相对于哪一个参考系而言的?

真空电容率和真空磁导率被认为是常数有不合理的地方。它的逻辑是这样的：因为真空中什么都没有，所以真空电导率和真空磁导率

是常数。我们可以用相同的逻辑换个思路：因为真空中有以太，地球在以太中运动，所以地球上真空电导率和真空磁导率在不同方向有差异。

1905年，爱因斯坦根据迈克尔逊实验结果大胆抛弃了以太说，认为光速不变是基本的原理，并以此为出发点之一创立了狭义相对论。爱因斯坦在《论动体的电动力学》一文的前言中说：“‘光以太’的引用将被证明是多余的。”人们从此接受了电磁场本身就是物质存在的一种形式的概念，而场可以在真空中以波的形式传播。

所以，物理类比要十分小心，过犹不及。

谈避免科研上的“宫墙数仞不得其门终外望”

有哲人语：“伟大的思想家永远不会停止提出问题，因为他们知道，这是获得深刻见解的最佳方式。”在自然科学领域，研究生要完成论文拿到学位，也必须提出新问题，然后解决之。由于提出问题常常是解决问题的一部分，所以思考该问题本身的方方面面，排除不该考虑的因素，要付出的精神与时间甚至比最后集中落实此问题的解决还要多。在此过程中，我们还会遇到虚假问题的困扰，这些假问题有令人眩晕的光环与诱惑，不易被识破，甚至耗费了研究人员的大半生。

我担任博士生导师已有20多年了，对每个学生，我都期望他能自己提出好问题。但有这种能力的学生不多，大多数是“宫墙数仞不得其门终外望”，在科学的殿堂外愁眉苦脸徘徊数年也找不到门。在导师的启发下，有的学生尽管能做到按图索骥地完成学业，却难有较大创新。

有学生问：“好多问题别人都已经想过了，那么老师您是怎样提出科学问题的呢？”事实上，我是经常从不同的角度来思考似乎已经解决了的问题。甚至已经为大家所熟知的定理，我也尝试用新的方法、从另一个角度来证明它。而从别人以为没问题的地方发掘出新问题，创建新方法，也是我的科研特长之一。

我的另一“秘诀”是注意在读文献中发现问题。这与古人推敲前人的诗作加以质疑有相似之处。清代学者王端履读唐代张继的诗“月落乌啼霜满天，江枫渔火对愁眠；姑苏城外寒山寺，夜半钟声到客

船”后评价说：“此诗久脍炙人口，然律法未免太疏。首句不叙明泊舟夜宿之由，则次句‘对愁眠’三字，是对谁愁、对谁眠耶？予尝戏易之曰：羁客姑苏乍系船，江枫渔火对愁眠；钟声夜半寒山寺，月落乌啼霜满天。”对于诗中的“江枫”二字他又批注道：“江南临水多植乌桕，秋叶饱霜鲜红可爱，诗人类指为枫，不知枫生山中，性最恶湿，不能种之江畔也。此诗‘江枫’二字亦未免误认耳。”在读宋朝杨万里诗“梅子流酸溅齿牙，芭蕉分绿上窗纱；日长睡起无情思，闲看儿童捉柳花”时，王端履又评价：“自是佳作，然梅子留酸芭蕉分绿已是初夏风景，安得复有柳花可捉乎？诗人失检，比比皆然。”

那么如何训练自己提出正确的科学问题的能力呢？首先要见多识广，非如此不能高屋建瓴地发现问题；其次要有删繁就简的能力，这样才能在错综复杂的物理现象和数学公式中找出问题的症结，慧眼独具；再则要有联想能力，通过对同类或相似的对象作比较而看出问题。当一个物理学家能从艺术家的角度（即从美的视角）审视研究对象时，那么他提出新的科学问题的概率就很大了。

直觉让我发明IWOP方法

回忆一下年轻时我是如何发明有序算符内的积分（IWOP）方法的，对于以后研究理论物理的人也许有些帮助。1966年我在大学二年级时，注意到量子力学理论缺乏对狄拉克符号积分的情况（实际上在此之前也没有人意识到要对它积分）。此后，我对这个问题朝思暮想，但是由于没有科研气氛和科研条件，好几年都没有结果。一直等到考上了国内第一批研究生，能静坐在课桌前，才真正全神贯注于此事。我按照狄拉克所说的“一个物理规律必须有数学上的美”，“数学美是一种质感，它不能定义……”，“让数学成为你的向导，至少是在开始的时候”，“首先为了它自身的原因玩味漂亮的数学，然后看这个是不是引导到新物理上去”来展开我的思维。

但是，由于狄拉克符号ket-bra组成的算符含有不对易的成分，牛顿-莱布尼兹积分不能直接适用，我百思不得其解，很是郁闷。

直到有一天，我想到人初生时由于物在视网膜上的成像是倒立的，因而看到的也是倒立的图像，直到大脑逐渐适应而形成方向正确的物体形象。于是遐想在宇宙的某个星球上也许存在比我们高级的生物，我们认为不对易的东西在他们看来是可以互换的（或是说，他们有瞬时将不对易的东西实现互换的能力），就像我们人类能把倒立的像经过大脑加工呈现正立的感觉一样，这个直觉引领我设法将ket-bra组成的算符纳入某种有序的排列，在此序中，原先不对易的成分就可以互换了（但并未失去算符的本性），于是对其直接积分成为可能。

但是，要成为一个真正的新领域的开创者，仅仅依靠直觉是不够的，不论直觉能带我走多远。是后来的多角度的理性推理证明了这个

方法的正确有效，并在量子光学中有广泛的应用，可以解决不少难题并提出新问题。

我的这段经历正应了爱因斯坦所指出的：“从特殊到一般的道路是直觉性的，而从一般到特殊的道路则是逻辑性的。”

直觉是一种别样的智力，是长期思考的灵魂一现。有人说“这个直觉匪夷所思”，这就对了，理论物理正需要匪夷所思，IWOP方法本身就是匪夷所思的。

我于是凑一联：灵感出积思，直觉始木讷。又写一诗《直觉》：

精灵常现闲中静，飞出脑际傍月影。
却是才人无形魄，即便有约也难寻。

从孙悟空的火眼金睛漫谈量子算符函数的排序

吴承恩的《西游记》第二十七回《尸魔三戏唐三藏　圣僧恨逐美猴王》，讲的是唐僧师徒四人为取真经，行至白虎岭前。在白虎岭内，住着一个尸魔白骨精，其为了吃唐僧肉，先后变换为村姑、老妪和老翁，全被孙悟空识破。唐僧却不辨人妖，反而责怪孙悟空恣意行凶，连伤无辜性命，违反戒律，写下贬书，将孙悟空赶回了花果山。此故事启示人们：不要被表面现象、虚情假意、伪善的一面所蒙骗。孙悟空能识破妖精真面目靠的是火眼金睛，妖精的外表虽不断变换，但其本质不变。

由此我们可以联想到，同一个量子算符函数在不同排序规则下，其本质不变，但呈现的形式不同，它们有各自的应用。理论物理的精华就是在变换中求不变的东西。物理学家的“火眼金睛”是能找到不同的排序形式之间的转换关系。

以光场的真空投影算符$|0><0|$为例（这个符号是狄拉克发明的，$|0>$称为“右矢”，$<0|$称为“左矢”），它应该可以表达为基本算符a与$a^\dagger$函数，a是光子湮灭算符，$a^\dagger$是光子产生算符。湮灭和产生的顺序是不可颠倒的。例如，每个人在地球上都是先生后灭。

理论物理学家为什么要引入a与$a^\dagger$呢？原因是要认知光的量子本性，首先要有一个描述光子的产生和湮灭的表象。而经典光学讨论的主要是光在介质中传播的行为，如干涉、衍射和偏振。麦克斯韦经典电动力学进了一步，把光认作是电磁场，认为光是由电磁波组成的，把每一个波作为一个振子来处理，这体现了光的波动说，但并没有讨

论光的产生和湮灭机制。就像我们看到电闪雷鸣是在浩瀚的天空中发生的那样，阐述光的产生和湮灭也要有一个人们构想的理论“空间”，这就是光子数表象。

要直观地介绍光子数表象，以谐振子的量子化（量子的产生和湮灭机制）为例来阐述是较容易被接受的。这样做是因为考虑到：从谐振子的经典振动本征模式容易过渡为量子能级。经典力学中弦振动是一种典型的谐振子运动，固定弦的两端称为波节，当两端固定的弦的长度为L，则弦长必须是振荡波半波长的整数倍。只有这样，整个弦长才正好嵌入整数个半波长。另外，弦的振动有基频与泛频，因此谐振子的量子化既能保持与经典情形类似的特性，又符合德布罗意波的特征。虽然经典光学中没有光产生和湮灭的理论，但谐振子的振动可产生波，若将此与德布罗意的波粒二象性作参照，光波的产生就对应产生光子（或大致可以理解为：粒子伴随着一个波），所以要使理论能描述光量子的产生和湮灭，就得把谐振子各种本征振动模式比拟为一个“光子库”。鉴于经典谐振子有它的本征振动模式，按整数标记，所以量子谐振子也应有它的本征振动模式，记为$|n>$。n是零或正整数，$|n>$的集合就是谐振子的“量子库”。打个比方，把$|n>$看做一个盛着n元钱的口袋，a是湮灭算符，$a^{\dagger}$是产生算符，$a^{\dagger}a$就表示“数”钱的操作（算符）。具体而言，对$|n>$以a作用，表示从口袋里取出一元钱，$n \rightarrow n-1$再将这一元钱放回口袋去（此操作以$a^{\dagger}$对$|n-1>$作用表示），口袋里的钱又变回到n元，可见取出一次又放回去相当于“数”钱的操作，以$a^{\dagger}a$表示。在“量子银行”里，先存入后取出与先取出后存入的效果不同，故$aa^{\dagger}-a^{\dagger}a=[a,a^{\dagger}]=1$。当口袋里没有钱时（以$|0>$表示，称为Fock真空态）就无法再从中取钱，所以

$$a|0>=0$$

《心经》中有“不生不灭”（注意不是“不灭不生”），用Delta函数表示之即

$$|0><0|=\pi\,\delta(a)\delta(a^{\dagger})$$

这里$\delta(a)$排在$\delta(a^{\dagger})$左面，表示先产生后湮灭（常说的“自生自灭”），这符合真空的直观意思，即那里有光子产生（用Delta函数$\delta(a^{\dagger})$表示），那里就湮灭它（用$\delta(a)$表示），可见在Fock空间中时刻要注意算符的排序问题。再用Delta函数的傅里叶变换式将上式写为积分

$$\pi\delta(a)\delta(a^{\dagger})=\int\frac{d^{2}\xi}{\pi}e^{i\xi a}e^{i\xi^{*}a^{\dagger}}$$

$$=\vdots\int\frac{d^{2}\xi}{\pi}e^{i\xi a}e^{i\xi^{*}a^{\dagger}}\vdots$$

在一个由a与$a^{\dagger}$函数所组成的单项式中，当所有的a都排在$a^{\dagger}$的左边，则称其为已被排好为反正规乘积了，以：： 标记之。那么$|0><0|$的正规排序形式（以：： 表示）是什么？用量子论中常用的Baker Hausdorff公式可将 $e^{i\xi^{*}a^{\dagger}}e^{i\xi a}$ 重排为

$$|0\rangle\langle 0|=\int\frac{d^{2}\xi}{\pi}:e^{i\xi^{*}a^{\dagger}+i\xi a-|\xi|^{2}}:$$

对$d^{2}\xi$积分时，在：： 内部a与$a^{\dagger}$可以被视为积分参量，这就是正规乘积排序算符内的积分技术（英文名IWOP方法），积分得到

$$|0\rangle\langle 0|=:e^{-a^{\dagger}a}:$$

这就是$|0><0|$的正规排序算符形式。

量子力学的魅力——从数理统计谈表象

量子力学有无穷的魅力，魅力总是伴随着美与简洁，往往又带有神秘感。

下面我将揭开量子力学神秘面纱新的一角，介绍量子力学的数理基础可以直接和数理统计的相对应。

数理统计与概率论是研究大量随机现象规律的一门学科。自然界（尤其是微观世界）中的现象是瞬息万变无法完全人为控制的，所以随机性不可避免，现象之间又存在着千丝万缕不可捉摸的联系。为了研究它们，人们对随机现象做随机试验。例如，物理学家研究悬浮在液体中的固体微粒（如花粉）在液体分子的随机撞击下做无规则的（布朗）运动，观察花粉在某一段时间内运动的轨迹就是一种随机试验，花粉运动的每一个轨道，就代表一个试验的结局。物理学家无法确切预言每次试验的结局，但能在理论上推理出它可能出现的范围。爱因斯坦用统计方法导出悬浮粒子无规则运动的均方根位移公式，这就是爱因斯坦对分子布朗运动轨道的贡献，而后由法国物理学家佩兰用超显微镜加以观测证实：他测定了布朗粒子的平均质量和平均半径，并观测了布朗粒子在每隔30秒的位移平方的平均值，得出了与爱因斯坦的理论相吻合的结果。现在人们普遍认为布朗运动的分布函数为正态分布函数。

在概率论与数理统计中，正态分布函数是最基本、最常用的：

$$f(\mu,\ \sigma^2)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

实际上，生活中的许多随机现象都服从或近似地服从正态分布，例如在正常生产条件下各种产品的质量指标，在随机测量过程中测量的结果，生物学中同一群体的某种特征，气象学中的月平均气温、湿度等。

在正态分布下的平均值是

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}}\int_{-\infty}^{\infty} x e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx = \mu$$

求其方差值

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}}\int_{-\infty}^{\infty} (x-\mu)^2 e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx = \sigma^2 ,$$

可见，正态密度 $e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$ 的两个参数μ 与σ^2 有明确的概率意义，它们分别是正的数学期望与方差。也就是说，正态分布的形态完全决定于数学期望与方差。

另一方面，考虑以下的正态密度:

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} : e^{-(q-Q)^2} :$$

其中算符 $Q = \frac{a + a^{\dagger}}{\sqrt{2}}$ ，[a ，$a^{\dagger}$]= 1，相应的动量算符P= $\frac{a - a^{\dagger}}{\sqrt{2}\,i}$ ，如此方式引入算符a ，$a^{\dagger}$ 就可把谐振子各种本征振动模式比拟为一个“量子库”，即谐振子的哈密顿量写为

$$H=\frac{P^2}{2}+\frac{Q^2}{2}=a^{\dagger}a+\frac{1}{2}$$

$a^{\dagger}a$ 是一个计数量子的算符，$a^{\dagger}$ 排在a 的右边称为正规排序。以：：标记，$a^{\dagger}$ 和a 分别描述量子的产生和湮灭。

注意在上文中已经证明

$$:e^{-a^{\dagger}a}:=|0\rangle\langle 0|$$

那么

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}}:e^{-(q-Q)^2}:=\frac{1}{\sqrt{\pi}}:e^{-\frac{q^2}{2}+\sqrt{2}qa^{\dagger}-\frac{a^{\dagger 2}}{2}-a^{\dagger}a-\frac{q^2}{2}+\sqrt{2}qa-\frac{a^2}{2}}:$$

$$=\frac{1}{\sqrt{\pi}}e^{-\frac{q^2}{2}+\sqrt{2}qa^{\dagger}-\frac{a^{\dagger 2}}{2}}|0\rangle\langle 0|e^{-\frac{q^2}{2}+\sqrt{2}qa-\frac{a^2}{2}}$$

$$=|q\rangle\langle q|$$

这里

$$|q\rangle=\pi^{-1/4}e^{-\frac{q^2}{2}+\sqrt{2}qa^{\dagger}-\frac{a^{\dagger 2}}{2}}|0\rangle$$

恰好是坐标本征态，$Q|q>=q|q>$。鉴于

$$\int_{-\infty}^{\infty}\frac{dq}{\sqrt{\pi}}:e^{-(q-Q)^2}:=1$$

所以

$$\int_{-\infty}^{\infty}dq\,|q\rangle\langle q|=1$$

这恰好是量子力学书中的坐标表象的完备性，而表象及其互变是学习量子力学的数理基础。

借助于有序算符内积分技术，我们发现数理统计中的正态分布（分布密度、期望、方差等）的量子对应恰好是构建量子力学表象的途径，从而可以建立多种物理上有用的广义表象（包括但不局限于纯态的混合态表象）。这就从一个新的角度支持量子力学的统计概率假设。

倘若有一类外星人，他们有特异功能，在他们眼睛的视网膜上成的像就是排好序的，他们理解的正态分布就是正规排序的，那么我们的量子力学在他们看来就是经典力学了。

量子力学的魅力——从几何图形谈算符排序

鉴于量子力学的基本算符是不对易的，要将一个算符函数排列为某种有序，就需一番功夫。对于同一算符函数，不同的算符排序会出现不同的特殊函数。

经典物理中相空间是以质点的坐标q与动量p的坐标构建而成的，过渡到量子论中，受海森堡的不确定性原理的限制，人们不能同时精确地观测粒子的位置与动量，即不能确定到一个相点，而至多只能确定到一个面积为$\hbar/2$的小圆，它对应相干态。另一方面，经典函数$f(q,p)$的不同量子化方案也造就了其在量子相空间中的不同“图案”。

以经典相空间中的一条射线为例，来说明不同的量子化方案相应于量子相空间中不同的量子“图案”对应。经典相空间中的一条射线方程是$x-\lambda q-vp=0$（这里λ与v是实参数），它以$(x-\lambda q-vp)$表示。我们的研究结果发现，仅当取Weyl量子化，经典相空间中的一条射线在量子相空间的“图案”对应为射线，而在其他量子化时，如$Q-P$排序量子化（所有的坐标算符Q排在所有的动量算符P的左边）以及$P-Q$排序量子化（所有的动量算符P排在所有的坐标算符Q的左边），射线映射几何图形为椭圆。

三种量子化方案简介

在量子力学中，由于坐标算符与动量算符不对易$[Q,P]=i$（这里$\hbar=1$），所以把一个经典函数$f(p,q)$量子化为算符时，会给

出不同的结果，最简单的例子是经典函数$p^m q^n$有多种不同的量子对应，其中两个是$Q^n P^m$或$P^m Q^n$，如选$Q^n P^m$，则根据坐标表象与动量表象的完备性

$$\int_{-\infty}^{\infty} dq \mid q\rangle\langle q \mid =1,\ \int_{-\infty}^{\infty} dp \mid p\rangle\langle p \mid =1 \qquad (1)$$

就有

$$\begin{aligned} Q^n P^m &= \int_{-\infty}^{\infty} dq q^n \mid q\rangle\langle q \mid \int_{-\infty}^{\infty} dp p^m \mid p\rangle\langle p \mid \\ &= \iint_{-\infty}^{\infty} dq dp q^n p^m \mid q\rangle\langle p \mid \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{ipq} \end{aligned} \qquad (2)$$

$q^n p^m$与$Q^n P^m$通过两维积分变换相联系，积分核是$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{ipq} \mid q\rangle\langle p \mid$。鉴于

$$\mid q\rangle\langle q \mid =\delta(q-Q),\ \mid p\rangle\langle q \mid =\delta(p-P) \qquad (3)$$

所以

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \mid q\rangle\langle p \mid e^{ipq} =\delta(q-Q)\delta(p-P) \qquad (4)$$

于是（2）式变为

$$Q^n P^m = \iint_{-\infty}^{\infty} dq dp q^n p^m \delta(q-Q)\delta(p-P) \qquad (5)$$

把一个单项里的所有Q置于所有P的左边，记为Ω－排序，上式是$q^n p^m$的Ω－排序量子化方案。另一方面，如选量子化为$q^n p^m$

$\to P^m Q^n$，根据（1）就有

$$P^m Q^n = \int_{-\infty}^{\infty} dp\, p^m \mid p\rangle\langle p \mid \int_{-\infty}^{\infty} dq\, q^n \mid q\rangle\langle q \mid$$

$$= \iint_{-\infty}^{\infty} dq\, dp\, q^n\, p^m \mid p\rangle\langle q \mid \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-ipq} \qquad (6)$$

可见积分核是$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \mid p\rangle\langle q \mid e^{-ipq}$，，鉴于

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \mid p\rangle\langle q \mid e^{-ipq} = \delta(p-P)\delta(q-Q) \qquad (7)$$

（6）式变为

$$P^m Q^n = \iint_{-\infty}^{\infty} dq\, dp\, q^n\, p^m\, \delta(p-P)\delta(q-Q) \qquad (8)$$

这里P置于Q左边，这是$q^n p^m$的$P-Q$排序量子化方案。可见，量子化$q^n p^m$的结果取决于在选方案时用$Q-P$排序（Q置于P左边）方案还是用$\mathfrak{P}$排序（P置于Q左边）方案。注意，以上的讨论建立在（1）式的基础上，反映了坐标表象与动量表象的新应用。而（5）和（8）式的右边都体现了有序算符内积分的思想。

经典函数$e^{iqu+ipv}$的$\mathfrak{P}$－量子化是

$$e^{iqu+ipv} \to e^{iPv} e^{iQu} = \mathfrak{P}\left[e^{iPv} e^{iQu}\right] = e^{iQu+iPv} e^{\frac{i}{2}uv} \qquad (9)$$

而其$\mathfrak{Q}$－量子化是

$$e^{iqu+ipv} \to e^{iQu} e^{iPv} = \mathfrak{Q}\left[e^{iQu} e^{iPv}\right] = e^{iQu+iPv} e^{-\frac{i}{2}uv} \qquad (10)$$

这里用了Baker-Hausdorff公式。如取另一种量子化方案，是使得经典函数$e^{iqu+ipv}$正好量子化为$e^{iQu+iPv}$，

$$e^{iqu+ipv}\to e^{iQu+iPv} \tag{11}$$

我们称它为Weyl量子化，也就是要找一个积分核$\Delta(p,q)$（称为Wigner算符），使得

$$e^{iQu+iPv}=\iint_{-\infty}^{\infty}e^{iqu+ipv}\Delta(q,p)\,dq\,dp \tag{12}$$

从此式我们看出两点结论：

（1）每一种量子化方案对应一种算符排序，（12）式的成立隐含了一种算符排序，称为Weyl排序，如引入记号$\vdots\ \vdots$以标志Weyl排序，那么上式左边就是Weyl排序好了的，故（12）式即为

$$\vdots\ e^{iQu+iPv}\ \vdots=\iint_{-\infty}^{\infty}e^{iqu+ipv}\Delta(q,p)\,dq\,dp \tag{13}$$

所以$\Delta(q,p)$本身的Weyl排序是

$$\Delta(q,p)=\vdots\ \delta(p-P)\delta(q-Q)\ \vdots=\vdots\ \delta(q-Q)\delta(p-P)\ \vdots \tag{14}$$

即在记号$\vdots\ \vdots$内部Q与P可以交换。

（2）把（13）看做是Fourier变换，所以其反变换给出

$$\Delta(q,\ p)=\iint_{-\infty}^{\infty}\frac{du\,dv}{4\pi^2}\vdots e^{i(Q-q)u+i(P-p)v}\vdots=\iint_{-\infty}^{\infty}\frac{du\,dv}{4\pi^2}e^{i(Q-q)u+i(P-p)v}$$

（15）

进一步将$\Delta(q,\ p)$排成$\mathfrak{P}$ －排序积分，得到

$$\begin{aligned}\Delta(q,\ p)&=\mathfrak{P}\left[\iint_{-\infty}^{\infty}\frac{du\,dv}{4\pi^2}e^{i(P-p)v}e^{i(Q-q)u}e^{-\frac{i}{2}uv}\right]\\&=\mathfrak{P}\left[\int\frac{dv}{2\pi}e^{i(P-p)v}\delta\left(Q-q-\frac{v}{2}\right)\right]\\&=\frac{1}{\pi}\mathfrak{P}\left[e^{i2(P-p)(Q-q)}\right]\end{aligned}\qquad(16)$$

可见，$\Delta(q,\ p)$与$\delta(p-P)\delta(q-Q)$存在如下的变换关系

$$\Delta(q,\ p)=\frac{1}{\pi}\iint_{-\infty}^{\infty}e^{2i(p'-p)(q'-q)}\delta(p'-P)\delta(q'-Q)dq'dp'\quad(17)$$

类似可得$\Delta(q,\ p)$与$\delta(q-Q)\delta(p-P)$的变换关系

$$\begin{aligned}\Delta(q,\ p)&=\frac{1}{\pi}\mathfrak{Q}\left[e^{-i2(P-p)(Q-q)}\right]\\&=\frac{1}{\pi}\iint_{-\infty}^{\infty}e^{-2i(p'-p)(q'-q)}\delta(q'-Q)\delta(p'-P)dq'dp'\end{aligned}$$

（18）

注意在$\mathfrak{Q}$ 编序的记号内，P与Q也是可交换的。可以证明（17）式的反变换是

$$\delta(p-P)\delta(q-Q)=\frac{1}{\pi}\iint_{-\infty}^{\infty}e^{-2i(p'-p)(q'-q)}\Delta(q',p')dq'dp' \tag{19}$$

经典函数 $\delta(x-\lambda q-vp)$的$\mathfrak{P}$ －排序、$\mathfrak{Q}$ －排序以及Weyl排序量子化方案

现在我们讨论经典函数$\delta(x-\lambda q-vp)$的$\mathfrak{P}$ －排序、$\mathfrak{Q}$ －排序以及Weyl排序量子化方案。

（1）$\delta(x-\lambda q-vp)$的$\mathfrak{P}$ －排序量子化方案，积分核是$\delta(p-P)\delta(q-Q)$，故有

$$\begin{aligned}&\iint_{-\infty}^{\infty}dqdp\delta(x-\lambda q-\nu p)\delta(p-P)\delta(q-Q)\\&=\mathfrak{P}\left[\iint_{-\infty}^{\infty}dqdp\delta(x-\lambda q-\nu p)\delta(p-P)\delta(q-Q)\right]\\&=\mathfrak{P}\delta(x-\lambda Q-\nu P)\end{aligned} \tag{20}$$

注意，在$\mathfrak{P}$ 编序的记号内，P与Q也是可交换的。我们可以进一步求出$\mathfrak{P}$ $\delta(x-\lambda Q-\Delta P)$的Weyl排序形式

$$\begin{aligned}&\iint_{-\infty}^{\infty}dqdp\delta(x-\lambda q-\nu p)\delta(p-P)\delta(q-Q)\\&=\iint_{-\infty}^{\infty}dqdp\,\frac{1}{\lambda}\delta\left(\frac{x}{\lambda}-\frac{\nu}{\lambda}p-q\right)\delta(p-P)\delta(q-Q)\\&=\int_{-\infty}^{\infty}\frac{dp}{\lambda}\delta(p-P)\delta\left(\frac{x}{\lambda}-\frac{\nu}{\lambda}p-Q\right)\neq\frac{1}{\lambda}\delta\left(\frac{x}{\lambda}-\frac{\nu}{\lambda}P-Q\right)\end{aligned} \tag{21}$$

非常需要注意的是：从最右边的Delta函数中看不出P在Q前，所以我们必须以下面的方式继续：

$$\int_{-\infty}^{\infty}\frac{dp}{\lambda}\delta(p-P)\delta\left(\frac{x}{\lambda}-\frac{\nu}{\lambda}p-Q\right)$$

$$=\int_{-\infty}^{\infty}\frac{dp}{\lambda}\delta(p-P)\int_{-\infty}^{\infty}\frac{dt}{2\pi}e^{it\left(\frac{x}{\lambda}-\frac{\nu}{\lambda}p\right)}e^{-itQ}$$

$$=\int_{-\infty}^{\infty}\frac{dt}{2\pi\lambda}e^{it\left(\frac{x}{\lambda}-\frac{\nu}{\lambda}P\right)}e^{-itQ}$$

$$=\int_{-\infty}^{\infty}\frac{dt}{2\pi\lambda}e^{-\frac{i\nu}{2\lambda}t^2+\frac{it}{\lambda}(x-\lambda Q-\nu P)} \tag{22}$$

其中的指数算符是Weyl排序了的，所以

$$\iint_{-\infty}^{\infty}dqdp\delta(x-\lambda q-\nu p)\delta(p-P)\delta(q-Q)$$

$$=\vdots\int\frac{dt}{2\pi\lambda}e^{-\frac{i\nu}{2\lambda}t^2+\frac{it}{\lambda}(x-\lambda Q-\nu P)}\vdots$$

$$=\sqrt{\frac{1}{2\pi\nu\lambda}}\vdots\exp\left[\frac{i}{2\nu\lambda}(x-\lambda Q-\nu P)^2\right]\vdots \tag{23}$$

（2）$\delta(x-\lambda q-\nu p)$的$\Omega$－排序量子化方案。

积分核是$\delta(q-Q)\delta(p-P)$，

$$\iint dqdp\delta(x-\lambda q-\nu p)\delta(q-Q)\delta(p-P)$$

$$=\Omega\left[\iint dqdp\delta(x-\lambda q-\nu p)\delta(q-Q)\delta(p-P)\right]$$

$$=\Omega\delta(x-\lambda Q-\nu P) \tag{24}$$

求出$\Omega(x-\lambda Q-vp)$的Weyl排序形式，得

$$\begin{aligned}
&\iint dq\,dp\,\delta(x-\lambda q-\nu p)\delta(q-Q)\delta(p-P)\\
=&\int\frac{dq}{\nu}\delta(q-Q)\delta\left(\frac{x}{\nu}-\frac{\lambda}{\nu}q-P\right)\\
=&\int\frac{dq}{\nu}\delta(q-Q)\int\frac{dt}{2\pi}e^{it\left(\frac{x}{\nu}-\frac{\lambda}{\nu}q\right)}e^{-itP}\\
=&\int\frac{dt}{2\pi\nu}e^{it\left(\frac{x}{\nu}-\frac{\lambda}{\nu}Q\right)}e^{-itP}\\
=&\int\frac{dt}{2\pi\nu}e^{i\frac{\lambda}{2\nu}t^2+\frac{it}{\nu}(x-\lambda Q-\nu P)}\\
=&\vdots\int\frac{dt}{2\pi\nu}e^{i\frac{\lambda}{2\nu}t^2+\frac{it}{\nu}(x-\lambda Q-\nu P)}\vdots\\
=&\sqrt{\frac{1}{2\pi\nu\lambda}}\vdots\exp\left[\frac{i}{2\nu\lambda}(x-\lambda Q-\nu P)^2\right]\vdots
\end{aligned}\tag{25}$$

（3）$\delta(x-\lambda q-vp)$的Weyl排序的量子化方案。

积分核是$\vdots\delta(q-Q)\delta(p-P)\vdots$，根据（14）可以直接得到

$$\begin{aligned}
&\iint dq\,dp\,\delta(x-\lambda q-\nu p)\Delta(q,p)\\
=&\iint dq\,dp\,\delta(x-\lambda q-\nu p)\vdots\delta(q-Q)\delta(p-P)\vdots\\
=&\vdots\delta(x-\lambda Q-\nu P)\vdots
\end{aligned}\tag{26}$$

比较（23）、（25）和（26）可见，对于同一个$\delta(x-\lambda q-vp)$，其三种量子化方案给出的几何图形截然不同。

理论物理研究心得漫谈

从事理论物理研究的科研人员要想独立完成论文，除了想到一个好题目外，还需得心应手地推导演绎以实现目标。而要进入得心应手的境界，研究者需对四大力学烂熟于胸，融会贯通。

拿骑马射箭做比喻，射箭手要练到心目中能将胯下马、弓箭、靶标和自身（腰、臂、指力）融为一体，整个身体和马的姿态相和谐，方能控制箭出射瞬间位置的高低，速度的方向、大小。不然，若射手与马各行其是，弓箭就瞄不上靶子，甚至射手还会坠下马来。

我们做理论物理的人，先要分别训练“骑马”和在地上“射箭”的基本功，然后跳上马，搭起弓，练习在马的运动中射箭。在思考论文的过程中不断调整自己的目标和方法，即随时协调好欲达到的目标（靶子）和研究心路（射箭的方式和技巧），面对困难要思路多变，只有把理论物理的基本知识融会贯通，才能在途穷时另辟蹊径，左右逢源，柳暗花明。我在处理一个具体问题时往往能联想到与之有关的其他问题，它们中有的是障碍，有的是可持续深入的课题，有的是诱人的陷阱（会吞噬我的时间和精力）。

诚然，漫散的“举一反三”对于科研人员并不一定全是好事，想偏了，就会走弯路。所以，当我真正完成一篇论文发表时，实际上连带着做了五六个与之相关的课题，只是其他的都没有成功，慢慢带着遗憾遗忘。大多数科研工作者都像蝼蚁那样地忙乎，真正能做出一两件确凿的成果就感到幸运之至了。这种辛苦和酸辣不是圈外人所能体会的。

基尔霍夫热辐射定律与爱因斯坦辐射跃迁理论之理解

物理规律往往需要从多个角度去理解，每次理解的深度可能不同。例如傅里叶变换就可以理解为波粒二象性的数学体现。

有一年我出博士生入学考题，其中有一个题目是：试从物理学角度解释为什么北极熊的皮毛是白色的。

对于这个问题，绝大多数考生是从生存竞争的角度来解释的，说白色是冰天雪地中的自然保护色，但这没有涉及物理，不合题意。此题的正确答案应用到基尔霍夫定律（基尔霍夫热辐射定律），由德国物理学家古斯塔夫·基尔霍夫于1859年提出。它用于描述物体的辐射率与吸收比之间的关系。在同样的温度下，各种不同物体对相同波长的单色辐射出射度与单色吸收比之比值都相等，并等于该温度下黑体对同一波长的单色辐射出射度。按照此定律，吸收本领差的白色其辐射本领也差，便于北极熊度过严寒漫长的冬天，不至于很快就把体能辐射出去。

基尔霍夫定律是在化学家本生的实验基础上提出的，实验表明火焰光谱中的基尔霍夫吸收线和太阳光谱的相重合，所以能辐射某条光谱线的物质对此条谱线的光吸收本领强。

一个物体的辐射本领和吸收本领的内在联系是什么呢？单凭实验观测已经很难得出正确的结论。基尔霍夫曾用思维性的实验（Gedankenexperiment）来推导其理论。

设C是一个无限平面型物体，它只能辐射和吸收波长为λ的射线，在其对面有一个能辐射和吸收一切波长的同形物体C'，两物体外表面各装上完美的镜面R和r。对于波长λ而言，设E（*Emission*）、A（*Absorption*）分别为C的辐射本领和吸收本领，e、a则为C'对应的量。如该系统构成一个恒温系统，在C和C'之间发生的辐射和吸收，使恒温体仍保持不变。于是基尔霍夫从热动平衡过程，计算了C和C'之间发生的无数次辐射和吸收，数学上用到了等比级数的求和，最后导出了属于他的定理。

以下我们简化基尔霍夫的理论推导，我们只用C和C'之间的一次辐射和吸收来推导。

我们隔离C'考虑。

C'的吸收分为两部分：一是来自C，所以仅与E有关，第一次吸收为aE；二是来自C'的自辐射再自吸收，由于C'本身还要辐射波长为λ的射线（仅为全部辐射的一部分），这一部分射线也能为C吸收，其吸收量为Ae。而剩余的$e(1-A)$被镜面R反射［即把第一种情形的E换为$(1-A)e$］，C'将由此吸收能量$a(1-A)e$，可见这部分能量不但与e有关，而且与C的吸收本领A有关，这是C'从自身辐射进行的第一次吸收。

故C'第一次吸收的总量为$aE+a(1-A)e$。经过这第一次“折腾”后，C'的辐射本领降低为$(1-A)e-a(1-A)e=[e(1-A)]$。$(1-a)$，所以根据C'吸收多少等于辐射多少的原则，$aE+a(1-A)e=e-e(1-A)(1-a)$

导出

$$\frac{e}{a}=\frac{E}{A}$$

表明物体的辐射本领与吸收本领之比相同。鉴于上述推导中波长和恒温体都是任意设定的，可以进一步写下

$$\frac{e}{a}=\frac{E}{A}=F(\lambda，T)$$

这里的$F(\lambda，T)$代表表面亮度，是一个普适函数。

半个世纪以后，爱因斯坦于1917年将辐射跃迁分为受激吸收、自发辐射和受激辐射三类，这个思想是否受了导出基尔霍夫定律所采用的推理分析的影响，还有待于研究。

爱因斯坦提出的粒子在能级间的跃迁理论中有以下三个过程：自发跃迁、受激辐射和受激吸收。自发跃迁系数A_{mk}表示在没有辐射场的作用下，粒子在单位时间内由ε_m能级跃迁到ε_k能级的概率；受激辐射系数表示系统在能量密度为$\rho(\nu)$的辐射场中，粒子在单位时间内由ε_m能级跃迁到ε_k能级并释放出能量为$\hbar$的光子的概率为$B_{mk}\rho(\nu)$。受激吸收系数则表示相反的过程，概率为$B_{km}\rho(\nu)$。在热平衡下，由于原子各个能级的粒子数保持不变，$\varepsilon_m\rightarrow\varepsilon_k$与$\varepsilon_k\rightarrow\varepsilon_m$粒子数相等，我们用$N_m$和$N_k$表示初始时刻两能级上的粒子数，则有

$$N_m A_{mk}+N_m B_{mk}\rho(\nu)=N_k B_{km}\rho(\nu)$$

上式整理得

$$\frac{N_m}{N_k}=\frac{B_{km}\rho(\nu)}{A_{mk}+B_{mk}\rho(\nu)}$$

根据热平衡下，粒子数服从波尔兹曼分布，有

$$\frac{N_m}{N_k}=\frac{g_m}{g_k}\exp\frac{-(\varepsilon_m-\varepsilon_k)}{K_B T}$$

于是

$$\frac{B_{km}\rho(\nu)}{A_{mk}+B_{mk}\rho(\nu)}=\frac{g_m}{g_k}\exp\frac{-(\varepsilon_m-\varepsilon_k)}{K_B T}$$

其中$\varepsilon_m-\varepsilon_k=h\nu$，整理得

$$\rho(\nu)=\frac{A_{mk}+B_{mk}}{\frac{g_m B_{mk}}{g_k B_{km}}\exp\left(-\frac{h\nu}{K_B T}\right)-1}$$

对比如下的普朗克光谱能量密度公式

$$\rho(\nu)=\frac{8\pi\nu^2 n^3}{c^3}\frac{h\nu}{\exp\left(-\frac{h\nu}{K_B T}\right)-1}$$

我们可以得到

$$A_{mk}=B_{mk}\frac{8\pi h\nu^3 n^3}{c^3}$$

$$\frac{B_{mk}}{B_{km}}=\frac{g_k}{g_m}$$

以上是如今大部分教材给出的推导。假如历史上爱因斯坦是从基尔霍夫那里找到灵感的，我们希望还原当时的爱因斯坦是如何把经典

的热辐射理论推广到辐射跃迁上去的。

对照基尔霍夫的推理过程，我们以此来类比爱因斯坦辐射跃迁理论。思考流程上几乎是一模一样的，爱因斯坦辐射跃迁理论中有三个参数：自发辐射系数A_{mk}、受激辐射系数B_{mk}和受激吸收系数B_{km}，这里我们不考虑自发辐射系数A_{mk}（此参数需要利用普朗克公式推导）；我们把受激辐射系数B_{mk}和受激吸收系数B_{km}分别类比为上述基尔霍夫模型中C的吸收本领A和C'的吸收本领a，当然这样的类比并不是简单的等价关系，因为爱因斯坦的模型中的吸收辐射系数在物理本质上表示的是能级之间跃迁的概率，而基尔霍夫模型表示的是能量占比，而且爱因斯坦的模型中并没有回弹的过程，当然我们可以考虑这样一个假想实验，类似地引入两个能级ε_m和ε_k，考虑到外界入射的光子先从各个能级上打出一部分粒子，打出粒子的多少对应着基尔霍夫模型中的辐射本领，即对应着基尔霍夫模型中的e和E，这里所谓的“辐射本领”即对应着能级的简并度g_k和g_m，而后这两个能级上的粒子相互跃迁，跟基尔霍夫的模型类似，我们最终也需要达到一个动态平衡的过程，直接套用基尔霍夫模型的结论得到

$$\frac{B_{mk}}{B_{km}}=\frac{g_k}{g_m}$$

通过上述推导我们可以体会到两人的思想如出一辙，真所谓英雄所见略同也。我们也能看到纯粹理性思考也能导出正确的物理定律，这是如今的理科生应该借鉴的方法。虽然物理学家玻恩曾说，“在我看来，巧妙的、基本的科学思维是一种天资，那是不能教授的，而且只限于少数人”，但我们以为在大学阶段介绍理论物理的典型思维方法是必要的，也许就对大学生产生了启迪。

（本文与学生吴泽合作）

漫谈怎样自学理论物理

我虽然研究理论物理已50余年，回答这个问题还是心怀忐忑。

理论物理的任务是对物理现象做言简意赅的陈述，是把感觉上升为理性认识。

总结经验，我认为学理论物理最要紧的是学会其独到的科学思维，而不是仅仅打好四大力学的基础就可以。我常常在图书馆看到一些学生在“啃”四大力学，花大力气把朗道和栗弗席兹的理论物理丛书中的理论重新推导一遍，再解题。

那么什么是科学思索呢?

第一阶段的思索是结合物理现实，自己能提出“写意”的模型（参见前文）。

第二阶段的思索是考察已有的物理思想：它们是根据什么来的?用什么方法想出来的?这叫追根溯源，请求其本。每一个重要的物理公式，你在使用它以前，必须在心里知道它的来源。学分析力学，就要知道拉格朗日方程从何而来。学矩阵力学就要问一下，海森堡是如何神光一现的?学狄拉克符号法也要问一下，它是怎么想出来的?如果你能用自己的思路导出来，那就是学有所成。

第三阶段的思索是当自己提出新理论后，怎样使用和推广它。

第四阶段的思索是对于已经掌握的书上的知识，我可以做何推广。

学理论物理要抓住要害思索，譬如学固体理论，就要想一想，能级的概念是如何更换为能带的概念的?

爱因斯坦在1933年说：“创造性原理存在于数学之中”。在1946年写的《自述》一文中，爱因斯坦又写道：“……通向更深入基础知识的道路同时是与最隐秘的数学方法联系着的。只是在几年独立的科学研究工作之后，我才逐渐明白了这一点。”例如，他曾误认为闵可夫斯基把四维时空引入狭义相对论的做法没有必要，甚至觉得把此理论写成张量形式简直就是画蛇添足之举。后来他才意识到闵可夫斯基的做法可促成狭义相对论推广为广义相对论。可见，精美的数学能够对物理概念的形成及深化起到关键作用，学理论物理的人一定要喜欢数学，甚至自己创新数学。

自学理论物理可以培养自己的直觉思维的能力，即先从整体上了解所学章节的内容，直接接触问题的本质。训练日久，就能成为一个自然科学的“思想家”。

另外要谈谈自学物理的参考书使用。

我的经验是：多借几本不同的参考书（其阐述的重点和方式各有千秋），轮流看。翻阅一本，仅解数语，再读另一本，解者渐增，阅读三四本后，解者多半，复从头翻阅，从解至悟，直入物理本质也。

后来，我看到清代桐城派名家姚鼐的文章《与伯昂从侄孙一首》，其中写到如何学写诗：“……先取一家之诗熟读精思，必有所见。然后又及一家，知其所以异，又知其所以同。”这与我的自学物理方法相似。姚鼐又指出：“至其神妙之境又须于无意中忽然遇之，非可力探。然非功力之深终身必不遇此境也。”而想要在自学物理中出成果，臻美入境，需十分功力。用功至久，直觉便会突然而至。

物理是意蕴深远的学问，经得起推敲，故而耐看。这便要求学物理要养成“耐看”的阅读习惯，从多个角度审视同一个物理定律，方能得其真趣。古人有云：“贪游名山者，须耐仄路；贪食熊膰者，须耐慢火；贪看月华者，须耐深夜；贪看美人者，须耐梳头。看书亦有

宜耐之时。”这里所谓的宜耐之时：即是书中的最精华处，值得慢慢品味，齿颊生香，津液自出。从渐悟到顿悟，参透物理，心明眼亮，要经得住寂寞。我曾作诗曰：“探理强如僧参禅，等闲究得便超然。何时自觉已了得，陋室昏灯不记年。”

《新量子光场》绪言

光的本性人们至今未能全知。爱因斯坦于1917年将辐射跃迁分为受激吸收、自发辐射和受激辐射三类，他在1917年写道：我将用余生思考什么是光。时隔34年，他又说：“所有这50年来的沉思都没有使我更接近这个问题的答案：‘光量子是什么？’当然，如今每个家伙认为他知道答案，但他那是在自欺欺人。”

对光的科学探索始于伽利略，他第一个制造了望远镜观测太阳系的行星及其卫星；稍后是费马，他提出光行走的路径最短原理；而后是惠更斯和牛顿争论光是波还是粒子，后来杨氏的双缝实验、马吕斯的光的偏振现象、菲涅尔的衍射理论和麦克斯韦的电动力学支持光的波动说。意外的事情是，对光的研究居然促进了狭义相对论的诞生。迈克尔逊的光行差实验表明地球的旋转不影响光速，使得爱因斯坦抛弃了以太的概念。迈克尔逊热爱光学实验，他说：“如果一个诗人同时也是物理学家的话，他也许能向旁人表达这门学科激起的乐趣、满足，以及近于崇敬的情怀。我承认，这门学科的美学内容对我无论如何也不缺乏吸引力，特别是在研究光的这一领域中，我感受到了它的魅力。”

对光的辐射理论的研究始于克西霍夫，他的理论与玻尔兹曼的熵理论帮助普朗克发现了量子。爱因斯坦从光电效应提出光子的概念，光的波粒二象性促进了德布罗意的物质波理论的诞生。

用量子力学研究原子的光辐射起于玻尔（20世纪初）。狄拉克用量子力学和量子场论的方法深化了爱因斯坦的受激辐射和自发辐射理论，尽管光的波粒二象性促进了光子说的发展，但量子光学真正成为一门学科是由于20世纪60年代诞生了激光，应运而生的有单模光场和

两能级原子的Jaynes-Cummings模型，以及相干态与压缩态光场理论，压缩光的非经典性质也促进了量子统计力学的发展。量子光学是以辐射的量子理论来研究光的非经典性质（即不能用经典光学和经典电动力学来解释的性质）、光与原子的相互作用，以及光的产生、传播、检测的学科。

发现光场的新量子态并研究其非经典性质是量子光学的一个重要课题。我们的研究表明，扩散过程和耗散过程会导致新光场的出现，这也是《新量子光场》一书的内容。我们用自己发明的算符排序论来研究扩散过程和耗散，经过适当的算符排列，使之有序化，就显现了可以用特殊函数表达的新光场的密度算符。也就是说，不将其有序化，则不能见其真面目。而此方法之所以有效，是因为有序的排列使得光场的熵取极小，增加了形成新光场的机会。

有序算符内的积分理论是对玻恩的矩阵论、狄拉克的符号法的补充，对解决量子力学的算符排序问题、表象的扩充与变换理论的多样化都有裨益。

我在写作时，谨记古人的教诲：“文章当自出机杼，成一家风骨，不可寄人篱下。”但限于水平，应该借用元好问的诗句：“枯槐聚蚁无多地，秋水鸣蛙自一天”，以告读者。

《数学物理方法的量子力学观》前言

数学物理方法，顾名思义，这是一门介于数学和物理之间的学科，强调数学为物理服务，在服务中发展和引申数学。但是，物理有自己的特点和独立性，所以能为物理服务的数学都是物理学家锤炼过和精细化了的，用物理学家自己的语言表达的。由于数学家和物理学家的思维方式大相径庭，不少情形下，物理学家要自己发明新的数学分支，并逐步得到数学家的认可。

数学物理作为一门独立的学科也许开始于傅里叶，在1822年出版的《热的分析理论》中他将热传导问题转化为数学分析的方程，在从数学原理出发试图建立统一的物理学方面做出了开创性的研究。傅里叶变换能把一个方波展开为无穷多正弦波的叠加，平静的湖面下原来有暗流涌动，难怪要“风乍起，吹皱一池春水”了。尽管在他以前，物理现象的数学处理在力学中已经是登峰造极了。但是，傅里叶的贡献突出地表明了数学形式的重要性，它既是从形形色色的物理现象中抽象而来，其方程解对不同学科的问题有普适性，又能前瞻将来的学科发展。

“物观无方，因人而异”，搞数学的写《数学物理方法》与搞物理的写出来的不同，从事科研工作的与不搞科研的人写出来的又不同，加之数理是无常中形成的规律，白云苍狗，目前书市上的《数学物理方法》已有多种。

这本书的目的是从量子力学的物理观念出发理解和发展数学物理方法。数学物理方法不应该被视为只是一个摆动于数学和物理之间的“单摆”，时而摆向数学，时而又趋近物理，而应体现数学和物理的水乳交融——从物理概念与物理要求出发架构数学并深入推导，在数

学推导中提炼方法，又能路转峰回地回到物理，以利于读者在熟悉数学公式的过程中把握物理，实现“物理要求—数学推导物理公式—物理含义解读”的三步走。

在写书的立意上，我从量子力学的观点剖析数学，意在取得“会当凌绝顶，一览众山小”的效果；在具体做法上，作者根据多年从事量子论研究所积累的知识，尽量发挥量子力学表象的特点。至于写物理书的风格，应该尽量做到本色天然，外表（形式）简约，内涵创新，气脉畅通，有条理性，就像马三立的相声那样娓娓道来，平易中突起奇崛。

好的数学物理是“文章本天成，妙手偶得之”，然妙手偶得也来自长期用心积累，绝非天上掉下“馅饼”。至于独辟蹊径的数学物理，则是“众里寻他千百度”也是难以得到的。本书的内容中若有读者以为是我妙手偶得的，幸甚矣。

从德布罗意的波粒二象理论和δ－函数谈傅里叶变换

继1900年普朗克提出量子概念以后，出现了爱因斯坦的光电效应解释、玻尔－索末菲原子定态轨道理论（圆满解释了氢光谱线，但此理论与加速电子的辐射理论相抵触）、泡利的不相容原理（每一量子态不可能存在多于一个的费米子）、德布罗意的波粒二象理论，直至1926年海森堡放弃研究电子轨道理论而以实验所能观察到的光谱线的频率和强度为研究起点，才与玻恩等一起揭示了坐标－动量的基本对易关系

$$[X，P]=i\hbar，$$

它不但是量子动力学的基础，也是不确定关系的理论源头。它告诉我们，X与P是不能同时精确地测定的，先测量坐标与先测量动量的两个结果不同。这样一来，处于坐标本征态（精确地测量坐标得x值）和处于动量本征态（精确地测量动量得p值）都只是理想的情形而不能实现。在想用理论处理连续变量量子态时，狄拉克发明了δ－函数。

我以为狄拉克创造的δ－函数是数学物理方法中最能体现物理直觉的范例。狄拉克16岁那年进入一个工科学校，在那里学习如何计算固态结构的应力，由此他萌发了δ－函数（Delta函数）的念头。思考工程中结构负载的时候，有些情况下负载是分布型的，有时负载只集中在一个点上，这两种情形下数学方程不同，从本质上讲，要把这两种情况统一起来就导向了δ－函数的创造。它的主要性质是

$$\delta(x)=\begin{cases}\infty, & x=0\\ 0, & x\neq 0\end{cases}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty}\delta(x)dx=1$$

满足这两个性质的解有

$$\delta(x)=\lim_{t\to 0}\frac{1}{\sqrt{\pi t}}e^{-\frac{x^2}{t}}$$

以及

$$\delta(x)=\frac{1}{\pi}\lim_{t\to\infty}\frac{\sin nx}{x}$$

Delta函数的功能是有利于点源的讨论

$$\int_{-\infty}^{\infty}\delta(x)f(x-\lambda)dx=f(\lambda)$$

故有

$$x\delta(x)=0$$

理想情况下，动量p值确定的波是单色平面波e^{ipx}，弥散在空间中，所以其坐标值难以定义；反之，当弥散的波收敛于一个点x，如同一个经典意义下的有确定位置的质点，就无谓奢谈确定动量p的值，用δ－函数表示。从德布罗意的波－粒二象观点看，这两种情形是同一客体的两个“象”，如何把δ－函数与单色平面波e^{ipq}联系起来呢？它们之间的联系要靠傅里叶变换

$$\delta(x)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}dp\,e^{ipx}$$

此式右边是无穷多单色平面波e^{ipq}的叠加。介于这两个理想情况之间的就是一个波包，它是若干个不同p值的平面波的叠加。所以从量子论观点看，傅里叶变换是德布罗意的波粒二象的体现。

当以最简捷的方式理解理论物理

对于自然界蕴藏着的道理，如诗词那样，各人有不同的理解。理解物理，当以最简捷的方式。例如刘伯承元帅在井冈山当红军军校校长期间，对学员讲什么是“弹道”，他就用小孩撒尿时的轨迹作解释，形象生动，使人容易懂得。

现举两个原子物理的例子。

玻尔的原子模型，电子在轨道上做圆或椭圆运动（加速运动），根据麦克斯韦的理论，电子要电磁辐射而损失能量（光），但这与实验不符。薛定谔想到可以用物质波的波－粒二象性来修正玻尔模型。

在薛定谔的原子模型中，电子可以处在周长等于其物质波波长整数倍的任何轨道上。这是一种驻波，故并不代表电子做加速运动。因此，只要电子保持在其轨道上，它就不会辐射光。

另外一例是关于物理学家泡利的。泡利是一位物理化学教授的儿子，在1925年发表了《不相容原理》一文。他提出描述原子中电子能级的三个量子数应该再加上第四个量子数。解释为在任意一个特定的能级中，允许有两个，而且最多也只能有两个电子存在，其中一个电子顺时针自旋，另一个反时针自旋。我们可以用最简捷的方式理解不相容原理。

从玻尔的原子轨道理论已经知道，质量为m 的电子的轨道半径是

$$r = \frac{\hbar^2}{(Ze)^2 m},$$

Z是原子序数，当Z增加时，电子基态的半径将减小。另一方面，由能量公式

$$E=\frac{-4\pi(Ze)^4m}{\hbar^2}$$

可知，电子被束缚得更紧，于是原子实体将随Z的增加而减小。但这与事实不符，也与化学知识相矛盾。如果电子都挤在同一轨道上，化学反应就难以发生。所以必定存在一种基本原理阻止电子都挤在同一个最低的轨道上。这就是泡利的发现。

20世纪80年代是量子压缩态研究的热门时期，其实只要将坐标本征态$|x>\rightarrow|x/\mu>$的变换算符找到，就在理论上知道压缩态的产生机制。

相干态则是找使得海森堡不确定关系取极小值的结果。好的物理理论，其命题和来源都是可以简洁化的。譬如，我对量子力学的来源以及基本的发展就理解为如下的几步：自然界有生有灭，自生自灭；既然是先生后灭而不是先灭后生，那么产生操作与湮灭操作不可交换，这就暗示存在量子；相应于此，坐标的测量与动量的测量之先后也不可交换，于是必然导致测不准原理；理想情况下，精确测粒子坐标由(x)表示，完全飘忽不定由平面波$\exp(ipx)$表示，这反映了波粒二象；既然测不准，则必有量子论概率假设。

物理学家不应回避形而上学

我在中学的政治课上初次听说“形而上学”是违背辩证法的，是一个贬义词。而古人的解释是：“形而上”谓之“道”，“形而下”谓之“器”。这把我搞糊涂了，后来相当长的一段时期，我就像英国物理学家那样，只关注数学方程，而对“形而上学”这个词不感兴趣。

现在，时光把我带进了“七十而从心所欲，不逾矩”的人生阶段，不妨让我自己来揣摩一下“形而上学”吧。顾名思义，它是探究处在形式以上的学问，是“透过现象看本质”。或是说，是研究超越感性经验存在的学问。再看“形而上学”对应的英文“metaphysics”，意思是“物理学之上”，我才认识到学物理的人了解形而上学是有必要的，它既指哲学方法，又指思维活动。无怪乎亚里士多德将形而上学比作大树树根，是一切知识的根基；把物理学比作树干，把其他自然科学比喻为树枝。

当一个小孩在哈哈镜前看到自己失真的像，他也许会惊愕，抑或哈哈大笑。而读过几何光学的人就不会如此冲动。当我们用自己的感官去看世界的时候，这个世界是否也是像那哈哈镜一样，我们看到的只是表象，而对它的本质只是一知半解或稍有会意？所以，形而上学的研究对象，就是世界的本质。从这个观点看，大多数物理学家的工作都在形而上学的范畴内。

物理学家基尔霍夫和马赫曾提出“物理的任务是用最大的全面性和最经济的思想来描述事实”，那是太高的要求。对此，薛定谔说：如果把这个提法看成是我们唯一的目标，我们就无法在任何科学领域

中推动研究工作前进。因为真正把形而上学排斥出去，等于使得艺术和科学双双丧失灵魂，把它们变成毫无发展可能的枯骨。

从曹冲称象谈到测斑马皮的热吸收率

量子力学源自对热辐射的研究。基尔霍夫发现了一个规律，即物体的辐射本领大，其吸收本领也大。有人提出了黑体的概念，即能全盘吸收辐射光的物体。黑者吸收强，辐射也强；白者吸收弱，辐射也弱，这就是北极熊生来皮毛是白色的缘由，即令它便于在北极的漫长冬季保存体温。于是问题来了，非洲的斑马的毛皮是黑白条形相间的，该如何测量其热吸收率呢?

我想起汉代曹冲称象的故事。曹冲是借助浮力的大小刻划船吃水的深浅来称量载于船上的大象的。所以，我们也可以将同样大小、厚薄、质地的黑白条形相间的皮、黑皮和白皮置于平坦纯净的厚厚的雪地上，在相同的太阳光照射时间内，测量它们在雪地上陷下去的深度，便可以估算斑马皮的热吸收率。

实际上，能否设法估算物理量大小是考验学习普通物理成绩好坏的一个途径。物理学家费米就是这方面的高手。在第一个原子弹引爆时，他撒下了手中小纸片，通过测量爆炸的气浪能将纸片卷出多远，来估计原子弹的威力。

自编物理歇后语

中华文明源远流长，人们在五千年的历史沧桑间沉淀了博大精深的汉语言艺术，其中歇后语有其独特的表现力。歇后语是中国劳动人民自古以来在生活实践中创造的一种特殊语言形式，是一种短小、形象、风趣的语句，给人以深思和启迪，有的还令人捧腹。它由前后两部分组成，像谜面和谜底，十分自然贴切。最早的歇后语句是“亡羊而补牢，未为迟也”，而唐诗中的“东边日出西边雨，道是无晴还有晴”是巧用双关。在一定的语言环境中，通常说出前半截，“歇”去后半截，可以领会和猜想出它的本意，就称为歇后语。歇后语助人品味民俗，提升智慧，明晓哲理。我一时兴起，也尝试编了一些有关物理和物理学家故事的歇后语，希望有耐人寻味之功：

- 薛定谔养猫——存心不良
- 伽利略上比萨斜塔——欲知轻重缓急
- 富兰克林下雨天放飞风筝——不要命了
- 门缝里看小伙——光彩照人
- 蜘蛛丝织网——自旋
- 爱因斯坦对钟表——自管自
- 空山不见人，但闻人语响——量子幽灵
- 卡文迪许称地球——不知天高地厚
- 泡利睁双眼看量子世界——头昏眼花
- 泡利老婆闹离婚——不相容
- 玻尔养生——互补阴阳
- 傅科演示地球自转——显摆
- 电扇冷却半导体——空穴来风

以上歇后语从形式上看是前后两短语的新的组合，又似乎是游戏，能丰富物理人的想象力，给物理思想的拓展以启发；反过来，也给文学的成语以新的物理注解，例如“轻重缓急”，轻、重两物同时下落孰缓孰急呢？这正是伽利略登比萨斜塔想要演示的呀！

物理学家的蒙太奇思维

在拍电影时将不同镜头有机地、艺术地拼接在一起时，往往会产生各个镜头单独存在时所不具有的特定含义，这称为蒙太奇（Montage）手法。例如卓别林把工人群众赶进厂门的镜头，与被驱赶的羊群的镜头衔接在一起，就使原来的镜头表现出新的含义。镜头的推、拉、摇、移等也属于蒙太奇。一般认为，蒙太奇的功能主要有:

（1）通过镜头所摄场面的分切与组接，选择和取舍素材，使要表现的内容主次分明、言简意赅。

（2）吸引观众眼球，激发观众联想。

（3）创造时间和空间的转换。每个镜头都是反映现实的，经过剪辑，再造独特的影视时空。

（4）创造花开两朵、各表一支的叙事方法。

要实现蒙太奇手法，电影导演需有蒙太奇思维，脑中要善于连贯、跳跃、加强、减弱，有排比、反衬的思维。蒙太奇思维有时甚至是荒唐的，但这恰恰对物理学家尤其重要，爱因斯坦曾说：“假如这个思想一开始就不是荒唐的，那么它就没有希望了。”

物理学家德布罗意发现的波－粒二象性可以说是蒙太奇思维的范例。德布罗意年轻时参加过第一次世界大战，在一个气象观测队里服役，因此每日都盯着天气。不久，他意识到要了解天气莫过于观察青蛙，于是，在大战期间他一直跟青蛙待在一起，是青蛙跳水的波纹提示他想到了原子中电子的波。

我自己在长期的理论物理思索中也养成了蒙太奇思维：论文的写作中会按照主题思想，分成许多意念（镜头），再按原定的创作动机，把这些不同的意念有机地、艺术地组织在一起，组成一篇可读性强的论文。例如，对于量子力学玻恩的概率假定，我的脑海中出现了数理统计理论中的正态分布，把这两个理念（镜头）组接起来，就产生了把量子力学表象完备性表述成为高斯积分的想法。

理论物理学家的“下盲棋”思维

唐代文人李肇曾写了《王积薪闻棋》这个故事：

> 王积薪棋术功成，自谓天下无敌。将游京师，宿于逆旅。既灭烛，闻主人媪隔壁呼其妇曰：“良宵雅遣，可棋一局乎？”妇曰：“诺。”媪曰：“第几道下子矣。”妇曰：“第几道下子矣。”各言数十。媪曰：“尔败矣。”妇曰：“伏局。”积薪暗记，明日复其势，意思皆所不及也。

此文写了婆媳分居两室下盲棋的对话被王积薪听录下来的故事。唐代围棋棋盘纵横各十九道线，双方均在横竖线交叉点布子。下盲棋是心中虚设一盘，围棋布子的位置与攻战过程全凭记忆。下棋自命不凡的王积薪暗暗记下婆媳的对话，次日在棋盘上复其势，发现她俩的意思（棋路）皆为自己所不及。说明了天外有天、艺无止境、“学”亦无止境的道理。

作为一个理论物理学家，我读此故事的另一个收获是：这下棋的婆媳脑中各有一个棋盘的图像以及“笛卡尔”坐标，她俩采用的是图像思维。而物理思维的基础是物理图像，所以我以为“下盲棋”思维应该是学研理论物理者的必修课。再说，理论物理离不开数学推导，它与一般的数字心算不同，而是在脑海中推导数学公式，是一种特定的结合物理概念和数学演算的图像思维，是一种“自我对弈”，而这需要学物理的人从年轻时就开始有意识地训练。物理学家费曼就擅长于图像思维，依靠这种思维方式发明了量子场论的费曼图和量子力学的路径积分描述。

谈教师怎样出考题

教师如何出考题：我教物理几十年，理论物理、普通物理都教过，也出过许多次考卷，题目很少从已经有的题库中提取，而是自己变通着出。

有两种变通法：一可称为“换骨法”，即不改变题的物理目标而变换题面；二可称为“夺胎法”，即规摹物理目标重新形容之。好的学生有物理感觉，既不会被题面变换而迷惑，也不会因变化的题意而失去物理原则。教师出每一道题都是为了考一个知识点，中学生解物理题，在读题后首先要揣摩出题人要考什么知识，弄清楚题意好比了解一首诗的诗眼。

教师最容易出的题是只需套对应课程所讲到的基本公式；稍难一些的是通过换骨法来出题，即不易其意而造其语；再难些的是通过夺胎法来出题，即规摹其意形容之；最难的是出联系几种物理现象的综合类比题。

那么出题如何“换骨”呢？以作诗举例。如盛唐诗人王昌龄的《闺怨》一诗：

闺中少妇不知愁，春日凝妆上翠楼。
忽见陌头杨柳色，悔教夫婿觅封侯。

诗句写一位少妇登楼为春色所感，用二十八字写出一段心路历程。这是一首抒情诗，又是一幅风俗画。从少妇情绪的骤变，细腻地表现了春闺之怨。写相思之情却从“不知愁”导入，与后两句之忽然

悔悟形成鲜明对照。《唐诗摘钞》评价：“闺情之作，当推此首为第一。”

我以为这首诗的诗眼可以用“为他期富贵，令我误春秋”来表述，即不易其意而造其语。

所以可以将此诗“换骨”如下：

何故教夫婿，匆匆杖策游。偶然牵别绪，顿悔觅封侯。远道情无限，深闺恨不休。为他期富贵，令我误春秋。塞北山河壮，楼头日月流。早知春若此，不必利名求。

那么出题如何“夺胎”呢？例如读杜甫的诗《江南逢李龟年》：

岐王宅里寻常见，崔九堂前几度闻。
正是江南好风景，落花时节又逢君。

这首诗是感伤颠沛流离、乱世浮沉的。身在江南好风景，却逢落花时节，语极平淡，内涵却值得回味。

我以为这首诗的诗眼可以用“花落诚惊我，时更又值君”来表述，即规摹其意形容之。所以可以“夺胎”如下：

光阴真似水，袂记去年分。花落诚惊我，时更又值君。拼将多醉酒，重与细论文。鸟逐东风倦，人因旧雨欣。迁移惟日月，聚散似烟云。共把离踪叙，江楼日未曛。

再读唐代李群玉的《秋登涔阳城》：

万户砧声水国秋，凉风吹起故乡愁。
行人望远偏伤思，白浪青枫满北楼。

穿针楼上闭秋烟，织女佳期又隔年。
斜笛夜深吹不落，一条银汉挂秋天。

这首诗的最后一句“一条银汉挂秋天”总结了外乡人在秋季的孤伤，可以用“直疑云带系，却异月钩悬”形容之。所以可以“夺胎”如下：

皎皎如银汉，秋光一色妍。倒浮形落水，斜挂影横天。牛女无情隔，蟾宫有意连。河垂低渡雁，叶落遍鸣蝉。天路谁拖练，霜神欲掉船。直疑云带系，却异月钩悬。槎拟邀骞泛，桥将倩鹊填。昭回咸仰止，定有快游仙。

此谓诗眼诗解也，教师出任何一门考题可仿之。

闲游古今

马可尼的走运和蔡元培的愧疚

1933年12月，无线电发明家古列尔莫·马可尼（Guglielmo Marconi）勋爵夫妇应邀访问国立交通大学（现上海交通大学）。12月8日，交大举行马可尼纪念柱植基礼。那天，马可尼轻抚闪闪的铜柱，亲手铲开土壤，然后将高高的铜柱植立于工程馆前草坪之上。中央研究院院长蔡元培及社会各界知名人士，会同时任校长及千余名师生，用热烈的掌声见证了这个简洁而又深刻的典礼。

马可尼1874年出生于意大利。1895年，年仅21岁的他就发明了无线电。而后他不断提高无线电装置的发射功率和接收机的效率，相信可以将无线电波发射到遥远的地方并在那里接收到它。他踌躇满志地试验向大西洋彼岸发送信号，志在必得。但比他物理知识丰富的专家们嘲笑这个举动，对马可尼说，无线电波像光一样直线传播，不可能沿着地球表面（球面）行进，故而会射向太空散失。马可尼不听劝，终于在1899年成功实现了横跨英吉利海峡的无线电通讯。当时收到的电文如下:

“你的来电收妥无误，而且很清楚。”

这是世界上首次使用电磁波通讯，马可尼因在无线电报领域做出卓著的创新而荣获诺贝尔物理学奖。

马可尼太走运了，他的成功是因为大气中有一个电离层，使得从地面射来的无线电波发生折射和反射。无论是他还是专家们当时都不知道这一点，尽管专家们的逻辑分析是正确的。至于电离层的形成原理则如同光电效应，爱因斯坦曾仔细分析过紫外光使气体电离的物理原理，当然这是后话了。

马可尼的声名鹊起是因为有贵人相助——他得到了时任英国交通部交通总监普鲁斯的大力支持。普鲁斯也是一名电气科学家，他邀请马可尼去英国，把自己的成果一一介绍给他，还在英国帮助马可尼成立研究室及申请无线电收发设备的专利。当然，普鲁斯这么做，是为了让英国在通讯方面走在世界前列。

我曾于1987年在加拿大访问时去了一趟大西洋中的纽芬兰岛，岛上有马可尼纪念馆。1901年，马可尼在纽芬兰收到了发自英格兰康沃尔的信号“S”，这一成功也得益于高空中的传导层对信号的反射与折射。

馆中陈列了不少马可尼获得的奖励证书，但没有提到诺贝尔物理学奖。我感到不解，就向值班的一位女馆员说起。馆员很惊喜，原来她竟从未听说过这件事。

在1933年12月8日上海各学术团体欢迎马克尼的茶话会上，蔡元培说：“无线电的学，在马可尼先生以前，如德国的赫兹，英国的麦克斯韦……均可为马可尼先生之前驱，而我们却没有这一种经历，这是我们不胜惭愧的。”他又说：“我们只要肯努力，绝不是束手无策、专趁现成的。”到了1936年，蔡元培痛心地写道：“我国人士，由来尤多好高骛远。专尚空话，以致有科学落后之今日。”

知道落后而感到愧疚的人是值得尊敬的。如今，中国的科研实力已能自立于世界民族之林了，蔡公元培可以含笑九泉了。



上海交大马可尼纪念柱

在上海交通大学110年校庆之际，马可尼纪念柱复原重建。担当起马可尼纪念柱的保护工程设计的是上海交通大学教授张炯。那高达20尺、直径寸余的圆柱，形如第一次开启人类通讯新世界的垂直天线。铜柱下有大理石基座和花岗石板铺地，营造出一个意味深长的场所，象征蓝天中飞扬的创新精神。基座两面镶嵌大理石，分别雕刻“天线铜柱”和“马可尼纪念柱”字样。



碑上的文字

望黄麓镇西黄山日落

甲午年（2014年）十一月初九，好友贾新德见我写论文辛苦，开车载我去游巢湖。在黄麓镇洪家疃古村瞻仰张治中（张文白）将军故居时，适逢太阳西沉，金光霞羽在天空中廓出山峦延绵般的画卷，甚是壮观美丽；东边天空则月亮已经升起，日月同辉，极为难得。此景赏心悦目，令我们不禁感此地人杰地灵，久久不愿离去，并拍照赋诗:

范洪义甲午年十一月初九

凝目血阳西山沉，
金光霞羽廓峦痕。
转颈望见半轮月，
不知何时已东升。
虽说日月行有律，
片云飘忽无常循。
来日重游会夕阳，
难摹此景此风情。

坐车回合肥的路上，看着晚霞，我想起了光的瑞利散射。1871年英国物理学家瑞利首先研究出光的散射能力与光波波长的四次方成反比，波长愈短的电磁波，散射愈强烈；入射光在线度小于光波长的微粒上散射后，散射光和入射光波长相同。

正午时，太阳直射地球表面，太阳光在穿过大气层时，各种波长的光都要受到空气的散射，其中波长较长的光散射较小，大部分传播

到地面上。而波长较短的蓝、绿光，受到空气散射较强，天空的蓝色正是因这些散射光而呈现出来的。

日落时，太阳光在天空中要走相对较长的路程，人眼看到的阳光中的蓝光大量散射掉，波长较长的红橙色的光则不易发生散射。这就是晚霞是红色的原因。而我们这次看到的金黄色，算是殊为难得的美景了。

瑞利幼时并不是爱学习的人，后来发奋终成伟业，光的散射理论只是他诸多物理贡献中的一个。

我们的先辈常有感叹夕阳的诗，如“夕阳无限好，只是近黄昏”，但有谁去研究晚霞是红色的原因呢?

景观万物皆自得。随物赋形，从庄子看是原天地之美而达万物之理，传到中国古代士大夫演化成随心赋形，实际上是他们修身养性的境界了。他们没有观物究理，而是把万物景观归于禅空，我想这是中国的物理落后于西方的原因之一吧。



(a)



(b)

范洪义望黄麓镇西黄山日落

悠闲的失眠

失眠对于大多数人而言是令人心情不快、精神不爽的事。有的失眠之夜恰逢有雨，那一宵的滴檐声使人千遍数惆怅。

失眠的原因很多，因人而异。我的失眠常常是由于日间考虑物理数学问题未得进展所致，对问题答案求索的迫切与执着，对似是而非结论的疑惑或排解，对新思想或新方法涌现的期盼，都在脑海中纠缠，以至于思绪汹涌，不失眠才怪！可当我望着窗外的繁星，它们眨着眼，“星月无眠，无意诉清苦”，我又何必自己再折磨自己呢？既然失眠了，就抱着既来之，则安之的态度，脑子里随它爱怎么想就怎么想，让大脑的活动充分悠闲顺畅起来。不经意之际，有时居然能有灵光一现，便赶紧爬起来，找纸笔记下，第二天再仔细推敲。例如，我的一个科研工作，关于连续纠缠态表象的构建，就是在失眠的状态下想到的，这是悠闲的失眠带来的好处。

明代画家沈周曾画了一张《夜坐图》，并详细描述了他在夜坐时得到的灵感。南宋爱国诗人杨万里也写过《书斋夜坐》，其中两句是“酒力欺人正作眠，梦中得句忽醒然”。失眠也给唐代诗人张继带来好处，那一年他科考名落孙山，失意回家途经苏州，于失眠中诵诗《枫桥夜泊》，诗中的“江枫渔火对愁眠”就是指自己愁而未眠。如今这首诗已经成为千古绝唱，这是张继自己未曾想到的，真所谓：唯将终夜长开眼，报答平生未展眉。

夜坐时为什么容易灵感闪现呢？原因之一是万籁俱寂，心静下来了。古人云：心者，函性、情、才而统言之也。才不易循乎道，必贞其性。性之不存，无有能尽其才者也。性隐而无从以贞，必绥其情。

情之以荡，未有能定其性者也。情者安危之枢纽，情安之而性乃不迁。故天下知学道者，莫不以安心为要也。

学物理之人，对付失眠的一个方法是用相对论理论自我调剂。觉得漫漫长夜难过的失眠人，盼着天快亮起来，仿佛时间变慢了呢。根据相对论，时延伴随着尺缩，即人的长度要变小，缩呀缩呀，变成一个婴儿身，回到了娘胎里，数着胎息，想着漫游奇境的爱丽丝的荒诞经历，如此漫无边际地想着，就会蒙眬睡去。

我与竹诗

我是学物理的，专业是“格物致知”，曾对明代大儒王阳明的格竹故事感兴趣。王阳明为何格竹，而不是格梅或松呢？我想可能是受“胸有成竹”这个成语的影响。遗憾的是，王阳明盯着竹子看了七天，精疲力竭，没有收获。而我盯着狄拉克的符号看了几年，总算发明了有序算符内的积分理论。可见，格物是为了发现问题而后解决之。

清代郑板桥爱竹，画竹，又是“难得糊涂”句的造者。我曾为此凑了四句以致敬仰：“爱绕竹林行，追寻糊涂难。望竹慕板桥，抚笋欲冒尖。”此处也将郑板桥的入世（先考取进士）与出世（后辞官）的矛盾统一比喻在竹上。

关于竹，文坛有不少诗和对联。带“竹”字的成语也不少，如“青梅竹马”“破竹之势”“品竹调丝”“竹篮打水”“竹清松瘦”“竹烟波月”“丝竹管弦”“破竹建瓴”“曝书见竹”等。除了“竹篮打水”“罄竹难书”，其他都是褒义的。

宋人徐庭筠《竹诗》中有：“未出土时先有节，便凌云去也无心。”

将竹人格化，很是风格高洁，志向远大，但到了云端不免有“恐惊天上人”的感觉。于是我补充一诗为：“扎根可墙隅，入室贫不嫌。家徒四壁处，亦有晾衣竿。”便是竹的放低身段、和蔼可亲了。白居易有诗句：“但对松与竹，如在山中时。”按此理解，家中有晾衣竿，也等于驻足山中了。

人生淡泊缘竹情，物性质朴谐篁影。细细的竹竿在夏天更是可以用来支撑蚊帐，轻巧挺直，配上纱帐妙不可言。如今超市卖的蚊帐其支撑物居然是可拆卸的钢管，与轻袅的纱帐极不般配。“竹因风静平安久，花为春寒富贵迟。”睡卧在细竹竿支撑起的纱帐里，感觉平安得很。

有一次去佛子陵，看到漫山遍野很多粗壮的竹笋，便写了一副对联：“山笼烟雾失参差，笋拔高节探虚无。”这与讽刺联“山间竹笋，嘴尖皮厚腹中空”形成鲜明对照。可见，同样一个东西，在张三看是优点，而在李四的评价中却可能是缺点。人言可畏，竹若有灵，不知作何感想了。

在佛子陵旅游景点入口处，从老乡处买了几支硕大的竹笋，回家煮了吃，嫩滑爽口，才知道“山间竹笋，嘴尖皮厚腹中空”说是多么的冤枉。

与科研有关的对联

对联，中国的传统文化之一，又称楹联或对子，是写在纸、布上或刻在竹子、木头、柱子上的对偶语句。对联对仗工整，平仄协调，是一字一音的中华语言独特的艺术形式。对联相传起于五代后蜀主孟昶。对联是中国传统文化瑰宝，信口吟出对联是古代随机识别人才的依据。明代万历年间，浙江某提学试士于鄞，谒圣庙毕，坐明伦堂。顾阶砌古槐阴凉极浓郁，出一联令诸生属对云：“绿槐夹砌，午阴匝地扫难开。”（扫：将秫秸、树枝捆扎成圆柱形）杨昆阜庶子应声对曰：“红杏出墙，春色满园关不住。”提学赞叹曰：“子必状元及第也。”果中甲辰会状两元。在我看来，此上联的水平高于下联，而且是即景吟出，怪不得能当提学呢！

好的对联可以训练人的联想和类比能力，我曾写过一些与科研有关的对联：

研者心中尊寂寞，苦僧眼下泪不弹
书看厚薄翻成悟，思游左右始见才
精思深处文章老，学问厚时意气平
诗境有禅顿悟易，空门无框遁入难
物以变幻含理趣，人因思考长精神
山涧诵词难世情，寺壁题诗自禅意
河道拐弯鱼不知，山势逶迤泉有灵
莲脱蓬壳家已破，珠入蚌室胎暗结
灵感出积思，直觉始木纳
解惑出简明，穷理入精微

而包含物理知识的对联更是难得，我勉强才凑了几幅：

坐地平扁却是球，见光直行难为波
月痕着地如何深，镜像虚返总是薄
雷声落地失踪迹，闪光裂天眦混沌
坐梯失重轻，对镜迷左右
光速尚可测，人心却难参
应识月光谱，慎读离人愁
虫叫境中寂，脉搏心里音
雾起掩泾渭，空调造炎凉
千秋几人圣，万象一式描
风吹桥孔箫，波谐瑟瑟涛

关于心静的对联则有：

饮泉尝淡泊，听瀑忘寒暄
歌莺天成嗓，清客自然心

读书苦——诗五首

读书有为利益的，有为纯粹添加知识的。宋末遗民翁森（生卒年不详），字秀卿，号一瓢，曾写《四时读书乐》。殊不知，读书也有苦，因为知识越多，忧虑越多。不知有天的人不会杞人忧天，没有地球构造常识的人不会忧虑地震，没有股票常识的人不会挂念熊市。所以，我写下“读书苦”诗五首：

（一）

读书便是煎熬时，童心始摧有谁知。
鸡鸣一声唱书卷，却看父母日睡迟。

（二）

读书却是纠缠始，道是有知却无知。
落第范进虽中举，屠夫掌下一书痴。

（三）

读书原是挑战事，身心分秒受压制。
平常心随流畅笔，考场手僵唯呆滞。

（四）

读书最忌是面试，脸崩嘴咧跳牙龇。
早点岂敢喝稀饭，两股颤颤尿泌时。

（五）

读书原来无限事，便是退休也相思。
万卷书籍床前堆，书虫入肚不合时。

唉！乐岂文人得，渔樵古道享。

看吴冠中的画对研究物理的启示

我喜爱吴冠中的画，例如他画的江南风景《水乡》，只是一两笔带过的黑瓦屋顶，一两根灰直线画出白墙壁，再以淡墨衬以树石，江南人家的情调便在眼前。他是善于把复杂的事物归纳、锤炼成单纯、素净之美的高手。

吴冠中善于以简练的水墨线条和皴染的手法，以墨、灰、白三色为主调，成功地表达出中国情结。这种提炼手法和淡色调，是中国画的基本情调。吴冠中养成了一套删繁就简的特殊手段，复杂的景物对象在收入画面时，该去掉的就干脆去掉，该入画的便用极其利索的线形和色彩予以约定。

他擅长于把复杂的画面有条不紊地纳入一个统一的调子中处理，使混乱显出秩序，化为规律的美。在画面上画满纵的、横的、不规则的黑色、灰色，粗细不一的线，间以他爱用的印度红、翠绿、鲜黄的线或点。画面上满铺毫无规律的点和线，看起来十分复杂，但给你的印象不是乱麻一团，而是动中有静，乱中有序。作者的满腔激情，全都寄托于这些纵横错落、疏密阴阳、空（空白）中有色、色中有空、空即是色、色即是空的美妙秩序中。

我们学物理的，若能把复杂的现象有条不紊地纳入一个统一的理论框架中，彰显出规律，就是上乘之作。

我欣赏吴冠中的画的另一原因是仰慕他的人品和美学论。盖学画者先贵立品。立品之人，笔墨外自有一番正气浩然之概。文如其人，画亦有然。

小议不朽的理论物理文章——旷如无天，密如无地

什么样的理论物理文章是可以穿越时空的呢？即什么文章能成为经典而不朽呢？我以为是那些能在以精密为特质的自然科学中寻找一些既伟大又简洁的思想的文章，那些寻找一种包罗万象的统一自然观的文章，旷如无天，密如无地，以及寻找独到的有效的科学方法的文章。读这样的文章，如在旷野逢雨过初晴，如在山亭眺万里长江，清爽洞达。

杜甫说：“文章千古事，得失寸心知。作者皆殊列，名声岂浪垂。”

对于文学作品而言，因为作文无定法，内容无定向，所以才会“得失寸心知”。但是对于自然科学的文章，写得好，还是写得不好，所寻出的定律、公式是否亘古是有理可循的，每个旁观的科学家的内心都能感受到，作者自己心里也知道。严肃的科学家不会发表错误的文章以浪得虚名。

关于文学作品，南宋诗人陆游的《文章》写道：

文章本天成，妙手偶得之。
粹然无疵瑕，岂复须人为。
君看古彝器，巧拙两无施。
汉最近先秦，固已殊淳漓。
胡部何为者，豪竹杂哀丝。
后夔不复作，千载谁与期？

译作现代汉语便是：文章本是不加人工，天然而成的，是技艺高超的人在偶然间所得到的。纯白没有瑕疵，并不需要人力去刻意追求。你看古代的彝器（青铜祭器），精巧、笨拙都不能改变。汉代离先秦最近了，但文章的深厚、浅薄已有了很大的差异。胡人的音乐是怎样的？就是一些管弦与丝竹。后夔（传说是舜的乐官）不再写音乐了，千年以来，谁又能跟他相比拟呢？

但自然科学的精辟文章，天然而成和偶然得之都是不可能的。

我的朋友何锐分析道：陆游的“文章本天成，妙手偶得之”是说出了为文者须不刻意方能成其妙道，而杜甫的“文章千古事，得失寸心知”则显示了为文者须苦心孤诣、精益求精文章方得佳境的另一面。用心与不用心似乎是对立的，但其实也不尽然，一个大师级的人物在不经意中能够口吐莲花，而一个三家村学究穷其一生也未必能得片句得意语，即便自觉得意，亦未免贻笑方家，此格局不同也。

然而，无论是文学作品还是科技文章，在“天成”与“偶得”之间都需要付出足够的汗水与苦思。

独有书癖不可医

人之求学，为异日自立计，为一生学问计，为国家尽职计，为精神愉悦计，本无所谓苦累。好学者不见其苦，只见其悦，故其读书无往而不乐也。

读书对我而言是精神旅游。我在旧书店站着翻书，就是在“旅游”。当我看游记，就是跟着作者或是在湖光山色中，或是在洞穴深隧中，或是在悬崖峭壁下欣赏大好河山，磨砺内心。当我看古文，似乎是在与古代贤人叙谈，向他们学诗书礼仪，想象他们的模样。

陆游有诗句：“人生百病有已时，独有书癖不可医”。我是一个有书癖的人，积多年之经验，我觉得一个合格的书癖需符合以下几个条件：

（1）对书有收藏意识。家中书藏甚丰，古书、新书，科技书、文学书皆有。我还有一本普朗克在1930年出版的物理书（要是有他的签名就好了）。

（2）知书之优劣。一上手，便知是否值得买；也了解版本学。

（3）常逛旧书店、书摊。只要有闲钱，见好书即购。买书不是做摆设，让人觉得自己有学问。

（4）爱惜书，为之掸灰、包装。

（5）重要的是手不释卷，古书今用，旧书新用。我常对学生说，一本科技书只要有一段叙述或是一个公式可派上用场，就值了。

（6）等自己老了，为自己的书妥做安排，将它们转到爱书的人家，得其所哉。我不忍心让爱书去废品回收站落一身灰。至于厚着脸

皮，去摆个书摊，也未尝不可，与逛书摊的人聊聊读书心得，更是别有一番情趣。若能以逛书摊结良友，那更是天公作合了。

我患书癖病已有几十年了。幸好，书癖不等于是书呆子，读书是为了使自己脑子更加好使。

如今，很多人都在网上看书了，以后还会有纸书吗?

谈名气

古人云：世誉不足慕，唯仁为纪纲。隐心而后动，谤议庸何伤？无使名过实，守愚圣所臧。

搞科研的人或多或少都重视名声，认为闻名遐迩是大众对其劳动的尊重，是对他科研成果的承认。其实，自以为名气大的人，其成果在大众眼里真正得到的了解度小得可怜，大众津津乐道的往往是名人的一些别的什么事情。

我有一个学生，念博士学位前在上海某家网络公司任职。他的一个同事在一篇文章中把一个人名中的“政”误写为“振”，我学生向他指出：

“这应该是李某某的‘政’。”

“李某某是谁？”

“噫！李某某你都不知道，那与李某某一起出名的杨某某你总该知道吧。”

“杨某某是谁啊？不知道。”

“就是在82岁那年娶28岁的妻子那个。”

“啊，那我知道，那我知道。”

出了名以后的另一个结果是得到大众的盲目崇拜。爱因斯坦说：“……有了名气，我变得越来越笨拙。当然，这是一个非常普遍的现象。一个人的实在水准与他人对此人的评价之间，或是与人们嘴上所讲的对此人的看法之间，严重地不成比例，但是此人必须以强烈的幽默去接受所有这一切评价。”

秘鲁作家、诺贝尔文学奖得主略萨说，1996年他第一次来中国，没有人知道他是谁，也没有记者跟踪报道他，他以一个纯粹的旅游观光客的身份品味中国古老文明的风情，感觉好得很。但15年后，在得了诺贝尔文学奖后再来中国，觉得访问已经乏味。因为记者无休止地采访他，问一些他不想回答的问题，使得他不再能平静地生活和有计划地工作。对于一个不稀罕名气的人来说，名气是累赘。

印度裔美国物理学家钱德拉塞卡逃脱了不少大科学家成为自己成就的俘虏并远离创新之路的命运，拒绝了行政权力和威望的诱惑，没有躺在已有的辉煌成果的温床上沾沾自喜，他认为：个人想象力、洞察力在所在研究领域的充分发挥才是满足。

但也有名人为自己出名而沾沾自喜，借之幽默一把的。萧伯纳是英国有名的戏剧家。有一次在苏联，他看到一个小姑娘，长着一双闪亮的大眼睛，头上戴着大红蝴蝶结，显得聪明伶俐。萧伯纳非常高兴，同她玩了很久。

临别的时候，萧伯纳把头一扬，幽默地对小姑娘说：“别忘了回去告诉你的妈妈，就说今天同你玩的是世界闻名的萧伯纳！”

“先生，您就是萧伯纳？”

“怎么，难道我不像吗？”

“可是，您怎么会说自己了不起呢？请回去也告诉您的妈妈，就说今天同您玩的是一个普普通通的小姑娘！”

萧伯纳愣住了，觉得刚才自己太自以为是了，一时不知说什么才好。

后来，萧伯纳常对人说：“一个人无论取得多大的成就，都不能骄傲，要永远谦虚。这就是那位小姑娘给我的启迪。”

低调的中国计算机汉字激光照排技术创始人王选在享誉海内外以后说：“名人是过时的人。”可是，持此观点的人有多少呢?

看似寻常最奇崛

记得有一次和几个研究生一起用工作餐，我建议每人讲一个搞笑的小故事或是一个小智力题。轮到我时，我说：“在十二生肖字中选两个组成一个词，其意思要与这两个生肖字的通常含义相悖。”思索两分钟后，没听到正确回答，于是我漏了底——是“马”和“虎”，它们都是有精、气、神的动物，但“马虎”合用则用来形容某人办事草率或粗心大意，其组成的成语“马马虎虎”也是此意。

其实答案谁都知道，一时想不起来尔。但也有答案看似显然的问题，换一个角度来提就不易答出。

有一次吃饭，我又问物理研究生们一个稍微难一些的问题：“中文有很多成语，哪一个与物理常识相悖？”他们面面相觑，答不上来。我直到用完餐才公布答案，那个成语是“红得发紫”。太阳光经雾层或三棱镜可色散出七种颜色，红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫，那红色离紫色远着呐，怎么会“红得发紫”呢？众人抚掌称趣。

闻名强似眼见——想象的风景

最近看到一篇文章，提到爱因斯坦的一位好朋友曾经问他在世界各地旅行讲学期间看到过哪些有趣的景色。但这个问题让爱因斯坦感到厌烦，他回答说：“我过去常常幻想那些遥远的地方，它们在我心目中美丽而有趣。但是我亲眼看到它们之后，通常使我感到失望。它们在我想象中的形象更令我激动。”

这番回答使我回忆起一个美国名教授约翰·克劳德（John Klauder，相干态专家）曾让我作陪去西藏拉萨访问。临行前，他怀着憧憬的心情说：“我在7岁时听到拉萨的有关介绍，就想有朝一日一定去这块地方旅游。如今我的梦想就快实现了。”我被他的热情所感染，陪他坐飞机从成都到了拉萨，游览了布达拉宫和大昭寺。在回程中，我却没听到他一句有关在拉萨所见所闻的谈话。现在想来，克劳德是否有与爱因斯坦同样的对景物的感受呢?

实际上，世界各地令人激动的景色是不少的，但大多数人没能将其所观表达出来，以至于日后印象淡薄了。山水也要名人扶，不少巍山大川，甚至亭台楼阁，有名人赋之，则给游客的印象就深了。例如唐代李白所作的一首五绝《独坐》，“众鸟高飞尽，孤云独去闲。相看两不厌，只有敬亭山”，是将敬亭山拟人化，表达诗人以旷世的孤独感游敬亭山的情趣，后人游览敬亭山者络绎不绝。如果爱因斯坦能在某个景点写个游记，或是像伽利略在比萨斜塔上扔块石头那样演示一点物理知识，此地大概会声名大增吧。

至于为眼前所见而激动则属唐朝文学家柳宗元表述最为深刻，他被贬永州期间，曾“以为凡是州之山水有异态者，皆我有也”。直到

有一日游西山，身心与大自然融为一体，“然后知吾向之未始游，游于是乎始”。

却道天凉好个秋

金秋好爽！

环顾四周肃杀之状，耳听树杈的摇曳声，自然就想到欧阳修的《秋声赋》。欧阳公写道：

> 嗟乎！草木无情，有时飘零。人为动物，惟物之灵；百忧感其心，万事劳其形；有动于中，必摇其精。而况思其力之所不及，忧其智之所不能；宜其渥然丹者为槁木，黟然黑者为星星。奈何以非金石之质，欲与草木而争荣？念谁为之戕贼，亦何恨乎秋声！

翻译成现代文则是：唉！草木是无情之物，尚有衰败零落之时。人为动物，在万物中又最有灵性，无穷无尽的忧虑煎熬他的心绪，无数琐碎烦恼的事来劳累他的身体。只要内心被外物触动，就一定会动摇他的精神。更何况常常思考自己的力量所做不到的事情，忧虑自己的智慧所不能解决的问题？自然会使他红润的面色变得苍老枯槁，乌黑的头发变得花白。（既然这样，）为什么要以并非金石的肌体，去像草木那样争一时的荣盛呢？（人）应当仔细考虑究竟是谁给自己带来了这么多残害，又何必去怨恨这秋声呢？

从1964年我考上中国科技大学至今已五十多年。五十年，对于宇宙的年纪来说只是片刻，而对人生来说是多么绵长！而能够聊以自慰的是，在这五十多年里，我时刻不曾懈怠。无穷无尽的格物思索袭扰着我的心绪，脑汁被绞尽去浇灌解决新问题的智慧，尽管这动摇着我

的精神，使我早早变得鬓发花白，我却从不曾考虑究竟是谁给自己带来这形骸，也从未怨恨这秋声。

五十年来我犹自沉浸在那些物理定律与数学符号公式中，“饮泉尝淡泊，听瀑忘寒暄”。发表的800篇SCI论文——那些用沉甸甸的铅字所表达的自成系统的优美公式，是我的孩子，我的骨血。“为君向隅深沉吟，且在论著寄寂寥”，我为着它们的面世，呕心沥血；为着它们出落得更加俊美，细细梳理。

五十年来，日日读物理大师们的高论并努力发展之，如同与他们神交，我并不孤独，有科学与我做伴，我变得真实，不屑矫揉造作。

我虽不是驰骋在战场上的荷枪实弹者，但也饱尝屡败屡战的苦涩与艰辛，“一篇精湛文，几回梦里醒”。时光挟裹着那些数学文字，连同我倾注到文字缝隙间的智慧、情愫，到了它们该去的舞台——那是面向世界的崭新亮相，简洁、潇洒、神采飞扬。

所以，我坦然：对得起这五十年的时光！

身在红尘，我还没有修炼到面对伤害无动于衷的境界，也没有淡泊到面对名声“却道天凉好个秋”，我承认，我不够真正意义上的坚强与超脱。好在，唐诗宋词之轻灵博大给了我无边的慰藉，沐浴其中，心境澄明，每每所思所悟，诉诸笔端，诗情画意，自怡自乐，“闲诗散步缉，灵感梦里寻”。

爱因斯坦在遗嘱中写道：“除了我的科学理想和社会理想不死之外，我的一切都将随我死去。”扪心自问，这世上，究竟有几人能有如此的底气说出此等豪言壮语？爱因斯坦做到了这一点，而平凡若我者，虽不能至，心向往之。

秋季，带着天地之严凝之气而来，我了悟她的前世今生，她经过迸发了全部热情的春天、倾泻了所有汗水的夏天一路走来，她经过了莺飞草长的萌动、骤然风雨的洗礼，这才显现高旷气爽的神怡。

我从容地迎候着这“一阵雨丝一层凉”的季节，“西风起旖旎，笑嫣遣入怀”。

试申严复“物竞天择，适者生存”的意义

清末民初的严复翻译了英国著名学者赫胥黎的讲演稿《天演论》，该书主要讲述了宇宙过程中的自然力量与伦理过程中的人为力量相互激扬、相互制约、相互依存的根本问题。严复译述《天演论》不是纯粹直译，而是有评论、有发挥，对中国近代思想界起到了启蒙作用。严复主张“物竞天择，适者生存”，是说人要适应变化的环境。

胡适回忆：“（在澄衷学堂）有一次，他（国文教员杨千里）叫我们班同学买吴汝纶删节的严复译本《天演论》来做读本，这是我第一次读《天演论》，高兴得很。他出的作文题目是‘物竞天择，适者生存，试申其义’。这种题目自然不是我们十几岁小孩子能发挥的，但读《天演论》，做‘物竞天择’的文章，都可以代表那个时代的风气。”

如果我生活在那个时代，应试这个作文题，我会这样试申其义：

如严复主张，人要主动适应变化的环境，这包括自然环境与社会环境。所以人要了解自然环境变化的规律，这就是物理学家试图搞清楚的。物理学家还要利用这些规律，搞发明创造，服务于人类。

所以物理学的精华是：①在变化中发现什么是不变的。例如，物体的重轻变化，其下落快慢不变；又如，摆的振幅改变，摆动周期不变。②什么变化会引起其他什么相关的变化？例如，大气压随高度变化；磁场的变化会引起电场的变化；热量随温度变化；等等。③哪些是物理常数？例如光速、能量子等等。

受严复的影响，民国时期出现了中国第一批物理学家。

严复还把西学的精髓——经验主义的认识论、方法论，介绍给当时的大众，并处处颇费苦心地在传统文化中寻找物理学的对应物。例如，他认为，能量不灭定律通于《易学》的“自强不息”说，“易不可见乾坤”之旨与热力学定律所言“热力平均天地乃毁”之言相应。但我觉得严复的这种分析法，如同研究红楼梦的索隐派抓住古文中的只言片语，跟西方的先进物理知识相比附，测字猜谜式地从中“索”出所“隐”的物理定理的考证方法十分牵强。在我看来，古代中国的理学中并无近代理论物理的基础。（读者可以对照阅读爱因斯坦的文章《理论物理学的基础》。）

我自己也对民族文化的价值情有独钟，曾致力于将古代中国哲人所阐明的理与西学所发明的理相沟通，但事与愿违，我做不到用西方科学方法所获得的知识框架和公理去重新解读古代大师的经典。

谈“过目成诵”

学着写诗，可以提高理论物理的素质，盖诗寥寥数十字，而意境深远。理论物理的规律也是简洁优美的，故一位理论物理的研究者也需有诗人气质。有的人，能背诵不少古诗，并以此为荣。如金圣叹曾写的那样，“子弟背诵书烂熟，如瓶中泻水，不亦快哉！”

但会背的人不一定会写诗，为什么呢？我以郑板桥的观点来解答。郑板桥说：“读书以过目成诵为能，最是不济时。眼中了了，心下匆匆，方寸无多，往来应接不暇，如看场中美色，一眼即过，与我何干也。”这就像有的学生，看了五六年的文献，了解了不少科研动态，却写不出有点新意的论文来。

读书过目成诵若使得脑子里记忆的信息太多，并非有益。明朝文学家丘濬博闻强记，过目成诵，人称“丘书柜”。一日，他出门散步，途经一家茶馆，见一个小女孩正读李白的诗，就与她聊起来。女孩说：“老伯，我让你猜个字。‘两人共坐，坐到二鼓三鼓，一畏猫儿一畏虎。’这是什么字？”

丘濬不假思索地回答，这是“鲜”字，并解释道：“两人共坐，指两字合一个字。鱼畏猫，羊畏虎，合起来就是‘鲜’字。”小女孩不以为然地反问：“鱼和羊能坐到‘二鼓三鼓’吗？老伯你再想想。”最后她给出的答案是“孩”字。二鼓是亥时，三鼓是子时。亥为猪，猪畏虎；子为鼠，鼠畏猫；这两个字合起来正是“孩”字。丘濬恍然大悟，“丘书柜”遇到了“一字师”。这一小故事说明过目成诵者不一定能灵活运用。与丘濬同朝为官的刘健有一次对人说：“丘仲深（“仲深”为丘濬的字）有一屋子散钱，但没有串钱的绳子。”意思是说丘濬虽然学问广博，但缺乏系统，散乱无章，能够解决实际

问题的不多。丘濬听到后，也不谦让，立即反讽道：“刘希贤（“希贤”为刘健的字）有一屋子串钱的绳子，但没有散钱。”意思是刘健处事虽善于抓住要害，善断多谋，但见识不广，不能解决更多的问题。两人可谓各有所长，都见到了对方的长处和短处。

另一明朝学者李东阳曾写一文《食戒》，指出多食的结果是“脾性恶腻，汝未食而先以腻物困之，安能使之运而化乎。”

可见“过目成诵”对于物理工作者而言并非第一素质，虽然它对积累与丰富知识有助，但要出创新成果主要还需一个人能在知识的园地里游刃有余，不但知道什么“植物”的养分可汲取，更要知道什么是腐肠之物。再说，自己下功夫研究过且转化为成果的知识是怎么也忘不掉的。有的物理理论记不起来时，从基本的物理思想出发，将它再推导出来，更是别有一番乐趣。

温庭筠《商山早行》赏析

2016年6月，应胡利云教授的邀请，我在江西师范大学访问，住在新校区白鹿会馆，早五时许的晨曦中看到窗外一汪湖水和绿野，汽车在远处的公路缓缓而行，我不由得想起晚唐诗人温庭筠的《商山早行》：

晨起动征铎，客行悲故乡。
鸡声茅店月，人迹板桥霜。
槲叶落山路，枳花明驿墙。
因思杜陵梦，凫雁满回塘。

其中“鸡声茅店月，人迹板桥霜”，是我最为欣赏的两句，十个字既写尽天人合一的场景。弦月、茅草店房、板桥、鸡声、行人、霜迹，羁旅愁思的情景，更是浸透了哲理——征途辛苦、劳劳碌碌的人生，终究难免如板桥上的霜迹那样须臾消失。温诗这两句的成功可以说前无古人后无来者，北宋文学家欧阳修刻意模仿以“鸟声梅店雨，野色板桥春”助兴，但文字和意境都远不如前者。即便是大文豪苏轼的《和子由渑池怀旧》诗：“人生到处知何似，应似飞鸿踏雪泥。泥上偶然留指爪，鸿飞那复计东西”，也到不了“鸡声茅店月，人迹板桥霜”的丰滋与简练。

可是清代文人王士祯却认为：“温庭筠的《送人东游》诗中的‘荒戍落黄叶，浩然离故关。高风汉阳渡，初日郢门山’，此晚唐而有初唐气格者，最为高调。至于‘鸡声茅店月，人迹板桥霜’，乃近世俗谛，世人顾极赏之，而罕知前作之妙，岂知诗词者哉。”我以为王士祯恐是没有晨起苦旅的经历，所以有此偏见也。

1993年冬天我在美国阿肯色州访问，住处外的小溪上恰架有一座板桥，风雪天散步经过时，我曾写一首词以体验温庭筠当时的感觉：

黃钟乐

雪地吟

风振树梢呜咽起，

雪裹乡思，

漫白浸目心清凄。

客寓小栈忆故地，

校园梅香袭人溢？

欢歌难哼韵律低，

怕嘚幽泣，

解愁还须自养颐。

强作诗句学温卿，

故上板桥留霜迹。

从曾国藩和左宗棠的摩擦谈论文署名

科学史上偶有争发明权的纠纷，如牛顿和莱布尼兹争论谁首创了微积分。中国历史上也有过类似争先后的事情。唐朝伊始，李杜王维尚未出生，文坛谁为翘楚呢？当时社会上流行一个最佳组合，或者说一个文学青年排行榜——“王杨卢骆”，即王勃、杨炯、卢照邻和骆宾王，统称为初唐四杰，他们文笔好，“并以文章见称”。

骆宾王的《鹅》诗为我们所熟知，但他在这个排行榜上竟然居末。而榜上人对这个排名也颇有微词。据《旧唐书》记载，排在第二位的杨炯就不服气地说：“愧在卢前，耻居王后。”意思就是说，排在卢照邻之前，觉得惭愧；但是把王勃排在我前面，我是不服气的。可是等到王勃去世后，杨炯收阅王勃的遗文，心悦诚服地评价道：“神机若助，日新其业。西南洪笔，咸出其词。每有一文，海内惊瞻。”

在晚清，曾国藩和左宗棠都是朝廷重臣，也都是湖南人，彼此相互帮助过却也有矛盾，时有摩擦。曾国藩死后，左宗棠常常反思自己在与曾国藩的交往中的态度。有一天在西北大营中，他与幕宾们闲谈，问：“人家都说曾左，不说左曾，这是为什么呢？”有个年轻人接答很快，说：“曾国藩心目中时刻有左宗棠，而左宗棠心中从来没有曾国藩，只此一点，就可以知道天下人为什么说曾左而不说左曾。”左宗棠并未生气，缓缓起身，走到那人面前，语调沉重地说：“先生之言是也。曾公生前，我常轻之，曾公死后，我极重之。”

我读到此地，不禁鼻中一酸，因为左宗棠没有解释他为何有如此转变，此时正是无声胜有声。

如今，我常常听闻有物理学家为曾经合作发表论文的署名顺序合理与否而吵吵闹闹，如果他们看到“曾左还是左曾”的故事，该作何感想呢?

与争署名顺序截然相反的议论是论文作者不署名。“文革”期间，有位“权威”说：工人做了个产品没在产品上签名，农人产了粮食也没在粮食袋上签名，为什么知识分子写了一篇文章就要署名呢?（言外之意：母鸡生个蛋，也没有在蛋壳上署名嘛。）

此议令人绝倒。

读杨慎的《东流不溢》

一般认为，中国历代文人擅长文学，而对自然科学兴趣不大。其实也有例外，战国时代的屈原就在其《楚辞》的《天问》篇中发问：“东流不溢，孰知其故？”意思是说江河日夜东流不息，可是海水却不溢出来，有谁知道它的原因？后来唐代的柳宗元写的《天对》、宋代的朱熹写的《楚辞集注》都用《列子》上“归墟”的说法来解答。

此答案在明代的著名文人杨慎（他有名句：青山依旧在，几度夕阳红）看来很不满意，认为是似是而非的。

从现今的观点看，杨慎有朴素的科学方法，他先就这个问题做文献调研，发现庄子说过：“日之过河也，有损焉；风之过河也，有损焉。”可是，“风、日皆能损水，但甚微，而人不之觉”。于是，杨慎做起了科学实验，“以气嘘物，则得水；又以气吹水，则即干”，从而得出结论：“水由气而生，亦由气而灭。”

为了进一步发展自己的观点，杨慎又指出：“若曝衣于日中，摽湿于风际，则立可验，此随时而消息也。覆杯水于坳堂，则立而汩。”所以，随时随地都有水气轮番转换、朝云暮雨的现象。

杨慎中过状元，他因不屑与张聪、桂萼等小人同入翰林院而得罪嘉靖皇帝，被长期流放于偏远地区，可是他的文章与气节一直为后人称道。虽然《东流不溢》一文并不脍炙人口，但其中体现出我们先辈的很多智慧，他们往往能提出基本的问题，而基本的问题往往是重要且可使后续研究工作绵延不断的。从后羿射日的故事推想，祖辈的先知先觉中也有过太阳可能要晒死人的恐惧，所以他们让后羿射去了九

个太阳，以避免紫外灾难。所谓的紫外光灾难，正是量子力学诞生的前夜呢。

从孔子学琴说到学物理

常常听到有不少中学生因为觉得物理太难学而选择文科。感到物理难学，除了授课老师的因素影响外，学生不知道学物理与学其他科目的区别也是原因之一。

让我以孔子向师襄子学弹琴为例来说明应该如何学物理。

师襄子在教了一段时间后对孔子说：“你已经弹得较熟练了，可以增加一些新的内容。”但孔子说：“我还没有熟练掌握所弹曲子的节奏。”

过了一阵，师襄子认为孔子已经掌握好所弹曲子的节奏了，可以多学些内容了，但孔子说：“我还没有领悟到琴曲所表达的思想感情。”

时间又走过了一段，师襄子认为孔子已经知道了所弹琴曲所表达的思想感情，可以进到下一教程了。可是，孔子说：“我还没有理解到作曲者的为人。”

不久，孔子对老师说：“我猜到作者是这样的人了：他肤色黝黑，身材魁梧，眼光明亮而高瞻远瞩，胸怀天下，统治四方，此人该不会是周文王吧？”

师襄子起身向孔子连拜两次，说您真是圣人啊！此曲据说就名《文王操》。

我从这则小故事得到的启迪是：学物理光学会使用公式是不够的，还要领悟公式和原理的意义，了解其来龙去脉。把握物理思想，

做到深入浅出才是最要紧的。这也是学物理与学其他学科的根本区别。

我自己在做科研时，对于新推导出来的东西，不但在当时，而且在过了很长一段时间后，都会反复地琢磨其背后的物理意义。

读吴敏树的《杂说·药》

吴敏树（1805—1873），因有书斋建于故里岳阳县南屏山，遂自号南屏，学者称南屏先生，中国柈湖文派的创始人。他的同乡曾国藩在给吴敏树的回信中论文讲学，称许吴敏树的《杂说》等散文“清旷自怡，萧然物外，若翱翔于云表，俯视而有至乐”。

现录吴敏树的《杂说》之二——《药》一文如下：

药生于山，而求药者于市，市故药之聚也。而市者常伪以乱真，又药所名产之处，其人多粪种以售，故药弗得良。而人往往采药于山，谓之生药，常胜市者。又有号草药者，俗相传取诸草，名不在《本草经》者，以治疾，尤有奇效。客有谓吴子曰：“甚哉！药之难知也！今何不尽访诸草药而著名之，以利人乎？”

吴子曰：“不然，夫草药唯无名，而人独私传之，故其用常全。今名而传之，则人且种之，而且伪之矣！”嗟夫，药不可得良也，而唯无名者之求，则神农黄帝以来，采药之教非与？

读吴敏树此文，使我联想到科技界发生的不少事情就像对草药那样，有的人在崎岖的山路上攀崖采择，有的人去粪种，有的人作伪；人就像草药一样，一旦出了名，有时反而不及无名的有效了。噫！如今深山老林里还剩下多少无名的草药呢？

庄子与马赫

此前我讲到马赫对物理的一些主观看法。其实，庄子关于观察有赖于感觉的思想早于马赫。

> 庄子与惠子游于濠梁之上。庄子曰：“鲦鱼出游从容，是鱼之乐也。”惠子曰：“子非鱼，安知鱼之乐？”庄子曰：“子非我，安知我不知鱼之乐？”惠子曰：“我非子，固不知子矣；子固非鱼也，子之不知鱼之乐全矣！”庄子曰：“请循其本。子曰‘汝安知鱼乐’云者，既已知吾知之而问我。我知之濠上也。”

现代文译为：一天，庄子和朋友惠子在濠水的一座桥梁上散步，庄子看着水里的苍条鱼说：“苍条鱼在水里悠然自得，这是鱼的快乐啊。”惠子说：“你不是鱼，怎么知道鱼的快乐呢？”庄子说：“你不是我，怎么知道我不知道鱼儿的快乐呢？”惠子说：“我不是你，固然不知道你；你不是鱼，无疑也没法知道鱼是不是快乐。”庄子说：“请回到我们开头的话题。你问‘你怎么知道鱼快乐’这句话，表示你已经肯定了我知道鱼的快乐了。至于我为什么知道，那是因为我到了濠水桥上，看见鱼在水中游来游去，自由自在。”

一位高手将庄子给惠子的最后一答最后一句英译为：“I knew it from my own feelings on this bridge．”

这即是说，庄子是靠感觉知道鱼之乐的。庄子的这篇文章比马赫的《感觉的分析》早很多年，可惜我国古人没有用庄子的思想去格物

（研究物理）。而从爱因斯坦和海森堡的观点来思考同一问题，就应该问：鱼之乐是可观察量吗?

如今，在量子纠缠这个课题上可以提出不少类似庄子与惠子辩论的问题，这些问题本身也是纠缠不清的，变成了案中案。在这方面，也许唯有依靠严密的数学才能做一些正确的判断。

有古人的词《双调西江月》为证：

知慧童蒙易晓，愚顽皓首难明，
世间六艺任纷纷，算乃人之根本；
知书不知算法，如临明室昏昏，
谩同高手细评论，数彻无棼方寸。

论中文字的书写顺序

“五四”运动以前，古文的书写顺序是从上往下，从右到左，我曾思考为什么要这么做?

其原因是不是就像我们相一个人，也是上下打量呢？于是我就按这种顺序自己命题写了一篇古文（我的古文功底不好，只是模仿而已），觉得写起来很顺畅，思绪如泉涌。这是偶然的吗？非也！因为古文的特点是虽简洁，却深邃，精气浑厚，所造之境阶梯叠重，一步不容僭越，方块字从上往下写就像运气往体下走，便于直抒胸臆，一抒到底，得天然之趣。

现代人作古文，即使字字推敲，笔不足以达意，力不足以助气，惟得其迹象而遗其精髓，所以只能从左往右书写了。再加上外文词汇及数学公式只能横着写的原因，中国人的书写就是现在这个局面了，惟有书法作为艺术的书写还保留了原来的顺序。

以上观点也许是歪理陋见，于是我向何锐博士咨询，他借太极拳的说法“上下是功夫，左右只是技巧”，对我的看法表示认同。

燕京大学的借书牌与校训

一次外出，闲暇时逛当地书市，见地摊上有一借书牌（材质约莫是象骨的），上有两行隶书“因真理，得自由，以服务；奋起读书，以兴中华”，觉得很新奇。再看下边还有字，“私立燕京大学借阅室〇二六”。我记得司徒雷登曾任燕京大学校长，觉得此牌有文物价值，便想把它买下来，将来有机会赠给学校博物馆。问摊主价格，摊主打量了我一会儿，白发苍苍的，估摸我是个老读书人，就开价很高。想到难得见到这样的高校文物，就忍痛掏钱买下来。买后心里却嘀咕：这牌子是民国时代的物件吗？我会不会是走了眼，买了个假货呢？

回来后，我在网上查到了私立燕京大学的介绍，确是以“因真理，得自由，以服务”为校训，这才放下心来。附燕京大学校歌：

雄哉、壮哉燕京大学，轮奂美且崇；
人文荟萃，中外交孚，声誉满寰中。
良师、益友如琢如磨，情志每相同；
踊跃奋进，探求真理，自由生活丰。
燕京、燕京事业浩瀚，规模更恢宏；
人才辈出，服务同群，为国效尽忠。

燕京大学后来分身被并入北京大学和清华大学等不同高校，我这块借书牌将来捐给哪个学校的校史馆好呢？



燕京大学借书牌

胡刚复老教授签发的一份初中毕业证书

由于我是新中国成立后第一批（共18名）获得物理学博士学位的人，我特别关注谁是中国第一位在美国获得物理学博士学位的学者。后来得知是胡刚复（1892—1966）老先生，他于1918年获得美国哈佛大学的哲学博士学位。这样说来，我与胡老先生还是有点渊源。

一个周末，我到文化市场的地摊上翻阅旧书籍。意外地看到一份上海私立大同大学附属中学的毕业证书，上面醒目地印着校长胡刚复的名字和图章，图章刻得刚挺而秀美，再仔细看还有学校的钢印。我这才知道胡老先生还是我所就读的中学的老校长。

原来，我度过3年（1958—1961）初中时光的上海市五四中学，它的前身就是大同大学附属中学。欣喜之下，我花高价将这份毕业证书买了下来。证书上贴有照片，女主人当时18岁，显得睿智恬静，我想如今是已经过世了，不然怎么会自己不保存它而让它流落街市呢？现在我把她的相片和证书请到家，不再在地摊上吃灰尘、受风寒，算是与我这个校友有缘吧。回到家，我把这份证书郑重地放在一个镜框里保存，挂在墙上，作为文化教育史的一个见证。

胡刚复先生是中国近代物理学事业的奠基人之一。他于1918年获得哈佛大学博士学位后回国，在1918年至1926年间任教于南京高等师范学校和国立东南大学（后改名为国立中央大学、南京大学），并创建了我国最早的物理学实验室；1928年，协助创建了中国第一个物理研究所——中央研究院物理研究所；1931年至1936年间任交通大学教授。他也是国内第一个从事X射线研究并取得重大成就的科学家，还在任浙江大学理学院院长期间为中国培养了第一批雷达高技术

人才。1992年，纪念胡刚复诞辰100周年的实验物理会议在南京大学举行，并设立胡刚复奖。

回国后至1951年间，胡刚复还兼任上海私立大同大学教授、理学院院长、工学院院长、校长。大同大学（Utopia University）位于上海，是民国时期一所著名的综合性私立大学，尤以“理工”著称，在其40年的大学历史中，一直是上海乃至全国私立大学中的翘楚，素有“北有南开、南有大同”之说。1952年秋，大同大学在院系调整中被撤并，其院系分别并入复旦大学、交通大学、华东师范大学、同济大学、上海财政经济学院和华东化工学院。

大同于1928年开始创办附中，至1939年又分为附中一院和二院，分别是后来的上海大同中学（南市校址）和五四中学（静安校址）的前身。

如此说来，我与胡老先生的渊源又深了一层，不是吗?

诚然，每当我抬头望着挂在墙上的这张证书，不免有一种世事两茫茫的感觉掠过心头。

又及，这张毕业证书上还刊有二院主任顾谷嘉的名字。

顾谷嘉（1901—1969）是无锡张泾桥人。父亲顾蔼人与二婶蒋士梅参与创办了泾皋小学与女学，谷嘉兄弟姐妹及堂弟谷同均就读于该校。顾谷嘉后考入苏州省立第二女子师范学校、上海大同大学化学系，1926年毕业后留校任教。1928年，先后在广东汕头女子中学、南京女子中学任教。1929年8月返锡任无锡县立女子初级中学暨附小校长，直至1937年7月。为办好女中，她聘请优秀教师任课，对教师严格而亲切，勤于听课、检查工作，引导教师不断进修，改进教法；并亲自教毕业班几何，启发诱导，严谨细致。1934年，全县数学竞赛，录取10名，县女中占5名。她重视学生的校风教育和抗日爱国教育，对体育、美育也很重视。抗日战争全面爆发后，顾谷嘉先是避难

武汉，后定居上海，创办上海大同大学附中二院。1952年二院改名上海五四中学，顾谷嘉任副校长。她终身未婚，以校为家。


畢業證書

學生中時榮係浙江省桐鄉縣人

現年十八歲在本校初中

部三年級修業期滿成績

及格准予畢業此證

校長 胡刚猛

二院主任

一九四九年七月日

大同大学附属中学的毕业证书

焦竑与徐光启，玻恩与海森堡

我曾多次带研究生去今上海市徐汇区南丹路上的光启公园，公园内有明代著名科学家、礼部尚书兼文渊阁大学士徐光启之墓。

徐光启是学贯中西、富于远见卓识的明代科学家，毕生致力于研究天文、历法、水利、测量、数学、农学等自然科学与技术。他一生著译达六十余种，主要有《崇祯历书》《测量法义》《勾股义》《九章算法》《徐氏庖言》等；总结中国历代农业生产经验，编撰了《农政全书》，成为中国近代科学的先驱。徐光启一生能有如此作为，与他的恩师的栽培与扶助分不开。

他的恩师是焦竑。焦竑提出了一条创作理念，对我们物理工作者亦有启示，他说：“心之所契，身之所履，取其瞭然而抒写之。”我曾有幸见到焦竑署名的一个竹雕，刻的是一首七绝“四面青山是四邻，烟霞成伴草成茵。年年洞口桃花发，不记曾经迷几人”，并刻有此意境的画。

上海《徐汇区志·徐光启传》载：“（徐光启）36岁应顺天府（今北京）试，主考官是名儒焦竑，从落卷中发现他的才识，认为是‘名世大儒’，拔置第一。”

万历二十五年（1597年），焦竑受皇帝之命，为国选拔人才，任会试副主考官。

他在落选卷中得到了徐光启卷，“（焦竑）阅而奇之，拍案叹曰：此名世大儒无疑也。”毅然决然将已名落孙山的徐光启拔至第一名。天启初年，焦竑还把徐光启介绍给登莱巡抚袁可立，使徐光启在兵器方面的才干有了用武之地。

徐光启后来的成就，证明了焦竑的眼光与胆识。徐光启终生不忘焦竑的知遇之恩，终生尊焦竑为恩师。在徐光启后半生及后人的著作中、徐氏宗谱中，多次记载了这一旧事。



焦竑署名的竹雕

在量子物理史上，海森堡能脱颖而出，也得益于玻恩的赏识。在海森堡就读于慕尼黑大学时，哥廷根物理研究所的权威学者玻恩来讲学，结束后与学生闲谈，海森堡递给玻恩几片纸，说：“这是我对先生所研究的学问所做的一点学习心得。”

玻恩默默地把纸片叠起来，塞在口袋里，也没说声谢谢。等回到哥廷根后，展开那几片纸张一看，大为折服，原来海森堡写在纸上的正是玻恩的研究中不得要领的地方。玻恩于是请海森堡作为哥廷根大学的一名访问学生，毕业后当他的助教。当时玻恩对海森堡的印象是：“他看上去是一个纯朴的男孩，长着短短的金发、明亮的眼睛，有着迷人的表情。作为助理，他对待工作比泡利更加认真，对我有很大的帮助。他那令人难以置信的效率和敏锐洞察力，使他能够轻而易举地做出大量工作：他不仅完成了自己的流体力学论文，而且一半独立一半与我合作完成了对原子问题的研究，此外他还帮我指导过研究生。”

1923年5月，海森堡从哥廷根返回慕尼黑。他要在最后一个学期回到慕尼黑大学，赶出他的博士论文。导师索末菲(Arnold Sommerfeld)深知海森堡在量子力学领域的工作颇具争议，因此建议他选择更传统的问题——流体动力学，作为博士论文课题。1923年7月10日，海森堡提交了一份题为《关于流体中的稳定性和湍流》（*On the Stability and Turbulence of Liquid Currents*）的论文。

博士答辩时，面对索末菲的理论问题和其他的数学问题，海森堡回答起来得心应手。然而在实验方面，海森堡回答不出如何算出法布里-珀罗干涉仪的分辨率。令维恩惊讶的是，他甚至连其他常用设备如望远镜和显微镜的分辨率都不知道怎么算。

海森堡勉强通过了答辩，这来自索末菲的最高分和维恩的最低分平均的结果……

海森堡虽然得到了博士学位，但实在难以接受这样一个勉强及格的成绩。他搭上深夜的列车，赶往哥廷根。

次日清晨，他出现在玻恩的办公室里，把答辩的事讲了一遍，问：“我想知道您是否还收留我？”

玻恩保留了海森堡的职位，因为他认为“在科研方面，海森堡的才能起码与泡利相当”。

在玻恩那儿工作期间，海森堡认识到，不仅描写电子运动的偶极振幅的傅里叶分量的绝对值平方决定相应辐射的强度，而且振幅本身的位相也是有观察意义的。海森堡运用玻尔的对应原理，用定态能量差决定的跃迁频率来改写经典理论中电矩的傅里叶展开式。谱线频率和谱线强度的振幅都是可观察量。这样，海森堡就不再需要电子轨道等经典概念，而是代之以频率和振幅的二维数集。

但是令海森堡奇怪的是，这样做的结果，计算中的乘法却是不可对易的。当时他还不知道这就是矩阵运算，于是把论文拿给玻恩，请教有无发表价值。玻恩认出海森堡用来表示观察量的二维数集正是线性代数中的矩阵。从此以后，海森堡的新理论就叫“矩阵力学”。

正是玻恩认识到了海森堡的工作有重要意义，并加以发扬，才使得海森堡最终成为量子力学的创始人之一。

师生之喻水茶

就教学相长而论，研究生与指导教师的关系又如茶叶与水的关系。素质高的学生如能有幸遇到有真才实学的、认真负责的指导老师，就有希望成才；而如果老师徒有虚名，再好的学生也难免窒息在死气沉沉的科研氛围中。老师与研究生的这种知遇就好比水与茶的关系那样。明代文人张大复在《试茶》一文中指出：“茶性必发于水。八分之茶，遇水十分，茶亦十分矣；八分之水，试茶十分，茶亦八分耳。”研究生的聪慧有赖于有真功夫的老师的指点，如同好茶还得有好水相发。素质八分的研究生遇到好老师，就能达到十分发展；相反，老师平平，空有虚名，素质十分的研究生也难免受到糟践。那真是很可惜的啊!

然而初出茅庐的研究生（茶）如何知道老师（水）是否有真才实学呢？是否名声大、地位高的老师就是十分好的“水”呢？张大复在另一篇《云雾茶》中，又写道：“……是故实衰于知名，物敝于长价。”

此议值得人们深思。

学习一定要循序渐进吗？

人们一般都说，自然科学，特别是数学，有很强的系统性和连贯性。只有把前面的基础打牢，才可以进入后一步的学习。只有一步一个脚印，学得扎扎实实，才可能逐步提高，最后才有希望达到科学的顶峰。

可是德国物理学家亥姆霍兹却写道：“1891年我解决了几个数学和物理学上的问题，其中有几个是欧拉以来的所有大数学家都为之绞尽脑汁的……但是，我知道，所有这些难题的解决，几乎都是在无数次谬误以后，由于一系列侥幸的猜测，才作为顺利的例子中的逐步概括而被我发现。这就大大削减了我为自己的推断所可能感到的自豪。我欣然把自己比作山间的漫游者，他不谙山路，缓慢吃力地攀登，不时要止步回身，因为前面已是绝境。突然，或是由于念头一闪，或是由于幸运，他发现一条新的通向前方的蹊径。等到他最后登上顶峰时，他羞愧地发现，如果当初他具有找到正确进路的智慧，本有一条阳关大道可以直达山巅。”

这说明，在有些情况下，循序渐进并不是使理论物理进步的唯一策略。

狄拉克也说，学数学“我喜欢跳跃式地前进再蹦回来，这样往复多次，要做到这一点就不能像听一个演讲那样有序地去听，当我去听课时，我通常激励自己只是思考某些提纲线条，我顺着这些线条想下去，而不是去听每一个字。这样做，也许我会失去一大堆课堂内容而不得不在以后通过自学补救，但是我所有的数学知识正是沿着这些线条得来的。”

如果是循序渐进式地学习，狄拉克能发明Delta函数吗?

回顾自己年轻时的学习经历，由于没有循序渐进的机会学四大力学，几乎都是蹦前跃后地学习书本知识，看懂些许时向前进了两步，不懂的地方滞步不前，只得蹦回来一步，找新路迂回，但总的轨迹是向前进的。还有不少知识，则是在做论文时因需要而补学或再深入体会的。

小议“思维导图”

当前社会上流行“思维导图”，有人认为它简单又有效，是一种革命性的思维工具。

所谓思维导图，是用一个中央关键词或想法以辐射线形连接所有的代表字词、想法、任务或其他关联项目的图解方式，图文颜色并重，意在建立记忆链接。

诚然，导图有把各级主题的关系清晰展现出来的功能。

但是，我认为思维导图对于酝酿灵感好处不大，因为灵感是一种意识流，是脑中的一闪。闪的时候虽然清晰，但不要说它的来龙去脉，就连找到一个明晰的思想过程都很困难。即使立刻用笔记录下来，在纸张上记录下的不是摘要就是已经重新组织过的东西，多少有些失真。

思维导图提倡者又说：每一种进入大脑的资料，不论是感觉、记忆或是想法——包括文字、数字、符码、香气、食物、线条、颜色、意象、节奏、音符等，都可以成为一个思考中心，并由此中心向外发散出成千上万的关节点，每一个关节点代表与中心主题的一个联结，而每一个联结又可以成为另一个中心主题，再向外发散出成千上万的关节点，呈现出放射性立体结构，而这些关节的联结可以视为一个人的记忆，也就是个人数据库。

而我却以为，这发散出成千上万的关节点拖泥带水，既失去了思维敏捷性，又麻痹了思维的洞察力。

试问：那些大物理学家们，哪个曾用思维导图来思考呢?

《书李伯时山庄图后》对写物理教科书的启迪

如今我们每年都能看到各式各样的物理教科书出版。究竟什么是精品物理教科书呢?

这使我想起昔时读过的苏轼的《书李伯时山庄图后》这篇短文，现录于此:

或曰：龙眠居士作《山庄图》，使后来入山者信足而行，自得道路，如见所梦，如悟前世；见山中泉石草木，不问而知其名；遇山中渔樵隐逸，不名而识其人。此岂强记不忘者乎？

曰：非也。画日者常疑饼，非忘日也。醉中不以鼻饮，梦中不以趾捉，天机之所合，不强而自记也。居士之在山也，不留于一物，故其神与万物交，其智与百工通。虽然，有道有艺。有道而不艺，则物虽形于心，不形于手。吾尝见居士作华严相，皆以意造，而与佛合。佛菩萨言之，居士画之，若出一人，况自画其所见者乎！

第一段的意思是:

有人说：龙眠居士画一幅山庄图，是教后来上山的人，可以信步走去，便能够知道路，好像曾经做梦看见过的一般，又像是在前世经历过的回忆中；见了山上的泉石草木，不必查问，便可知道它的名目；见了山里渔樵隐逸的人，不必问他姓名，就可认识他们。难道画家都能把诸物勉强记在心里而不忘掉么?

读到这里，我不禁要问，难道优秀的物理教科书就是教学生，只要循着书写的“脚步”走去，便能够懂得物理了吗？把书的内容“强记不忘”就行了吗？

再读第二段，就知道苏轼不提倡强记，正如画太阳的人常怀疑自己画的太阳像块圆饼，他并非忘记了太阳的样子啊。又如喝醉酒的人仍旧会张嘴去喝，断不会用鼻子去饮；做梦的人仍旧是以手捉物而不是用脚趾，这些都是与天机凑合，无须勉强而自然能够记住的。

所以我认为写物理书，就要像苏轼夸奖李伯时（李公龄）作画的那样，不被一物所拘泥，故其精神能与万物融为一体，其智巧能与百工沟通。而且写书要“有道有艺”，既讲物理规律，也讲物理的美体现在何处，这样的著述才可能是精品。

这样说来，对于写书人，物理的奥妙不但要“心识其所以然”，还要进一步使之了然于手笔；既要将物理知识融会贯通，又要将其上升为艺术修养。不可谓简单。

看漫画与悟物理

要了解一个学生，除了看他的学习成绩和品行外，还须问问他在余暇时间喜欢做什么。我自己喜欢听相声和看漫画。听相声是为了体会幽默，而看漫画是为了丰富幻想，因为创新无非是有因有果的幻想，所以不想只做个知识的书橱的我，特别喜欢看漫画。

漫画用比喻、夸张、象征、拟人、寓意等手法，以独特的构思方法和表现手法实现幻想与现实同存，从而使画面产生简洁、幽默、风趣的艺术效果。

研究物理从创新角度来看与创作一幅漫画有异曲同工之妙。所以，看漫画是理论物理学家寄托闲情的一种方式。

因验证了玻尔的原子结构理论而获得1925年诺贝尔奖的德国物理学家弗兰克喜爱看儿童连载漫画，看到入迷时，甚至懒得见客人。另一位获得1937年诺贝尔奖的美国物理学家戴维森则与迪斯尼合作，把原子的秘密编成鲜明的童话和漫画介绍给儿童。可见，漫画是滋润和保持童心的养料，是启迪智慧的通俗教材。

天体物理学家霍金曾作为卡通人物出现在《辛普森一家》(*The Simpsons*)这个在美国家喻户晓的动漫片中，他认为它是最有灵气的电视节目。1999年，霍金的声音还“亲自”出现在了其中的一集（“They saved Lisa’s Brain”）中。

我有过的想象力，不少是受漫画的启发。例如，对坐标算符厄密多项式的正规乘积排序，我经过计算发现它是一个幂级数，这如同外星人有特异功能，在他们的眼里看来，也许直接得到的像就是幂级数呢。我也诧异《西游记》中的孙悟空身材大小做变换时，为何没伴有



《量子王国的故事》

时钟的相应调制，因为根据相对论，时空是不可分的。我还曾建议合肥的金诺动漫公司创造了一部介绍量子物理学知识的科普动画片《量子王国》，颇受欢迎。故事剧本在简单介绍量子物理的知识点后，筛选系列专题进行表现，包括光电效应、黑体辐射、原子光谱和玻尔模型、双缝衍射、电子自旋、泡利原理、测不准原理、量子隧道效应、量子纠缠、海森堡矩阵、玻色子、费米子等；在每个专题中选择一个典型现象作为故事主要情节场景表现。这部动画片为吸引广大青少年儿童对现代物理科学的关注和喜爱，精心设计了动漫情节，将知识趣味融于故事与幽默之中，旨在引起兴趣和思考，引领他们走近现代物理学的领地。

窥探物理世界的奥秘也要有悟的功夫，同样，不少漫画不是一下子就能看出其笑点所在，这是需要读者去领悟的，等到读者与漫画家心有灵犀一点通时艺术效果才得以体现。而这类悟，往往是横向思维的结果，意想不到地突兀而出。

创作漫画需要基本功，画家要懂技法，例如放收结合、先放后收，以大观小、方中见圆等，使得图画本身也有幽默感。理论物理学家的基本功是四大力学和数学物理，大家如爱因斯坦、狄拉克、薛定谔、费曼等都有幽默的气质。漫画的手法符合理论物理学家横向思维的特点——奇中寓正。



漫画中的物理学家头像

物理学家为何关心鱼是否快乐

数年前我曾陪朋友贾新德去钓鱼，坐在一个高坡上，望着蜿蜒的河流，吟了一副对联：山势逶迤泉有灵，河道拐弯鱼不知。

后来看了爱因斯坦在《自画像》一文中写道，“对于一个人的存在，何者是有意义的，他自己并不知晓，并且，这一点肯定也不应该打扰其他人。一条鱼能对它终身畅游其中的水知道些什么？”，才知道物理学家情不自禁地会想到鱼儿的生活。

爱因斯坦的这段关于鱼的论述与我们祖先说的“鱼不见水，人不见气”如出一辙。明代进士谢肇淛（1567—1624）所著《五杂俎》（明代一部有影响力的博物学著作）中指出：“人不见气，故人终日在气中游，未尝得见，惟于屋漏日光之中，始见尘埃衮衮奔忙，虽暗室之内，若有疾风驱之者。此等境界，可以悟道，可以阅世，可以息心，可以参禅。”（一个人能在他终身畅游其中的空气里做很多事。）说明谢肇淛已经知道，在空气中也有浮力，也已观测到了光的散射现象，比起1869年丁达尔发现的效应早了两百多年。（清晨，在茂密的树林中，常常可以看到从枝叶间透过的一道道光柱，类似现象称为丁达尔效应。这是因为云、雾、烟尘也是胶体，只是这些胶体的分散剂是空气，分散质是微小的尘埃或液滴。）

说到鱼儿，我们还会想到“年年有余”（谐音鱼）、姜太公钓鱼、柳宗元的“独钓寒江雪”，以及更早些的“濠梁之辩”。“濠梁之辩”记载于《庄子·秋水》这一名篇中，讲述的是春秋战国时期两名思想家——庄子和惠子的一次辩论。这次辩论以河中的鱼是否快乐以及双方怎么知道鱼是否快乐为主题。一天，庄子和朋友惠子在濠水的一座桥梁上散步，庄子看着水里的苍条鱼说：“苍条鱼在水里悠然

自得，这是鱼的快乐啊。”惠子说：“你不是鱼，怎么知道鱼的快乐呢？”庄子说：“你不是我，怎么知道我不知道鱼儿的快乐呢？”惠子说：“我不是你，固然不知道你；你不是鱼，无疑也没法知道鱼是不是快乐。”庄子说：“请回到我们开头的话题。你问‘你怎么知道鱼快乐’这句话，表示你已经肯定了我知道鱼的快乐了。至于我为什么知道，那是因为我到了濠水桥上，看见鱼在水中游来游去，自由自在。”

这里蕴含着可知与不可知的哲学问题，也暗示了可观察动作与理论猜测的关系，可引申到量子力学中什么是可观察的问题，故而为物理学家津津乐道。鱼儿的快乐是可观测量吗？推而广之，我们应该为薛定谔的猫设想一下，它被关在备有毒气释放装置的实验室中作为检验量子纠缠的牺牲品，它是否快乐呢？它愿意为科学献身吗？

在物理学史上，海森堡提出量子力学的矩阵形式，认为他的理论只适用于可观察的量，并已经抛弃了不可观测的东西，例如电子的轨道等。

但是他的同伴泡利说：“轨道不可观测这个论断是不对的。月球的轨道是可以观测的，所以海森堡的理论中少告诉了我们一些东西，它应该告诉我们什么是可观测的，而什么又不是。”

于是海森堡想起了他与爱因斯坦曾有过的一段对话。当海森堡说只是把可观测量纳入他的理论体系时，爱因斯坦指出什么是可观测的，或不可观测的，这并不由人来决定，而是由理论本身决定！泡利的评论使海森堡加深了对爱因斯坦看法的印象，他集中精力考虑泡利的批评，发现“什么是可观测的，什么是不可观测的”应该包含在对容规则中，由此导出了测不准原理，它对能被观测的东西加以彼此相反的限制。

关于鱼儿，还有一句话是“相濡以沫，不如相忘于江湖”，出自《庄子·大宗师》：“泉涸，鱼相与处于陆，相呴以湿，相濡以沫，

不如相忘于江湖。”爱因斯坦所说的“一条鱼能对它终身畅游其中的水知道些什么？”与庄子的“相忘于江湖”如出一辙，能畅游的鱼儿其生态环境好得很，还有什么忘不掉的呢?

因果互换的思维模式

数学推导对于理解物理概念是至关重要的，所以数学物理是理论物理学家的基本功。理论物理学家还要根据需要自己创造新数学。

理论物理发展史上还有因果互换的例子。例如，拉格朗日和哈密顿将牛顿力学公式上升到分析力学，推导出了正则方程，这里牛顿力学公式是因，正则方程是果。我们也可以从分析力学推出牛顿公式，使得因果互换。研究理论物理，有时需要这种思维模式。

在文学方面，因果互换的例子有时很有趣。

有个叫莫子山的人，暇日山行过一个寺庙，颇有泉石之胜，不由得诵起中唐时期李涉所写的绝句《题鹤林寺僧舍》：

终日昏昏醉梦间，忽闻春尽强登山。
因过竹院逢僧话，又得浮生半日闲。

他拜叩了庙里的住持，却不料是个庸僧，话不投机半句多，几次提出要告辞。但是，住持巴望他施舍，苦苦挽留，并供应午餐。莫子山觉得郁闷、不自在，就请来笔墨在墙壁上题诗，一挥而就：

又得浮生半日闲，忽闻春尽强登山。
因过竹院逢僧话，终日昏昏醉梦间。

题毕，投笔而去。

河滩寻石

在武夷山的河滩边寻捡泡在水里的石头，耳边是流水潺潺，以天籁之声催眠，可以休息头脑，同时赞叹造物主的鬼斧神工。石头很多，层层叠叠，一眼望去，形状奇特的、颜色鲜艳的各式各样，潮湿的石头纹理清晰可观。

石头有个性、有灵气，对捡石头的人而言，更重要的是开展想象，琢磨一块石头的形状像什么，从这个角度看如何，从另一侧面望又像什么，把石头颠倒过来，俯视又如何。再看石头的颜色纹理，有无图案可“成竹在胸”。有时遇到有图案的石头捡回家，表面上的水干了以后，纹理会消失殆尽，显得干巴巴的。由此想到我们写的论文，千万不要有水分，水分干了价值也会荡然无存。

记得2007年我在江西出差时，闲来无事去逛花鸟市场，见一家奇石店的一个冷僻角落里有一块两个拳头大的黄色石头，根据它的造型，我马上联想到“芝麻开门”，这是故事《阿里巴巴和四十大盗》中叫开山门的咒语，就马上买了下来。同去的同伴不知我为何看中这块石头，经我解释才表示理解。所以，奇石还需遇上想象力才能得以发掘。奇石静静地躺在那儿，等我们去发现它，你与它有缘么？

这又使我想到物理学家费曼的话：“研究物理要从多个侧面看同一个问题，也许真理就躲藏在某一角落呢！”

给石头取名也是一件趣事。我的好朋友贾新德喜爱寻奇石，有一次，他捡了一块颇具规模的灵璧石，我给起名为“马首是瞻”。我还写了一首诗：

和贾新德于大别山寻奇石

秋高赚得豪侠游，流水淙淙闹浅沟。
拣出胸中不称意，乱石滩上去抛愁。

噫！捡石头，同时把不愉快抛却了，爽哉！



贾新德河滩寻石

古诗中的因果与物理探索

在拙著《理论物理学研随笔》中，我曾谈到构思物理论文与古诗创作的雷同，然言犹未尽。

其实，我喜爱古诗的另一原因是，不少诗有意地隐藏答案，以勾起读者的探索意识，而不是如大物理学家狄拉克所误解的那样“在科学上大家都尽力使人们把过去不明白的事情弄清楚，而在诗里，情况恰恰相反”。

古诗的含蓄和隐喻耐人寻味，引而不发，要让读者思而得之，由果求因。

如北宋诗人张俞的《蚕妇》诗：“昨日入城市，归来泪满巾。遍身罗绮者，不是养蚕人。”全诗没有任何一字的评论，也没有使用什么高深的联想，似乎意思很模糊。但实际上，读者从区区几个字里就可感受到诗歌的实际寓意，体会到诗人的思想感情。这首诗揭露统治者不劳而获的不合理现实，极有感染力。

也有把诗和物理结合起来隐含因果的，如拙作《夜过葛洲坝》：“船歇江闸里，客随乘水梯。升降浑无觉，浮沉亦不计。”字面上说的是人坐在船上随船升降过长江葛洲坝时，并没有如乘电梯那样的失重或超重感，而船的浮沉吃水线在上层水面、下层水面是相同的，似乎作者只是在讲物理现象，实际上不同生活经历和人生观的读者会有不同的觉悟。同类的诗还有《乐山大佛》：“毕竟乐佛气势雄，浑然一体与山同。登上盘下观光客，如来掌中孙悟空”，这首诗所含的隐喻也会引起读者对自然和人文社会的深思。

兼有物理因果和童趣的诗，我曾写过“轻袅皂液泡，欣看小童吹。孩提金色梦，曾附彩圈飞”。那皂液泡随着表面张力渐渐增大，轻袅升空，在阳光下呈现七彩，儿童的憧憬梦就附在那色彩缤纷的液泡上。那些说不清道不明的梦想是什么，会像皂液泡那样破灭吗?

这些亦文亦理的思考对于造就严肃的、有探索性的物理学家是有益的。

读古诗，品物理

初中语文课本选用了唐代诗人王湾的诗《次北固山下》：

客路青山外，行舟绿水前。
潮平两岸阔，风正一帆悬。
海日生残夜，江春入旧年。
乡书何处达？归雁洛阳边。

对其中“风正一帆悬”一句的解释往往是从文学角度阐述，语文老师还会讨论诗人不用“风顺”而用“风正”的原因，即仅“风顺”还不足以保证“一帆悬”，“悬”是端端直直地高挂着的样子。

那么，物理学家应该怎样正确地解释“风正”呢？根据力的分解原理可知，当帆与船的前进方向成45°角时，船能够最有效地利用与船行方向“正交”的侧风前进，这才是“正”的意义所在。

不失一般，当风向与帆的夹角是α，把风力F分解为沿着帆面的力$F\cos\alpha$，和对帆面的正压力$F\sin\alpha \equiv F_1$。帆对船身的有效作用等于F_1，它再分解为沿着船行方向和垂直于船行方向的两个力，力$F_2 \equiv F\cos\alpha\sin\alpha = (1/2)F\sin 2\alpha$，沿着船行方向，有助于船行，而垂直船前进方向的那个力被船底浸没在水中的挡板化解了，这就是为什么当帆与船的前进方向成45°时，船能够最有效地利用与船行方向“正交”的侧风前进。

船头在逆风条件下，帆船能前进吗？上述分析表明，只需要在前进的过程中不断地调整船身和船帆的方向，使帆船前进的路径成“之”字形就可以了。

所以现在语文书通解“风正一帆悬”为“顺风行船恰好把帆儿高悬”，是值得商榷的。

王湾不用“风顺一帆悬”，而用“风正一帆悬”，说明他坐过帆船，了解船要利用风力，在前进中帆应该是怎样挂的，风又是从什么方向刮来的。

当然，现代比赛用的帆船，结构更复杂，调整方向的方式也很多，就不在此文讨论之列了。

“圈”内闲谈

聊托物以幻化，寓至情于奇想

南乡子

生机几多选，虫草花鸟只等闲。古来名士常寂寞，休怨，仕途无端起波澜。

物理却是玄，苦思冥想脑纠缠。近期量子多活跃，贪欢，道是痴迷出圣贤。

闲中消日月，山上挥闲云。人悠闲时或是寄情琴棋书画、风花雪月，或是徜徉山水，混迹于天地。陶渊明的“采菊东篱下，悠然见南山”说的是诗人归隐田园后的一种生活状态，心无挂碍，悠然自得。我在武夷山游览，见山峰聚蓝设色，听溅珠咽石吞声，曾作诗赞风景：

山冠缭云形攸变，色溢青黛层次分。
红崖挂瀑响幽谷，似雨似雾溅游人。

悠闲人群中也出专家。剧作家李渔在《闲情偶寄》一书中讲述了饮食、花木、居室、音乐等诸方面的闲情逸致，可谓情感生活的丰富多彩。

可是，闲散的人群中也有表面上悠闲自在、恬淡安详但内心却抑郁不平的，如宋代文豪司马光的《闲居》诗：

故人通贵绝相过，门外真堪置雀罗，
我已幽慵僮更懒，雨来春草一番多。

诗里展示的是以前的朋友纷纷与诗人断绝来往以致门庭冷落、家童趁主人幽居困乏而偷懒，致使庭院雨后野草丛生的图景，感叹人情世态的炎凉。而陆游的诗句“志士凄凉闲处老，名花零落雨中看”，则抒发了心中对于南宋朝廷不起用他抗金的愤懑。

悠闲换作贬义词是寂寞，民国诗人卞之琳在1935年曾写下《寂寞》诗：

乡下小孩子怕寂寞，枕头边养一只蝈蝈；
长大了在城里操劳，他买了一个夜明表。
小时候他常常羡艳，墓草做蝈蝈的家园；
如今他死了三小时，夜明表还不曾休止。

蝈蝈不怕寂寞，而人怕寂寞；夜明表的滴答声听起来像蝈蝈的叫声，买个夜明表作伴是为了代替蝈蝈。

人在异国他乡更容易感到寂寞。我想起自己在北美洲逗留时写下的诗句：

夜静怯思乡，梦短雨帘长。
一宵滴檐声，千遍数惆怅。

我又记得秋夜醒来作过的小诗：

桐叶干枯响，夜深谁和应。
蟋蟀絮叨鸣，曲抑不堪听。

在所有人群的闲情寄托中——或说是打发寂寞的方式中——物理学家也许是另类的，因为他们对于自然有异于常人的敏锐，自然的日常运行就可以赢取他们的好奇。

英国物理学家牛顿打小时候起就有研究物理的兴味。1658年，英国海上发生飓风。这时，牛顿住在林肯省，见风势很大，就在空旷的地上跳来跳去。他觉得背着风跳，用力不多，跳得很远；向着风跳，用力很多，跳得较近。他要测量风的力量，就在地上插上小木桩，比较背着风和向着风跳出去的远近。

法国物理学家傅科为了打发寂寞，寄闲情于运动摆。1850年，身在巴黎的傅科用40英尺的长绳子挂一重锤于天花板，并在地上画一个有角度刻度的圆圈，将重锤对准圆心，经常望着重锤摆来摆去，观察摆动的平面从1度—181度到2度—182度的变化，来检验重锤下的地球的自转。我在20世纪80年代访问加拿大的新布伦瑞克大学，其物理系的楼里也悬挂着一个傅科摆。

相类的例子还有:

伽利略在教堂里做礼拜时，搭着脉搏当计时工具，估算吊灯的来回摆动周期。

富兰克林在下雨天让儿子放着风筝，自己触摸悬在风筝线上的金属钥匙，感受电击的“快乐”。

法国理论物理学家、波动力学创始人德布罗意一战时在一个气象观测队服役，寂寞中，他也观察不远处池塘里的青蛙，常常注视着青蛙跳进池塘产生的一圈圈波纹发呆，这形成了他以后提出物质波的潜在意识。

英国物理学家威尔逊于1894年的一天在苏格兰的一个山顶上闲来无事，注视着云彩被阳光照射后发生的绮丽彩环，久久不愿离开。1985年，他在苏格兰高原研究气象学时，受此启发，让一个容器中快要冷凝的饱和水蒸气突然绝热膨胀，容器中的温度降低到露点以下，蒸气处于过饱和状态，再将带电粒子射入容器内。在粒子的行径上，

有许多分子电离，成为过饱和水蒸气凝结的核心，随之出现指示粒子路径的雾迹。这种“雾室”可以用来探寻粒子行进的轨迹。

1827年，英国植物学家布朗在用显微镜观察水中悬浮的花粉时，发现这些花粉颗粒不停地做无规则运动，并把这种实验记录在他1828年出版的《植物花粉显微观察》一书中。但是，布朗不知道产生这种运动的原因。1905年，爱因斯坦用分子做无规则运动对悬浮粒子的撞击，对布朗观察的结果进行了精确的理论研究，导出了解释布朗运动的爱因斯坦公式。1908年，法国物理学家佩兰利用与大气分子垂直分布相类似的胶态粒子在液体中悬浮进行显微镜观察，以前所未有的精确度确认了爱因斯坦公式的正确性。

在物理学家眼里，“凡物皆有可观。苟有可观，皆有可乐，非必怪奇伟丽者也”。（苏轼《超然台记》）

我于是有诗感叹：

我是忙中无，彼是闲中有。
我忙空嗟与，彼闲实有悟。

“聊托物以幻化，寓至情于奇想。”这些物理学家将闲情寄托在对自然现象的好奇上，进而形成了对于自然不懈的求索。如今他们虽然离世百年，其理论的发展却生生不息。他们又何曾寂寞？

伽利略——理论物理学家的先驱

爱因斯坦曾经评价伽利略的科学研究方法是人类思想史上最伟大的成就之一，是物理学的真正开端。这位于1564年生于意大利比萨城的科学家承前启后，创立了现代自然科学研究的方法——对物理现象进行实验研究，并把实验的方法与数学方法、逻辑论证相结合。

传说伽利略曾在比萨的天主教堂里，借助脉搏测量天花板上来回摇摆的吊灯的运动周期，发现每一次摇摆需要的时间是一样的，由此找到了摆的运动规律。摆钟就是根据伽利略发现的这个规律制造出来的。

这里值得指出的是伽利略启用的理论物理思维模式。当他发现单摆的摆动周期与摆幅的大小无关，又是怎样用理论家的思考方法来证明这一点的呢？摆的运动轨迹是一个圆弧，使摆锤做横向运动的力的大小在每一时刻都在变化。在当时微积分还未出世的情况下，伽利略就改而从圆弧对着的弦（譬如一张弓的弦）切入，这样就把问题转化为研究一个小球沿着不同斜面滚动的情况，由此推出，由于这些不同的弦（斜面）都被圈在同一个圆内，因此小球滚下的时间相同。

在自由落体的时间研究方面，古希腊的亚里士多德认为，物体下落的快慢是不一样的，其下落速度与其重量成正比。对此，伽利略的理论思考是：如果重的东西比轻的下落快，那么当把轻重两样东西捆在一起，其总的重量增加了，按亚里士多德的说法，其下落应该更快，那么如何解释那个下落慢的轻物对下落快的重物“拖后腿”的因素呢？所以“重的东西比轻的下落快”显然荒谬。

物理学家汤姆森在纪念瑞利的讲话中提到：“在科学上，有两类人。一类是写那些科学的第一个句子的人，他们可能被视作领导者；而另一类是那些写最后一个句子的人。瑞利则属于第二类。”

所以我以为伽利略是写理论物理第一个句子的人。在1999年，我和妻子专门到比萨去看斜塔，并作诗：

落体竞自由，理史源比萨。看塔疑地倾，望云忧天塌。
迟暮堪身斜，物新恋年华。谁言世上人，惟把中庸夸。

那么，中国古代有没有理论物理思维的萌芽呢？若勉强说有的话，那就是汉代的曹冲称象了。也许有人认为，用太极的观念来解释量子理论中的波粒二象性是理论物理，我却认为太极仍是哲学，而非理论物理的思维方式。

为什么说狄拉克是天才

法国雕塑家罗丹说：“所谓大师就是这样的人，他们用自己的眼睛去看别人看过的东西，在别人司空见惯的东西上能发现出美来。”另有人曾说：“天才唯一的要点，就是人人不能表现，或难于表现的，他能将其表现出来。”狄拉克，就是这么一位天才。在量子力学萌芽时期，缺乏能表现其本质的数学符号，让海森堡等很是为难，是狄拉克发明了符号法，既统一了海森堡的矩阵力学表述和薛定谔的波动力学表述，又能体现德布罗意的波粒两象性。有了狄拉克的ket-bra符号，就可建立量子力学表象完备性和变换理论。这些符号终究成为量子力学的语言而不朽。所以，狄拉克在晚年时说：“符号法是我的至爱，拿什么来换都不换。”

我的朋友何锐说得好：自然界展现给人们的从来就不是清晰的图景，自然与人的关系是暧昧的。天才就是那种能把自然以一种直观的形式呈现给人们的人，虽然，展现给人们的往往只是自然界的某个侧面的剪影，而永远不会是其本身的全息图像。但是，哪怕仅仅触及它的冰山一角，也已经很了不起了。有人说天才是窥见上帝秘密的人，何尝不是呢?

狄拉克的符号法有平淡简洁的特点，无雕琢之痕迹，后人很难仿效，正如陶渊明的平淡出于自然，后人学他平淡，便相去远矣!

那么如何对ket-bra符号积分呢？这个问题狄拉克没有想到，与他并肩的物理大师及其佼佼弟子们在符号法问世后的半个世纪内也没有想到。倒是我这个中国人在自学量子力学时感悟到了，并提出了解决办法（有序算符内的积分理论），可启迪今人传至后世。噫！这是怎么可能的呢?

画家吴冠中说：“不少有杰出成就者默默无闻，往往等三十、五十年甚至几个世纪后才被人们发现。是群众暂时不理解吧？”

默默无闻对于能者不见得有多糟糕，徒有虚名却往往坏事。某些处于学术高位却没有真本事的人耽误和挫伤了年轻学子，因为青年容易膜拜有名气的人，当纷至沓来的他们发现自己仰慕的原来是不学无术者，就后悔莫及。

关于文章，南宋文天祥曾写道：“一日之赫赫者多矣，千载而赫赫者几人。为一日计者，无千载也。决矣。”狄拉克乃千载而赫赫者。人们惊羡狄拉克的天才，很多人慕名来听他讲授量子力学课，其中甚至有非物理专业的学生、退伍士兵和政府职员。

一个听课学生被问道：“你明白狄拉克教授写在黑板上的东西吗？”

“不！”

“那么你为什么从不间断地上他的课？”

“我只知道一部分，大多数的数学语言我是不明白的。然而，我想有一天可以对别人说我是上过狄拉克的量子力学课的学生之一。”其自豪之情溢于言表。

我无缘面见狄拉克先生，更没有听过他的课，但是我读了他的书，以独到的方式发展了他的符号法，不也是可以引为自豪的吗？

闲情偶寄于一本量子力学书的大学生

忙中未必有，偷闲却灵生。
此中有悲喜，只属用功人。

这首诗是回忆自己如何在大学二年级期间在“闲”中发现一个可发展量子力学狄拉克符号法的新路子的。

狄拉克是20世纪举世闻名的物理学家。初入道时，他曾对原子中电子的玻尔轨道做了充满热情的研究，为了理解在相互作用下玻尔轨道是如何形成的，他苦苦工作了两三年。直到看了海森堡的文章后，狄拉克才意识到自己“赖以出发的基本观念是错误的”。在海森堡的理论中，只有那些连接两个玻尔轨道的值（跃迁矩阵元）才会出现，这导致了坐标算符与动量算符不可以交换。受海森堡的文章的启示，狄拉克领悟到不对易性是建立量子力学的关键。某次悠闲散步时，他突然想到了经典力学的泊松括号与量子对易括号的相似处，这深化和充实了海森堡的思想。狄拉克把他的发现写成文章，寄给海森堡征求意见，得到后者的赞赏。1926年，狄拉克被玻尔召到哥本哈根。他花了一年时间发明了由ket-bra符号组成的体系，完成了关于变换理论的重要文章，建立了与波粒二象性吻合的表象理论。

狄拉克随后写了《量子力学的原理》一书，书中强调了变换理论是理论物理的精髓，使他的符号法能在将来得以发展。狄拉克在书中还提到了作用量在量子力学中的地位，这个思想后来被费曼发展为“路径积分”理论。

而发展符号法以至于完善变换理论的突破口，则由我，一个当时（1966年）方大学二年级的中国学生在自学量子力学时“侥幸”发

现。我在那个非常时期处于运动潮流的边缘，属于“逍遥派”，是个“闲”人。偶然的机会捡得一本中文版的《量子力学的原理》，便闲情偶寄地随便翻阅，尽管很多内容都看不懂，但还能明白狄拉克所述坐标表象完备性积分式的物理意义，于是就提出如何对不对称的ket-bra符号实现积分的有序算符内的积分方法。之后的七八年间我断断续续地想，终于找到了做这类积分崭新的方法，揭示了量子力学的数学物理之深邃美，不但极大地丰富了量子力学的内容，而且为牛顿－莱布尼兹积分提供了一个新的发展方向。

能实现对ket-bra符号实现积分这件事，增强了人们判别量子力学理论正确的信心，并发现原来它的数学是如此之美妙。如果一个人只是了解狄拉克符号，而不学有序算符内的积分方法，就没有看到量子力学的全景。

有有识之士说“要是狄拉克还健在，他会感谢你发展了符号法”，因为符号法是狄拉克的至爱，狄拉克认为它是永垂不朽的。

不是闲人闲不得，爱闲非是等闲人。谁说一个普通的物理系学生的闲情偶寄就不会有意想不到的结果呢?

论心只觉宜狂士，得句常疑复古人

此为清代学士何绍基的对联，我欣赏它是因为此联既表达了要少年立志，又表达了要勇于创新，不循古人的意思。此联也可解释为：大胆假设，小心求证。这与胡适的观点相似。友人何锐按：奇思妙想须先逾矩，故曰狂士；妙言佳句似曾相识，常疑复古。我在练习写诗时偶尔得佳句，如在望月诗词中有“应识月光谱，读出离人愁”，这是不会重复古人的，因为古人不知道什么是光谱和识得光谱。

法国数学家兼物理学家拉格朗日就是这样一个狂士。他19岁那年就发明了分析力学，将力学科学看成是四维空间中的几何——三个笛卡尔直角坐标和一个时间坐标，就足以确定一个运动质点在时空中的位置。他看待力学的这种方式，后来被爱因斯坦用到广义相对论上。拉格朗日还发明了变分法，把它用于力学，英国物理学家哈密顿成就了以哈密顿命名的正则方程。拉格朗日还研究过为什么月球总是以同一面对着地球（著名的三体问题之一）。拉格朗日对牛顿的敬意，带有一点温和的讽刺味道。他说：“牛顿无疑是一个特别的天才，但是我们必须承认，他也是最幸运的人：找到建立世界体系的机会只有一次。”他又说：“牛顿是多么幸运啊，在他那个时候，世界的体系仍然有待发现呢！”

拉格朗日的时代还没有电动力学，所以他没有机会发现狭义相对论，但是讨论为何惯性质量等于引力质量的机会是有的，不过这机会他没有注意到，后来被爱因斯坦抓住，并建立了广义相对论。

按拉格朗日的说法，我也是一个幸运的人，因为提出对狄拉克的ket-bra算符做积分的机会几乎是向所有认真学习量子力学的人开放着的，而我有幸抓住了它。

言者无聊，闻者有心

中国有句古话，“言者无罪，闻者足戒”。我这里要说的事情算是“言者无聊，闻者有心”，这在科学技术的发展史上偶有发生。

1832年10月1日，一艘名叫“萨丽号”的邮船，满载旅客，从法国北部的勒阿弗尔港驶向纽约。旅途中，画家塞缪尔·莫尔斯结识了杰克逊。杰克逊是波士顿城的一名医生，也是一名电学博士。此次他是在巴黎出席了电学研讨会之后正回国。闲聊中，杰克逊用通俗的语言介绍了电磁感应现象，以及一些电的基础知识，比如电流能神速地通过任意长的导线等。

莫尔斯想：电的传递速度那么快，能够在一瞬间传到千里之外，加上电磁铁在有电和没电时能做出不同的反应，利用它的这种特性不就可以传递信息了吗？41岁的莫尔斯——一位颇有成就的绘画教授，决定放弃他的绘画事业，发明一种用电传信的方法——电报。

这真是“言者无心，闻者有意”啊！科学技术有时就是邂逅了有心人才得以发展的。

莫尔斯在科学笔记中写道：

电流是神速的……电流只要截止片刻，就会出现火花；火花就是一种符号；没有火花是另一种符号；没有火花的时间长些又是一种符号。这里有三种符号可以组合起来，代表数字和字母。它们可以构成全部字母，文字就能这样通过导线传送了。其结果便是，在远处能记录消息的崭新工具就能收到信息了！

“用什么符号代替26个英文字母呢？”莫尔斯苦苦思索。他画了许多符号：点、横线、曲线、正方形、三角形。最后，他决定用点、

横线和空白共同承担起发报机的信息传递任务。他为每一个英文字母和阿拉伯数字设计出代表符号，这些代表符号由不同的点、横线和空白组成。这是电信史上最早的编码，后人称它为“莫尔斯电码”。与莫尔斯同时代的一个电学专家惠斯顿（因发明电桥精密测量电阻而传世）也试图编码，但他的方案不如莫尔斯的简单实用。

有了电码，莫尔斯马上着手研制电报机。他在极度贫困的状态下进行研制工作，终于在1837年9月4日制造出了一台电报机。它的发报装置很简单，由电键和一组电池组成。按下电键，便有电流通过。按的时间短促表示点信号，按的时间长些表示横线信号。它的收报机装置较复杂，由一只电磁铁及有关附件共同组成。当有电流通过时，电磁铁便产生磁性，这样由电磁铁控制的笔也就在纸上记录下点或横线。这台发报机的有效工作距离为500米。之后，莫尔斯又对这台发报机进行了改进。

接下来该在实践中检验发报机的性能了。莫尔斯计划在华盛顿与巴尔的摩两个城市之间，架设一条长约64公里的线路。为此，他请求美国国会资助3万美元作为实验经费。国会经过长时间的激烈辩论，终于在1843年3月通过了资助莫尔斯实验的议案。

1844年5月24日，电报发收试验在华盛顿国会大厦联邦最高法院会议厅里进行。年过半百的莫尔斯在预先约定的时间，兴奋地向巴尔的摩发出了人类历史上的第一份电报。他的助手很快收到那份只有一句话的电报：“上帝创造了何等的奇迹！”

对莫尔斯来说，这是一个阳光最灿烂的日子！晚上他给兄弟写了一封信。信中他在解释为什么用《圣经》里的一句话作为第一份电报的内容时写道：“当一项发明竟创造了如此的奇迹，而它又曾经如此备受怀疑，可是最终从幻境中走出，成为活生生的现实时，没有比这句虔诚的感叹语更为恰当的了。”

电报的发明，不是物理学家的动议，而居然是一位画家的杰作，这本身就是奇迹。近代中国教育家陶行知写下了很多教育名言，其中曾录“择一而壹之”写成条幅赠友人。“择一而壹”来自《荀子·解蔽》：“身尽其故则美。美不可两也，故知者择一而壹焉。”从画家莫尔斯到电报发明人莫尔斯，说明了“择一而壹”绝非千真万确。

电报的发明，也不是来自满腹经纶的电磁学专家的思想库，居然是利用电火花这样一个看似天真的想法。现在利用光纤网络甚至量子纠缠来交换信息的人们，应该铭记莫尔斯的历史功勋。

爱因斯坦和海森堡谈论马赫的思维经济原则

1926年，德国物理学家海森堡决然放弃电子轨道概念，代之以可观测量（跃迁频率和相应的振幅），来研究原子光谱。也就是在那年春天，在柏林，他遇到爱因斯坦，两人就海森堡的论文讨论了好久。这里，我揣摩他们的长篇哲理谈话（海森堡的回忆）并作如下简化，以突出其主要观点，希望大致符合他们的原意。

爱因斯坦问海森堡：“难道你是认真地相信只有可观察量才应当进入物理理论吗？”

海森堡反驳道：“你的相对论中不也认为绝对时间是不可观察的，只有运动参照系或静止参照系中的时钟读数才同时间的确定有关吗？”

于是爱因斯坦向海森堡指出，试图单靠可观察量来建立理论，那是完全错误的。实际上，恰恰相反，是理论决定我们能够观察到的东西。爱因斯坦还指出，这个所谓的可观察量也是从已有的麦克斯韦理论那里因袭来的。

爱因斯坦认为，每一次观察，实际上在事先已经假定了存在一种我们已知的不含糊的联系，它联系着被观察的对象与最终映入我们意识中的知觉。只有当我们知道决定这种联系的自然定律时，才能确定这种联系。不过，如果这些定律还不清楚，就像当时的原子物理的情况那样，则连“观察”这个概念也失去了它明晰的意义。在这种情况下，是理论先决定什么是被观察的。

海森堡不甘示弱，回道：“一个好的理论最多不过是按照思维经济原则把观察结果凝聚起来，这种思想无疑是回到了马赫。[(1)] 实际上，据说你的相对论决定性地利用了马赫的概念，但是你刚才对我讲的，似乎是恰恰相反的。你自己究竟是如何想的呢？”

爱因斯坦在回答中提到：“马赫的思维经济概念可能包含部分真理，但是我觉得它有点浅薄。马赫或多或少地忽略了这样的事实：这个世界实际上是存在的，我们的感觉印象是以客观事物为基础的。马赫关于观察的概念也太朴素了。他假装我们完全正确地理解‘观察’这个词的意思，并且以为这就使他不必去辨别‘客观的’现象和‘主观的’现象。难怪他的原则有这样一个可疑的商业上的名称——思维经济。实际上，自然规律的简单性也是一种客观事实，而且正确的概念体系必须使得这种简单性的主观方面和客观方面保持平衡。”

海森堡对此表示同意：“正像你一样，我相信自然规律的简单性具有一种客观的特征，它并非只是思维经济的结果。”

海森堡接着说他的理论工作显示了自然界的简单性和美，他被这个数学体系强烈地吸引住了，可以继续想出许多实验来与理论的预测作比较。

爱因斯坦说：“实践的检验当然是任何理论有效性的一个必不可少的先决条件。但是一个人不可能什么事情都去试一试。这就是为什么我对你关于简单性的意见如此感兴趣。可是，我却永远不会说我真正懂得了自然规律的简单性所包含的意思。”

以上谈话指出了马赫的思维经济原则否定了人的思维和科学概念是对客观实在的反映，否定了作为自然科学研究对象的自然规律的客观存在。谈话也涉及了物理理论的思路与实验的关系。

可惜目前国内的物理教科书鲜有关于科学哲学的介绍，以至于很少有学生能从源头来思考物理问题，真是遗憾得很！

---

(1)　马赫的思维经济原则认为，科学就是花费尽可能少的思维，以尽可能简单明了的形式探讨和解释各门科学。科学的发展也是一种生存竞争、适者生存的斗争。为了使人们更好地适应环境，就要采取更加经济的方法，哪种科学能够使人们以最小的劳动量完成所要完成的任务，它就会存在和发展，否则就会被淘汰。

狄拉克的得意之作

首位获得诺贝尔物理学奖的穆斯林是阿卜都勒·萨拉姆，他有幸在剑桥大学受教于狄拉克。有一次，萨拉姆问狄拉克：“什么东西您认为是您对物理最大的贡献？”狄拉克答道：“是泊松括号（与量子力学对易括号的对应）。”这个回答出乎萨拉姆的意料，因为萨拉姆认为狄拉克会说是关于电子的狄拉克方程。

而我能够理解狄拉克的这个感觉，因为发现泊松括号自洽对应量子力学对易括号$[X, P]=i\hbar$，是将经典力学的哈密顿形式过渡为量子论的合理性的有力支持，有关的文章是狄拉克科研生涯的处女作。此文一出，使得玻尔和海森堡茅塞顿开，从此对狄拉克刮目相看。我的研究工作之一是怎样从经典正则变换直接过渡到量子力学的幺正变换算符，这恰是与泊松括号的量子力学对应的后续研究。可惜我没有与狄拉克直接交流的机会。我虽然在1982年获得博士学位的论文中已经提出了有序算符内的积分理论，但彼时不知如何与国际同行学术交流。一直到1986年我出国访问后才知道实现国际交流的途径，而狄拉克已于1984年逝世。我在惆怅之余，曾写下一首小诗：

神来之笔孰能同，精巧数理一代宗。
透识天机皆造化，源探无处不春风。
遐思孕在须臾间，奇想常现梦幻中。
我亦有志承学统，可叹今世不相逢。

谈论文评价

当今，为了评职称、申请经费、申报优秀论文和创新团队等而请专家评议论文之事几乎每月都有。

明代有个叫陈孝逸的给一位朱姓朋友写信，意思是：你的来信充满赞誉之词，宠爱太深。其实我不值得抬举。我一大把年纪，还要拿着数行文字，随着一帮年轻人，厚着脸皮去请人评价，而这些人并不在行；这正如老姑娘出嫁给她襁褓时当奶妈的丈夫做填房，“言不辱者，强颜尔”。

这里的比喻很风趣，也不知道陈孝逸是如何想到的，也许他见证过老姑娘嫁奶妈的丈夫做填房这样的事情（在封建社会很丢脸）。这事从当下看，也没有什么不光彩，人们也不会说老姑娘脸皮厚。

不过，有的人打心里是不愿意去申报学术最高头衔的，让一些不相干的人投票来赞成你，就像请一帮人为老姑娘嫁奶妈的丈夫做填房当证婚人，也是够搞笑的。也有的人已经被选为院士，却不愿当。美国科学院院士费曼就好几次写信给院长，要求解除他的院士头衔，信中说：“我想放弃国家科学院院士的身份。我没有时间，也没有兴趣参加贵院的活动。”

因为在他看来，院士做的事情就是评判别人能不能当院士，这给费曼以自吹自擂的感觉。

至于读论文与品论文，费曼认为读大科学家的原始论文，才能完全明白他们何以伟大，若能有机会与这些大师见面，心中才真正感动。

评费曼的一个史学观点

大物理学家费曼曾写道：“毫无疑问，一万年以后，当我们回顾人类发展史的时候，19世纪最重要的事件，一定是麦克斯韦发现了电动力学定律，而与这个同时代的重要科学事件相比，美国内战反而相形见绌。”

乍一读来，费曼的观点有道理，麦克斯韦在总结了法拉第、安培等科学家成果的基础上建立了完整、系统的电磁理论。电磁理论促进了科学技术的发展，有力地推动了社会的进步。电磁理论认为：变化着的电场伴随变化着的磁场，变化着的磁场也伴随变化着的电场；光是电磁波。

普朗克说：“在每个科学领域，都有几个卓然立于千古的天才人物，他们所投射出来的认识之光，远远超出了他们所在的国家，进而以直接的方式推进并加速了全世界的研究工作。”麦克斯韦无疑是这样的人物。

但是，历史与历史人物休戚相关。仔细想来，美国内战时期出现了林肯，这是世界几千年才出现一个的伟人。林肯虽然是白人，却废除了奴隶制，单就这件事就值得被永久地铭刻于史册。1999年，美国国家广播公司曾就历届总统的人气度做过调查。美国公民最尊敬的总统是林肯，认为他是以在美国内战中的胜利结束了美国的分裂。他任期内惨遭杀害，成为殉道者，因此成为美国人心中神话般的存在。即便是无产阶级的革命导师马克思也给林肯以很高的评价，他说：“在美国历史和人类历史上，林肯必将与华盛顿齐名。”

作为历史人物，麦克斯韦固然伟大，但如果没有他，电动力学迟早会被别人建立起来，也许是晚几十年，甚至上百年。爱因斯坦曾经很客观地说，如果没有他（爱因斯坦），狭义相对论迟早也会诞生，因为洛伦兹变换已经有了。但是，如果没有林肯这个有善心、有智慧、有魄力的政治人物出现，黑奴不知何时才能得到解放。

我无意否认费曼的这个史学观点，只是觉得应该补充说些什么。话说回来，科学发明本也难以与政治事件相比较。

卡文迪许实验室人才辈出的原因

卡文迪许实验室是剑桥大学物理科学院的一个系。创建卡文迪许实验室的是著名物理学家、电磁场理论的奠基人麦克斯韦。

实验室的第四任主任是卢瑟福。卢瑟福是一位成绩卓著的实验物理学家，是原子核物理学的开创者。卢瑟福十分重视对青年人的培养。在他的带领下，查德威克发现了中子，考克拉夫特和瓦尔顿发明了静电加速器，布拉凯特观察到核反应，奥利法特发现了氘，卡皮查在高电压技术和低温研究上取得硕果，另外还有电离层、空气动力学和磁学的研究等等。有一次，卡皮查问卢瑟福，“一个老师最重要的是什么？”卢瑟福的回答是：一个老师必须学会不嫉妒学生的成就，而对于步入老年的教师来说，这并非是件容易的事。卡皮查认为，这也正是卡文迪许实验室人才辈出的原因。例如，伟大的科学家法拉第是戴维发现的。由于戴维的帮助，法拉第来到了皇家科普协会实验室，由一个贫穷的订书工变成戴维的助手，为法拉第以后完成科学的勋业创造了必要的条件。然而戴维在晚年，也曾因嫉妒法拉第的成就而压制过他。

人们分析戴维这一劣迹的成因是他获爵士称号以后，开始自觉、不自觉地追求和自己身份相符的财产，走上了爱慕虚荣的道路，他好强争胜，凡事都要争第一。因此，当他看到他的学生在他失败的领域取得成功的时候，当他看到他的学生将超过自己的时候，妒火燃烧。戴维给人们留下的教训是深刻的。

中国古代老一辈扶植年轻人的事情屡见不鲜。在清代末年，广泛流传着俞樾为孙诒让的书《札迻》作序的佳话。

当时，70多岁的著名学者俞樾看到比他小27岁的无名晚辈孙诒让写的《札迻》自序（内中说俞樾的论著一般，且有不少错）后，不但不恼火，反而为孙诒让敢于实事求是地评论所感动，欣然为其著作写下了一篇热情洋溢的序言，对其给予很高的评价，还提出了一些建议，鼓励后来者居上。

后来，孙诒让不负俞樾之所望，成为中国晚清的经学大师和教育家。

心羡游僧处处家——散步是理论物理学家的天职

德国著名物理学家亥姆霍兹（他是普朗克的老师，也是以光辐射的位移定律传名于世的维恩的引路人）有句名言：“散步是自然科学家的天职。”

为什么如此说呢？因为自然科学家的天职是发现自然规律，这需要研究人员的灵感，而灵感往往产生于漫步时，放松、漫不经心的状态下好的想法会瞬间掠过脑海，或是说，“思想回路”的运作开通了。

例如：狄拉克靠散步积聚灵感，想到了经典泊松括号与量子对易子的对应关系；哈密顿在步行去都柏林的勃洛翰桥时想到四元数；普朗克是个著名的登山爱好者，每天都做长时间的散步，有时他还带上护腿套，肩扛背囊，出没在德国森林深处。海森堡和伦琴也都痴迷登山。

歌德说：“我最宝贵的思想及最好的表达方式都是在散步时出现的。”

我也喜欢散步，尤其是在长时间的脑力劳动后，“谁云贪墨无休日，到底磨人有倦时”，脑子累了迟钝了，就得外出走走。那时的心情正如陆游所描述的那样——“心羡游僧处处家”。我也曾写过两首关于散步的诗：

散步随感

久阅滞元神，出门倚黄昏。
逢雨忧雀冷，过树惜苔痕。
步远量思绪，暮迟失景深。
因缘楼群密，蛙鸣也醉人。

“倚黄昏”者，青山解语，绿水知心之意也。

傍晚散步

城市喧嚣处，偶见绿地绕。
心舒感微风，身倦卧嫩草。
独恋单树影，对望两翠鸟。
夕阳羞下落，向晚人惭老。

我在徜徉中，也偶尔有奇思涌出。例如，求系综平均意义下的费曼－海尔曼定理就是我在合肥环城公园散步时突然想到的。

跋

吴泽

散步是用来帮助消化的，然而当物理学家散步的时候，他们消化的可不仅是食物，还有思想和孤独。伦琴爱好爬山，1922年他最后一次爬阿尔卑斯山的时候曾对同伴说：“我还是要选择离开熟路，到山石崎岖的路去攀登，如果我万一失踪，别到大路上去找我。”

若是范洪义先生失踪了，该去何处寻呢？这学校周围也没有什么“崎岖的山路”之类的地方呀。别急！您先瞧瞧文化市场的旧书摊边上蹲着聚精会神看书的那位白发苍苍的老头儿；您再看看中科大美食广场前那棵梧桐树下养神而坐，面前摆着一堆上个世纪出版的物理教材的老先生；或者，您会在图书馆见到一群学生围着一张纸，抓耳挠头地思索着纸上一道量子力学ket-bra算符积分题的解法，此时旁边必然有位老教师——那道题目便是他出的关于如何发展狄拉克符号的启蒙题……如此，您便能找到他了。

范洪义先生常常散步，一个人散步；而这本书，就是他这几十年来在散步中“消化”了思想和孤独的产物。也许大部分读者读完后只会觉得这是一位热爱写诗、写文章的老物理学家闲暇之余的文字创作，更细心的读者会发现每一部分的名字中都有个“闲”字。但在我看来这本书讲的不是“闲”，却是“孤独”——这是一本在孤独的步伐中寻找灵感，再用孤独写就的书。

读后感没有对错之分，一千个哈姆莱特也没有高下之分。诸君对此书可保留自己的理解，无论您对它是崇敬、是赞叹，亦或是不屑。

然而既然已经看到这篇跋了，不妨听我讲讲关于本书作者的一些印象，读完之后，您再回头看看本书的内容，也许会有不一样的感受。

从认识范洪义老师到现在已有近三年的时光了。第一次见到他时他正在梧桐树下卖书，好奇这位看上去“仙风道骨”的老人究竟有何来历；而后在那栋拆掉之前的老四牌楼中拜访了他那乱糟糟的办公室，也正是在老四牌楼里那段不长的日子里，范洪义先生成为我量子力学的启蒙老师，那是我大学四年最珍贵的时光之一。

到如今，范老师依然会在生活和学习中给予我毫无保留的帮助；我也会帮他做一些计算以及论文、书籍排版的工作。所以说，凭着这么多跟范老师打交道的经历，当我说这本书讲的不是“闲”，而是“孤独”的时候，我是有依据的。

因为“从一而终的人最是孤独！”

范老师是一个老物理学家、中国首批十八博士之一，在量子力学领域有自己独到的见解和创新——首创“有序算符内积分技术”。如今已年逾古稀，他依然每天来到那间15平方米左右的小屋子，勤勤恳恳地耕耘着自己开辟的理论领域。写书、写论文；思考问题，解决问题；闲暇之余不过就写写诗，把玩把玩一些年代久远的东西和一些书画来消遣；甚至于连自己远在异国的家人们，也许久未见了……很少有人能理解这样的生活方式，我也一度困惑过。然而我终究还是想明白了，之所以我们没法理解范老师这样的生活，是因为我们还没有达到他这样的境界——这是一种从一而终的境界。且不论成就高低，这种境界和爱因斯坦闭眼之前仍然计算着大统一理论的境界别无二致。而在这样的境界下，孤独是无法避免的；既然选择了从一而终，就要一条路走到黑；而这条路，注定是一个人的朝圣之路。

然而，范洪义先生并没有说自己孤独，他用了“闲”字。在一般的理解上，“闲人”大概是指无聊平庸之人；而“孤独”则是有思想、有内涵的闲，正如尼采所谓的“只有天才和疯子才配享有孤

独”。范洪义先生之所以不说自己孤独，读者可参考本书第二部分的那篇《却道天凉好个秋》——这是我最喜欢的一篇，也恰好印证了我的观点。范老师在文中说：“五十年来，日日读物理大师们的高论并努力发展之，如同与他们神交，我并不孤独，有科学与我做伴，我变得真实，不屑矫揉造作。”

词曰“而今识尽愁滋味，欲说还休；欲说还休，却道天凉好个秋”，孤独的人说自己“闲”大概也是同样的道理吧。

所以我这篇跋正是想告诉读者，假如您已经从“闲”的角度看完了这本书的话，不妨回头再从“孤独”的角度重新看一遍，也许会有不同的理解和感悟。

2017年10月