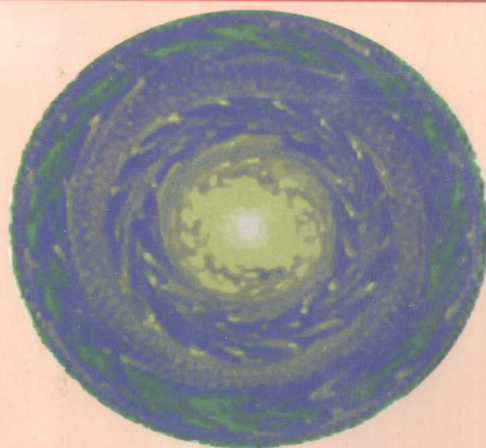


大学物理实验

陈均钧 编著

陈守川 主审
潘元胜



宁波出版社

Ningbo Publishing House

高等院校使用教材

大学物理实验

陈均钧 编著

陈守川

潘尧胜

主审

江苏工业学院图书馆
藏书章

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/陈均钧编著. — 宁波: 宁波出版社,
2004.8
ISBN 7-80602-773-4

I. 大... II. 陈... III. 物理学—实验—高等学校
—教材 IV. O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 057698 号



大学物理实验

编 著: 陈均钧
出版发行: 宁波出版社(宁波市苍水街 79 号 315000)
经 销: 全国新华书店
印 刷: 宁波市大港印务有限公司
责任编辑: 卓挺亚 廖维勇
开 本: 889×1194 毫米 1/16
字 数: 408 千
印 张: 16.5
版 次: 2004 年 8 月第 1 版
印 次: 2004 年 8 月第 1 次印刷
标准书号: ISBN 7-80602-773-4/O·4
定 价: 25.50 元
读者服务部: 宁波市孝闻街 12 号(0574-87347866)
网 址: <http://cbs.cnnb.com.cn>

序

陈均钧同志主编的《大学物理实验》教材,是根据《高等工业学校物理实验课程教学基本要求》,参考高教部物理教学课程指导委员会的实验教学示范中心建设的标准和国内外的相关教材,结合编者多年来的教学实践编写而成的。

物理学是一门实验性的学科,即使是理论物理的成果也必须得到实验验证后才能被世人所公认;它既有抽象思维又有形象思维,对学生的思维能力的培养极为有利。大学物理的理论教学与实验教学,在大学的学习中,是既有联系,又有区别的。在理工科院校中,单从教学的角度来看,它有两个体系:一个是理论教学体系,另一个是实践教学体系,而实验教学是实践教学中的一个重要组成部分。实验教学又分公共基础课教学实验、专业基础教学实验和专业教学实验。

大学物理实验课程是大学中的一门重要的必修基础课,大学物理实验教学担当着对大学生一种特殊素养和能力的培养。首先,它可以培养大学生以下素养:

1. 理论联系实际,培养用脑动手的习惯;
2. 严肃认真,实事求是,一丝不苟的科学态度;
3. 不怕困难,敢于实践,勇于进取的探索意识;
4. 遵守操作规程,爱护公物的美德;
5. 相互协作,共同研究的合作精神。

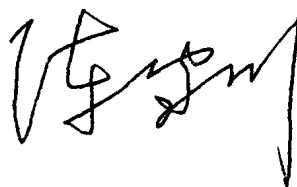
其次,它可以培养大学生如下能力:

1. 观察能力——理论联系实际,做到善于观察;
2. 用脑动手能力——正确调整、使用常用仪器,合理操作,强调用脑动手;

3. 分析判断能力——对现象进行判断,对测量数据进行综合归纳、分析;
4. 学习设计能力——按要求,提出实验方案,建立物理实验模型,选择实验仪器,拟定实验步骤;
5. 书写表达能力——撰写一份完整的实验报告。

教材是教学的依据,本教材的编写必将提高学院的物理实验教学质量并有利于实验室的建设。本人希望我们的大学生,通过大学物理实验的学习,为自己在未来的学习和工作岗位上自觉或不自觉地在物理思想、技能及技巧的协助下,创造性地为解决工程技术问题提供有利的条件。

浙江大学



教授

2004.1.28 于求是新村

前 言

实验物理学是一门反映真实现象的课程,只要你通过思考、设计,并调试面前的仪器,按照理论指导的程序,就能获得或者证实该理论。

大学基础物理实验就是要告知你们一个真实——实验产生经典,经典指导现象并分析现象;而你们现在做的实验正是回归经典的“当时”!这个逆与正的过程对你们才是最重要的……

然物理之解是:论物归综于理,论理求证于物。而物理实验为洞察物理之象,观象知理是物理实验的结果;真所谓学物理而能知之所学,习物理实验而能生之所证;学物理不做实验,那何以明辩物理之道!是故,我们仅仅学习物理学的描述是不够的,还应懂得物理学的语言的内涵;这样才能领会物理学的规律并欣赏它的哲学境界美。这里借用“教授”之别解,仰观理论而“教”之,俯察实验而“授”之,作为开卷。

本书是编者在1999年9月以来所使用的自编讲义的基础上,结合大学物理实验室已有的实验仪器设备,并考虑了目前的大学物理实验教学的新技术及今后发展的趋势而重修新编的。作者厚望本书能对教与授互联互通,师与生互联互通,知识点与方法创新点互联互通有些回响。

敬致,作者特别感谢浙江大学陈守川教授、南京大学潘元胜教授审阅了全稿,并对本书的定稿提出了宝贵的建议和意见。同时,作者要感谢是度芳教授、应伟杰老师对本书的指正以及在本书的修编过程中曾参阅的兄弟院校的教材的作者。

由于作者经验不足,书中不妥之处敬请读者指正并探讨,是感为谢!

编 者

甲申年元月

编者的话

同学们：

欢迎你走进本书，在字林中浏览、领悟；在图景中洞察毫理，并能捕捉到其中的灵感。

本书的目标是让你先把从直接的经验领域中获取的概念再次经你智与识的手重现……

随后，你得到的这种科学的方法与手段，伴随着时间，在你现在或将来的经历中会有所帮助；尤其是在间接的应用领域。

如果哪一天你有稍离直接的经验领域的思维结晶，那将是社会各层的欣慰。当然，这并不是本书扉页的非份之想。

如果你自信地掌握了本书的精要，那么，你不妨回头好好地总结一下，你就会认为以上的观点是正确的。

欢迎你 漫步在大学物理教学实验室。

编 者

于世纪初年的次日

内容提要

本书按照《高等工业学校物理实验课程教学基本要求》,结合大学物理实验室现有的仪器设备及今后的发展规划编写,是编者在经过多年教学实践的讲义基础上重修新编而成的。全书分六章,第一章为绪论,第二章为常用仪器的使用知识,第三章为力学和热学实验,第四章为电磁学实验,第五章为光学实验,第六章为研究性教学实验。全书共编排 36 个实验,在前 30 个实验中,有些是按设计性要求提出的,有些具有延伸操作的意义,主要是为了使学生走向社会后,能够将所学到的实验知识和技能带在身边使用。

本书的特色是立足于基础性实验的新要求,走理论的简单引导与实验方法的简明提示相结合的路线。

该书也能给相关学科的教师、学生及工程技术人员提供操作参考。

目 录

大学物理实验的意义与任务	1
关于实验原始数据的一言两语	3

第一章 绪论

第一节 不确定度概论	5
第二节 有效数字及运算	18
第三节 数据处理	21
第四节 实验报告的标准化	26
章后附录	31

第二章 常用仪器的使用知识

一、长量器具	36
二、衡器	39
三、计时器	43
四、温度计	43
五、电磁学中的常用仪器	44
六、光源	48

第三章 力学和热学实验

实验一 杨氏模量的测定	51
(1)光杠杆法	51
(2)动态谐振法	56
实验二 扭摆法测规则刚体的转动惯量	59
实验三 单摆法测重力加速度	65
实验四 落球法测液体粘滞度	69
实验五 打靶式碰撞	73
实验六 热线稳态法测气体的热导系数	74
实验七 相变潜热与超导电特性	79
实验八 超声波现象	81
(1)声速的测定	81
(2)声速的场分布	88

第四章 电磁学实验

实验九 硅光电池与电阻元件的伏安特性测定	89
实验十 模拟法测绘静电场	93
实验十一 直流数显电表的改装与校正	96
实验十二 直流平衡式单电桥测电阻	100

实验十三	直流电桥的应用	109
	(1)双桥法测电阻的温度系数	109
	(2)非平衡式电桥法制作数字温度计	113
实验十四	电子束的偏转现象与 e/m_0 的测定	115
实验十五	示波器的原理及使用	120
	(1)电子示波器(含虚拟实验指导)	120
	(2)虚拟示波器(PC 概念物理实验)	137
实验十六	示波器的应用	139
	(1)组装整流器	139
	(2)非谐频信号波的傅立叶分析	144
	(3)非线性电路的混沌现象	146
实验十七	补偿法测电池电动势和内阻	150
实验十八	补偿法校正电表	154
实验十九	霍尔效应法测磁感应强度	155
实验二十	亥姆霍兹线圈法测地磁水平分量	161
实验二十一	密立根油滴法测电子电荷	165

第五章 光学实验

光学实验基本知识	171
实验二十二 平行光法测球面镜的焦距和曲率	173
实验二十三 光的干涉现象	176
(1)等厚干涉(读数显微镜、CCD 检测)	176
(2)迈克尔逊干涉仪的调整与使用	184
实验二十四 分光计的调整与使用	191
实验二十五 分光计的应用	199
(1)三棱镜的色散与折射率的测定	199
(2)光栅的衍射与光谱分析	203
(3)光学器件的分辨本领	208
实验二十六 双光栅弱振动法测微位移	212
实验二十七 光电效应法测普朗克常数	215
实验二十八 光的偏振现象	218
实验二十九 光的空间频谱与滤波现象	223
实验三十 光学全息照相与暗室技术	226

第六章 研究性教学实验

实验三十一	光学影像技术与数字信息的艺术化处理	231
实验三十二	传感器特性及应用的研究	232
实验三十三	磁性材料的静态磁特性的智能测试与分析	234
实验三十四	氖的夫兰克—赫兹实验	238
实验三十五	椭圆偏振光法测介质膜的厚度与折射率	241
实验三十六	虚拟实验、智能检测实验软件、课件制作的研究	243
附表		244
参考书目		255

大学物理实验的意义与任务

物理实验是一门独立的公共基础课,它具有系统的实验方法和推进思维想像力的技能训练手段,它能培养你如下能力:

- ① 借助实验教材或各类资料准备必要的仪器设备;
- ② 利用仪器说明书能够正确地使用仪器;
- ③ 利用物理理论和仪器知识构建或创新实验项目;
- ④ 借助物理理论和仪器进行观察、测量,探索自然现象和规律;
- ⑤ 对定性、定量、非接触性的实验现象进行科学的测量、观察和分析,并对结果做出精确的判断。

故,各学科的同学如能认真地感知这类基础科学性的实验,那么在将来的不同时期回味此经历,可能是一段美好的记忆。

每当你想去做物理实验时,你就会由衷地感到一种多想了解现代知识的需求感正在向你心中奔来,对于这,你可不必过分惊喜,为什么?首先,因为书里的现象都来自于我们所生活的环境;其次,你现在要做的是通过完成实验的操作,使自己掌握自然界的一些规律。在实验现象的观察中,有时你心中难免会生出一份实实在在的惊奇。

你还想了解,理与解、理与论的接近度吗?以及思与想为什么不能统一吗?当你学完绪论中的有关不确定度概论后,你自然就会“旁征博引”。你或许会存疑,理解了不确定度有什么用?嘿!地球上的人除了离不开摩擦和引力外,还真少不了研究它呢(凡事皆有不确定度!)。好吧,要消除存疑,你还是接着把书浏览下去,答案自然会知道。

大学物理实验的指导思想是想通过实验理解物理现象的规律性并将其追溯到源头,同时有新思想的发掘与成长。

大学物理实验的任务是:

① 通过实验中的领会与学习,帮助你找到解决自然现象的新办法,使你掌握一门涉及知识面较宽的应用性技能。

② 导引你的学习热情及萌发你个性化的创造潜质;因为创新活动的原动力源于人类个性化的爱好,而科学家的思想却是一个推动个性化思维集成的运动。

希望你不要单纯地搬运或 *copy* 老师的或书本的思路,这就要求你有个提前量——各种方式的有效预习。通过预习与思考,可以使你摆脱老师的模式和书本的局限,并养成你独立的具有个性的学识主见;这样才能使你真正体会到整个学生生涯并不是空洞乏味的。

要正确反映实验结果,自然离不开一份完整的实验报告,如何正确地对待实验报告的撰写,将是实验的一个重要组成部分。应当有个共识,就是将实验报告看成是你向别人展现自己实验水平和结果的一种正解的间接评定方式,而不是单纯地想只是在完成一项作业。

当然,你还得遵守实验室的有关守则,了解这些守则对你做好实验是很必要的。同学们可参见大学物理实验室墙上挂着的、由学校设备处核发的《**学生实验守则**》、《**实验仪器损坏赔偿守则**》、《**实验室安全卫生守则**》等。

关于实验原始数据的一言两语

一言

人之言行首要的莫过于对自己心的诚信,其次才是别人对你的信任,正确地对待实验数据亦如此。

如果你对你的“原始数据”心存侥幸,而且别人也信了你,为此,你或许会自满,但你是为自己架设了通往错误彼岸之桥。

倘若你的行为连自己的心灵都在欺骗,那样的话,你是在忽视自己的生命此岸的价值!而仅存生命之边缘的生活价值了。

寄希望于同学们能保证原始数据的客观真实性,同时,也因为它能反映出你的人生的品德!一个诚实的信誉是可贵的。

两语

科学和科学教育的道德(节录)(美国麻省理工学院,1992年9月)

我们在阅读权威性杂志上报道的物理实验结果时,通常都认为作者是真实、正确地描述他所观察到的结果。你可以不同意他对实验结果的解释,或对他提出的解释他的实验结果的理论有不同的看法。但你要确信,如果你根据要求复现时,将得到一致的实验结果。

事实是检验科学真理的最终标准。如果以后有人证实某文献的测量结果是错的,即差异肯定大于给出的误差限,那时文献作者的声誉将受损。若发现有欺骗行为,那将毁了一生。所以,大多数有成就的科学家都极为郑重地对待他们的实验数据及发表的论文。

……为了维护科学的真实性和严肃性,实验室教师都相信学生的实验记录本上的数据、实验报告及口头报告的内容是如实反映真实的观察结果。由于实验时的操作错误、仪器设备工作不正常、对物理概念的理解不当、错误计算,都将会导致错误的结果。这时,实验室教师将帮助你分析哪些地方出差错,在下次实验时,你就能得到改进。

由于仪器不能工作、天气不好等等原因,导致你不能获得所需的实验数据,这时可以使用其他同学的数据,但必须事先经实验室认可。

“假实验”指的是伪造或任意修改数据,未经许可使用他人的结果,或从资料中抄袭数据。这是一种智力犯罪,与剽窃罪一样严重,甚至可以导致开除学籍。

当然,教学实验与科研实验有很大的区别。当公认值在你的偏差范围以外时,要努力去发现错在哪里,改正后再做实验。如果公认值在你的偏差范围以内,也不能掉以轻心,要进一

步证实这不是一次偶然的巧合。不论属于哪种情况,你在实验报告和口头报告时都要如实地描述你的观察结果,不论它看上去是如何的不好。

节录自:戴乐山,“美国麻省理工学院对近代物理实验课的要求”(《物理实验》第14卷,第4期,第179~180页)

物理教学实验室关于诚实实验的学德自律:

1. 实验的评分标准不是以实验结果与期望值的差别大小为准,而是以学生的实验知识、实验能力、实验态度等各方面的综合表现为准。

2. 实验数据的记录不能用铅笔,并且只准记录在报告纸上;数据测错或写错后可以划去重写,并注明原因;但不可以涂改或把原数据擦去。实验中改过的数据应经老师认可,其他数据不准任意涂改。

3. 如发现在实验中有篡改、抄袭、伪造数据等不诚实行为,则由任课老师提供证据报经有关领导确认后,视情节轻重,可给予本次实验成绩0分或平时成绩0分。

4. 实验数据必须写单位,实验结果分析必须是自己所得。

本语援引:复旦大学物理实验中心于1997年12月执行的《关于实验数据的三项规定》。

第一章 绪论

第一节 不确定度概论

何谓科学?其最重要的标志是该现象具有重复可演性,但此重复性并非完全一致的数据重复,而是每次在相同条件下的现象重现并且其数据具有可比拟性。验证科学的实验性的最重要目的是**不确定度域**。

理论联系实际,如何联系?误差一词,是偏差在起桥的作用。至于偏差的大小几乎可以涵盖所有的科学论证,并说明人类的一切成就。为什么?就是因为人类无法获得真值!

人类的一切研究与探索,不管其目的是什么,都是为了窥其真值;可是真值犹如绝对真理,生活在**相对真理**的海洋中的人类几乎不可能撩开真值的面纱!而获得的**最大可能值**仅仅是无限接近真值罢了。既然已明白了真值是不可知的,那么,在大学物理实验中,实验测得的是什么?仅是——在真值允许的**不确定度**范围内的值。

那么,此**不确定度**范围到底应该多大?这就必须引用**不确定度**分析来进行判断。例如,爱因斯坦在1916年发表的广义相对论时指出:当光线进行到太阳附近时,将有弯曲,其角度预计为 $\alpha = 1.8''$ 。而在1911年他用经典方法预计的则为 $\alpha = 0.9''$,可见,如果测量结果为 $\alpha = 1.8''$,则广义相对论是正确的,如果 $\alpha = 0.9''$,则说明经典理论正确而广义相对论应该否定。1919年有人成功地在日蚀时进行了测量,获得的最佳估计值 $\alpha = 2''$,且 α 在 $1.7'' \sim 2.3''$ 间的置信概率为95%,有效地证实了广义相对论的理论。再如牛顿,当时他对万有引力的计算偏差约10%(其实影响这万有引力理论正确性的大偏差是由于当时人们对地球曲率的计算偏差引起的),因而他推迟了八年才发表该理论。

实验中,我们往往是在相同条件下,对同一物理量进行多次等精度的测量,然后,对测量列($n > 6$ 次)进行数据处理和分析。测量可分为直接测量和间接测量,直接测量是直接用与待测物理量同类单位的仪器得到测量值大小的一种测量;间接测量是通过与被测量有函数关系的量进行测量,再经过函数运算得到测量值大小的一种测量。

为了避免概念上的混淆,需要分清一些名词和概念,下面就逐一进行说明。

1-1.1 精度、精密度、准确度、精确度

精度:一个笼统的概念,通常用来反映测量值与真值的差异程度。对仪器而言,精度高的仪器与计量标准仪器的差异小,反之,则差异大。对刻度式仪器常用可读的分度为精度,对数显式仪器则用数显最小单元字表示。

精密度:经多次测量所得结果之间相接近的程度。它反映了偶然偏差大小的程度,即测量值之间的接近程度。

准确度:测量值或实验结果与真值符合的程度。它反映了系统误差大小的程度,即测量值与真值的符合程度;在计量中通常用加修正值的方法来保证测量值的准确性,一个准确的修正值是通过检定来获得的。

精确度:是精密度与准确度的综合。它反映了综合偏差的大小程度。

【注】

关于准确度与正确度的辨析：

准确度——指精度，仪器的精度体现在仪器硬件各部分的紧密度和稳定度，如硬件的温漂和时间漂移所引起的不可忽略的系统偏差等。

正确度——指可靠性，仪器的可靠性反映在仪器本身的完全无故障状态，如传统仪器在硬件有故障时也显示测量值，这会误导测量结果，使测试的正确性下降。

如图 1-1 所示，它能形象地表明上述概念。

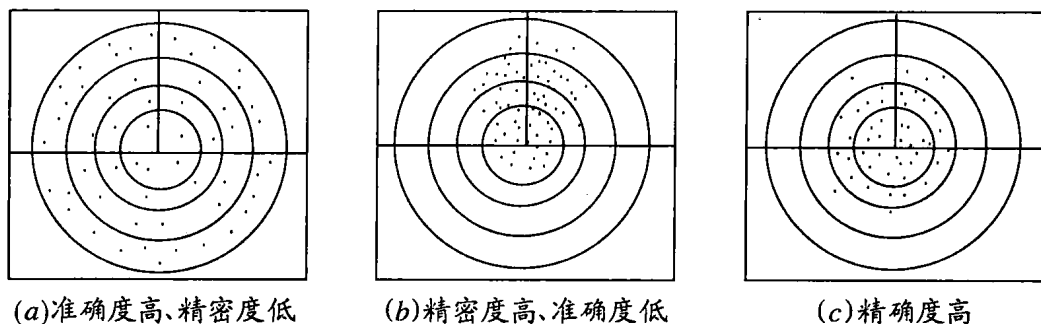


图 1-1

1-1.2 误差、偏差、系统偏差、随机偏差

误差：是测量值与被测量的真值之差，也称绝对误差，用 Δ 表示。

$$\text{误差列}(\Delta_i) = \text{测量列}(X_i) - \text{真值}(X_0) \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

绝对误差是有大小和正负的。在数据处理中有时用误差的绝对值，这在数学上称为误差的模，要区别这一情况。

偏差：是测量值与测量列的平均值之差。由于被测量的真值永不可知，当 $n \rightarrow \infty$ ，而且又削减系统偏差至可忽略时，测量列的算术平均值就近于真值^①，故实验中常用偏差 ϵ 来代误差。即

$$\Delta_i = \epsilon_i = x_i - \bar{x} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1)$$

其中

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

此式成立须有条件：式中 x_i 应是在相同条件下的等精度、无系统偏差、独立的测量。大学基础物理实验正满足此条件。

误差 Δ_i 与偏差 ϵ_i 的数学联系：

$$\begin{aligned} \epsilon_i &= x_i - \bar{x} = x_i - x_0 + (x_0 - \bar{x}) \\ &= \Delta_i + (x_0 - \bar{x}) \end{aligned}$$

当 $n \rightarrow \infty$ 时， $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_0) = 0$ ，即

$$\epsilon_i = \Delta_i$$

由于物理量的真值是永不可知的，故在测量中已不再使用误差一词，而用偏差表示；但单一偏差的绝对值大小并不能完全准确地反映出测量的可信性，它同时还应具有相对值的表示。相对偏差 E_r ($\neq$ 百分偏差 E) 是平均偏差的绝对值 $|\bar{\epsilon}|$ 与测量列的平均值 $\bar{x}$ 之比，有

$$E_r = \frac{|\bar{\epsilon}|}{\bar{x}} \times 100\% = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{|\bar{\Delta}|}{x_0} \times 100\% \quad (3)$$

① 可见章后附录 1-1

$$\text{对于 } \overline{\epsilon_x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |(x_i - \bar{x})| \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (4)$$

有 $\Delta = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |(x_i - \bar{x})|$, 我们称 $\overline{\epsilon_x}$ 为平均偏差。

只有将 E_r 与 ϵ 联合考虑, 才能判断出测量结果的精确性。在等精度测量中, 结果表达式为

$$\begin{cases} x = \bar{x} \pm \overline{\epsilon_x} \\ E_r = \frac{|\overline{\epsilon_x}|}{\bar{x}} \times 100\% \end{cases}$$

实验中为何常用算术平均值? 因为实验中的每次测量都是等精度的, 而且被测量的是同一个量值。

几何平均值在什么情况下能转化为算术平均值?

定理: 对二个数值相差不大的量的几何平均值可用它们的算术平均值来代替。

例 1: 天平中的复称法。

解: 设 m_1 、 m_2 分别为天平的左、右盘称物时测得的质量, 而且 $|m_1 - m_2| \ll m_1$ (或 m_2), 则有

$$\begin{aligned} \sqrt{m_1 m_2} &= \sqrt{m_1 [m_1 - (m_1 - m_2)]} \\ &= m_1 \sqrt{1 - \frac{m_1 - m_2}{m_1}} \\ &\approx m_1 \left(1 - \frac{1}{2} \frac{m_1 - m_2}{m_1}\right) \\ &= \frac{1}{2} (m_1 + m_2) \end{aligned}$$

例 2: 某产品的产量第一年达到计划的 180%, 第二年又增加该产量的 120%, 求平均增产率。

此题显然不能用算术平均值求, 正确的方法应为求几何平均值。

解: 设平均增产率为 Q , 则

$$Q = \sqrt{180\% \times 120\%} = 147\%$$

仅只有当增产率接近时, 方可用算术平均值代替, 若将上述 180% 改成 130%, 则:

$$Q = \sqrt{130\% \times 120\%} = 124.9\%$$

其算术平均值 $\overline{Q}$ 为:

$$\begin{aligned} \overline{Q} &= \frac{130 + 120}{2}\% = 125\% \\ &\approx Q \end{aligned}$$

偏差可分为三大类: 系统偏差、随机偏差和粗大偏差。实验中常常将粗大偏差剔除。

系统偏差

在相同条件下, 对同一量进行多次测量, 其偏差保持恒定或以可以确定的规律变化, 此偏差即为系统偏差, 其数学表示为 $\epsilon_{\text{系}} = \bar{x} - x_0$ ①。系统偏差反映了经多次测量后的平均值与真值的偏离程度, 说明在无系统偏差的测量条件下, 无穷次测量列的平均值等于真值; 由于其绝对值和符号有着确定性, 故实验中, 虽然进行多次重复测量, 但这并不能消除系统偏差的存在。所以需要进一步寻找系统偏差产生的原因和规律, 达到消除或减少到可忽略系统偏差为止。

产生系统偏差的原因有多种, 如仪器偏差、调整偏差、函数运算偏差、环境偏差、人员偏

① 因为 $\bar{x}$ 并不惟一确定, 它与测量次数和置信概率有关, 所以称 $(\bar{x} - x_0)$ 为系统偏差; 但 $\epsilon_{\text{系}} = \bar{x} - x_0$ 中的 $\bar{x}$ 是一定值, 而 x_0 又是惟一的, 故 $\epsilon_{\text{系}}$ 又可称为系统误差; 若将 $\epsilon_{\text{系}}$ 统一为系统不确定度, 就无两个名称之分别了。