大学物理实验教程

主　编　陈世涛
副主编　王续宇　王秀芳
主　审　徐志东

西南交通大学出版社
Http://press.swjtu.edu.cn

大学物理实验教程

主　编　陈世涛
副主编　王续宇　王秀芳
主　审　徐志东

西南交通大学出版社
·成　都·

图书在版编目（CIP）数据

大学物理实验教程 / 陈世涛主编. —成都：西南交通大学出版社，2011.2
ISBN 978-7-5643-1076-9

Ⅰ. ①大… Ⅱ. ①陈… Ⅲ. ①物理学－实验－高等学校－教材 Ⅳ. ①04-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 016957 号

大学物理实验教程

主编　陈世涛

*

责任编辑　王　旻
特邀编辑　王玉珂
封面设计　墨创文化
西南交通大学出版社出版发行
（成都二环路北一段 111 号　邮政编码: 610031　发行部电话: 028-87600564）
http: //press.swjtu.edu.cn
成都蓉军广告印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm×260 mm　印张: 15.875
字数: 395 千字
2011 年 2 月第 1 版　2011 年 2 月第 1 次印刷
ISBN 978-7-5643-1076-9
定价: 28.00 元

前　言

为适应教学改革纵深发展，编者对使用了七年多的教材《大学物理实验》进行了修改与扩充，保留了原有的特点，引入“不确定度”评价测量结果，着力培养学生的动手能力而设置了基础实验、应用技术实验、自行设计实验和计算机模拟实验等，同时加入了一些培养学生创新能力的实验，共41个实验。

本教程是由陈世涛、王续宇、王秀芳、吴运梅等编写，其中第三章、实验六、七、九、十二由陈世涛编写；实验一、十九、二十一、二十九由王续宇编写；实验二、二十二、二十五、三十由王秀芳编写；实验十五、二十四、三十一由吴运梅编写；第二章由胡军编写；实验二十三由盛克敏编写；第七章由邱卫东编写；其余章节和实验由徐志东编写和修改。全书由陈世涛统稿，徐志东教授负责审核。

本书出版得到有关领导和一些教师的大力支持，书中含蕴着他们的辛劳与奉献，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不妥或疏漏之处，欢迎读者提出宝贵建议。

编　者

2011年1月

目　录

第一章　绪　论

第一节　大学物理实验课的作用与任务

一、物理实验课的作用与地位

物理学是一门实验科学。物理规律的发现、物理概念的确立都来源于对实验的观察和研究，并受到实验的检验。例如，牛顿是在伽利略、开普勒等人的实验及其工作的基础上归纳总结出万有引力定律并完成了经典力学体系；电磁学中的一系列定律——库仑定律、安培定律、毕奥—沙伐定律、法拉第电磁感应定律等，也都是从大量的实验数据中综合、归纳出来的。麦克斯韦在大量实验的基础上总结并建立了电磁场理论，14 年后赫兹的电磁波实验才使他的电磁场理论获得普遍承认；卢瑟福的 α 粒子散射实验揭开了原子的秘密；著名的迈克尔逊—莫雷实验为爱因斯坦的狭义相对论原理提供了强有力的证据，铺平了相对论发展的道路。而引力红移、光线弯曲、水星近日点的进动等实验验证，使广义相对论为人们所接受。黑体辐射、光电效应、原子光谱线系等实验，促使了量子理论的诞生，并为夫兰克—赫兹实验所证实。尤其是现代物理实验技术以及物理测量仪器，已被广泛地运用到大多数现代化科学研究、生产技术领域。根据一些实验物理学的统计，从 1947 年在物理实验室内创造出第一个晶体三极管以来到现在，许多现代物理实验技术和手段，如光谱分析、质谱、波谱、色谱以及半导体、X 射线、电子显微镜、激光、全息、光导纤维、微波、红外、真空、超导、低温、核磁共振、电子衍射、自动控制等正朝气蓬勃地活跃在各种科研实验室及工业生产的前沿阵地上。可见物理实验对于推动科学与技术的发展起到了重要的作用，对于科技工作者来说，物理实验的有关知识与技能是必不可少的。

物理实验是人们借助特定的仪器设备，出于一定的目的，人为地控制和模拟自然现象，并反复地观察和测试的一种研究方法。在其中需突出主要因素，忽略次要因素。物理实验的一项重要任务是培养学生以事实为依据，理论与实践相结合的科学态度；一丝不苟的工作作风；严密观察，勤于思考，勇于探索的精神。具有这样的素质，对于从事任何一项工作都是有所裨益的。

大学物理实验课是理工科学生首次进行科学实验基本训练的一门独立的必修基础课，认真学好实验课与学好物理理论课同等重要。

二、物理实验的任务与目的

（1）通过对实验的观察、测量与分析，从理论与实际相结合上加深认识物理原理、物理概念与物理规律，同时也要将已学的理论知识用于指导实验和分析实验。

完整的实验报告应包括的内容：

（1）实验名称。

（2）实验目的。

（3）实验原理：应简要地说明并列出实验中使用的主要公式、电路或光路图，若实际所用与教材中列出的不符，应以实际采用的为准。

（4）仪器用具：列出主要仪器的型号、规格，并记录其编号。

（5）实验记录：全部实验中有用的数据要尽量以表格的形式列出，并正确地表示出有效数字和单位。

（6）数据处理：根据要求计算出最后的测量结果，可采用列表和作图法等手段，对所得的数据应进行误差分析。

（7）实验结果：最后的结果应包括测量值、误差和单位，如果实验是为了观察某一物理现象或者观察某一物理规律，可只扼要地写出实验结论。

（8）讨论分析：回答指定的实验思考题；描述实验中观察到的异常现象及可能的解释；分析实验误差的主要来源；对实验仪器和方法的改进建议等，还可以谈谈实验的心得体会。

以上是对报告的一般性要求，不同的实验，可以根据具体情况有所侧重和取舍，不必千篇一律。

二、实验室规则

（1）实验时应严格遵守操作规程，注意安全，爱护仪器，在未弄清楚注意事项和操作方法之前不要乱动仪器。

（2）细心操作，认真观察，及时记录实验原始数据，决不允许事后追记。

（3）实验室要保持肃静和整洁，不得大声喧哗、抽烟和吃东西。

（4）无故迟到超过 10 min 或没有预习者不得进入实验室做实验。

（5）如遇到自己不能处理的问题应及时报告教师，电学实验电路连接完毕要经过教师同意，方可接通电源。

（6）实验结束后应将仪器、用具整理好，原始数据需经教师过目并签字后才能离开实验室，原始数据一律要附在实验报告后面一起交给教师。

第二章 测量误差与数据处理的基础知识

本章将介绍测量误差估计、实验数据处理和实验结果的表示等内容。所介绍的都是初步知识，这些知识不仅在每一个实验中都要用到，而且也是今后从事科学实验所必须掌握的。对这些内容的深入讨论是普通计量学和数理统计学的任务，本书只是引用其中的某些结论和公式。

第一节 测量与误差

一、测量及其误差

1. 测 量

物理实验是以测量为基础的。研究物理现象、验证物理原理、了解物质特性等都要进行测量。所谓测量，就是通过各种方法对“被测量”进行赋值。测量通常分为直接测量和间接测量。“直接测量”是指可直接从仪器（或量具）上获知被测量大小的测量。例如，用米尺测量物体的长度，用天平和砝码测量物体的重量，用温度计测量温度，用电压表测量电压等都是直接测量。“间接测量”是指借助于直接测量的量与被测量的量之间已知的函数关系，由直接测量结果计算出被测量的量的数值。例如，直接测量一圆柱体的直径（d）和高度（h），再根据$V=\frac{1}{4}\pi d^2 h$计算出圆柱体的体积。

2. 测量的误差

实践证明，测量结果都存在误差，因为任何测量仪器、测量方法、测量环境、测量者的观察力等都不能做到绝对严密，这就不可避免地伴随有误差产生。因此，分析测量中可能产生的各种误差，尽可能消除误差产生的影响，并对测量结果中未能消除的误差做出估计，这些都是物理实验和其他科学实验中必不可少的工作。因此，我们必须了解误差的概念、特性、产生的原因和估计方法等有关知识。

测量误差的定义为测量值与被测量的真值（或约定真值）之差。测量误差可以用绝对误差表示，也可以用相对误差表示。

绝对误差　　$\Delta x = x - x_0$

式中　　Δx ——绝对误差；

x ——测量值；

x_0 ——真值。

相对误差　　$E = \left|\frac{\Delta x}{x_0}\right| \times 100\%$

被测量量的真值只是一个理想概念，是不可能知道的，在实际测量中常用算术平均值或被测量量的公认值或较高准确度仪器测量的值来代替真值，称为约定真值。

二、误差的分类和特点

误差主要分为系统误差和随机误差两大类，它们的性质和特点不同，需分别进行处理。

1. 系统误差

系统误差是在对同一被测量量的多次测量过程中，保持恒定的或以可预知的方式变化的测量误差分量。这种误差服从确定性规律。

产生系统误差的原因很多，最常见的有：

(1) 测量仪器没有达到应有的准确度。例如，用秒表测量一匀速运动的物体通过某段路程所需的时间，若秒表走时较快，那么即使进行多次测量，测得的时间也总是偏大，而且总是偏大一个固定的量。这种因仪器不准确造成的误差，可通过修理仪器或标定读数来解决。

(2) 实验装置或实验方法没有（或不可能）完全满足理论上的要求。例如，用伏安法测电阻时，因电压表内阻不可能无穷大，电流表内阻不可能为零，故若用理论计算公式 $R=U/I$ 去计算测量结果，则会因电表的接法不同，或者使测量的结果偏大，或者使测量的结果偏小。这种情况下，就要通过改进实验装置，如选用内阻更大的电压表、内阻更小的电流表来测量，或者是对测量结果进行修正，在计算公式中加上与电表内阻有关的修正项。

(3) 温度、湿度等环境因素没有控制在预定的范围内。例如，欲测量导线 20°C 时的电阻值，若环境温度控制不好，偏离 20°C 太多，则会由于导线的热膨胀，使长度随温度改变，从而导致电阻值的测量产生系统性误差分量。

(4) 测量者个人的生理特点或固有习惯带来的系统性误差分量。例如，在估读数据时总是偏大或偏小等。

发现和减小实验中的系统误差是一项困难而又重要的工作。实验者需要对整个实验依据的原理、方法，所用的测量仪器、测量步骤，实验中观察到的实验现象进行仔细分析，动手实验前就尽可能找出引起系统误差的主要因素，采取减少系统误差的措施，并在实验后尽可能对系统误差进行修正，以求得到正确的测量结果。

2. 随机误差

随机误差是指在多次测量同一物理量的过程中，误差时大时小、时正时负，以不可预知的方式变化着的测量误差分量。这种误差服从统计性规律。

这种误差是由实验中各种因素的微小变动性引起的。例如，实验装置在各次调整操作上的变动性，测量仪器指示数值的变动性，以及观测者本人在判断和估计读数时的变动性等。

随机误差表现为，就某一次测量来说是没有规律的，是随机的，其大小和方向都不能预知。但对同一个量进行足够多次的测量，就会发现随机误差按一定的统计规律分布。在此只讨论一种最常见的分布 ——正态分布。

3. 随机误差的分布及处理

理论和实践表明，在大量、独立、均匀、微小的随机因素影响下，物理量的测量值服从正态分布（即高斯分布）规律。标准化的正态分布曲线如图 2.1 所示。

图中　x ——某物理量的实验测量值；

$P(x)$ ——测量值的概率密度，且有

$$P(x)=\frac{1}{\sigma\cdot\sqrt{2\pi}}\cdot e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2}$$

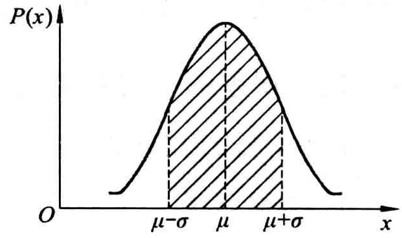


图 2.1　标准化的正态分布曲线

其中

$$\mu=\lim_{n\to\infty}\frac{\sum_{i=1}^{n}x_i}{n}$$

$$\sigma=\lim_{n\to\infty}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\mu)^2}{n}} \tag{2.1}$$

曲线中峰值处的横坐标对应于测量次数 $n\to\infty$ 时被测量的平均值 μ，称为总体平均值。σ 为曲线上拐点处的横坐标与 μ 值之差。σ 是正态分布函数最重要的参数之一，它表征了测量值的分散程度，σ 越小，表明测量数据越集中，测量的精密度越高；反之，表明测量数据越分散，测量精密度越低，σ 称为正态分布的标准偏差。作为一个概率密度函数，曲线和 x 轴间的面积表示被测量落在某区间的概率。例如，图 2.1 中阴影部分的面积，就是测量结果落在（$\mu-\sigma$，$\mu+\sigma$）区间内的概率。经计算证明，$F=\int_{\mu-\sigma}^{\mu+\sigma}P(x)\mathrm{d}x=68.3\%$；若将区间扩大到 $-2\sigma\sim+2\sigma$，则 x 落在（$\mu-2\sigma$，$\mu+2\sigma$）区间内的概率就提高到 95.5%；x 落在（$\mu-3\sigma$，$\mu+3\sigma$）区间内的概率为 99.7%。

从图 2.1 的分布曲线可知：① 误差较小的数值出现的概率大；② 正、负误差出现的机会均等，在多次测量中，正、负误差可大致抵消，因而常用多次测量的算术平均值 $\bar{x}$ 表示测量结果，以减小随机误差的影响。

实际实验中，测量次数 n 有限，则（2.1）式就变为

$$\bar{x}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i \tag{2.2}$$

$$\sigma_x=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{n-1}} \tag{2.3}$$

这一公式称为贝塞尔公式，σ_x 表示这一测量列中某次测量 x 的标准偏差。

在测量同一量时，对于测量次数 n 相同的各组量中，σ_x 小的 $\bar{x}$ 较可靠，而 σ_x 大的 $\bar{x}$ 较不可靠。所以又定义算术平均值 $\bar{x}$ 的标准偏差为

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \tag{2.4}$$

一般地，σ_x 大则 $\sigma_{\bar{x}}$ 也大，而 n 增大时，能使 $\sigma_{\bar{x}}$ 减小。

注意：有的书上用 $S_{\bar{x}}$ 表示算术平均值 $\bar{x}$ 的标准偏差，用 S_x 表示标准偏差 σ_x，即

$$\sigma_{\bar{x}} \equiv S_{\bar{x}}, \quad \sigma_x \equiv S_x$$

(2.3) 式的计算结果在计算器上常用 S 或 σ_{n-1} 键表示，在实验数据处理中要计算 S_x（即 σ_x）时，只需将几个测量值按规定的操作步骤输入计算器，计算器便可方便地给出平均值 $\bar{x}$ 及 S_x（即 σ_x），而不必按（2.3）式一步步去进行繁琐的计算。

三、测量中常用到的一些术语及概念

1. 正确度

表示被测量的整体平均值与其真值符合的程度，它反映了系统误差的大小，与随机误差无关。

2. 精密度

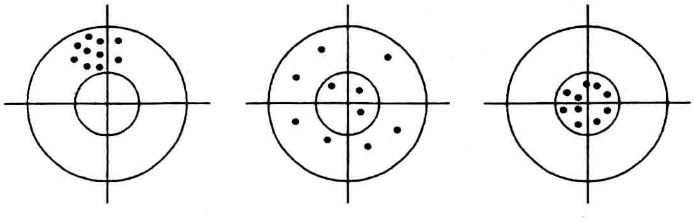
表示各次测量值之间彼此接近的程度，它反映了随机误差的大小，与系统误差无关。

3. 准确度

表示对测量数据正确度与精密度的综合评定，它包括各测量值间的接近程度及总体平均值对真值的接近程度。

图 2.2 所示的打靶情况形象地表示了三者的区别：

图（a）表示精密度高而正确度低；（b）表示正确度高而精密度低；（c）表示精密度与正确度都高，即准确度高。



(a) (b) (c)

图 2.2　打靶情况分布图

第二节　测量的不确定度

在报告物理测量的结果时，不但要写明计量单位、测量结果，而且还有责任给出测量结

果的可信赖程度。然而，对于测量数据的处理，测量结果的表达，长期以来各个国家和不同学科有不同的看法和规定，有关术语的定义也不统一，从而影响了国际间的交流和对成果的相互利用。为此，1993 年国际计量局、国际标准化组织等 7 个国际组织正式发布了“测量不确定度表示指南”，为计量标准的国际比对和测量不确定度的表述奠定了基础。为了与国际接轨，我国于 1999 年 1 月 11 日发布了新的计量技术规范 JJF1059—1999《测量不确定度评定与表示》，对测量结果的评定用“不确定度”表示。

因此，我们必须学习“测量不确定度评定与表示”的有关理论和知识，并掌握它们的计算方法和表示方式，这对于今后的专业学习和工作是非常必要的。

一、测量不确定度的基本概念与分类

测量不确定度是与测量结果相联系的参数。用来表示测量结果有效性的可疑程度或肯定程度，即它表示了被测量的真值所处范围的估计值。不确定度小，表示测量结果可信赖程度高；不确定度大，则表示测量结果可信赖程度低。

1. 不确定度的分类

按评定方法的不同，不确定度分为:

(1) A 类不确定度：用统计方法计算的不确定度分量。

(2) B 类不确定度：用其他方法估计出的不确定度分量。

测量结果的总不确定度称为合成不确定度，它是 A 类分量与 B 类分量按某种原则合成的结果。

2. 不确定度的表达方式

测量不确定度有两种表达方式：

(1) 标准不确定度：用标准偏差给出的不确定度。

(2) 扩展不确定度：用标准不确定度乘上一个包含因子（置信因子）给出的不确定度。表 2.1 所示为正态分布下包含因子与概率的关系。

表 2.1　正态分布下包含因子与概率的关系

包含因子	1	2	3
概　率	68.3%	95.5%	99.7%

标准不确定度更便于国际间的交流和比对，本书约定，所有的实验数据处理，均采用标准不确定度。

二、A 类标准不确定度 Δ_A

这是用统计方法计算获得的不确定度分量。在实际工作中，人们往往关心的不是测量列数据的散布特性，而是测量结果，即算术平均值的离散程度。假设对某物理量进行了 n 次等精度测量，观测值记为 x_i（$i=1, 2\cdots, n$），由上一节讨论可知

$$\bar{x}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i$$

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

此式的物理含义是：在这一测量列中，任意一次测量 x_i 落在（$\bar{x}-\sigma_x$，$\bar{x}+\sigma_x$）区间的概率为 68.3%，$\bar{x}$ 为最佳值。

如果我们增加测量次数，如（$n+m$）次，则可得到另一最佳值 $\bar{x}'$，如果继续增加测量次数，就会发现 $\bar{x}$ 也是一个随机变量。这样一来，算术平均值 $\bar{x}$ 本身的可靠性如何呢？我们用算术平均值的标准偏差 $\sigma_{\bar{x}}$ 来表示这一可靠性，$\bar{x}$ 显然比任何一次测量值更可靠。由上一节内容可得

$$\sigma_{\bar{x}}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{n(n-1)}}=\frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}=\Delta_A \tag{2.5}$$

$\sigma_{\bar{x}}$ 就作为 A 类标准不确定度分量，记为 Δ_A。

注意：测量次数 n 要求至少大于 5 次。

例 1 在测量小球体积的实验中，对小球直径测量 10 次，数值如下表所示。试求测定直径 d 的 A 类标准不确定度分量。

序　号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d (cm)	2.00	2.01	2.02	1.99	1.99	2.00	1.98	1.99	1.97	2.00

解 由（2.2）式可知

$$\overline{D}=\frac{2.00+2.01+\cdots+2.00}{10}=1.995 \quad (\text{cm})$$

又由（2.4）式得直径的标准偏差

$$\sigma_{\bar{d}}=\sqrt{\frac{(2.00-1.995)^2+\cdots+(2.00-1.995)^2}{10(10-1)}}=0.05 \quad (\text{cm})$$

即直径 d 的 A 类标准不确定度分量 $\Delta_A=0.05$ cm。

三、B 类标准不确定度 Δ_B

Δ_B 是用非统计方法评定获得的不确定度分量。B 类不确定度产生的原因较多，一般可分为两种情况：一是由测量仪器的所谓“最大允差” $\Delta_{仪}$ 来表示；另一种为测量的估计误差 $\Delta_{估}$。但在一般情况下，$\Delta_{估}$ 比 $\Delta_{仪}$ 小得多（有些时候 $\Delta_{估}$ 也大于甚至远大于 $\Delta_{仪}$），所以我们只讨论第一种情况产生的不确定度作为 B 类不确定度 Δ_B。

制造厂商在制造某种仪器时，在其技术规范中预先设计了允许误差的极限值，终检时误差不超出此极限的产品为合格品，此误差的极限称为测量仪器的“最大允差”，记为 $\Delta_{仪}$。它的物理含义是，用此仪器进行一次测量时，测量值的误差落在 [$-\Delta_{仪}$，$\Delta_{仪}$] 之内的概率为 1。

实际上，仪器的误差在 [$-\Delta_{仪}$，$\Delta_{仪}$] 内是按一定几率分布的。若几率分布服从正态分布

规律，由正态分布函数的性质可知，误差落在 $[-3\sigma, +3\sigma]$ 内的概率为 $0.997 \approx 1$，所以质量指标服从正态分布的产品，一次测量值的 B 类标准不确定度$\Delta_B=\Delta_{仪}/3$。但有些仪器的质量指标在 $[-\Delta_{仪}, \Delta_{仪}]$ 内不服从正态分布，而是服从其他的一些分布规律，如均匀分布、三角分布函数等。

因此，一般而言，Δ_B 与 $\Delta_{仪}$的关系为

$$\Delta_B=\frac{\Delta_{仪}}{C} \tag{2.6}$$

式中　C——置信系数。

对于均匀分布函数，$C=\sqrt{3}$，即 $\Delta_B=\frac{\Delta_{仪}}{\sqrt{3}}$；对于三角分布函数，$C=\sqrt{6}$，即 $\Delta_B=\frac{\Delta_{仪}}{\sqrt{6}}$。对于初学者来说，考虑到估计误差在其分布区间内的分布比较困难，所以本书规定，一律假设为服从均匀分布，即取 $C=\sqrt{3}$。

故
$$\Delta_B=\frac{\Delta_{仪}}{\sqrt{3}} \tag{2.7}$$

测量仪器的最大允许误差 $\Delta_{仪}$ 一般可在仪器的说明书中或仪表面板中查找。有时，仪器通常给出准确度等级。

则
$$\Delta_{仪}=\frac{量程\times准确度等级}{100} \tag{2.8}$$

四、直接测量的合成标准不确定度Δ

由于 A 类与 B 类不确定度都具有统计特征，由概率统计理论可知，用“方和根”的方法来合成不确定度是最可取的。因此，在科学实验中，合成标准不确定度为

$$\Delta=\sqrt{\Delta_A^2+\Delta_B^2} \tag{2.9}$$

例 2　用量程为 25 mm、准确度等级为 0.01 的千分尺测一小球的直径，测量数值如下表所示。试求测量结果的合成标准不确定度。

序　号	1	2	3	4	5
d（mm）	1.038	1.039	1.033	1.041	1.030

解

① 求 Δ_A，由题可知

$$\overline{d}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}d_i=\frac{1}{5}(1.038+\cdots+1.030)=1.036 \quad (\text{mm})$$

故
$$\Delta_A=\sigma_{\overline{d}}=\sqrt{\frac{\sum(d_i-\overline{d})^2}{n(n-1)}}=\sqrt{\frac{(1.038-1.036)^2+\cdots+(1.030-1.036)^2}{5(5-1)}}$$
$$=0.002 \quad (\text{mm})$$

② 求 Δ_B

$$\Delta_{仪}=\frac{量程\times准确度等级}{100}=\frac{25\times0.01}{100}=0.0025\quad(\mathrm{mm})$$

故
$$\Delta_{\mathrm{B}}=\frac{\Delta_{仪}}{\sqrt{3}}=\frac{0.0025}{\sqrt{3}}=0.0014\quad(\mathrm{mm})$$

③ 求Δ

$$\Delta=\sqrt{\Delta_{\mathrm{A}}^2+\Delta_{\mathrm{B}}^2}=\sqrt{0.0020^2+0.0014^2}=0.002\quad(\mathrm{mm})$$

④ 扩展不确定度

$$u=2\Delta=0.004\quad(\mathrm{mm})$$

⑤ 测量结果

$$d=1.036\pm0.004\quad(\mathrm{mm})$$

五、间接测量量的合成标准不确定度

在很多实验中所进行的测量都是间接测量，间接测量的结果是由直接测量结果根据一定的数学式计算出来的。这样一来，直接测量结果的不确定度就必然影响到间接测量结果，这种影响的大小也可以由相应的数学式计算出来。

设间接测量所用数据学用如下的函数形式表示：

$$\varphi=F(x,\ y,\ z,\ \cdots)$$

式中的 φ 是间接测量结果，x, y, z, …是直接测量结果，它们是相互独立的量，设 x, y, z, …的不确定度分别为 Δ_x，Δ_y，Δ_z，…，它们必须影响间接测量结果，使φ值也有相应的不确定度$\Delta\varphi$。由于不确定度都是微小量，相当于数学中的“增量”，因而间接测量的不确定的计算公式与数学中的全微分公式基本相同。不同之处是用不确定度Δ_x 等替代微分 dx 等，同时还要考虑到不确定度合成的统计性质（一般用“方、和、根”的方式进行合成）。于是，在大学普通物理实验中用以下两式来简化地计算不确定度：

$$\Delta_\varphi=\sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^2(\Delta_x)^2+\left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^2(\Delta_y)^2+\left(\frac{\partial F}{\partial z}\right)^2(\Delta_z)^2+\cdots}\tag{2.10}$$

$$\frac{\Delta_\varphi}{\varphi}=\sqrt{\left(\frac{\partial\ln F}{\partial x}\right)^2(\Delta_x)^2+\left(\frac{\partial\ln F}{\partial y}\right)^2(\Delta_y)^2+\left(\frac{\partial\ln F}{\partial z}\right)^2(\Delta_z)^2+\cdots}\tag{2.11}$$

（2.10）式适用于φ是和差形式的函数，（2.11）式适用于积商形式的函数。

设间接测量量为

$$y=f\ (x_1,\ x_2,\ \cdots,\ x_n)$$

其中，x_1, x_2, …, x_n 为相互独立的直接测量量，各自的标准不确定度相应记为$\Delta(x_1)$, $\Delta(x_2)$, …, $\Delta(x_n)$，则总的间接测量 A 类标准不确定度（2.10）式改为

$$\Delta_{\mathrm{A}}=\sqrt{\left[\frac{\partial f}{\partial x_1}\Delta(x_1)\right]^2+\cdots+\left[\frac{\partial f}{\partial x_n}\Delta(x_n)\right]^2}=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2\cdot\Delta^2(x_i)}\tag{2.12}$$