

WULIXUE SHIYAN

物理学实验

主编 黎萌 副主编 张燕



广西科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

物理学实验 / 黎萌主编. — 南宁: 广西科学技术出版社, 2014. 8

ISBN 978-7-5551-0298-4

I. ①物… II. ①黎… 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 (2014) 第 198588 号

物理学实验

主编 黎萌 副主编 张燕

责任编辑 陈勇辉 黄璐
责任校对 陈红 蒋冰

装帧设计 韦娇林
责任印制 韦文印

出版人: 韦鸿学
社址: 广西南宁市东葛路 66 号
网址: <http://www.gxkjs.com>

出版发行: 广西科学技术出版社
邮政编码: 530022

经销: 全国各地新华书店
印刷: 广西大华印刷有限公司
地址: 广西南宁市高新区科园路 62 号
开本: 787 mm×1092 mm 1/16
字数: 150 千字
版次: 2014 年 8 月第 1 版
书号: ISBN 978-7-5551-0298-4
定价: 25.00 元

邮政编码: 530007

印张: 8
印次: 2014 年 8 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

质量服务承诺: 如发现缺页、错页、倒装等印装质量问题, 可直接向本社调换。

《物理学实验》编委会

主 编：黎 萌

副主编：张 燕

编 者：莫 华 陈朝旺 吴智辉 岳粮跃

袁建辉 蔡甲新 文 进

前 言

大学物理实验是高等院校一门重要的基础课程，是大学生进校后的第一门科学实验课程，是后续专业实验的基础，也是学生接触系统的实验技能与实验方法的开端。通过大学物理实验，让学生受到严格的、系统的实验技能训练，掌握进行科学实验的基本知识、方法和技巧，培养学生敏锐的观察能力和严谨的思维能力，培养学生分析问题和解决问题的能力，特别是培养与科学技术发展相适应的综合能力和创新精神。因此，物理实验在大学物理学教育中占有重要的地位。

本实验教材是根据教育部对医学院校本科物理学的基本要求，结合医学院校学生培养的特点及多年来我们教学的经验和成果编写而成的。我们精心挑选了 18 个物理学实验，包括力学、光学、电学、核物理等领域的基础量测量、经典验证性实验和探索性实验，内容涵盖了物理学多个领域，介绍了物理学常用仪器的原理及使用方法，并且把物理学的多种研究方法如比较法、放大法、模拟法等贯穿在不同的实验中。本教材适用于临床医学和药学的研究生、本科生、专科生，兼顾生物医学工程、口腔、麻醉、影像、检验、护理、法医、卫生管理、医学信息等专业的学生。各层次学生可根据专业特点选择实验。

我们在编写过程中，参考了一些相关的教材，在此就不一一列举，谨向其作者表示感谢。由于我们的水平有限，书中不妥和错误之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者
2014 年 8 月

目 录

第一章 绪 论	(1)
第二章 实验误差和数据处理	(4)
第一节 测量与误差	(4)
第二节 实验数据的记录	(9)
第三节 实验数据的处理	(12)
第四节 物理实验的基本方法	(16)
第三章 基本物理实验	(20)
实验一 基本测量	(20)
实验二 用扭摆法测定物体的转动惯量	(27)
实验三 液体黏滞系数的测量	(37)
实验四 液体表面张力系数的测量	(40)
实验五 线性电位差计的原理与应用	(45)
实验六 测绘电偶极子电场	(49)

实验七	心电图机的原理及其使用	(52)
实验八	热敏电阻温度特性实验	(60)
实验九	双踪示波器的原理及其使用	(64)
实验十	RC 电路时间常数的测量	(72)
实验十一	用霍尔效应法测量磁场	(76)
实验十二	用显微镜测量微小物体的长度	(88)
实验十三	超声波波速的测量	(93)
实验十四	光的单缝衍射和双缝干涉实验	(98)
实验十五	用衍射光栅测定光波的波长	(102)
实验十六	用旋光仪测定糖溶液的浓度	(107)
实验十七	光电效应及普朗克常数的测量	(112)
实验十八	G—M 计数管和核衰变的统计规律	(117)



第一章 绪 论

物理学是以实验为基础的科学，物理实验在物理学发展史上占有重要的地位，学好物理实验对于高等院校学生是十分重要的。

在物理学史上，16世纪意大利物理学家伽利略首先摒弃了形而上学的空洞的思辨，代之以观察和实验作为物理学理论的基础、依据和发展物理学必不可少的手段，从而使物理学真正走上了科学的道路。物理实验成为了推动科学技术发展的有力工具。随着物理学的发展，人类积累了丰富的实验经验和实验方法，创造出了各种精密巧妙的仪器设备；同时，用于实验的数学方法以及计算机科学在实验中的应用，使物理测量技术不断得到发展。这实际上已赋予物理实验极其丰富的、不同于物理学本身的特有的内容，并使之逐步形成一门单独开设的具有重要教育价值和教育功能的实验课程。它不仅可以加深对理论的理解，而且更重要的是能使学生获得基本的实验知识、技能和科学创新的能力，为今后从事科学研究和工程实践打下扎实的基础。

一、本课程的目的和任务

1. 通过对实验现象的观察、分析和对物理量的测量，学习物理实验知识，加深对物理学原理的理解，提高对科学实验重要性的认识。
2. 培养与提高学生的科学实验能力。
3. 培养与提高学生的科学实验素养，要求学生具有理论联系实际和实事求是的科学作风，严肃认真的工作态度，主动研究的探索精神，遵守纪律、团结协作和爱护公共财物的优良品德。

二、大学物理实验课程的主要教学环节

1. 实验前的预习——实验的基础。
2. 实验中的操作——实践的过程。
3. 实验后的报告——实验的总结。

三、实验报告

实验报告包括预习报告、实验记录、实验数据处理三个部分。

(一) 预习报告

预习报告为正式报告的前期内容，要求在实验前写好。其内容包括：

1. 实验名称。
2. 实验目的。
3. 实验原理摘要。在理解的基础上，用简短的文字扼要阐述实验原理，切忌照抄，力求图文并茂（图是指原理图、电路图或光路图）。写出实验所用的主要公式，阐明各物理量的意义和单位，以及公式的适用条件等。
4. 主要仪器设备（型号、规格等）。
5. 实验内容及注意事项，重点写出“做什么，怎么做”。
6. 列出记录数据的表格。

(二) 实验记录

实验记录是进行实验的一项基本功，学生要在实验课上完成，并要养成良好的习惯。其内容包括：

1. 记录实验所用主要仪器的编号和规格。
2. 记录实验内容和实验现象。
3. 数据记录应做到整洁清晰，有条理，尽量采用列表法。表格栏内要注明物理单位。要实事求是地记录客观现象和实验数据，不能只记结果而略去原始数据，更不可为拼凑数据而对实验记录作随心所欲的修改。

(三) 实验数据处理

数据处理在实验后进行。其内容包括：

1. 作图、计算结果和作不确定度估算。
2. 按标准形式写出实验结果（测量值，不确定度和物理单位），必要时注明实验条件。
3. 完成教师指定的思考题。
4. 对实验中出现的问题进行说明和讨论，以及实验心得或建议等。

四、实验室规则

1. 实验前应认真预习，按时上实验课。
2. 进入实验室，必须衣着整洁、保持安静，严禁闲谈喧哗、吸烟、随地吐痰。不得随意动用与本次实验无关的仪器设备。



3. 服从教师指导，按规定和步骤进行实验。认真观察和分析实验现象，如实记录实验数据，不得抄袭他人的实验结果。

4. 注意安全，严格遵守操作规程。爱护仪器设备，节约水、电、药品、试剂、元器件等。凡违反操作规程或不听从教师指导而造成仪器设备损坏等事故者，必须写出书面检查，并按学校有关规定赔偿损失。

5. 在实验过程中若仪器设备发生故障，应立即报告指导人员及时处理。

6. 实验完毕，应主动协助指导教师整理好实验用品，切断水、电、气源，清扫实验场地。

7. 按指导教师的要求，及时认真地完成实验报告。凡实验报告不合格者，均须重做。

第二章 实验误差和数据处理

物理实验离不开物理量的测量，由于测量仪器、测量方法、测量条件、测量人员等因素的限制，对某一物理量的测量不可能达到无限精确，即测量中的误差是不可避免的。没有测量误差知识，就不可能获得正确的测量值；不会处理数据或处理数据的方法不当，就不可能得到正确的实验结果。由此可知，测量误差和数据处理等基本知识在整个实验过程中占有非常重要的地位。通过对本单元的学习和在实验中的运用，要求做到：

1. 建立误差的概念，懂得如何正确、完整地表达实验结果。
2. 掌握有效数字的概念及其运算规则。
3. 了解系统误差对测量结果的影响，学会发现某些系统误差、减少系统误差以及削弱其影响的方法。
4. 掌握列表法、作图法、逐差法和线性回归法等常用的数据处理方法。

第一节 测量与误差

一、测量及测量的分类

(一) 测量和单位

所谓测量，就是把待测的物理量与一个被选作标准的同类物理量进行比较，确定它是标准量的多少倍。这个标准量称为该物理量的单位，这个倍数称为待测量的数值。可见，一个物理量必须由数值和单位组成，两者缺一不可。

(二) 测量的分类

根据获得测量结果的方法不同，测量可以分为直接测量和间接测量。

1. 直接测量：用仪器或量具直接与待测量进行比较读数，称为直接测量。如用米尺测量物体的长度，用秒表测量时间等，所得到的相应物理量称为直接测量量。

2. 间接测量：在很多情况下，物理量是由一个或几个直接测量量通过已知函数关系计算出来的，这样的测量称为间接测量，相应的物理量称为间接测量量。如圆柱体



的体积 V 可由直接测得的直径 D 、高度 H ，利用公式 $V = \frac{1}{4}\pi D^2 H$ 计算得到，这里 D 和 H 为直接测量量， V 为间接测量量。

在误差分析和估算中，要注意直接测量量与间接测量量的区别。当然，这种测量的分类是相对的，随着测量技术的提高，有些物理量可以通过间接测量的方法测得，也可以通过直接测量的方法测得。如密度的测量，如果通过测量物体的体积和质量求得密度，所测得的密度便是间接测量量；如用密度计测量物体的密度，那么所测得的密度就是直接测量量。

二、测量误差

(一) 误差的定义

物理量在一定客观条件下的真实大小，称为物理量真值。然而，实际测量时，由于实验条件和仪器精度的限制、实验方法不够完善，以及实验人员操作水平的限制，使得测量值与客观上存在的真值之间有一定的差异。为描述测量中这种客观存在的差异性，我们引进测量误差的概念。

误差就是测量值与客观真值之差，即误差 = 测量值 - 真值。

被测量的真值是一个理想概念，是无法测得的。我们用约定真值来代替真值求误差。所谓约定真值就是被认为是非常接近真值的值，它们之间的差别可以忽略不计。一般情况下，常把多次测量结果的算术平均值、标称值、校准值、理论值、公认值、相对真值等作为约定真值来使用。

(二) 误差的分类

按误差产生的原因和性质的不同，可分为系统误差、偶然误差和过失误差。

1. 系统误差：是指由于仪器本身不准确或者测量方法不够完善等所引起的误差。例如金属米尺由于温度升高而变长，用它测量物体长度时，每次测量结果总是偏小；再比如等臂天平的两个臂事实上不全相等，仪器的示值误差，仪器的零值误差等都会造成测量误差。这种误差的存在，使所得结果永远偏向一个方向，或按一定的规律变化，或是有规律的重复。系统误差原则上可根据仪器的缺点，外界条件变化所产生影响的大小等情况进行修正。例如电表的指针不指在零位，测量时会产生误差，所以在使用电表前应先做检查，若指针不指零，必须旋动零位调节器使指针指零。又如，在使用千分尺测长度之前，也要先检查零位，并记下零读数（即零值误差），以便对测量值进行修正。

2. 偶然误差：是指在对同一被测量的多次测量过程中，测量误差的绝对值与符号以不可预知（随机）的方式变化并具有抵偿性的测量误差分量。该误差是由一些无法控制的、纯属偶然的因素（如测量者的视觉、听觉等）引起的，例如实验周围环境或操作条件的微小波动，测量对象的自身涨落，测量仪器指示数值的变动性，观测者在判断和估计读数上的变动性等，这些因素的共同影响使测量值围绕着测量的平均值发生有涨落的变化，这变化量就是各次测量的偶然误差。实践证明，即使在相同条件下，用同样的仪器做多次测量，每次测得的结果是不一样的，与被测量的真值（或约定真值）相比，其值时而偏大，时而偏小，服从统计规律。根据偶然误差分布的这一特点，可以采用增加测量的次数取平均值的方法来减少偶然误差。

3. 过失误差：明显超出规定条件下预期值的误差称为过失误差。这是在实验过程中，由于某种差错使得测量值明显偏离正常测量结果的误差。例如读错数，记错数，或者环境条件突然变化而引起测量值的错误等。在实验数据处理中，应按一定的规则来剔除过失误差。

三、直接测量的误差计算

（一）算术平均值

在实验中，为了对测量结果的误差进行估算，我们常对被测量物进行多次测量，求出其算术平均值，以此作为约定真值。若对某一被测量物测量 n 次，测量值分别为 x_1, x_2, \dots, x_n ，则算术平均值为

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2-1)$$

根据误差的统计理论，在一组 n 次测量的数据中，算术平均值 \bar{x} 最接近真值，故又称其为近真值。当测量次数无限增加时，算术平均值 \bar{x} 将无限接近于真值。因此适当增加重复测量次数，取多次测量的算术平均值 \bar{x} ，能有效减小偶然误差。

（二）绝对误差

上面定义的误差即测量值与客观真值之差，取其绝对值称为绝对误差。我们以算术平均值 \bar{x} 取代测量值的真值，则测量值 x 的绝对误差为

$$\Delta x = |x - \bar{x}| \quad (2-2)$$

1. 多次直接测量的绝对误差

在实验中，我们往往需要对被测量物进行多次测量，各次测量的绝对误差为

$$\Delta x_1 = |x_1 - \bar{x}|$$



$$\Delta x_2 = |x_2 - \bar{x}|$$

...

$$\Delta x_n = |x_n - \bar{x}|$$

那么，绝对误差的算术平均值

$$\overline{\Delta x} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \cdots + \Delta x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta x_i \quad (2-3)$$

叫做平均绝对误差。

2. 单次测量的绝对误差

对于物理量的单次测量不能计算它的误差，只能根据所用测量仪器的精度、观测环境及实验者的观察力来估计可能发生的最大误差。在一般情况下，单次测量的误差估计为仪器最小分度的 2/10（熟练者）到 5/10（不熟练者）。但是，如果测量受到某些条件的限制，其误差也可能超出仪器的最小分度值，即仪器的精度，因此单次测量的误差要结合实际情况作出恰当的估计。在物理实验中，我们对学生的要求是：单次测量的误差估计为仪器最小分度的 $\pm 5/10$ 。例如，我们所有的学生用尺，最小刻度为 1 mm，那么单次测量的误差为 0.5 mm。

绝对误差是有单位的，它反映了测量结果的起伏程度。但只用绝对误差难以评价这两个测量结果的可靠程度，因此实验测量中引入相对误差的概念。

（三）相对误差

相对误差是绝对误差与真值之比。真值不能确定时，则用约定真值。在近似情况下，相对误差也往往表示为绝对误差与测量值之比。它是没有单位的，常用百分数表示，因此也称百分误差，即

$$E = \frac{\overline{\Delta x}}{\bar{x}} \times 100\% \quad (2-4)$$

相对误差反映测量的准确度。相对误差愈小，表明测量愈准确，结果愈接近真值。例如，用同一仪器测量长 20.0 cm 相差 0.1 cm 与测量长 200.0 cm 相差 0.1 cm 相比，显然后者的测量更准确，因为后者相对误差小。

（四）直接测量结果的表达

一组 n 次重复测量的数据为 x_1, x_2, \cdots, x_n ，测量值 x 的最终结果的正确表达式为多次测量结果 = 测量值的算术平均值 \pm 平均绝对误差（单位），即

$$x = \bar{x} \pm \overline{\Delta x} \quad (\text{单位}) \quad (2-5)$$

同时要给出测量的相对误差

$$E = \frac{\overline{\Delta x}}{\bar{x}} \times 100\%$$

四、间接测量结果的误差

(一) 间接测量误差传递公式

间接测量值是通过一定函数式由直接测量值计算得到。显然，把各直接测量结果的最佳值代入函数式就可得到间接测量结果的最佳值。这样一来，直接测量结果的误差就必然影响到间接测量结果，这种影响大小也可以由相应的函数式计算出来，这就是误差的传递。表 2-1 给出了基本的误差计算公式。

表 2-1 间接测量误差运算表

数学公式	间接测量误差
$Y = A \pm B$	$\Delta Y = \Delta A + \Delta B$
$Y = A \cdot B$	$\Delta Y/Y = (\Delta A/A) + (\Delta B/B)$
$Y = A/B$	$\Delta Y/Y = (\Delta A/A) + (\Delta B/B)$
$Y = A^n$	$\Delta Y/Y = n (\Delta A/A)$
$Y = \sqrt[n]{A}$	$\Delta Y/Y = \frac{1}{n} (\Delta A/A)$
$Y = \sin\theta$	$\Delta Y = \cos\theta \cdot \Delta\theta$
$Y = \cos\theta$	$\Delta Y = \sin\theta \cdot \Delta\theta$

从表 2-1 中可以看出，和、差的绝对误差，等于各量的绝对误差之和；积、商的相对误差，等于各量的相对误差之和。这叫做误差的传播规律，它概括了因直接测量产生的误差而影响到间接测量结果的误差。由于在推导过程中都是考虑到最大不利（即最大误差）的情形，因此又叫做最大误差的传播规律。

如果间接测量的函数是和、差关系，应该先求绝对误差，再求其相对误差；如果间接测量的函数是积、商关系，应该先求相对误差，再求其绝对误差。

(二) 间接测量结果的表示

$$Y = \bar{Y} \pm \Delta Y$$

$$E = \frac{\Delta Y}{\bar{Y}} \times 100\%$$



第二节 实验数据的记录

一、有效数字

实验中要记录很多测量值，并进行计算，但是记录时应取几位，运算后应保留几位，都应该按照一定的规律取舍才能正确表达出实验记录的真实性。这就涉及有效数字及其运算规律。

(一) 有效数字的定义

测量物理量都必须使用仪器。仪器的最小刻度称为它的精密度。如学生用尺最小刻度为毫米的米尺，其精密度则为1 mm。测量的精密度就取决于所用仪器的精密度，例如用一把精密度是1 cm的米尺进行测量，读数可准确到厘米，并能估计到0.1 cm。改用另一把精密度是1 mm的米尺进行测量，读数就可准确到毫米，估计到0.1 mm。如用这两把米尺测量同一金属棒的长度，如图 2-1 所示，其测量结果则分别为 $L_1=2.7$ cm和 $L_2=2.68$ cm。

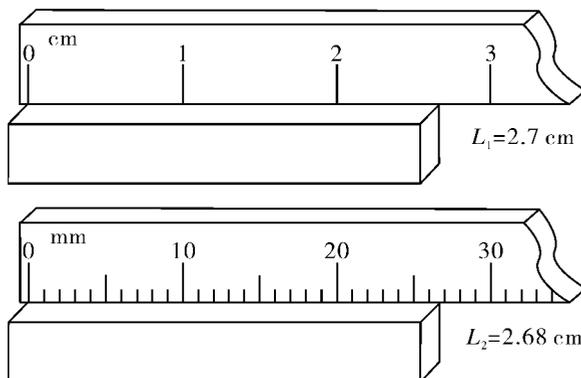


图 2-1 精密度与有效数字

对于第一个测量结果 L_1 ，数字“2”是准确读出的，“7”是估计出来的。米尺虽然没有刻到毫米，但我们可以估计到毫米（最小刻度的十分之一）。至于再想多读一位，用此米尺是达不到的，因为一个读数的估计数字一般不能超过一位。对于第二个测量结果，数字“2”和“6”是准确读出的，数字“8”是估计的。

测量值中，包含仪器最小刻度的整数部分的数字是可靠的，叫做准确数字（可靠

数字), 如 L_1 中的“2”和 L_2 中的“2”和“6”。最小刻度的小数部分的数字是估计的, 叫欠准数字(可疑数字), 如 L_1 中的“7”和 L_2 中的“8”。欠准数字虽属估计, 带有误差, 但并非臆造, 是有确定意义的, 因此不能舍弃。

每一个测量值都由若干位可靠数字和一位欠准数字组成, 这些数字均为有效数字。如 L_1 的测量值为两位有效数字, L_2 为三位有效数字。

在相同条件下, 用不同精密度的仪器测量同一对象时, 仪器的精密度愈高, 测量值的有效数字位数就愈多。因此用有效数字记录测量值, 不仅反映了测量值的大小, 而且还反映了测量仪器的精密度, 这就是有效数字的双重性质。因此, 在记录实验数据时要切记读数的有效数字。

测量值 = 读数值(有效数字) + 单位

有效数字 = 可靠数字 + 可疑数字(一位) + 单位

(二) 有效数字的特点

根据有效数字的定义, 在记录和处理实验数据时, 应注意以下两点:

1. 有效数字位数的多少, 是由被测量的大小和测量仪器的精密度所决定的, 不能随意增减。例如用精密度为 1 mm 的米尺测量某物体的长度时, 它的末端正好落在 2.7 cm 的刻度线上, 如图 2-2 所示, 则其估计数字应为“0”, 这个“0”是有效数字, 不能舍弃, 测量结果应记作 2.70 cm, 为三位有效数字。如果记作 2.7 cm 或 2.700 cm 都是错误的, 虽然它们的量值相同, 但反映仪器的精密度是不同的。

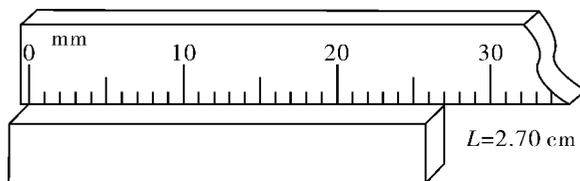


图 2-2 有效数字读数示意图

2. 有效数字的位数, 不因单位的转换而增减, 即不随小数点的位置变化而增减。

例如 2.70 cm 为三位有效数字, 在换算成 m、 μm 时应分别写为 $2.70 \times 10^{-2} \text{ m}$ 、 $2.70 \times 10^4 \mu\text{m}$, 均为三位有效数字, 用以表示小数点位置的“0”不是有效数字。而 $2.70 \text{ cm} = 27000 \mu\text{m}$ 的写法是错的。通常记录或处理数据时, 用科学记数方法写成标准式, 例如 $2.70 \times 10^{-2} \text{ m}$ 。



二、有效数字的运算

在数据运算中，首先应保证测量的准确度，在此前提下，尽可能节省运算时间，免得浪费精力。运算时应使结果具有足够的有效数字，不要少算，也不要多算。少算会带来附加误差，降低结果精度；多算没有必要，算的位数虽然很多，但是决不可能减少误差。

有效数字运算取舍的原则是：运算结果保留一位可疑数字。

1. 加、减运算

$$\begin{array}{r} \text{例：} \quad 30.3 \\ + \quad 4.148 \\ \hline 34.448 \end{array} \quad \rightarrow 34.4 \text{ (三位)}$$

结论：诸数相加（相减）时，其和（差）值在小数点后所应保留的位数与诸数中小数点后位数最少的一个相同。

2. 乘、除运算

$$\begin{array}{r} \text{例：} \quad 4.178 \\ \times) \quad 10.1 \\ \hline 42.1978 \end{array} \quad \rightarrow 42.2 \text{ (三位)}$$

结论：诸数相乘（除）后其积（商）所保留的有效数字，只须与诸因子中有效数字最少的一个相同。

3. 乘方和开方的有效数字与其底的有效数字相同。

4. 对数函数、指数函数和三角函数运算结果的有效数字必须按照不确定度传递公式来决定。

5. 有效数字尾数修约规则

在计算数据时，当有效数字位数确定以后，应将多余的数字舍去，其舍去规则为：

(1) 拟舍弃数字的最左一位数字小于 5 时，则舍去，即保留的各位数字不变。

(2) 拟舍弃数字的最左一位数字大于 5，或者是 5 而其后跟有并非为 0 的数字时，则进 1，即保留的末位数数字加 1。

(3) 拟舍弃数字的最左一位数字是 5，而右面无数字或皆为零时，若所保留的末位数字为奇数则进 1，为偶数或零则舍去，即“单进双不进”。

上述规则也称数字修约的偶数规则，即“四舍六入逢五配双”规则。

例：下列有效数字只保留 4 位时，则有

$$4.32749 \rightarrow 4.327 \quad 4.32750 \rightarrow 4.328$$