

高等学校教学用书

物理实验指南

第三册

T. H. 勃格达諾伐
E. II. 苏勃梯那 著

高等教育出版社

高等学校教学用书



物理实验指南

第三册

电磁学 波动光学

T. H. 勃格达諾伐, E. II. 苏勃梯那著
刘立本 徐培光 張季达 宋承宗譯

高等教育出版社



本書系根据苏联“苏联科学”出版社 (“Советская наука”) 出版的勃格达諾伐 (Т. Н. Богданова) 和苏勃梯那 (Е. П. Субботина) 合著, 拔烏姆伽尔忒 (К. К. Баумгарт) 教授校的“物理实验指南” (Руководство к практическим занятиям по физике) 譯出的。原書經苏联高等教育部审定为高等学校教学参考書。

原書分兩册出版。上册是 1949 年增訂第三版(譯本第一、二册)。下册是 1950 年版(譯本第三册)。

譯本第一册內容为緒論、力学、声学及物性学方面的实验。第二册內容为热学、电学及几何光学方面的实验。第三册內容为电磁学及波动光学方面的实验。

第三册由刘立本 (I 至 IX 章, 及 X 章的 1, 2, 3 节)、徐培光 (X 章的 11 至 15 节, 及 XI 章)、張季达 (X 章的 4 至 8 节)、宋承宗 (X 章的 9, 10 节) 譯, 刘立本校。

物 理 实 驗 指 南

第 三 册

T. H. 勃格达諾伐, E. П. 苏勃梯那著

刘立本 徐培光 張季达 宋承宗譯

高 等 教 育 出 版 社 出 版

北京琉璃廠一七〇號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號)

上海勞動印製廠印刷 新華書店總經售

統一書號 13010·218 開本 850×1168 1/32 印張 9 11/16 插頁 1 字數 256,000

一九五七年四月第一版

一九五七年四月上海第一次印刷

印數 1—11,000

定價(8) 洋 1.20

原 序

“物理实验指南”下卷(即本译本——译者)是先前出版的上卷的续篇;它包含电流计、交流电、电子学、静电计和波动光学方面的实验。这些实验是根据列宁格勒的荣膺列宁勋章的日丹诺夫(А. А. Жданов)大学的第一物理实验室及普通物理实验室中作过的那些实验写成的。

这本指南中的实验,有各种不同的形式,难易的程度也不相同,其中并列入了某些古典实验的各种作法[正切电流计实验的各种作法,磁强计的高斯(Гаусс)方法的各种作法],作者认为这些古典实验对于阐明电磁场的基本定律是很重要的。当然,作者并不要求一个学生对于一个题材作两个或两个以上的实验。

本书中有26个实验是Е. П. 苏勃梯那写的(§§ II—8, 9, 10; III—1, 5, 6; IV—2; VII—1; VIII—1, 2, 3, 4; IX—1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9; X—4, 6: 1), 11: 1), 2), 12, 13, 14, 15)。其余全是Т. Н. 勃格达诺夫写的。

当装置新实验的时候,1946—47和1947—48学年入学的物理系学生做了很多工作。

还有一级实验员 И. Н. 果鲁别伐(Голубева)、实验员 Р. Я. 乌沙诺夫(Ушар)和实验员 А. А. 别尔斯卡雅(Бельская)曾帮助我们绘图并整理原稿,作者谨在此对他(她)们表示谢意。

对于所有的有价值的批评,作者都将非常地感谢。敬希大家把意见寄交 СССР Ленинград В. О., Средний проспект, дом 41/43 1-я физическая лаборатория。

第三册目錄

原序

I	主要的电学量度仪器	1
1.	引言	1
2.	安培計	8
3.	伏特計	19
4.	电流計	21
II	正切电流計, 絕對电流計和冲击电流計	30
1.	正切电流計	30
2.	正切电流計的換算因数的測定	35
3.	由線度定正切电流計的換算因数	36
4.	用电量計定正切电流計的換算因数	37
5.	用伽伐尼電池定正切电流計的換算因数	38
6.	絕對电流計	39
7.	用絕對电流計測定电阻	40
8.	冲击电流計	45
9.	冲击电流計的研究	46
10.	用冲击电流計比較电动势	49
III	交流电流	51
1.	自感系数和电容的測定對於交流电欧姆定律的驗證	51
2.	用冲击电流計比較电容器的电容	56
3.	用惠斯通电桥測定电容器的电容	58
4.	用惠斯通电桥測定線圈的自感系数	61
5.	用張弛电振盪法測定电容及高电阻	64
6.	变压器的变换系数和效率的測定	69
IV	电流的磁場的研究	72
1.	載电流的長直导線周圍磁場的研究	72
2.	螺線管的磁場強度的測定 感应法	73
V	磁学	77
1.	用小磁針研究等位線	77
2.	中和点位置的測定	78

8. 用中点驗証反平方定律	79
4. 用磁強計驗証反平方定律, 方法 I	80
5. 用磁強計驗証反平方定律, 方法 II	82
6. 用正切电流計驗証反平方定律	84
7. 磁体所生磁場強度的測定	85
8. 两个短磁体的磁矩的比較	88
9. 地磁場水平部分的測定	90
10. 地磁場強度的水平部分和磁体的磁矩的測定	92
11. 按照高斯方法測定地磁場水平部分	94
12. 地磁場水平部分的測定	102
13. 毫安培計的校准和用亥姆霍茲电流計測定地磁水平部分	107
14. 地磁水平部分和豎直部分的測定	111
15. 用絕對电流計測定地磁水平部分	113
VI 鉄磁性	117
1. 磁強計法	117
2. 磁化率的測定	118
3. 磁滯 方法 I	121
4. 用冲击电流計研究鉄心的性質	122
5. 磁滯 方法 II	126
VII 电磁振盪和共振	133
1. 振盪迴路品質因数的測定	133
VIII 电子和离子仪器	142
1. 二分之三次方定理。兩極整流管的參量和特性的研究	142
2. 磁控管的靜态特性曲線	148
3. 陰極射線示波器	155
4. 閘流管的研究	167
IX 靜电計和它在量度放射性方面的应用	177
1. 導言	177
2. 靜电計的描述	179
3. 靜电計电容的測定	186
4. 靜电計灵敏度的測定	188
5. 箔片靜电計自然漏電的測定	190
6. 未知制备物的电离电流、放射率和貫穿輻射的数量的測定	191
7. γ 射線的电离电流強度和距离間关系的測定	192
8. 用靜电計測定 β 和 γ 射線的吸收系数	193
9. 用盖革-弥勒計数器測定 γ 和 β 射線的吸收系数	195
X 波动光学	203
1. 圓游标	203

2. 測角計	204
3. 用測角計測定稜鏡材料的折射率	207
4. 用 CJ-3 型析鋼分光鏡 (стилоскоп) 分析金屬的光譜	215
5. 光的干涉, 楊氏實驗	220
6. 用菲涅耳雙稜鏡測定波長	222
第一種裝法	223
第二種裝法	225
7. 用牛頓圈測定光的波長和透鏡的曲率半徑	227
8. 用衍射光柵測定波長	234
第一種裝法	235
第二種裝法	238
9. 光的偏振	239
10. 偏振計和糖量計 (描述)	256
1. 米忒切囉里呵偏振計	256
2. 半蔭偏振計	257
羅囉偏振計	257
里批呵偏振計	258
OM3T 半蔭偏振計	260
3. 梭列伊爾糖量計	261
11. 用偏振計作的實驗	263
1. 用米忒切囉里呵偏振計測定石英的旋光本領	263
2. 用半蔭偏振計及糖量計作的實驗	264
(a) 石英的旋光本領的測定	264
(b) 純淨旋光液體的旋光率的測定	265
(b) 溶液的旋光率和溶液中旋光物質含量的測定	265
12. 糖量計	265
用單补偿糖量計測定糖的旋光率	266
13. 用光學法測定超声振動的波長和波速	271
14. 用燈絲隱沒式光測高溫計測定斯忒藩-玻耳茲曼定律中的常數	277
15. 立式光測微計	281
XI 附录	286
1. 電場的研究	286
2. 差不多相等的兩電阻的比較	287
3. 用電位計比較電阻, 校準電阻箱和安培計	290
XII 物理常數表	292
參考書	303
中俄人名對照表	304

I. 主要的电学量度仪器^①

1. 导言

全部量度用器依照全苏标准 (OCT) 7636 条分为定准器及量度仪器。

全苏标准 7636 条规定实验室的定准器及量度仪器是这样的一些工作定准器及量度仪器, 使用它们工作时必须计算量度准确度。它们都附有检查证, 证上附有修正表。工业机关及科学机关的实验室中作研究工作用的仪器多半属于这一类。

全苏标准 7636 条规定工业上的定准器及量度仪器是这样的一些工作定准器及量度仪器, 为了使用它们工作, 规定得有一定的量度准确度, 根据对这些量度准确度的要求, 作这些量度时, 不需要修正表。

应该声明, 将定准器及量度仪器分为实验室用的及工业上用的两类, 多少有些是人为的规定, 因为不管是工业上的或实验室内的量度, 都要用到准确度相差很远的定准器及仪器。

全苏标准 8005 条载有电学量度仪器的详细分类, 在那里叙述得有 14 项分类标志。

(1) 按照被量度量的种类分类;

(2) 按照电流的种类分类;

① 参考书 Касаткин А. С. Электрические измерения, изд. 1946 г.

Селезнев Н. Н. Электрические измерения, изд. 1939 г.

М. А. Шателен 教授及 Н. Н. Пономарев. Пособие к лабораторным занятиям по электрическим и магнитным измерениям, изд. 1931 г.

⊖ 此書我国已有译本——译者註。

- (3) 按照准确度, 或者按照決定准确度的其他标志分类;
- (4) 按照作用的原理分类; 这作用的原理是随型式而变的;
- (5) 按照讀数的方法分类;
- (6) 按照使用的特征分类;
- (7) 按照装置的方法分类;
- (8) 按照标度的形式分类;
- (9) 按照标度盖子切口形式分类;
- (10) 按照用外壳保护的方法分类;
- (11) 按照避免外来磁场或电场干扰的方法分类;
- (12) 按照对于过载的耐性分类;
- (13) 按照使用时的温度分类;
- (14) 按照外廓的大小分类。

电学量度仪器的准确度可以认为是它的最重要的特性, 所以它被取为此类仪器分级的基础。按照苏联国家标准 (ГОСТ) 1845-42 条, 仪器按其准确度被分为 5 级: 即 0.2; 0.5; 1; 1.5; 2.5 五级。最大的可允许的基本误差, 以标称值的百分数表示 (即最大可许基本标称相对误差), 用作这种分级法的各级的名称。

电学量度仪器按照作用原理分类的方法, 要看那仪器是利用什么物理现象来达到量度目的而定; 对于大多数指针式仪器可以说, 它们是按电流或电压在仪器中产生转矩的作用的不同而分为若干型式。

目前, 下列十二种型式的仪器是有实用价值的。

1. 磁电式——转矩由一个或几个永磁体与一个或几个载电流的导体互相作用而产生。此式中包含: (a) 具有可动线圈的仪器, (б) 具有可动磁体的仪器 (此种仪器比较少见)。絕大多数的工业用及实验室用的直流安培计和伏特计及大多数的电流计都属于圈动式磁电仪器。此式仪器最重要的特性是: 仅适用于直流电, 准确度和灵敏度都很大。

2. 电磁式 (具有可动软铁的仪器)——转矩由一个或几个载电流

的線圈与一个或几个由鉄磁性材料作成之零件互相作用而产生(例如軟鉄在螺線管中移动)。

大多数工業用电頻率(50 赫茲)⊖的交流安培計及伏特計都屬於此式。此式仪器最重要的特性是:作粗略量度时不易损坏,如果这种仪器沒有巨姆齐⊙(Пермаллон)做的心的話。

3. 电动式——轉矩由两个或几个載电流的線圈互相作用而产生;一个線圈固定不动,而另外几个可以运动;此时可动線圈中之电流由导線供給(不是由感应产生)。此式又可分为兩小类:(a)無鉄电动式,(б)帶軟鉄电动式,加軟鉄是为了加強仪器的磁場和增加轉矩。大部份便攜的和實驗室的低頻交流仪器(安培計、伏特計、瓦特計、週相計等)都屬於無鉄电动仪器。無鉄仪器的特性是:量度准确,在直流及交流电路中都能应用,标度不均匀,对磁特別敏感,担負过载能力弱。

帶鉄电动仪器的特性是:讀数的准确度只适用于工業上的量度时,轉矩強大,对磁不敏感。

4. 感应式——轉矩由仪器的可动部份中的感应电流及不动的电磁体的磁化电流互相作用而产生。这些电磁体由交流电供电,而它們的磁場則在仪器的可动部份中感生电流。所有的交流电表和老式設備中的瓦特計都屬於感应式。此式的特性是:只适用于一个一定頻率的交流电,簡單,耐用——它們能支持大的过载,轉矩大,标度不均匀及量度准确度不高。

5. 热式——被电流所加热的物体(鎳,薄片)的体积或形狀的改变或伸長引起可动部份的偏轉。此式仪器主要用作高頻率(在無線电中)情况下的量度。此式的特性是:在直流及交流电路中都能用它量度,讀数与頻率無關,过载时热的不稳定,由於温度的影响讀数不准确,能量的消耗大。

⊖ 1 赫茲即每秒振動 1 次——譯者註。

⊙ 一种鎳及鉄的合金——譯者註。

6. 靜电式——轉矩由电場力所产生,在电場力的作用下可动的导体或电介质對於固定的导体运动。这些固定的和可动的导体和电介质構成电容器,它的电容量当可动体系偏轉时發生变化。靜电仪器主要用作直接量度高电压的伏特計。靜电伏特計的特性是:不消耗能量(仅在电介质中可能有消耗),在直流及交流电路中都可用它量度,仪器讀数与外来磁場及交流电頻率無关,構造簡單,受外来电場影响,讀数略显非週期性 (недостаточная аperiodичность показаний),标度不均匀 (在大多数仪器上)。

7. 振動式——利用仪器的可动部份的固有振动与交流电的頻率共振,以得到讀数,是此式仪器的特征。此式仪器主要用作頻率計(赫茲計)。

8. 电解式——使用电解現象是此式的特征;由仪器的一电极析出的物質的量,可以确定通过被观察电路的电量。这个原理可用在直流设备中,以量度电量,也可用在非电性量的某些电学量法中。此式的特性是沒有磨損的部份和仪器本身的能量消耗很小。

9. 热电式——使用一个或几个温差电偶是此式的特征[⊖],温差电偶受被量度电流所發的热的影响产生溫度差,此溫度差使磁电式量度仪器中發生直流电。此式仪器标度的分度依照被量度的交流电的大小而定。甚高頻率和高頻率的情况下使用此类仪器。

10. 檢波式——使用一个或几个接触整流器和磁电式的量度仪器是此式的特征,这些整流器和量度仪器都連在量度交流电的电性量的电路中。仪器标度的分度按被量度的交流电的大小而定。这种合成仪器,利用磁电式仪器的高灵敏度在交流电路中作量度,而仪器本身之能量消耗甚小。

11. 电子式——使用一个或几个电子管和磁电式量度仪器是此式的特征,这些仪器都連在量度电性量的电路中。此式仪器多半用於高

⊖ 参考洪效譯 A. B. Фреме 主編电磁測量学上册第 62 面——譯者註。

頻情况下的实验室的及校准(контроль)的量度中。

12. 光电式——有一个或几个光电管和磁电式量器是此式的特征, 这些仪器都連在量度电性量的电路中。此式仪器主要用於遙測及特殊设备方面。在現代此式仪器有重大的意义。

可以說, 在上面所列举的型式中, 仅磁电式、电磁式、电动式和感应式的仪器有广泛的实际应用; 热式、靜电式、振动式和电解式只用於有限的特殊量度中; 最后, 热电式、檢波式和电子式仪器制造的原理是利用磁电式仪器的优良性能来量度交流电, 它們主要用於甚高頻率或高頻率的情况下。

各种型式的电学量度仪器的規定符号①

磁 电 式	有机械反抗力的(即在無电流时, 此型式的可动部份有一定的平衡位置)	
	無机械反抗力的(即在無电流时, 此型式的可动部份無一定的平衡位置)	
电 磁 式	有机械反抗力的	
	無机械反抗力的	

① 参考書 Касаткин А. С., Электрические измерения, 1946 年。

(續 前)

电 动 式	無 鉄 式	有机械反抗力的	
		無机械反抗力的	
	帶 鉄 式	有机械反抗力的	
		無机械反抗力的	
感 应 式		有机械反抗力的	
		無机械反抗力的	
热 式			
靜 电 式			
振 动 式			

(續 前)

电 解 式		
热 电 式	有接触热变换器的	
	有隔离热变换器的	
檢 波 式		
电 子 式		
光 电 式		
直 流 电		=
交 流 电		~
直流电和交流电		12
耐压 2000 伏特的仪器的绝缘物		

在学生的记录中应记下所用量度仪器的型式。仪器的技术的和度量衡的性质与它的型式有关。所以作每一个量度时，每个人应该清楚地了解，在所作量度中，应对仪器提出什么要求，和实际用作量度的那种型式的仪器能满足什么要求。

例如，如果量度时用的是最精密的交流仪器（电动式仪器），那末必须经常注意它对外来磁场是很灵敏的，有时实验者衣袋中的钢制螺丝刀就足够显明地改变电动仪器的读数。

电学量度仪器按照被量度量的种类分为安培计、伏特计、电流计等。

2. 安培计

现在我们要详细地谈一谈下列各式安培计：磁电式、电磁式、热式、电动式和感应式。

磁电式安培计系根据沿框上绕组流动的电流和永磁体所生的磁通之间的互相作用的原理作成的。因此，主要零件是可动体系和固定磁体（图 1a、1b）。绝缘的细铜线或细铝线绕在铝框上，线的两端连在磷青铜丝做成的螺旋形弹簧上。一个弹簧的端点固定在轴的上部，而另

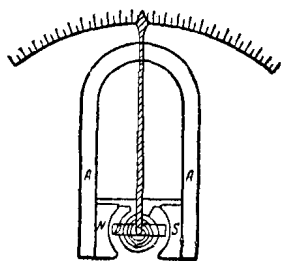


圖 1a

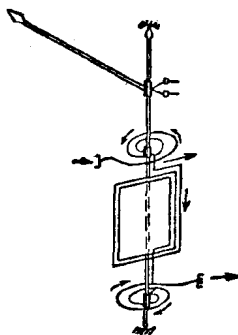


圖 1b

一彈簧的端点固定在軸的下部。这些彈簧能反抗框的旋轉。在同一軸上固定一根輕的指針，用这指針可在标度上讀出仪器的讀数。下面的螺旋彈簧的第二端固定在仪器的不动部份上，而上面的螺旋彈簧的第二端固定在改正器上，利用此改正器可以使仪器的指針指零。由導線作成的框包圍着軟鉄作的圓柱，框与圓柱不相接触。这一裝置整个放在馬蹄形永磁体 AA 的兩極之間。在磁体的兩端固定得有二極靴 N 和 S 。如此，磁路就借二極靴和圓柱形鉄心閉合起来。

如果框上繞組中有电流流过，那么框將在窄狹的空气隙（余隙）中轉到这样的位置，以使电流所生的力線与永磁体所生的力線的方向重合。

由於流过框上繞組中的电流和永磁体所生的磁通間之相互作用，产生了轉矩，按照理論，它等於

$$M_{\text{旋轉}} = H h l w I,$$

上式中 H 表永磁体磁場的平均強度，

h 表框的高度，

l 表框的寬度，

w 表框上繞組的匝数，

I 表框上繞組中的电流強度。

因为量 H 、 h 、 l 和 w 是恆定的，於是

$$M_{\text{旋轉}} = c_1 I.$$

当框旋轉时，螺旋彈簧产生反抗力矩，它等於

$$M_{\text{反抗}} = c_2 \alpha,$$

上式中 α 是框的轉角。

註 仪器中之所以要反抗轉动的力矩或阻力矩，是为了用来平衡外力所生的起偏轉矩。

要框靜止在平衡位置，框之轉矩必須等於彈簧的反抗力矩，即

$$M_{\text{旋轉}} = M_{\text{反抗}}$$

或

$$c_1 I = c_2 \alpha,$$

由此

$$I = c\alpha,$$

上式中 $c = \frac{c_2}{c_1}$ 。因此,在磁电式安培計中,框的轉角比例於框上繞組中流过的电流的強度。

鉄圓柱的用途是將永磁体所生磁場变为輻射形(圖 2)。这就保证了标度的均匀性。当無圓柱时,轉矩就要与轉角的余弦成正比。

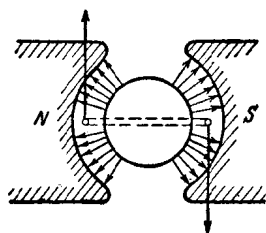


圖 2

由於 α 和 I 成正比,磁电式仪器的标度是均匀的。

可动体系的振动的阻尼是这样得到的,即当鋁框在永磁体的磁場中轉动时,在框里面就产生感应电流,这个电流与永磁体的磁場互相作用时,就阻尼了框的运动,於是同时可动体系的运动也就很快地被阻尼了。

磁电式安培計通常附有分流器,这样就使大部份电流流过分流器,而小部份电流流过仪器的框上的繞組(5—10 毫安培)。

磁电式安培計的优点是:标度均匀,因此就可以在仪器的全部标度上得到准确度一样的讀数,而且外磁場对它的影响不大。

磁电式安培計不能用於交流电。

与別种型式的安培計比較,磁电式安培計一直到現在还是最准确的量度仪器。

电磁式安培計 此式安培計有几种構造形式,每一种構造形式的原理,都是根据流过仪器繞組的电流所生的磁場与置於此磁場中的鉄心間的相互作用。其中具有平面圓的鋁圈的一种結構形式是最流行的。

具有平鋁圈的仪器的主要零件如圖 3。当电流流过鋁圈 B 时,軟鉄片所造成的鉄心 A 被吸进 B 中,鉄心 A 、指針 C 、阻尼器 K 和抗衡 D 都固定在同一軸上。反抗鉄心吸引力的力矩由阻尼器 K 和抗衡 D