

引力波探测的光学方法

吴馨怡¹, 梅子文¹, 陈思远¹, 王 辉¹, 李传锋², 高 琛³

(1. 中国科学技术大学少年班学院, 安徽 合肥 230000;
2. 中国科学技术大学物理学院, 安徽 合肥 230000;
3. 中国科学技术大学国家同步辐射实验室, 安徽 合肥 230000)

摘要: 引力波将会向人类提供更多关于这个广袤宇宙的信息。科技的进步终于使人类有能力建造足够灵敏的实验仪器来探测抵达地球的微弱波动。本文首先从力学入手, 讨论引力波与物体的相互作用。然后, 应用在光学课上所学的知识探究目前世界上最大的科学合作项目之一 LIGO 的基本原理, 考虑实际操作中的部分参数选取, 提出减少外界因素干扰的一些方法。最后还将简要介绍 LISA。

关键词: 引力波; 光学; LIGO; LISA

中图分类号: O 412.1; O 436.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-0712(2015)06-0057-05

引力是什么, 它是怎样传播的? 这些基本的问题上百年来一直困扰着物理学家。牛顿提出的经典理论、超距作用并不让人信服。上个世纪, 爱因斯坦大胆提出广义相对论, 指出引力是物质存在条件下时空度规改变的反映, 这种作用是以一种类似电磁波的波动传递的, 这就是引力波。自诞生起, 广义相对论已被众多实验证实, 然而作为其重要推论——引力波, 由于万有引力作用强度比起电磁作用十分微弱, 至今未被实验观测到。

天文观测对引力波的存在提供了较好的间接证据, 最著名的是普林斯顿大学的拉塞尔赫斯(Russel Hulse)和约瑟夫泰勒(Joseph Taylor)发现脉冲双星 PSR 1913+16 并用该理论解释其周期变化, 这为实验指明了方向。人们试图找到银河系内双星系统(白矮星、中子星或黑洞等致密天体组成的双星)、河外星系内超大质量黑洞的合并、脉冲星的自转、超新星的引力坍缩等强引力场的位置变化辐射出并传到地球的微弱波动。

对引力波的直接探测, 最初, 人们建造许多铝制金属棒, 企图将引力波引起的微小扭曲转化为电信号探测。1959 年, 美国马里兰大学教授 J. 韦伯发表了证实引力波存在的消息, 但重复实验都失败了^[1]。究其原因, 尽管引力波的来源是大尺度剧烈的天体运动, 探测引力波的关键其实是探测器对极小尺度变化的灵敏度。上世纪 70 年代起, 以光波为尺的精密测量

能力重燃了发现的热情。作为当代科学界最重要的合作项目之一, LIGO(激光干涉引力波观测站 Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) 和 LISA(激光干涉空间天线 Laser Interferometer Space Antenna) 就是代表。本文是利用大学基础物理光学和力学所学知识, 半定量解释光学法探测引力波之原理, 构建可行的操作方法。

1 引力波的作用效果

引力波使空间度规发生变化, 从而改变距离。

考虑弱场近似($g_{\mu\nu} = G_{\mu\nu} + h_{\mu\nu}$, 其中 $G_{\mu\nu}$ 为 Minkowski 度规, $h_{\mu\nu}$ 为线性修正项且满足 $h_{\mu\nu}$ 和它的各阶导数均为一阶无穷小), 并假定有一根均匀棒在引力波面上, 空间出现引力场时, 原静止的自由质点系中各质点将有相对加速度。

建立极坐标 (r, θ) , 对同一圆周上的质点的作用, 将由以下两式给出:

$$\begin{cases} a_1 = 2r(\alpha \cos \theta + \beta \sin \theta) \\ a_2 = 2r(\beta \cos \theta - \alpha \sin \theta) \end{cases} \quad (1)$$

α, β 是关于引力场强度的量, 考虑最简单情况, 即棒的质单元的加速度沿臂的方向

$$a = \sqrt{a_1^2 + a_2^2} = 2r \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} \quad (2)$$

假定 α, β 在棒所在空间尺度上变化很小, 可视作常数。由于棒上各质点有相对加速度, 必将引起形变。

下面对棒作简化分析, 先假定其线密度为 λ , 杨

收稿日期: 2014-04-21; 修回日期: 2015-01-03

基金项目: 安徽省高等学校质量工程项目(2013jyxm005)资助

作者简介: 吴馨怡(1997—), 女, 江西抚州人, 中国科学技术大学少年班学院 2012 级本科生。

氏模量为 Y , 有效截面积为 S , 原长度为 L . 张力分布为 $f(l)$, 则有

$$f(l) - f(l + dl) = f'(l) dl = \lambda dl \cdot 2l \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} \quad (3)$$

$$f(l) = -2\lambda l \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} + f(l_0) \quad (4)$$

当 $l=L$ 时, $f(l)=0$, 得初始条件

$$f(l_0) = 2\lambda L \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} \quad (5)$$

所以

$$f(l) = 2\lambda(L-l) \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} \quad (6)$$

记伸长量分布函数为 $\Delta l(l)$, 则

$$YS\left(\frac{\Delta l(l)}{l} - \frac{\Delta l(l+dl)}{l}\right) = 2\lambda(L-l) \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} \quad (7)$$

$$\Delta l(l) = \frac{2\lambda \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}{YS} \left(\frac{1}{2} Ll^2 - \frac{1}{3} l^3 \right) + C \quad (8)$$

利用初始条件 $\Delta l(0)=0$, 得 $C=0$. 故总伸长量为

$$\Delta = \Delta l(L) = \frac{\lambda \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}{3YS} L^3 = \frac{m \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}{3YS} L^2 = \frac{\rho \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}{3Y} L^3 \quad (9)$$

其中

$$m = \rho S L \quad (10)$$

这个计算引力波对空间距离影响的尝试, 先将引力波作用转化为加速度, 站在经典力学的立场上根据杨氏模量的公式分析均匀棒, 考虑情况简单, 有一定局限性, 不能直接用于 LIGO 和 LISA 系统臂长差的求解. 引力波改变在其经过区域的时空几何, 客观上, 是时空结构发生扭曲, 从观测者看来则是物体发生了压缩与伸长. 从广义相对论的度规方程导出距离差会更贴切现实. 但上面这个结果能够定性表明, 探测器设计中, 增加探测物质的密度和干涉仪臂长有利于得到引力波存在的证据.

同时, 广义相对论指出作为张量波, 引力波有两个振动方向, 在半个周期内压缩一个方向、伸长一个方向, 另半个周期又反过来. 并且, 典型的引力波将改变一个长 1 m 的直尺大概 10^{-22} m.

2 LIGO 装置基本原理

极其精密的测量仪器, 广为使用的一种是迈克耳孙干涉仪. 迈氏干涉仪由分光板、一对平面镜、光源和接收屏构成. 光源经分光板得到两束相干光, 分别走过两臂不同的光程后同时投射到接收屏, 形成干涉条纹. 将条纹转化为数字信号进行分析, 可推断两臂间微小的距离变化. 现在, LIGO、VIRGO、GEO500、LISA 这些凝聚了全球上万名科学家智慧

和汗水的大项目都是根据这一原理构建的. 我们主要分析的是 CALTECH 与 MIT 的联合实验室的 LIGO 计划. 图 1 为 LIGO 的装置示意图.

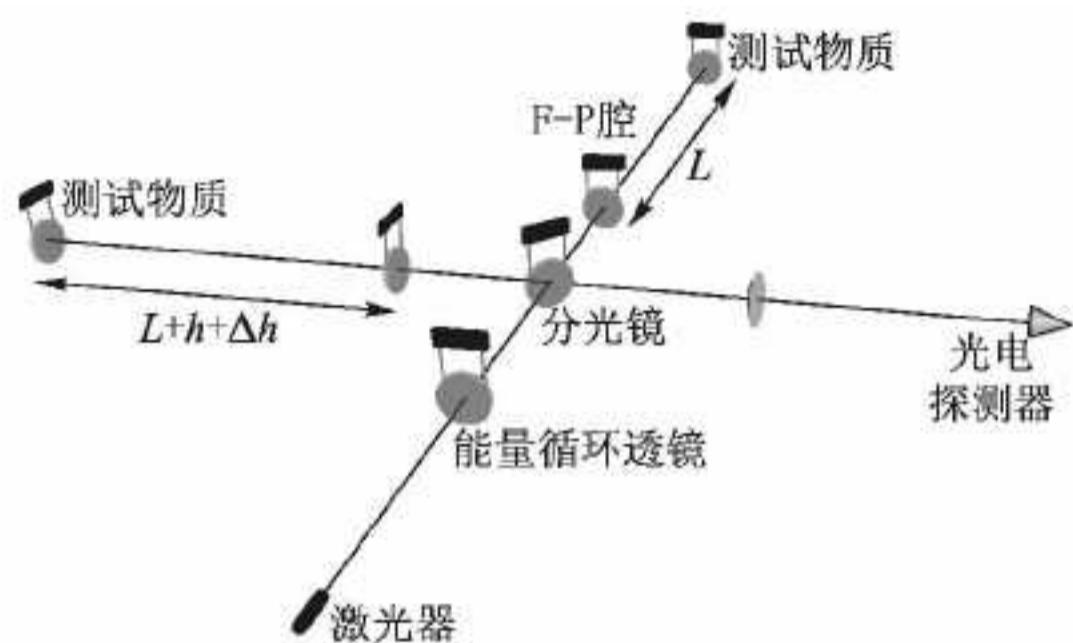


图 1 LIGO 装置示意图

为简单起见, 我们设定, 太空来的为简谐波时 (其他形式的波可以用傅立叶变换后合成) 干涉仪垂直的两臂总是一臂伸长→臂压缩, 因而两臂产生距离差 Δh , 得到干涉图样. 要让 Δh 越大, 就要加长两臂的距离. 地基装置真空腔长度、地球形状等因素, 臂长只能做 4 km, 对应的 Δh 在 10^{-18} m 量级.

假设探测器两臂有一定的初始长度差 h , 让光线垂直射入, 则随着 Δh 的变动, 干涉条纹会发生移动.

仅用迈氏干涉仪会有很大的半角宽度 Δi_1 (入射角改变 Δi_1 , 条纹亮度由最强降到 $1/2$), 视场大小和探测器精度一定的情况下, 当然希望视场内光强变化明显以提高测量精度, 于是利用 Fabry-Perot 腔减小半角宽度. 设反射镜的反射系数为 r , λ 是激光波长, i 为入射角, n 是臂中折射率, 半角宽度为

$$\Delta i_1 = \frac{\lambda (1-r)}{2\pi n (h + \Delta h) \sqrt{r} \sin i} \quad (11)$$

又由相位差关系, 盯住条纹最强的一束光, j 是条纹级数, 则

$$\frac{4\pi h \cos i}{\lambda} = j\pi \quad (12)$$

将 $\cos i$ 移到等式右边, 再分别对 i 和 h 求微分得条纹移动的最大角距离 Δi_2 :

$$\Delta i_2 = \frac{4\Delta h \cos^2 i}{\lambda j \sin i} \quad (13)$$

$$j \approx (h + \Delta h) / \lambda \quad (14)$$

$$\Delta i_2 = \frac{4\Delta h \cos^2 i}{(h + \Delta h) \sin i} \quad (15)$$

$$\frac{\Delta i_1}{\Delta i_2} = \frac{\lambda (1-r)}{2\pi n \Delta h \sqrt{r} \cos^2 i} \propto \frac{\lambda (1-r)}{\Delta h} \quad (16)$$

基于式(16), 作如下讨论:

由于 Fabry - Perot 腔内抽真空, $n = 1$; 假设, $\cos^2 i = 1$; r 趋近 1, 近似可取 $\sqrt{r} = 1$. 若初始长度差 h 增大, 条纹宽度与移动距离皆减小. 根据式(16), 不管初始差 h 取多长, 条纹移动的最大角距离与半角宽度成正比, 也就是说光强变化 $\Delta I/I$ 是固定的. 我们认为, h 太小则视场中只有条纹的较小一部分; h 太大, 条纹位移可能小于光电探测器的最小分辨率, 都不利于实际测量. 取 $\lambda = 1064 \text{ nm}$, $r = 0.999$, 则式(16)右侧比例系数为 10^9 .

假设分别经两臂的光会合, 由一焦距 f 为 1 m 的凸透镜成像在光电探测器上, 视场范围 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$, 视场中为 5 个条纹, 试图定出 h 的数量级(所以不考虑入射角 i_p). 由迈氏干涉仪的公式可得, 条纹线宽度 K_p (条纹最亮处到强度为 0 的距离), 角宽度 δi_p (入射角改变 Δi_1 , 条纹亮度由最强降到 0) 关系为

$$K_p = f \delta i_p = f \frac{\lambda}{2hi_p} = \frac{1068 \times 10^{-9}}{2hi_p} \text{ m} \approx \frac{1}{5} \text{ m} \quad (17)$$

则 $h \approx 10^{-4} \text{ m}$. 估计半角宽度 (10^{-4}) , 条纹移动 10^{-13} m . 我们查到现在分辨率最高的 CCD 约 $1 \mu\text{m}$. 上述参数组合旨在说明问题而非实际选取. 实际操作会更复杂, 如 Fabry - Perot 腔是两级以上放大 (80×100), 需要对干涉条纹光学放大, 将进行多次测量比对大数据处理等. 还可在多位置如光强变化最明显处设置多个探测器, 同时追踪光强变化.

式(16)还告诉我们, 要想使条纹变化更明显, 应尽量提高 r , 减小光的波长.

考虑到激光在仪器内传播的距离 $> 80 \times 3000 \text{ m}$, 地基引力波测量的频率在 50 Hz 左右, 不能忽略的是光在腔内多次反射期间, 臂间距随引力波不停变化, 所以测到的图像其实是一段时间的积累结果, 需对此加以修正. 且光电探测器上直接测量量是光强, 光源强度波动须严格控制, 可从光源分一小束光实时监测强度.

3 LIGO 系统噪声分析与设计细节

噪声的组成包括传感器噪声, 天线噪声和传播噪声.

传感器噪声包括最基本的散弹噪声, 幅度、相位噪声, 接收器噪声. 其等效臂长谱密度记作 $X_t^2(f)$, 这些噪声与光程无关, 满足 $X_t^2 \propto 1/N^2$. 天线噪声 $X_a^2(f)$ 包括镜面、悬挂的热噪声, 以及地面振动, 这些噪声总体上与臂长成正比关系. 传播噪声 $X_p^2(f)$ 是由传播路径中的剩余气体或其他因素造成的折射率扰动引起的, 正比于光程, 不确定度合成:

$$X_N^2(f) = X_t^2(f) + X_a^2(f) + X_p^2(f) \quad (18)$$

灵敏度 h' 的表达式为

$$h' = \left[\frac{X_N^2(f)}{l^2} \frac{\left(\frac{\pi N l}{\lambda_g} \right)}{\sin^2 \left(\frac{\pi N l}{\lambda_g} \right)} \Delta f \right]^{\frac{1}{2}} \quad (19)$$

这里 N 为反射次数 ≈ 8000 , $l \approx 4 \text{ km}$ 为探测器臂长, λ_g 为引力波的波长. 在探测频率的高频段, 噪声主要是传感器噪声, $Nl = \frac{1}{2} \lambda_g$ 时, 有

$$h' = \left\{ \left[\left(\frac{\pi}{\lambda_g} \right)^2 S_t(f) + \left(\frac{\pi N}{\lambda_g} \right)^2 S_a(f) + N^2 \left(\frac{\pi N l}{\lambda_g} \right)^2 S_p(f) \right] \Delta f \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (20)$$

此即最高灵敏度.

代入相关数据, 算出

$$\lambda_g = 2Nl = 2 \times 100 \times 4 \text{ km} = 8 \times 10^5 \text{ m} \quad (21)$$

对应的频率为

$$f = \frac{c}{\lambda_g} = \frac{3.0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{8 \times 10^5 \text{ m}} = 375 \text{ Hz} \quad (22)$$

此频率在测量范围 10 ~ 5 000 Hz 内.

测较低频率的波时, 天线噪声谱密度会增大, 即地震噪声以及热振动噪声影响突出. 它限制了最高灵敏度.

$$h_m' = \left[\left(\frac{\pi}{\lambda_g} \right)^2 \frac{\hbar c \lambda \Delta f}{\pi \eta P_{ph}} \right]^{\frac{1}{2}} \propto P_{ph}^{-1/2} \quad (23)$$

式(23)中 η 为接收器的光子检测率.

可见提高激光功率(P_{ph})很有必要, 光波长 λ 也越小越好. 常用的激光器中, Ar⁺激光器提供的光波长是相当短的, 有 10 根以上谱线在紫外光区. 早期的激光干涉探测法选用此种激光器. 但气体激光器相比固体激光器有一明显弱点: 气体密度过小, 无法提高输出功率. 综合考虑两个因素, YAG: Nd(掺钕钇铝石榴石, 1 064 nm)激光器颇具优势, 目前广为使用.

减少噪声的措施还有以下几种:₁) 要减少地震噪声, 首先探测器避免建在地质活动区, 潮汐影响区等; 其次引入隔振系统, 常用摆结构来实现, 单摆或多个串联的摆来吸收干扰振动能量, 增加摆长和摆重来实现能量的积累很有效;₂) 使用降温的方法强行减小热运动. 现行实验设备部分降到液氦的冷却温度 4.2 K, 甚至 0.1 K, 这可大大减小热运动噪声;₃) 光路抽真空以减小剩余气体散射引发的噪声;₄) 好的镜体材料可有效减小散弹噪声、镜面热噪声. 镜体材料现广泛使用的是熔融石英(熔融后

再次凝聚的一种石英玻璃 Fused Silica), 可以很好地反射可见光及近可见光区的光波。虽然单晶硅、蓝宝石等性能可以更好, 但是这些材料由于制造工艺尚不成熟, 不易获得高质量且合格稳定的反射镜^④。

除上述举措之外, LIGO 计划设计了两个探测器用于互相对照, 位置是^⑤:

Livingston, Louisiana ($30^{\circ}33'46.42''N$ $90^{\circ}46'27.27''W$)

DOE Hanford Site ($46^{\circ}27'18.52''N$ $119^{\circ}24'27.56''W$)

两探测器之间的距离为 3 002 km。引力波传播速度是光速, 时间差可达 10 ms。在 50 ~ 500 Hz 之间, 引力波源对地面观测的倾角不可忽略时, 会使两侧的波形有比较大的相位差, 因此要稍微对波形进行处理(视波源位置将其中一个探测器的波形前移或后移相位 ϕ' , $\phi = 2\pi v_g \Delta\tau$)。其实引力波的探测实验已演变成了一个全球众多科学家和科研机构合作的系统, 至少两地的仪器同时记录到有效的数据是被认可的必要条件, 一旦探测到, 至少 3 台仪器将会被用来确定波的来源, 最终这个来源很可能同时被 4 地的设备检验。

综合上述, 光学方法测量引力波确实困难重重, 大大的激发了全世界科学家和科技爱好者的兴趣和创造力。上面列出的只是考虑的冰山一角, 幸运的是, 虽然实验装置还在紧锣密鼓的建造与改良中, 人们的信心越积越多。

4 LISA 系统介绍

一个计划在太空进行的观测试验 LISA 正在酝酿。LISA 的主要探测结构是位于边长为 500 万公里的等边三角形顶点、绕太阳公转的 3 个圆形探测器, 其上配备望远镜、检验物质(一般为 6 块边长为 4.6 cm 的铂—金立方体)以及激光干涉仪等光学系统。由于引力波作用, 空间度规改变、检测物质产生弯曲, 产生微小的周期性距离变化, 用激光干涉仪可测出该位移波动以研究引力波相位与频率等特征。同时, 顶点绕太阳旋转, 通过任意一个探测器不断监测对面两个探测器位置的相对变化, 可间接测量大质量天体互相绕转时引发的时空周期性膨胀和收缩^⑥。

相比起地面上的 LIGO 计划而言, LISA 具有许多天然的优势, 它将拥有更大的测量空间, 也不用担心地球噪声的影响; 可测量频率更低, 在 $10^{-4} \sim 10^{-1}$ Hz 之间^⑦。不过 LISA 会受宇宙微波背景辐射、粒子风以

及太空垃圾的影响。稍作估算, 臂长 5×10^9 m, 角锥反射镜的移动距离量级 10^{-11} m, 根据 LIGO 类似的测量方法进行高分辨率的测量, 成功得到有效结果的可能性更大了。

5 结束语

证实引力波的存在, 将是爱因斯坦理论的充实与发展, 也将成为 4 种作用力大统一理论的重要部分, 堪比希格斯粒子的发现。它是开拓人类眼界的一项技术。回顾历史, 从视听味嗅触 5 种感官, 到显微镜和望远镜再到射电望远镜的发明利用, 人类能看到、想到、证实的东西空间尺度跨越 $10^{-20} \sim 10^{26}$ m。我们的智慧和好奇心同步增长。在向宇宙起源和致密物质的探索中, 由于宇宙大爆炸初期, 黑洞、中子星、超新星核等致密星体和超密物质通过电磁辐射所能揭示的信息不足, 而这些却是引力波最强的来源。穿越茫茫宇宙, 携带原始讯息的引力波如能被我们用熟悉的光学方法接受并正确翻译, 将是物理学发展的又一大飞跃。

与此同时, 光学法探测引力波这项浩大的工程, 将像同步辐射装置建造一样, 对各国的工业水平提出更高的要求, 直接推动真空、材料等技术的进步, 催化统计学等跨学科发展。作为大学生, 应用所学并不艰深的知识畅游引力波探测这个前沿课题的经历, 能让学生深刻体会爱因斯坦“想象力比知识更重要”的内涵, 快乐享受发现问题、思考交流、解决问题全过程的乐趣。

参考文献:

- [1] 薛凤家. 引力、引力波和引力波的探测 [J]. 大学物理, 2004, 23(11): 37~41.
- [2] 赵凯华, 钟锡华. 光学: 上册 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2004.
- [3] 秦荣先, 阎永廉. 广义相对论与引力理论实验检验 [M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1987.
- [4] Abbott B, Abbott R, Adhikai R, et al. Detector description and performance for the first coincidence observations between LIGO and GEO - main [J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 2004, 517: 154.
- [5] Rüdinger A. Ground - based Interferometers for the detection of gravitational waves [J]. Adv Space Res, 2000, 25(6): 1153.
- [6] Dotti M, Colpi M, Haardt F. LISA double black holes: dynamics in gaseous nuclear discs [J]. Mon Not Roy Astron Soc, 2006, 367: 103.

A search for gravitational waves in optical methods

WU Xin-yi¹, MEI Zi-wen¹, CHEN Si-yuan¹, WANG Hui¹, LI Chuan-feng², GAO Chen³

(1. School of Gifted Young, University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui 230000, China;

2. School of Physical Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui 230000, China;

3. National Synchrotron Radiation Laboratory, University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui 230000, China)

Abstract: Technological advances and engineering experience have made it possible to construct detectors with sufficient sensitivity to detect gravitational waves (GW). Based on what is learned in mechanics and optics class, the process of detecting the interference of light to deduce the existence of GW will be displayed. Some methods to reduce errors are raised, and LIGO and LISA system are briefly introduced.

Key words: gravitational waves; general relativity; LIGO; LISA

(上接49页)

2.3 数据分析

将表1数据作线性拟合可得 $B = 31.29 \text{ mV/g}$, 力敏传感器的灵敏度 $k = 3.19 \text{ V/N}$, 计算得图1中 bc 段的斜率 $K_{bc} = 0.60$, 图1中取极大值时电压为 $U_d = 57.5 \text{ mV}$, 拉断前一瞬间电压值 $U_e = 45.4 \text{ mV}$, N 点电压 $U_N = 54.1 \text{ mV}$.

10 °C 时, 纯水的标准表面张力系数 $\alpha_0 = 74.22 \text{ mN/m}$, 将 U_d 、 U_e 、 U_N 分别代入公式

$$\alpha = \frac{(U - U_0) - \rho g S \Delta h}{k (\pi (D_1 + D_2))} \quad (5)$$

初始电压 $U_0 = -0.5 \text{ mV}$, 得 $\alpha_d = 79.6 \text{ mN/m}$, $\alpha_e = 60.4 \text{ mN/m}$, $\alpha_N = 75.3 \text{ mN/m}$, 代入公式 $E = (|\alpha_0 - \alpha| / \alpha_0) \times 100\%$ (6) 得 U_d 、 U_e 、 U_N 的相对百分误差分别为 7.3%、18.6%、1.5%, 可见, U_N 对应的点 N 为实验最优点.

3 结束语

在拉脱法测量液体的表面张力系数实验中, 如何正确选取读数点是确保实验准确性的关键, 将多

次实验的实验结果与理论分析相结合, 发现最大值点和拉断前瞬间读数结果与标准值都有一定的差距, 实验最优点应在最大值 U_d 之前的 U_N 处. 而在本文所阐述的方法中, 利用通过作图寻找切点的方法易于将 U_N 点找出, 方法简便、巧妙, 而且使实验结果更加准确, 若将此方法运用于教学, 定能使学生从实验原理上明确应该在何时读数以及为何在此时读数, 将理论与实践紧密地结合. 此外, 如果能将数据采集系统运用于此方法, 则可进一步提高实验的操作性和准确性.

参考文献

- [1] 伊鑫, 朴渊, 柳青, 等. 拉脱法测量纯水表面张力系数实验的研究 [J]. 大学物理, 2008, 27(2): 61.
- [2] 田静, 李辉. 液体表面张力系数测量中的影响因素分析 [J]. 大学物理, 2012, 31(10): 30.
- [3] 苏启录. 拉脱法测量液体表面张力系数——实验误差分析 [J]. 大学物理实验, 2013, 26(4): 86.
- [4] 尹新国. 拉脱法测液体表面张力系数实验的分析和讨论 [J]. 物理实验, 1994, 15(4): 157-162.

The new measurement method of liquid surface tension coefficient by the measurement of pull-off method

LI Zhao-kang¹, REN Jia¹, LIU Xiao-xuan¹, CHENG Yi¹

(College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: This paper aims to analyze the forces of the rings as well as their changes in the process of pulling off liquid membrane and put forward a new method of how to get the best measurement point in the experiment measuring liquid surface tension coefficient. On the improvement of laboratory instrument, accurate measurement of the liquid surface tension coefficient is given.

Key words: pull-off method; liquid surface tension coefficient; best measurement point; error