

# 《向心力实验器》（征求意见稿）编制说明

## 1 起草工作简要经过

### 1.1 任务来源

“探究向心力大小与半径、角速度、质量的关系”是高中物理学生必做实验之一，普通高中物理课程标准（2017版）在必修2模块中要求：“会用线速度、角速度、周期描述匀速圆周运动。知道匀速圆周运动向心加速度的大小和方向。通过实验，探究并了解匀速圆周运动向心力的大小与半径、角速度、质量的关系。能用牛顿第二定律分析匀速圆周运动的向心力。”

全国教育装备标准化技术委员会力学、热学分技术委员会于2022年4月印发了教育行业标准力学、热学第一批制修订计划。由山东远大朗威教育科技股份有限公司（以下简称山东远大）承担修订《向心力实验器》行业标准的起草工作。项目编号：Jyzblr-2022-05。

### 1.2 起草本标准做的准备工作

本项目是修订 JY/T 0331—1993《向心力实验器》。起草人分析了 JY/T 0331—1993 标准和产品，分析了当前高中物理教学和实验要求，分析了使用传感器的产品，起草本文件。

## 2 向心力实验器在教学中的运用和本产品的要求

### 2.1 教学内容

高中物理必修2“圆周运动”一章的教学内容安排如下：

- a) 线速度和角速度的概念；
- b) 周期；
- c) 线速度和角速度的关系；
- d) 向心力：
  - 1) 感受向心力；
  - 2) 向心力的大小：
    - 探究向心力的表达式；
    - 通过实验粗略计算出两球所受向心力的比值；
    - 精确实验表明向心力大小的表达式。
- e) 变速圆周运动和一般曲线运动的受力特点：指向圆心；
- f) 向心加速度：
  - 1) 匀速圆周运动的加速度方向；
  - 2) 匀速圆周运动的加速度大小；
  - 3) 推导向心加速度公式；
- g) 生活中的圆周运动：
  - 火车转弯；
  - 汽车过拱形桥和凹桥路面；
  - 失重现象；
  - 离心运动。

向心力学生实验内容是在学习本章内容以后进行的验证向心力表达式。教材中提出问题：怎样才能在改变某个物理量时保持其他物理量不变？

## 2.2 对本产品的要求

对本产品的要求是通过实验体验各物理量对向心力的影响,通过实验熟悉和掌握匀速圆周运动中各物理量之间的关系,验证向心力表达式。

## 2.3 原标准规定的产品特点

原标准规定的向心力实验器是全机械式的,图1~图3是三种产品情况。

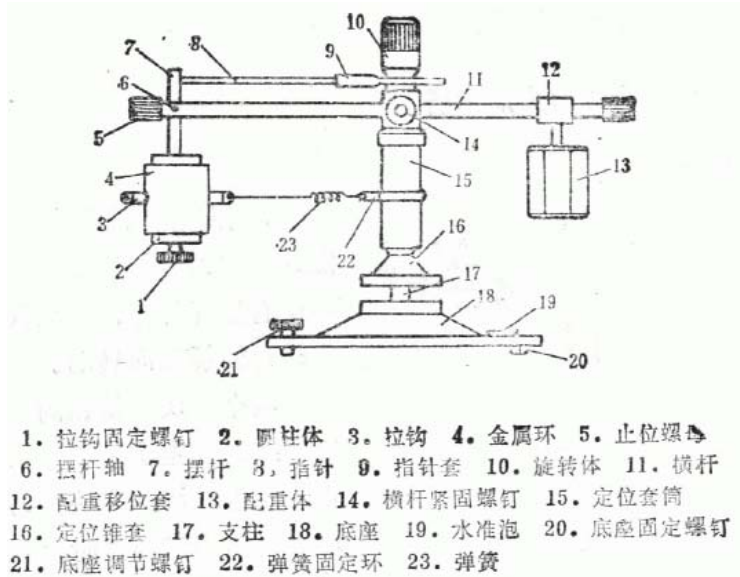


图1 全机械式向心力实验器(一)

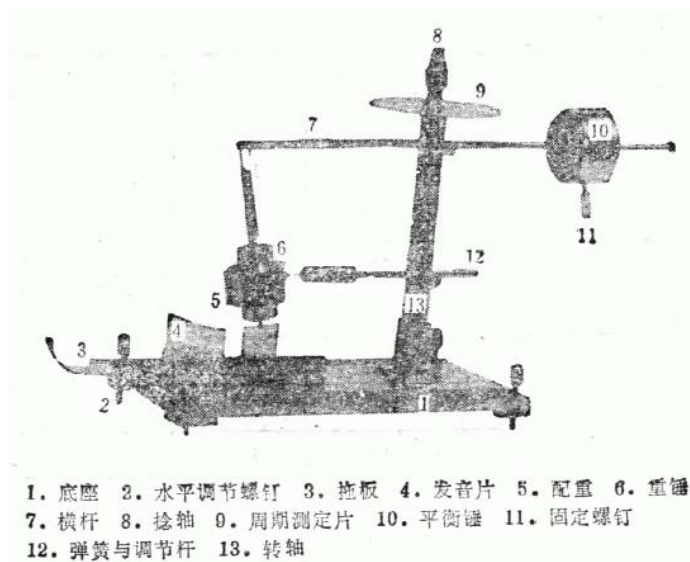


图2 全机械式向心力实验器(二)

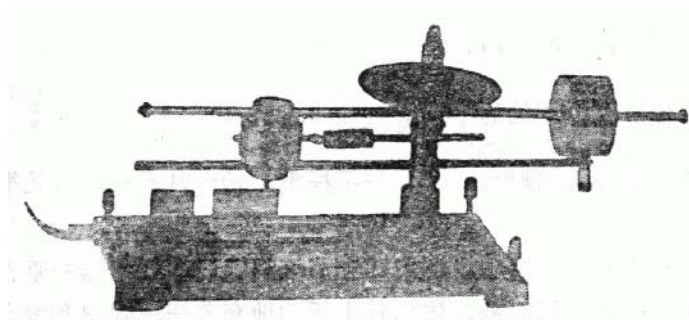


图3 全机械式向心力实验器（三）

全机械式向心力实验器的共同特点是：

——使用弹簧伸长测量物体的向心力(在停止转动后用弹簧测力计将重锤拉到转动时的位置测量)；

——使用秒表测时（图1）或使用测速盘测时（图2、图3）。

JY/T 0331—1993 规定的还有电动式，但是电动式产品从来未见，都是手动式。

全机械式向心力实验器的问题：

——弹簧受力不同时伸长量变化很大，因此无法做到质量、半径和转速任一因素单独变化；

——用手动旋转和秒表测时（转若干圈的时间，求转动一周的平均时间）误差大，用测速盘（图4）测时必须在频闪频率为 100Hz 的电感镇流器荧光灯下使用，但是现在已经没有使用电感镇流器的荧光灯了（电子镇流器频率约 40kHz），并且这种方法的转速只是固定的一种，不能变化；

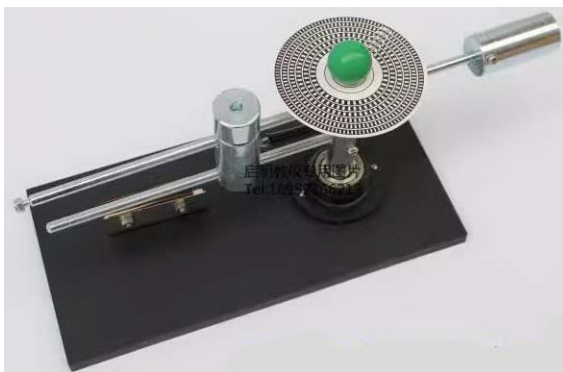


图4 向心力实验器的测速盘

——图1 的方案以指针水平时标志，图2、图3 的方案以重锤下的尖端通过发音片上缺口（不发音）时为标志，但是如果没有对准发音片缺口（不发音），则动能有损失，难以做到匀速转动；

——半径使用直尺测量（从重锤半径处到转轴轴心处），实际上只是粗略估计；测量半径都是很粗略的；

——图3 的方案重锤滑动时摩擦力也算作向心力了（或者忽略不计，能忽略不计吗？）。因此全机械式向心力实验器只能是粗略观测向心力的影响因素，不能满足教学要求。

## 2.4 向心力实验器的基本方案

综上所述，向心力实验器要做到质量、半径和转速任一因素单独变化，只能使用力传感

器测量，因为力传感器在受到力作用时形变非常小以致能忽略。

测量转速也只能使用传感器（例如通过遮光方式）测量，没有其他较准确测量的方法。

半径只需使用直尺测量，可有标尺。

能更换不同质量的物体。

间接测量向心力与力传感器的实测值相比较，实验误差不大于 5%。

可有需要与计算机连接，以及传感器自带显示屏，不需与计算机连接两种方案。

## 2.5 使用传感器测量的向心力实验器常见类型

目前，采用传感器测量方式向心力实验器的常见的有以下几种类型：

- a) 按传感器传输类型来分，有线（图 5~图 9）、无线（图 10~图 14）两种方式。
- b) 按传感器安装方式来分，有内置（图 10、图 13~图 15）和外置两种方式。
- c) 按数所显示方式来分，有自带显示屏（图 15）和借助于其他显示设备（计算机或手持设备—PAD、手机）。

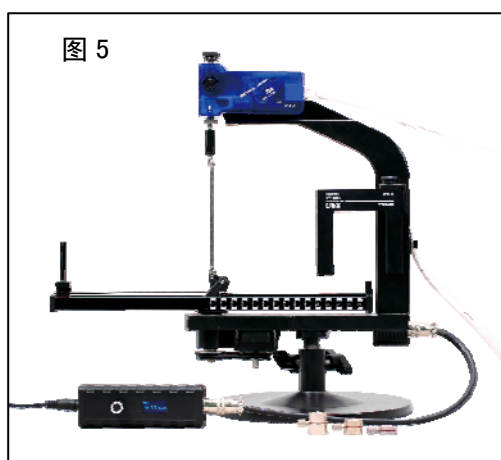


图 5



图 6

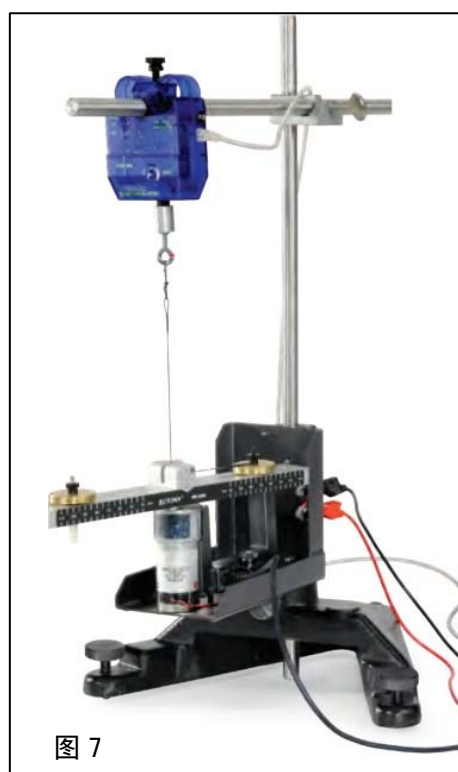


图 7



图 8

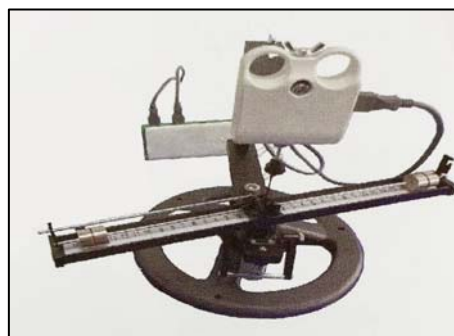


图 9



图 10



图 11



图 12



图 13



图 14



图 15

#### 4 技术内容和方案

##### 4.1 技术方案

#### 4.1.1 总则

本文件采用按性能特性规定。必然有的具体结构方面(例如必然有底座、有支柱或支架,有旋转臂)无需规定。

#### 4.1.2 传感器内置和外置

内置指向心力实验器内安装了专用的传感器。外置指使用时外加的教学实验用传感器,这些传感器在教学中是通用的。由于接口和软件的兼容性等原因,实际上目前难以做到不同厂家的传感器和向心力实验器能通用互换。因此在产品标识、标签、合格证、使用说明中要求:“计算机用的向心力实验器应有如下提示:“传感器必须与计算机实验数据采集系统由同一厂家生产,并且版本相同,避免不兼容。”

#### 4.1.3 连接计算机用和自带显示屏

使用传感器的向心力实验器可采用连接计算机或者自带显示屏(还不需要连接计算机)两种方式。也有的可以两者都兼容的,在这里没有单独再区分。

连接计算机方式的特点是能使用软件,由软件显示并记录每次实验数据,以及按输入的计算公式计算。

自带显示屏方式的特点是不需连接计算机,在实验桌不安装计算机的物理实验室使用方便,自带显示屏显示各次实验实测数据,由学生手工记录和计算。

自带显示屏应与传感器专配。

#### 4.1.4 转动半径、质量和转速

任何实验仪器都有一个使用范围。从原理上说转动半径、质量和转速取任意数值都应符合向心力公式,但是实际上需要考虑力传感器的测量范围,如果超出测量范围就无法实验,没有意义。有两个方面:

- a) 不大于力传感器的测量上限,例如力传感器测量最大值是 20N,那么任何一次实验中转动半径、质量和转速产生的向心力不应大于 20N;
- b) 力传感器的测量能力。测量能力有两个数据:分度值和基本误差,例如分度值为 0.01N,基本误差不大于满度值的 1.0%+末位 1 字。满度值为 20N,那么基本误差限是 0.2N,如果分度值为小数点后二位,那么误差为 0.21N。因此如果某次实验中产生的向心力小于 0.21N 都是没有意义的(因为小于基本误差是不确定的),只能作为参考)。

这方面在本文件中对转动半径、质量和转速的范围安排有考虑,但是具体的需要在实验中掌握。因此要求在产品说明书中说明,当传感器基本误差是用引用误差(即满度值的百分比)表示时,应说明绝对误差的计算方法。

#### 4.1.5 旋转臂

旋转臂需要考虑以下因素:

——动平衡。专用砝码(重物)位于旋转臂的一侧,那么如果旋转臂的方向不是严格水平,旋转时转速就不均匀(重物向高处运动时转速慢,向低处运动时转速快)。那么测速传感器在圆周上不同位置,测出的转速是不一样的,这就不是严格意义上的匀速圆周运动。

还有一个可扩充内容:凹形桥和凸形桥问题。虽然这是演示实验内容,但是如果学生实验仪器也能做此内容的实验是有好处的。如果用于这个实验,方法是将旋转臂在竖直平面内

旋转，用计算机绘出力值的图线，分别在圆周的最高点和最低点读取力值。最高点就是凸形桥的情况，最低点就是凹形桥的情况（得出结论是向心力减重力和向心力加重力）。那么如果旋转臂没有达到动平衡，由于转速变化大，因此这个实验就无法做了。当然要做此试验需要连接计算机，自带测量值显示屏的来不及读数。

——动平衡的方法：在旋转臂固定重物的另一侧固定平衡块。简单获得动平衡的方法是在旋转臂另一侧相同的半径处固定质量相同的平衡重物。这就需要在旋转臂另一侧也有标尺。

——不能忽略专用砝码（重物）固定装置在旋转时产生的向心力。固定装置既然有重量，旋转时就会产生向心力。解决这个问题可有两种方法：

——力传感器有校零功能；

——力传感器无校零功能，那么需要在未装上重物时测量向心力，在计算时减去。

#### 4.1.6 测速传感器

测速传感器可有不形式：

——测量旋转臂挡光片通过时间；

——测量旋转臂旋转某个角度（或一周）的时间，间接传动方式需要标明转速比；

注：旋转角度可用“度（°）”或者“弧度（rad）”为单位，一周等于  $2\pi$  rad。

#### 4.1.7 专用砝码（重物）

由于需要准确测量转动半径，因此在重物的质心处应有标志线。所以重物应做成规则的形状（例如圆柱体）。

由于转动质量需要能变化，因此重物应有不同的质量，并且不宜采用几个砝码叠加的方式（因为几个重物叠加后难以确定叠加后共同的质心）。

砝码应标明质量值。

#### 4.1.8 电机

电机应能方便地改变转速，并且转速稳定。采用步进电机或者直流电机均可。

步进电机转速稳定，不受供电电压浮动的影响，通过控制器可以很方便调节转速，并且还可以显示电机的转速，如果机械传动结构稳定时，也可以显示换算后旋臂的转速。

直流电机有优良的调速性能，改变电压就能调速。

#### 4.1.9 电源

电源用途：1) 电机电源：6V~12V 直流电源，1A。可使用电源适配器，或者高中教学电源。高中教学电源输出为 2V~16V，每挡 2V，电流 2A，直流稳压，能够满足要求。2) 自带显示屏的传感器用电源。由于这类产品不接计算机，因此需要电源。不一定能与电机电源合用，因此应使用电池。

电源适配器需经过 3C 认证。

#### 4.1.10 软件

软件的基本要求：兼容性、用用性。

#### 4.1.11 专用砝码质量、标尺和转速的组合

实验时专用砝码质量、旋转半径和转速的组合应使力传感器的示值不大于最大测量值，不小于基本误差的 3 倍。本标准在使用说明书的要求中要求写上，由使用者掌握。

选用最大质量和最小质量的专用砝码时旋转半径和转速的组合例见表 1。

表 1 专用砝码、转动半径和转速组合例

专用砝码 g	半径 m	转速 rad/s	向心力 N
200	0.15	25	18.75
10	0.10	25	0.625

因此，专用砝码最大/最小质量为 200g/10g, 标尺不小于 150mm, 转速范围为 (5~30) rad/s 可行。

#### 4.1.12 关于电源适配器

为了保证电源适配器的安全性能，标准要求电源适配器应经过 3C 认证。

3C 认证产品目录中没有单独的电源适配器项目，目录中都是大类。只有在音视频设备和信息技术设备大类中有电源适配器（所以只能参照）。

按强制认证规范 CNCA-C08-02:2014《音视频设备》，电源适配器的认证依据标准为：安全标准：GB 8898, 电磁兼容标准：GB 13837、GB 17625.1。按强制认证规范 CNCA-C09-01:2014《信息技术设备》，电源适配器的认证依据标准为：安全标准：GB 4943.1, 电磁兼容标准：GB 9254、GB 17625.1。就是认证时检测的项目为电气安全和电磁兼容性。

GB 8898—2011 和 GB 4943.1—2011 现都已修订为 GB 4943.1—2022。

3C 认证项目仅为电气安全和电磁兼容，因此本标准规定了电源适配器除安全和电磁兼容以外的主要技术指标。

#### 4.1.13 实验误差

本实验的目的是验证向心力公式，分别研究半径、质量和转速对向心力的影响。这是通过对半径、质量和转速三个物理量的测量，间接测量向心力。测量结果与使用力传感器测量值比较。因此以力传感器测量值为基准值比较，计算相对误差。

计算公式如下：

$$\delta = \frac{F - (F_{\text{测}} - F_0)}{F_{\text{测}} - F_0} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$\delta$  — 试验相对误差，无单位；

$F$  — 实验中间接测量向心力的值，单位为牛顿 (N)；

$F_{\text{测}}$  — 力传感器测量值，单位为牛顿 (N)；

$F_0$  — 固定重物机构产生的向心力值，单位为牛顿 (N)。

标准规定分别更换半径、转速、质量，三次实验误差都不大于 5%。

#### 4.1.14 接口和传感器的兼容性

4.1.14.1 由于不同厂家的传感器互不兼容，同一厂家的不同版本传感器也不一定能通用，因此本文件要求产品有下列标示和提示：

计算机用的向心力实验器应有如下提示：“传感器必须与计算机实验数据采集系统由同一厂家生产，并且版本相同，避免不兼容。”

传感器应注明版本号。

电源接口应标明电压值和正负极。



自带显示屏的向心力实验器应有如下提示：显示屏禁止进水。

4.1.14.2 电源适配器使用外径 5.5mm，内孔径 2.5mm 的插头，外负内正。目前电源适配器已统一，因此需要规定。如果产品上的电源适配器接口不统一，将无法使用。

按《教学仪器用电接插件 型式、基本参数和尺寸》，规定了使用学生电源时应使用接插两用内孔径 4mm 的接线柱，标明正负极。

## 4.2 环境试验

环境试验的目的是考验产品及包装承受运输和使用环境的能力。由于本产品是比较精密的机电仪器，因此环境试验项目为温度、湿度、正弦振动和包装状态下自由跌落。

## 6 试验方法和检验规则

### 6.1 试验方法

基本都是常规试验。几项有特殊性的试验说明如下：

——重物的质心：在标志线处栓一细线吊起，重物应位于水平状态。如果重物不在水平状态，说明栓细线处不是质心。如果是规则物体（例如圆柱体），质心在几何中心。

——标志线宽度用读数显微镜测量，因为要求宽 1mm，并且这是线纹计量，不能用游标卡尺。

——测速传感器测量误差：用数字毫秒仪比对。用图 5 的电路接在数字毫秒仪输入端，位置放在旋转臂边缘，旋转臂上设立（或找）一个挡光物，测量旋转一周的时间，与测速传感器的测量结果比对。

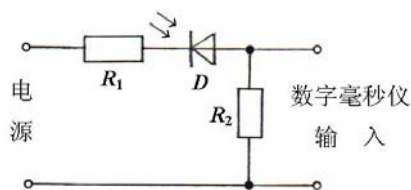
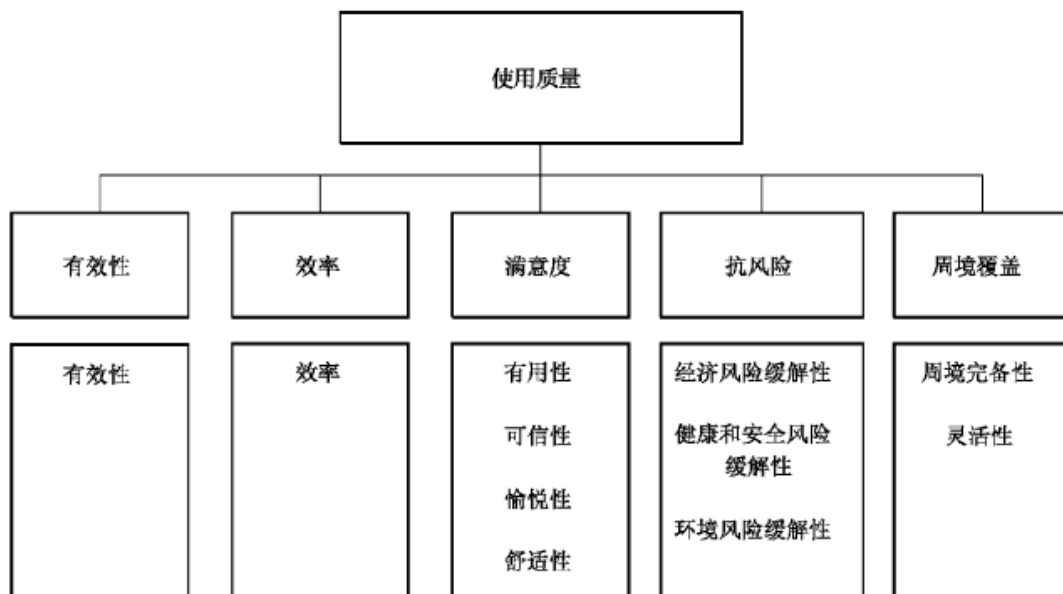


图 6 数字毫秒仪输入部件

——软件：GB/T 25000 系列标准《系统与软件工程 软件规范质量要求和评价》目前共 17 部分，根据 GB/T 25000.10-2016，使用质量属性分为有效性、效率、满意度、抗风险、周境覆盖五个特性，见下图。



软件测量内容也是非常多的。

本文件并未按此要求，只是简化为兼容性、易学性、易懂性、易操作性。软件试验时由二名非计算机人员的物理教师安装软件，由二名已学过向心力内容但未做过本实验的高中学生使用软件，是为了能真实反映软件情况，客观公正。

## 6.2 检验规则

### 6.2.1 检验方式

考虑到批量化生产中产品的一致性，出厂检验时仅对以下项目要求全数检验：

- 力传感器：关键部件，为了保证传感器完好和准确；
  - 旋转臂：关键部件；
  - 空载向心力：对实验结果影响大；
  - 电机工作电压：为了保证电机工作正常；
  - 结构、外观和工艺：一般检查，涉及产品完整性和制造工艺。
- 其余均为抽样检验。

### 6.2.2 缺陷分类

结构、外观和工艺和环境试验为 B 类缺陷，其余 A 类缺陷，因为如有问题影响很大。

## 7 国内外有关标准对比

与原标准对比：见表 2。

表 2 与 JY/T 0331—1993 对比

序号	JY/T 0331—1993	本文件	依据
1	3.1 产品按结构分为悬挂式和滑杆式，按驱动方式分为手动式和电动式。	4.1 按产品是否需要连接计算机，分为计算机显示和自带显示屏两类。	详见 2.1~2.4。
2	4 技术要求：4.1 结构特征；4.2 底座与立柱；4.3 横杆、到相干；4.4 重锤、配重和平衡锤；4.5 弹簧和弹簧位置调节感；4.6 转速测量机构；4.7 测量重锤半径标志；4.8 电动式...；4.9 相对误差平均值、4.10 外观质量。	5.1 总体要求，作圆周运动物体的质量、半径和旋转速度都应能单独变化。测量力和转速都应采用传感器；5.2 产品方案；5.3 旋转臂；5.4 专用砝码；5.5 电机；5.6 电源；5.7 软件；5.8 实验误差；5.9 结构、外观和工艺；5.10 环境试验。	基本方案完全不同。
3	试验方法：按结构要求试验（具体略）。	试验方法：外形尺寸、力传感器、旋转臂动平衡、空载向心力、转动物体质量、转动物体形状和标志线、转动物体固定、电机工作电压和电流、电机转速范围、电源及接口、主支架、软件、实验误差、结构外观和工艺、环境试验。	根据技术要求试验验证。
4	检验规则：产品分类、交收检验、例行检验、监督检验、不合格判据（具体略）。	检验规则：检验分类、检验项目和检验方式、组批规则与抽样方案、不合格判定、复检规则。	按 GB/T 20001.10—2014 要求。
5	标志、说明书、包装、运输和贮存：引用 JY 0001—1988。	产品标识、标签、合格证、使用说明书、包装、运输和贮存：根据本文呢件要求，并引用 JY/T 0001—2003	JY 0001—1988 已废止，现行标准是 JY/T 0001—2003。

其余没有国内外标准。

起草人  
二〇二三年九月六日