



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108181663 B

(45)授权公告日 2019.12.20

(21)申请号 201711473456.X

(22)申请日 2017.12.29

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108181663 A

(43)申请公布日 2018.06.19

(73)专利权人 中国人民解放军国防科技大学
地址 410073 湖南省长沙市开福区砚瓦池
正街47号

(72)发明人 颜树华 魏春华 杨俊 贾爱爱
罗玉昆 胡青青 李期学 朱凌晓
王恩龙 张旭

(74)专利代理机构 湖南兆弘专利事务所(普通
合伙) 43008
代理人 周长清

(51)Int.Cl.

G01V 7/14(2006.01)

(56)对比文件

周晟 等.用于磁光阱的衍射光学性能仿真.
《2017量子信息技术与应用研讨会论文集》
.2017,第209-217页.

审查员 蒋健君

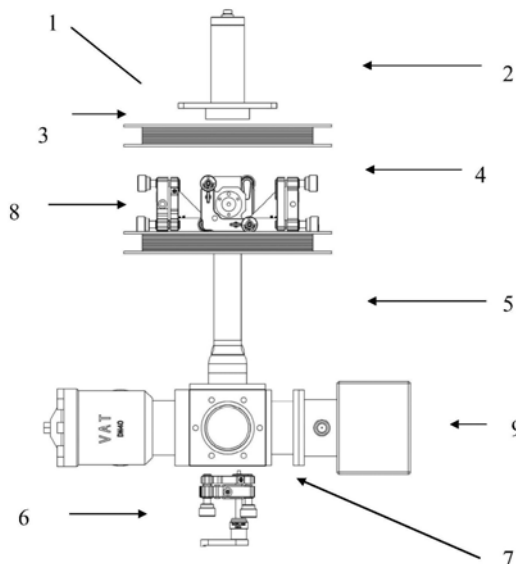
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

(54)发明名称

基于类金字塔结构型原子干涉重力加速度
测量装置

(57)摘要

本发明公开了一种基于二维交叉光栅的类金字塔结构型原子干涉重力加速度测量装置,包括真空腔、扩束筒、二维交叉光栅以及用于产生分离式金字塔结构的反射镜组件;所述扩束筒用来引入真空系统的单根光纤,所述二维交叉光栅位于扩束筒与反射镜组件之间;所述反射镜组件由上至下依次分为:MOT区、干涉区和探测区;所述MOT区内包括四个第一反射镜,探测区的下方设置有第二反光镜。本发明具有整体体积小、鲁棒性强、成本低、测量精度高等优点。



1. 一种基于二维交叉光栅的类金字塔结构型原子干涉重力加速度测量装置,其特征在于,包括真空腔、扩束筒、二维交叉光栅以及用于产生分离式金字塔结构的反射镜组件;所述扩束筒用来引入真空系统的单根光纤,所述二维交叉光栅位于扩束筒与反射镜组件之间;所述反射镜组件由上至下依次分为:MOT区、干涉区和探测区;所述MOT区内包括四个第一反射镜,探测区的下方设置有第二反射镜。

2. 根据权利要求1所述的基于二维交叉光栅的类金字塔结构型原子干涉重力加速度测量装置,其特征在于,一束冷却光由所述扩束筒引入,经过二维交叉光栅后分为五束光。

3. 根据权利要求2所述的基于二维交叉光栅的类金字塔结构型原子干涉重力加速度测量装置,其特征在于,所述五束光的特性相同。

4. 根据权利要求1或2或3所述的基于二维交叉光栅的类金字塔结构型原子干涉重力加速度测量装置,其特征在于,所述MOT区中,所述四个第一反射镜位于所述真空腔的腔体四面,且处于水平方向。

5. 根据权利要求2或3所述的基于二维交叉光栅的类金字塔结构型原子干涉重力加速度测量装置,其特征在于,所述五束光经四个所述第一反射镜和一个第二反射镜后,形成三对相互正交的囚禁光及泵浦光,构成磁光阱,实现原子团的冷却和囚禁。

6. 根据权利要求1或2或3所述的基于二维交叉光栅的类金字塔结构型原子干涉重力加速度测量装置,其特征在于,所述真空腔采用变频干式涡旋泵、涡轮式分子泵和复合泵三级真空泵来实现系统所需的超高真空环境。

7. 根据权利要求1或2或3所述的基于二维交叉光栅的类金字塔结构型原子干涉重力加速度测量装置,其特征在于,所述扩束筒引入的光束包括冷却光、回泵光、探测光和拉曼光的扩束。

8. 根据权利要求7所述的基于二维交叉光栅的类金字塔结构型原子干涉重力加速度测量装置,其特征在于,所述光束中两束拉曼光的频率差为6.8GHz,一团经过冷却后的原子团,经过态制备后处于磁不敏感的状态而后对原子团施加 $\pi/2$ 、 π 和 $\pi/2$ 三束光脉冲,实现原子团的分束与合束,构建了一个原子干涉仪。

9. 根据权利要求1或2或3所述的基于二维交叉光栅的类金字塔结构型原子干涉重力加速度测量装置,其特征在于,通过探测光配合回泵光的作用,分别测得处于两基态超精细能级上的原子布居数,并最终得到跃迁概率以及重力加速度值。

基于类金字塔结构型原子干涉重力加速度测量装置

技术领域

[0001] 本发明主要涉及到原子干涉仪领域,特指一种基于二维交叉光栅的类金字塔结构型原子干涉重力加速度测量装置。

背景技术

[0002] 自迈克尔逊干涉仪发明以来,根据光波的衍射、干涉特性构建的干涉计量仪器因其极高的测量精度和灵敏度而广泛应用于基础科学研究、生产实践、航天航空、地质探矿和国防工业等众多领域。在实践中,人们逐渐认识到采用波长更短的波进行干涉可以提高测量精度,因此于1952年构建了电子干涉仪,1962年构建了中子干涉仪,直到20世纪70年代,人们才开始构思原子干涉仪。原子干涉仪,即以原子物质波代替经典光波作为干涉媒介,用原子光学器件代替经典光学器件来实现分束、反射、合束过程而构成的干涉仪。

[0003] 相比于其他干涉媒介,原子干涉仪具有以下优势:①由于原子质量远大于光子、中子及电子,相应的物质波波长更短,因此可以获得更高的测量精度和灵敏度。理论分析表明,原子干涉陀螺仪的灵敏度比相同回路面积的He-Ne激光陀螺仪高 10^{11} 倍,原子加速度仪比现有加速度计的灵敏度高 10^{17} 倍。②因为原子具有丰富的内部能级,可以利用电磁场对其进行精密操控,因而原子干涉仪可以提供更广泛的基础研究与应用。③原子显电中性,受杂散电场干扰小,且原子间不存在库伦相互作用,因此可以获得优于电子干涉仪的测量精度。④此外,激光冷却原子技术的发展使得高通量的冷或超冷原子束较易获得,因而原子干涉仪的构造要比中子干涉仪简单和便宜。

[0004] 原子干涉仪是以原子物质波代替经典光波作为干涉媒介,用原子光学器件代替经典光学器件来实现分束、反射、合束过程而构成的物质波干涉系统,可实现角速度、加速度、时频基准、重力/重力梯度的高灵敏度测量。理论分析表明,原子干涉绝对重力仪可使现有绝对重力仪的灵敏度至少提高3个量级,因此冷原子干涉重力仪器是目前绝对重力仪和重力梯度仪领域中的研究热点,有望为未来高精度地球重力场的探测和重力场模型的建立带来革命性的影响。冷原子干涉重力仪的基本流程为:首先,利用六束光的3维磁光阱技术将大量碱金属(如铷Rb或铯Cs)原子囚禁并冷却至 μK 量级,使得常温状态下以超音速运动的原子速度降低至 1mm/s 以下;其次,将冷却后的原子团置于重力场中做自由落体运动,并与相位相干的激光脉冲相互作用,对原子波包进行分束、反射、合束等相干操控,并实现原子干涉;最后,对原子团末态进行探测,利用荧光收集或吸收成像法获得原子干涉条纹,拟合出重力加速度引起的相移,实现绝对重力加速度的精确测量。冷原子干涉重力仪的基本流程与重力仪类似,通过上下两个具有一定距离差的原子干涉重力仪测量结果做差,得到重力测量结果。

[0005] 目前,原子干涉重力仪的主要方案是通过三个维度的六束光形成磁光阱(Magnetic-optic traps,简记为MOT),囚禁和冷却原子团,再对原子团进行速度选择和态选择,最后进行拉曼干涉过程。磁光阱的六束激光需要在真空腔上安装六个扩束筒,光路部分需要大量的光学器件,这就不可避免的使得系统体积增加。

发明内容

[0006] 本发明要解决的技术问题就在于:针对现有技术存在的技术问题,本发明提供一种整体体积小、鲁棒性强、成本低、测量精度高的基于二维交叉光栅的类金字塔结构型原子干涉重力加速度测量装置。

[0007] 为解决上述技术问题,本发明采用以下技术方案:

[0008] 一种基于二维交叉光栅的类金字塔结构型原子干涉重力加速度测量装置,包括真空腔、扩束筒、二维交叉光栅以及用于产生分离式金字塔结构的反射镜组件;所述扩束筒用来引入真空系统的单根光纤,所述二维交叉光栅位于扩束筒与反射镜组件之间;所述反射镜组件由上至下依次分为:MOT区、干涉区和探测区;所述MOT区内包括四个第一反射镜,探测区的下方设置有第二反射镜。

[0009] 作为本发明装置的进一步改进:一束冷却光由所述扩束筒引入,经过二维交叉光栅后分为五束光。

[0010] 作为本发明装置的进一步改进:所述五束光的特性相同的。

[0011] 作为本发明装置的进一步改进:所述MOT区中,所述四个第一反射镜位于所述真空腔的腔体四面,且处于水平方向。

[0012] 作为本发明装置的进一步改进:经四个所述第一反射镜和一个第二反射镜后,形成三对相互正交的囚禁光及泵浦光,构成磁光阱,实现原子团的冷却和囚禁。

[0013] 作为本发明装置的进一步改进:所述真空腔采用变频干式涡旋泵、涡轮式分子泵和复合泵三级真空泵来实现系统所需的超高真空环境。

[0014] 作为本发明装置的进一步改进:所述扩束筒引入的光束包括冷却光、回泵光、探测光和拉曼光的扩束。

[0015] 作为本发明装置的进一步改进:所述光束中两束拉曼光的频率差为6.8GHz,一团经过冷却后的原子团,经过态制备后处于磁不敏感的状态而后对原子团施加 $\pi/2$ 、 π 和 $\pi/2$ 三束光脉冲,实现原子团的分束与合束,构建了一个原子干涉仪。

[0016] 作为本发明装置的进一步改进:通过探测光配合回泵光的作用,分别测得处于两基态超精细能级上的原子布居数,并最终得到跃迁概率以及重力加速度值。

[0017] 与现有技术相比,本发明的优点在于:

[0018] 1、本发明的基于二维交叉光栅的类金字塔结构型原子干涉重力加速度测量装置,系统整体体积小,由于只需要一束光进入真空腔,激光模块省去了大量的光学器件,真空模块省略了水平方向四束光的扩束筒,从而缩小了真空模块和激光模块的体积。

[0019] 2. 本发明的基于二维交叉光栅的类金字塔结构型原子干涉重力加速度测量装置,鲁棒性强,系统调试中只需要保证引入真空腔的光纤功率稳定即可,易于实现。由于系统结构简单、调节变量少,在长时间工作时,出错概率低。

[0020] 3. 本发明的基于二维交叉光栅的类金字塔结构型原子干涉重力加速度测量装置,成本低,该方案与经典的六束光方案相比,节约了大量光学器件,从而降低了总体成本。

附图说明

[0021] 图1是本发明装置的主视结构原理示意图。

[0022] 图2是本发明装置的侧视结构原理示意图。

[0023] 图3是本发明装置的立体结构原理示意图。

[0024] 图4是本发明在具体应用实例中的详细流程示意图。

[0025] 图例说明：

[0026] 1、真空腔；2、扩束筒；3、二维交叉光栅；4、MOT区；5、第一干涉区；6、第二反射镜；7、探测区；8、第一反射镜；9、复合泵。

具体实施方式

[0027] 以下将结合说明书附图和具体实施例对本发明做进一步详细说明。

[0028] 如图1、图2和图3所示，本发明的基于二维交叉光栅的类金字塔结构型原子干涉重力测量装置采用二维交叉光栅3进行分束，形成的类金字塔磁光阱的设计方案。具体来说就是，整个真空系统只需要从上往下的一束光，通过二维交叉光栅3分束为五束特性相同的光，通过水平方向的四个反射镜和最下面的反射镜形成三对相互正交的囚禁光及泵浦光，构成磁光阱，实现原子团的冷却和囚禁，取代传统六束光方案。

[0029] 本发明的装置具体包括真空腔1、扩束筒2、二维交叉光栅3以及用于产生分离式金字塔结构的反射镜组件。所有器件都安装于真空腔1内，扩束筒2用来引入真空系统的单根光纤，二维交叉光栅3位于扩束筒2与反射镜组件之间。反射镜组件由上至下依次分为：MOT区4、第一干涉区5和探测区7。MOT区4内包括四个第一反射镜8，探测区7的下方设置有第二反射镜6。一束冷却光由扩束筒2引入，经过二维交叉光栅3后分为五束特性相同的光。经四个第一反射镜8和一个第二反射镜6形成三对相互正交的囚禁光及泵浦光，构成磁光阱，实现原子团的冷却和囚禁。

[0030] 在具体应用实例中，在真空腔1的腔体四面各放置一个处于水平方向的第一反射镜8。

[0031] 本发明的原子干涉重力仪采用冷原子作为检验介质，其热扩散速率小，有利于增加测量时间，但原子在冷却和囚禁过程中很容易与背景杂散气体发生随机碰撞，从而引起冷原子的寿命和相干时间减小，因此冷原子干涉实验需要在超高真空环境下进行。在具体应用实例中，真空腔1采用玻璃真空腔1，该玻璃真空腔为边长20mm的长方体。作为优选实施例，本发明的真空系统，采用变频干式涡旋泵、涡轮式分子泵和复合泵9（由离子泵与吸气剂组合而成）三级真空泵来实现系统所需的超高真空环境（优于 10^{-8} Pa）。

[0032] 在具体应用实例中，光纤引入的光包括：冷却光、回泵光、探测光和拉曼光的扩束。两束拉曼光的频率差为6.8GHz。一团经过冷却后的原子团（温度约 $1\mu\text{k}$ ），经过态制备后处于磁不敏感的状态 $F=1, m_F=0$ ，而后对原子团施加 $\pi/2$ 、 π 和 $\pi/2$ 三束光脉冲，实现原子团的分束与合束，构建了一个原子干涉仪。最后，通过探测光配合回泵光的作用，分别测得处于两基态超精细能级上的原子布居数，并最终得到跃迁概率以及重力加速度值。

[0033] 如图4所示，本发明在具体应用实例中的详细流程为：

[0034] S1：冷原子团的制备。

[0035] 首先通过磁光阱、偏振梯度冷却（Polarization Gradient Cooling，简记为PGC）进行前级冷却得到温度约为 $15\mu\text{k}$ 的冷原子团。

[0036] S2：速度选择与态制备。

[0037] 通过拉曼速度选择，原子团温度进一步降低至约 $1\mu\text{k}$ 。态制备在磁不敏感的状态F

$=1, m_F=0$ 上。

[0038] S3:原子干涉。

[0039] 通过两束拉曼光对原子团施加 $\pi/2$ 、 π 和 $\pi/2$ 三束光脉冲,实现原子团的分束与合束,构建了一个原子干涉仪。

[0040] S4:内态探测。

[0041] 在干涉完成后,将原子团自由下落一段时间,而后通过探测光配合回泵光、吹散光的作用,分别测得处于两基态超精细能级上的原子布居数,并最终得到跃迁概率以及重力加速度值。

[0042] 本发明提出了分离式倒金字塔的方案设计,只需要一根光纤引入真空腔1。本发明的优势在于:

[0043] (1) 系统整体体积小。与经典的六束光MOT相比,本发明只需要一束光进入真空腔1,激光模块省去了大量的光学器件,真空模块省略了水平方向MOT光的扩束筒2,从而缩小了真空模块和激光模块的体积。

[0044] (2) 鲁棒性强。系统调试中只需要保证引入真空腔1的光纤功率稳定即可,易于实现。由于系统结构简单、调节变量少,在长时间工作时,出错概率低。

[0045] (3) 调节灵活。与传统的金字塔方案相比,本发明将金字塔的四个面采用分立元件组合形成,每个面能够灵活、独立的调节,降低了加工和安装的精度要求的同时,提高了测量结果的稳定性。

[0046] (4) 低成本。本发明与经典的六束光方案相比,节约了大量光学器件,从而降低了总体成本。

[0047] 以上仅是本发明的优选实施方式,本发明的保护范围并不仅局限于上述实施例,凡属于本发明思路下的技术方案均属于本发明的保护范围。应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理前提下的若干改进和润饰,应视为本发明的保护范围。

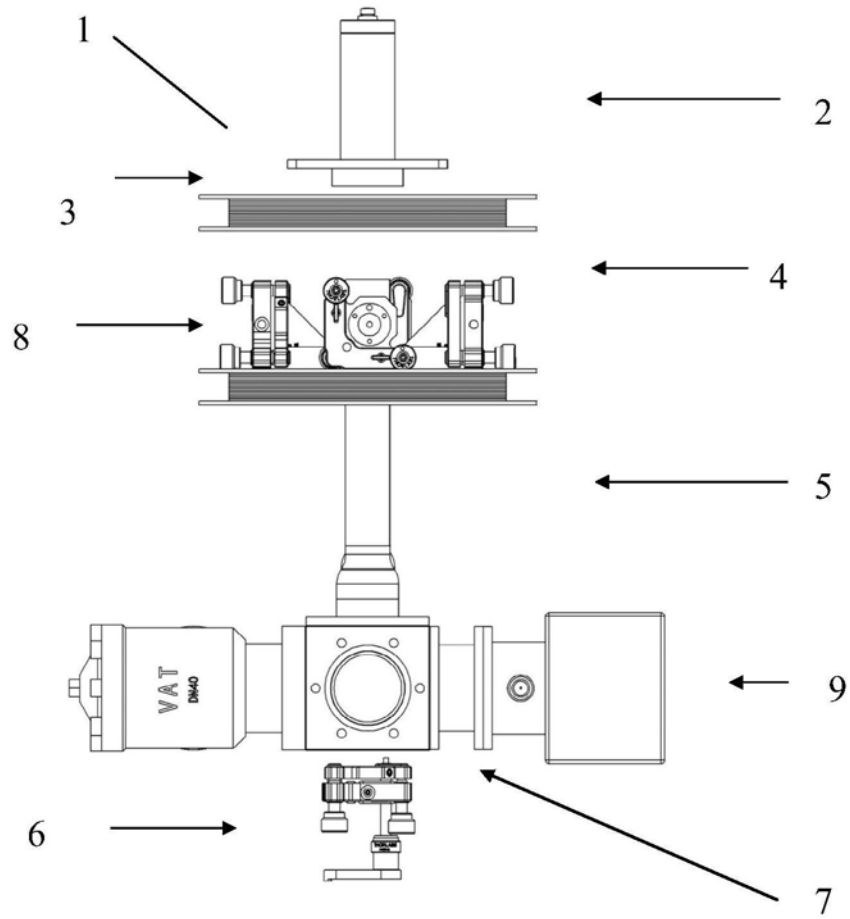


图1

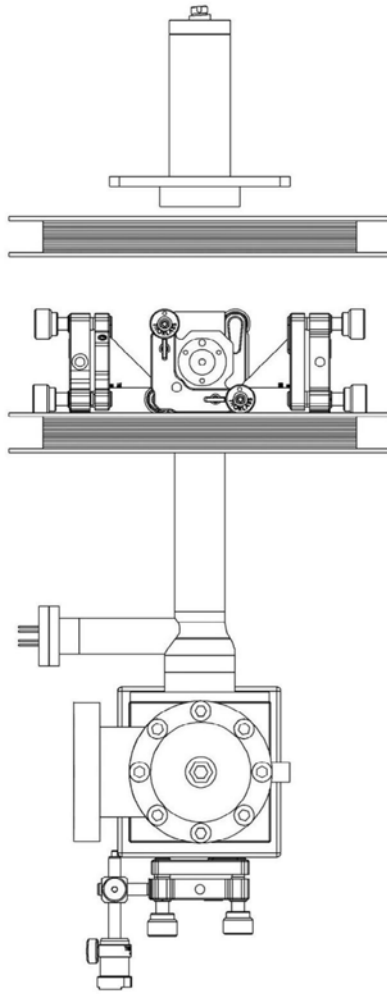


图2

(b)

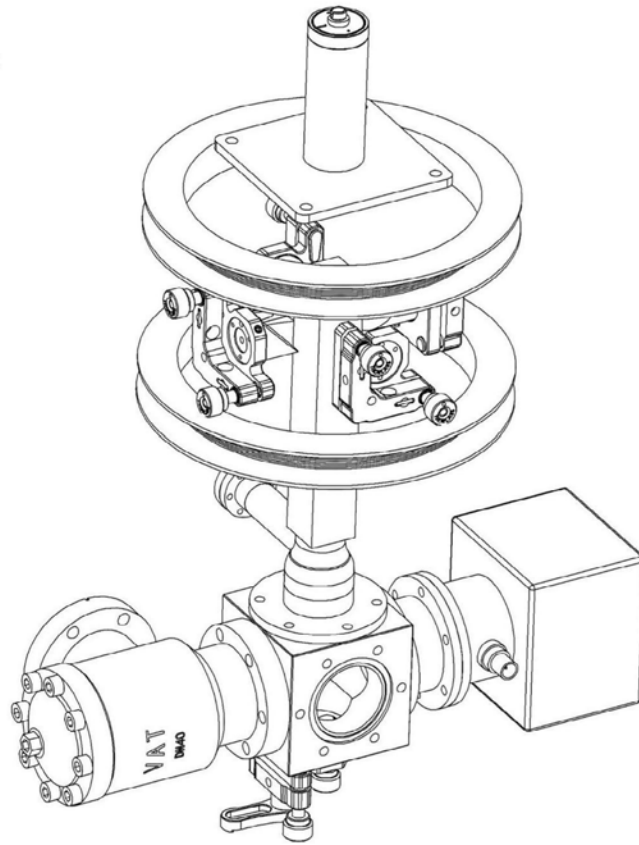


图3

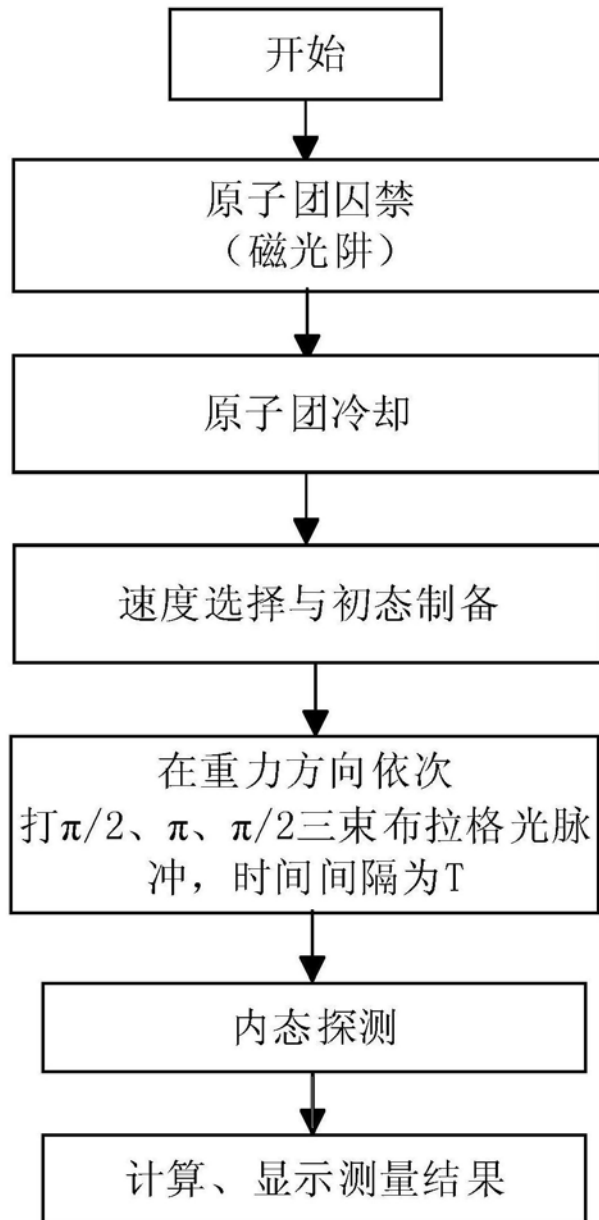


图4