

宏观物体是否具有德布罗意波

许方杰

(复旦大学附属中学 上海 200433)

(收稿日期:2019-08-22)

摘要:在高中物理教材中经常直接认为宏观物体具有德布罗意波.本文从德布罗意波提出、实验验证结合最近的量子力学发展,得出宏观物体是否具有德布罗意波这个问题至今还没有答案,并不能确定.

关键词:德布罗意波 波粒二象性 宏观物体 量子力学

很多高中物理教材讲述波粒二象性时,描述了实物不仅具有粒子性也具有波动性,其中涉及到的波称之为物质波或德布罗意波.如上海高中物理拓展型课程第150页:“一切实物也都具有波粒二象性,波粒二象性是自然界中一切物质的普遍属性.”^[1]人教版教材《物理·选修3-5》第38页讨论了子弹的波粒二象性,计算了运动子弹德布罗意波的波长^[2].不仅高中,比较经典的大学物理教材,如赵凯华先生的《新概念物理教程 量子物理》第20页:“德布罗意在博士论文……把光的波粒二象性推广到一切物质.”^[3]从上面可见,很多教科书已经把波粒二象性推广到了一切实物,有些还讨论了宏观物体德布罗意波的波长.

本文笔者主要讨论“一切实物都具有德布罗意波”这个结论是否合适.下面我们从德布罗意波的提出、实验验证和最近的发展来展开叙述.

1905年爱因斯坦解释光电效应时,科学家们开始意识到光的波粒二象性.1924年,德布罗意在博士论文中提出德布罗意波^[4],从论文可知如果一个“body”具有速度,通过狭义相对论以及量子关系式推导得到这个“body”具有相位波,即现在所说的德布罗意波.他在论文中并没有提起推广到一切实物.特别是在他博士论文最后一段:“I have left the definitions of phase waves and the periodic phenomena for which such waves are a realization, as well as the notion of a photon, deliberately vague. The present theory is, therefore, to be considered rather tentative as physics and not an established doctrine.”这段话的意思是这个

结论他想暂时当作一个假说而不是一个已经建立的学说.所以当时人们也把该结论称为德布罗意假说.

当德布罗意假说被提出后,文献[5]和文献[6]分别通过电子衍射,证明了电子的波动性.1930年Estermann和O. Stern通过氢分子和氦原子证实了分子和原子也具有波动性^[7].从电子到原子,实验获得了很大成功,验证了德布罗意波的存在.1999年实验证实了C₆₀也具有波动性^[8].2019年《Nature Physics》上的最新实验,验证了分子质量为25 000 amu的分子具有波动性,该分子包含了约2 000个原子^[9].这是德布罗意波被提出至今实验验证的最大分子.但是可见上述最大分子的质量和尺寸与现实中宏观物体相比要小很多.

讨论宏观物体是否具有德布罗意波,本质上属于讨论量子力学是否适用于宏观领域^[10].量子力学经过近百年的发展,在解释微观世界中获得了巨大成功.在宏观领域,量子力学也有进展,比较经典的如对超导体^[11],超流体^[12]的解释.但是宏观领域量子力学还有大量的问题还有待研究,包括宏观物体是否具有德布罗意波这个问题^[13].最近10年来对物质的德布罗意波,文献[14~16]和文献[17,18]的一系列研究有不少进展,但是也是局限在分子尺寸之内,这个问题还需大量的实验与理论去探索.

综上所述,笔者认为不论大学教科书还是中学教科书,直接确定宏观物体具有德布罗意波是不太恰当的.任何一个物理结论都有其适用范围,在没有探究清楚之前,都不能无限地推广下去.

(下转第113页)

法,最后设计一个有效的方案,激发学生利用多路思维解决问题的热情,训练思维的变通性.

2.4 运用“融合”培养重组思维

改变思维对象中相关要素的位置、次序、比例、相互关系等,重新进行组合从而实现创新,这种思维就是重组思维.运用“融合”,改变事物的多个关键特征,寻找新的解决问题方式,培养思维的能动性.

教材实验主要是关于一位碰撞的情境,而在康普顿效应中,研究的是二维碰撞情境.如果在动量守恒实验中能够体会二维碰撞,有利于康普顿效应的理解.

可以在玻璃板上用数码相机拍摄两个大小相同的小钢球和有机玻璃球发生二维碰撞的情境,然后利用 Tracker 软件的自动追踪功能,有效地跟踪参与碰撞的两个小球的运动轨迹,同步描绘两个小球运动过程中的动量和时间、动能和时间图像.利用 Tracker 软件的数据分析工具进行统计分析滑块碰撞前后的动量、动能,从而可以验证碰撞过程中动量、动能是否守恒.

通过“融合”方式,变一维碰撞为二维碰撞,变

人工测量为智能跟踪和分析,变人工数据分析为软件智能分析,有利于改变学生思维习惯,形成能动性思维.

3 结束语

以“动量守恒定律实验”为例,运用变易理论的“对比”“类化”“区分”和“融合”4种范式对其进行变易处理.在解决物理实际问题过程中,运用变易理论有利于培养学生的逆向思维、侧向思维、多路思维和重组思维等创新性思维;有利于促进学生对已有观点和结论提出质疑,从不同角度思考物理问题和审视检验结论,创新性地分析和解决问题;有利于促进学生思维从多点结构向关联结构和拓展抽象层次发展.

参考文献

(上接第 109 页)

参考文献

- 1 上海市中小学课程改革委员会.高级中学课本 物理拓展型课程(试用本)[M].上海:华东师范大学出版社,2016
- 2 人民教育出版社,课程教材研究所,物理课程教材研究开发中心.高中课程标准试验教科书 物理·选修3-5[M].北京:人民教育出版社,2010
- 3 赵凯华,罗蔚茵.新概念物理教程量子物理(第2版)[M].北京:高等教育出版社,2008
- 4 A. F. Kracklauer. A translation of :RECHERCHES SUR LA TH'ÉORIE DES QUANTA(Ann. de Phys., 10e s'erie, t. III)[D]. 2004
- 5 Thomson G P, Reid A A. Diffraction of Cathode Rays by a Thin Film[J]. Nature, 1927, 119(3 007): 890 ~ 890
- 6 Davisson C J, Germer L H. Reflection of Electrons by a Crystal of Nickel[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 1928, 14(4): 317 ~ 322
- 7 I. Estermann, O. Stern. Beugung von Molekularstrahlen[J]. Zeitschrift für Physik, 1930, 61(1 ~ 2), 95 ~ 125
- 8 Arndt M, Nairz O, Vos - Andrae J, et al. Wave - particle duality of C60 molecules[J]. Nature (London), 1999, 401(6 754): 680 ~ 682
- 9 Y. Y. Fein, P. Geyer, P. Zwick, et al. Quantum Superposition

- 1 于涵.新时代的高考定位与内容改革实施路径[J].中国考试,2019(1):1 ~ 9
- 2 张勇.以变促学:变易理论对高效课堂的启示[J].课程教学研究,2016(2):12 ~ 16
- 3 陈璐.从思维路径看创新思维的模式类型[J].前沿,2012(14):48 ~ 50
- of molecules beyond 25 KDa[J]. Nature Physics, 2019, 553: 5356
- 10 感谢与复旦大学施郁教授的讨论
- 11 Alexei A. Abrikosov. Type II Superconductors and the Vortex Lattice[R]. Nobel Lecture, 2003
- 12 Anthony J. Leggett. Superfluid 3 - He: The Early Days as Seen by a Theorist[R]. Nobel Lecture, 2003
- 13 张礼,葛墨林.量子力学的前沿问题(第2版)[M].北京:清华大学出版社,2012
- 14 Arndt, Markus. Quantum physics: Coherence in molecular nitrogen[J]. Nature Physics, 2005, 1(1): 19 ~ 20
- 15 Nairz O, Arndt M, Zeilinger A. Quantum interference experiments with large molecules[J]. American Journal of Physics, 2003, 71(4): 319 ~ 325
- 16 Arndt M, Brand C. Interference of atomic clocks[J]. Science, 2015, 349(6 253): 1 168 ~ 1 169
- 17 Hornberger K, Gerlich S, Haslinger P, et al. Colloquium: Quantum interference of clusters and molecules[J]. Reviews of Modern Physics, 2012, 84(1): 157 ~ 173
- 18 Arndt M, Hornberger K. Testing the limits of quantum mechanical superpositions[J]. Nature Physics, 2014, 10(4): 271 ~ 277