

光散射及其对血液流变参数的测量

鲁玮瑗¹, 刘志翔¹, 马惠苹³, 吴 瑞¹, 郭江贵¹, 侯俊玲²

1. 首都医科大学生物医学工程学院, 北京 100069
2. 北京中医药大学中医药学院, 北京 100102
3. 首都医科大学基础医学院, 北京 100069

摘要 物理学中光散射现象的应用是通过捕捉散射源的散射光谱而获得被试物中丰富信息的, 尤其是拉曼散射光谱和布里渊散射光谱, 更能给出散射源的精细信息。这种检测具有无毒、无创、快速、准确等优点, 若能应用于医学临床中, 将使医学临床检测数据更加趋于准确, 并能减轻病人的痛苦。本文描述了试图将这一物理现象应用于血液流变参数的检测中时所做的前期分类检测, 以及实验光路、设备、实验方法等所做的研究探索工作。

关键词 光散射; 血液流变参数; 散射光谱

中图分类号 R318.51

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)06-0055-03

Measurement of Hemorheology Parameters Based on the Light Scattering

LU Weiyan¹, LIU Zhixiang¹, MA Huiping³, WU Rui¹, GUO Jianggui¹, HOU Junling²

1. School of Biological Medicine Engineering, Capital Medical University, Beijing 100069, China
2. School of Chinese Medicine, Beijing University of Chinese Medicine, Beijing 100102, China
3. School of Basic Medical Sciences, Capital Medical University, Beijing 100069, China

Abstract Light scattering can be applied in experimental detection through capturing scattering spectrums from tested objects, to obtain vast amount of information related to those objects. In particular, by capturing Raman and Brillouin scattering spectrums, high precision information can be obtained. This kind of detection enjoys various advantages such as non-toxic, non-traumatic, prompt in detecting, and accurate with respect to data gathering. Therefore, when this method is applied on medical clinical trails, besides obtaining accurate testing data, patient's sufferings can largely be alleviated as well. Hemorheology parameter detection is an application of this methodology in medical science. As a preliminary study, prophase classification tests are normally adopted before the regular hemorheology parameter detection. This paper presents studies on prophase classification tests, including installation of experimental light path, set up of testing devices, and exploration of experimental methods.

Keywords light scattering; hemorheology parameter; scattering spectrum

0 引言

物理学中的光散射是指一束光在通过介质时, 在入射光方向以外的各个方向也能观察到光强的现象。从光的电磁本质来看, 光散射现象是光波的电磁场与介质中的分子相互作用的过程, 而介质分子是原子组成的, 原子是由电子和原子核组成的, 所以光波的电场振动使分子中的电子产生强迫振动, 成为二次波源, 向各个方向发射电磁波, 就是散射^[1]。

光散射中包含多种散射分量, 如米 (Mie) 散射, 瑞利

(Rayleigh) 散射, 布里渊 (Brillouin) 散射, 拉曼 (Raman) 散射等等。每一种散射对应于不同大小的散射源, 或对应于流体的不同性质。例如, 大分子散射与小分子散射的散射特性不同, 弹性散射与非弹性散射有着显著的差别, 流体中的悬浮颗粒与溶于流体中的水溶胶遵循各自的散射规律等^[2-4]。因此, 通过散射信号可以获得被试物中的丰富信息, 其中尤其是布里渊散射, 因其高分辨率和高信噪比, 已有研究证明它可以精确测量牛顿液体的参数^[5], 而它的其他应用是当前科学工作

收稿日期: 2009-11-24

基金项目: 国家自然科学基金项目 (10274006); 首都医科大学基础-临床科研合作基金项目 (2006JL58)

作者简介: 鲁玮瑗, 副教授, 研究方向为生物物理, 电子信箱: lusnow@sohu.com; 侯俊玲 (通信作者), 教授, 研究方向为生物物理, 电子信箱: mshjl@126.com

者积极探索的方向,也是当前研究的热点。

当一束光射入液体(这里假设是水)中时,会发生弹性散射和非弹性散射,布里渊散射即是非弹性散射的一种,其特点是散射光有频移,其频移量可由下式计算得出:

$$\Delta\nu_B=2(n/\lambda)V\sin\theta/2 \quad (1)$$

式中, λ 为入射光波长, n 为水的折射率, V 为水中声速, θ 为散射角。若水中的声速为 1500m/s,可得在散射角为 180° 时,散射光频移为 7.5GHz。图 1 是典型的理想布里渊散射光谱。 n 、 V 均受被测液体的各种参数影响。

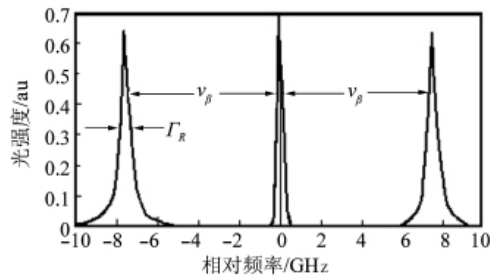


图 1 典型的布里渊散射光谱

Fig. 1 Typical spectrum of Brillouin scattering

拉曼散射也是一种非弹性散射。它是散射分子与入射光子间的能量交换所引起的。拉曼光谱的特征是在原入射光谱的两边伴有频率差相等的散射谱线,其频移范围远大于布里渊散射,因而测定的仪器也远不同于布里渊散射。

虽然布里渊散射方法具有很多的优势,但布里渊散射频移量较小,信号较弱,对仪器的稳定性、精确度要求比较高。那么,对血液流变参数是否可以得到布里渊散射光谱呢?血液流变参数包括全血黏度、血浆黏度、血细胞压积、红细胞聚集指数、血沉、纤维蛋白原、血小板粘附与聚集等。血液是非牛顿流体,对其的检测肯定有很大难度^[6-12]。为此,本研究小组做了以下一些尝试。

1 材料与实验

实验中所用的激光器为国产 FS-100 稳频氦氖激光器;干涉仪为美国 Burleigh 公司 RC-110S 扫描干涉仪和 RG-93 驱动器,干涉仪的自由光谱范围为 18.54GHz;锁相放大器为美国 Stanford Research System 公司 SR-830 型,示波器为 Tektronix TDS 3012B 型。测量对象为牛奶、血清和血小板,购自西格玛奥德里奇贸易有限公司。

为了得到布里渊散射光谱,采用图 2 所示的实验光路和设备。

2 实验结果及分析

运用图 2 的设备和光路分别对红细胞、血清、全血进行了反复多次的检测,得到的光谱并不是布里渊散射光谱。根据以往的实验经验,检测布里渊散射光谱的仪器要求较高,尤其是稳定性,因此考虑可能是布里渊散射频移信号较弱,接

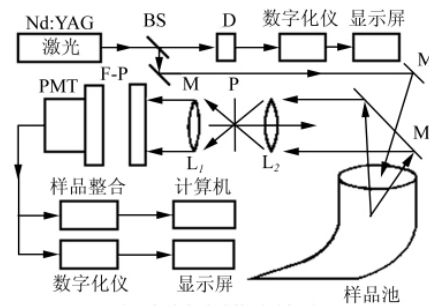
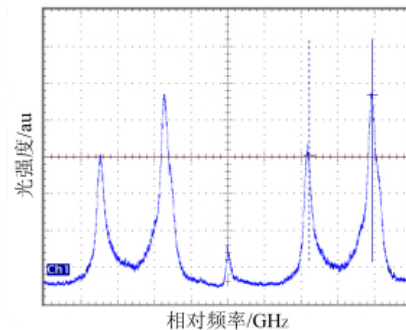


图 2 实验光路及装置示意图

Fig. 2 Geometry of light path and set up for experiment

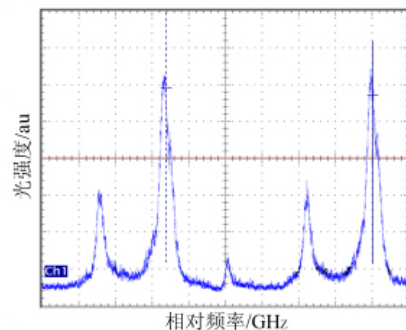
注: L_1 、 L_2 :透镜;P:针孔滤波器;D:光探测器;F-P:扫描法布里-珀罗干涉仪;M:反射镜;PMT:光电倍增管;BS:532nm 的高反镜
Notes: L_1 , L_2 : lenses; P: pin hole; M: mirrors; F-P: Fabry-Perot interferometer; BS: beam splitter with high reflectivity at 532nm; D: photo detector; PMT: photo multiplier

收这样微弱的信号对接收装置也许有不同的要求。围绕这个问题,本研究小组对探针进行重新设计,关于探针的设计另行描述。在对探针做了设计和改进后,首先对水进行检测,得到了非常好的布里渊散射光谱(图 3)。图 3(a)为纯水中的散



(a) 水的布里渊散射光谱

(a) Spectrum of Brillouin Scattering in water



(b) 水中加入 5%鲜牛奶后的布里渊散射光谱

(b) Spectrum of Brillouin Scattering in the water with 5% fresh milk

图 3 使用改进后设备的检测结果

Fig. 3 Results of detection using Improved set up

射光谱。两个较高的峰为瑞利散射峰,它们之间的间隔即为干涉仪的自由光谱范围,可依次对光谱进行定标和测量。每个瑞利峰两侧的两个较低的峰即为布里渊散射峰。由于所用激光波长为 632.8nm,以及各光纤的排放使得接收的散射角较大,因此,测得的布里渊频移较小。之后,在水中加入 5% 的鲜牛奶进行测量,结果如图 3(b)所示。可以看到,鲜牛奶的加入使水溶胶和其他悬浮物增加,这导致米散射、亨德尔散射等弹性散射分量的增强,使得布里渊散射的强度减弱。

另外还可以看到,鲜牛奶中其他化学物质的溶解,导致布里渊频移发生了微小的变化。

3 结论

样品为全血时,实验结果不理想,瑞利散射峰中出现了新的结构,而布里渊散射峰没有测到。这可能是血液的布里渊散射频移更加微弱,影响因素还更多造成的,继续改进仪器设备将是本研究继续努力的方向。

参考文献 (References)

- [1] 左渠. 激光散射原理及在分子科学中的应用[M]. 郑州: 河南科技出版社, 1994.
Zuo Ju, The laser scattering theory and the it's applications in polymer science[M]. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 1994.
- [2] Spacil Z, Folbrova J, Megoulas N, et al. Simultaneous liquid chromatographic determination of metals and organic compounds in pharmaceutical and food-supplement formulations using evaporative light scattering detection

- [J]. *Analytica chimica Acta*, 2007, 583: 239-245.
- [3] Sullivan J P, Buckman S J, Jones A, et al. Low energy positron interactions-trapping, transport and scattering [J]. *Physics: Conference Series*, 2009, doi: 10.1088/1742-6596/162/1/012002.
- [4] Horvath H. Gustav Mie and the scattering and absorption of light by particles: Historic developments and basics [J]. *Quant Spectrosc Radiat Transfer*, 2009, 110: 787-799.
- [5] Nagasaka Y, Kobayashi Y. Effect of atmosphere on the surface tension and viscosity of molten LiNbO₃ measured using the surface laser-light scattering method[J]. *Cryst Growth*, 2007, 307(1): 51-58.
- [6] Stoltz J F, Singh M, Riha P. Hemorheology in practice [M]. Amsterdam: IOS Press, 1999.
- [7] Yoichiro I. Simple model for light scattering by a COP[J]. *Proceedings of SPIE*, 2000, 3998: 648-655.
- [8] Ji H S, Lee S J. *In vitro* hemorheological study on the hematocrit effect of human blood flow in a microtube [J]. *Clinical Hemorheology and Microcirculation*, 2008, 40: 1386-0291.
- [9] Zhu C. Kinetic and mechanics of cell adhesion [J]. *Biomech*, 2000, 33: 23-33.
- [10] Ishimaru A. Wave propagation and scattering in random media academic [M]. New York: Academic Press, 1978.
- [11] Shvartsman L D, Fine I. Optical transmission of blood: Effect of erythrocyte aggregation[J]. *IEEE Trans Biomed Eng*, 2003, 50: 1026-1033.
- [12] Kraitl J, Ewald H, Gehring H. Analysis of time series for non-invasive characterization of blood components and circulation patterns [J]. *Nonlinear Analysis: Hybrid Systems*, 2008(2): 441-455.

(责任编辑 王芷)



首届全国益生菌与食品微生物学学术会

时间: 2010年10月
地点: 上海市

主办单位: 中国微生物学会

联系电话: 021-63846590-776431
电子信箱: microbiology@sjtu.edu.cn
会议网站: <http://csm.im.ac.cn/html/xuehuitongzhi/20100107/380.html>