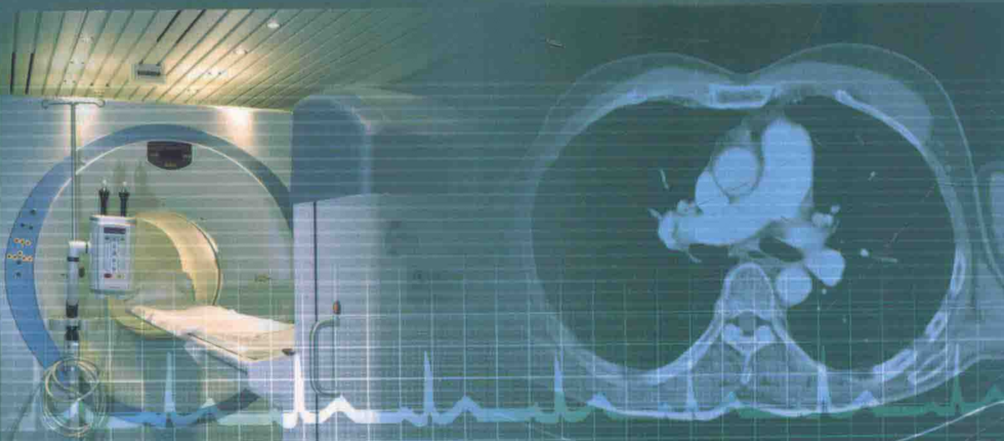
“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材配套参考书

医用物理学

习题详解及自测练习

主编　孙大公　喀蔚波　洪　洋



高等教育出版社

"十二五"普通高等教育本科国家级规划教材配套参考书

医用物理学

习题详解及自测练习

Yiyong Wulixue Xiti Xiangjie ji Zice Lianxi

■ 主编 孙大公 喀蔚波 洪 洋

■ 编委 郭学谦 贺 兵 洪 洋 喀蔚波 刘东华
孙大公 童家明 杨晓岚 俞 航

高等教育出版社·北京

内容提要

本书分为习题详解和自测练习两个部分，内容基本涵盖了目前国内各医药院校医用物理学教学的主要内容。针对学习中的重点和难点问题，习题详解不仅给出详细的解题步骤，而且从题目分析入手，介绍解题思路和方法。部分题目给出了常见错误及错误原因分析，对一些题目的结果进行了深入的讨论，希望学生在解题过程中加深对物理原理的理解。自测练习中提供了十余套难度不同的自测题目，以试卷形式给出并附有参考答案（网站获取），使用者可选择适合自己的题目进行自测，了解自己对学习内容的掌握程度。这些自测练习将适时更新。希望通过本书可以使医学生掌握正确的学习方法和解题方法，即重视物理概念和物理思想，从基本概念入手分析问题，运用基本原理解决问题，从而提高学习物理学的兴趣和成绩。

图书在版编目（C I P）数据

医用物理学习题详解及自测练习 / 孙大公，喀蔚波，洪洋主编. -- 北京：高等教育出版社，2015.8
ISBN 978-7-04-043339-5

Ⅰ. ①医… Ⅱ. ①孙… ②喀… ③洪… Ⅲ. ①医用物理学-医学院校-习题集 Ⅳ. ①R312-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 166315 号

策划编辑 马天魁　　责任编辑 马天魁　　封面设计 张　志　　版式设计 王艳红
插图绘制 杜晓丹　　责任校对 殷　然　　责任印制 田　甜

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400-810-0598
社　　址	北京市西城区德外大街 4 号	网　　址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印　　刷	三河市吉祥印务有限公司	网上订购	http://www.landraco.com
开　　本	787 mm×960 mm　1/16		http://www.landraco.com.cn
印　　张	10	版　　次	2015年 8 月第 1 版
字　　数	180 千字	印　　次	2015年 8 月第 1 次印刷
购书热线	010-58581118	定　　价	16.50 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换

物 料 号　43339-00

前　言

本书是为高等教育出版社出版的喀蔚波主编《医用物理学》(第三版)及洪洋主编《医用物理学》(第二版)(正文中分别简称喀蔚波书及洪洋书)两本教材配套使用的学习指导书，也可作为医药类各专业物理学课程的学习参考书。

我们编写本书的初衷是想减少医学生在物理学课程学习过程中遇到的困难，更好地掌握物理学的思想和方法，特别是分析问题、解决问题的思路和步骤，让他们能够体会并欣赏到物理学的精髓。希望本书能有助于医学生扫清物理学习中的一些障碍，让他们能够以比较轻松、愉快的心情学习物理学课程，并使其科学素养有切实的提高。在我们多年的医用物理学教学实践中看到不少医学生开始很想学好物理学，但由于学习习惯和思维方式没有摆脱中学应试学习的定式，不适应大学物理学的思维方式和学习方法，特别是没有真正理解大学物理与中学物理的差别，不重视基本概念和基本方法的掌握，总喜欢用中学的方式、方法解决大学物理的问题。碰到钉子、遇到困难后不知如何处理，逐渐失去学习物理学的信心。本书主要是针对这些学生编写的，希望通过本书可以使医学生掌握正确的学习方法和解题方法，即重视物理概念和物理思想，从基本概念入手分析问题，运用基本原理解决问题，从而提高学习物理学的兴趣和成绩。

与市面上众多类似的学习指导书相比，我们这本书有两个主要的特点。第一个特点是对所选例题予以尽可能详细的解答。所谓习题详解不是只给出解题步骤及结果，而是从题目分析入手，重点介绍解题思路，引导学生逐步掌握正确的解题思路和方法。大部分例题还给出了常见错误，并分析了错误产生的原因，使医学生能对物理概念有正确、深入的理解。一部分例题更是对结果进行了深入的讨论。做题的目的主要是检验学生是否掌握了物理学的基本概念、基本理论和基本方法，希望通过对例题详尽的解答举一反三，使读者学会如何做题，进而提高分析、解决实际问题的能力。第二个特点是提供了十余套自测练习，并且这些自测练习将适时更新。目前国内医药类各院校及各专业物理学课程的教学内容和教学要求相差较大，我们挑选的这些自测练习均由各参编院校提供，虽然每套自测练习所涉及的内容只包含了喀蔚波书或洪洋书中的部分章节，而且自测练习的难度也不尽相同，但从十余套自测练习整体来看，不仅从教学内容上涵盖喀蔚波书及洪洋书的几乎全部章节，而且从难度上也基本覆盖

了国内各种类型医药院校对物理学课程的要求。这些自测练习不会一成不变，我们准备2~3年对自测练习进行1次更新，以求做到与时俱进。

由于各参编院校对物理学课程的要求不同，各套自测练习除内容及难度不同外，其题型也不尽相同，其中一些自测练习还包含物理实验内容。为使读者自测练习的针对性更强，我们对各校提供的这些自测练习基本没有进行删改。读者可以根据自己学校物理学课程的要求选择相应的练习，通过自测练习查找学习中的问题并及时解决。读者可以利用手机扫描相应位置二维码的方式获得自测练习的答案。

除编委外参加本书编写的教师还有青岛大学吴运平、曾兵，首都医科大学黄菊英、黄晓清。受能力所限，书中不妥和错误之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

2015年5月

目　录

第一部分　习题详解

第二部分　自测练习

第一部分　习 题 详 解

第一章　力学基本定律

例 1-1　质量为 $m=1\ \mathrm{kg}$ 的物体沿 x 轴运动，物体受力如图 1-1 所示。$t=0$ 时，质点静止在坐标原点，试求 $t=7\ \mathrm{s}$ 时此质点的速度。

分析：

（1）物体在运动过程中所受的力随时间变化时，物体的加速度也会发生变化。解决这类问题，需要用牛顿运动定律的微分形式：$\boldsymbol{F}=m\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}$，根据物体的受力情况，正确建立物体运动的微分方程，并注意初始条件，通过解方程可以求出物体在任一瞬时的运动情况(见解法一)。

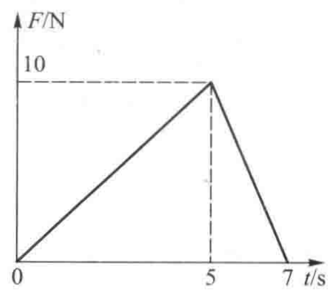


图 1-1

（2）动量定理 $\boldsymbol{p}_2-\boldsymbol{p}_1=\int_{t_1}^{t_2}\boldsymbol{F}\mathrm{d}t$ 是牛顿定律的另一积分形式，它表明力的时间积累是物体动量增加的原因。利用动量定理来解决问题时，只要考虑始末两个时刻的状态量即可(见解法二)。

解题思路：

（1）利用牛顿第二定律 $\boldsymbol{F}=m\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}$，首先根据图像得到力随时间变化的关系函数 $F(t)$。因为 $F(t)$ 是分段函数，所以先求出 $t=5\ \mathrm{s}$ 时刻物体的速度，然后用同样的方法求得 $t=7\ \mathrm{s}$ 时刻质点的速度。

（2）根据动量定理，0 s 至 7 s 这段时间内质点所受的冲量等于两个时刻动量之差，而 0 s 时的速度为 0，由此而得到 7 s 时物体的速度。

具体步骤：

根据图像有

$$F=\begin{cases}2t, & 0\leqslant t\leqslant 5\\ -5t+35, & 5\leqslant t\leqslant 7\end{cases}\quad \text{(SI 单位)}$$

解法一：根据牛顿第二定律，当 $0\leqslant t\leqslant 5$ 时，$m\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=2t$，分离变量并积分得

$$\int_0^{v_1} dv = \frac{1}{m}\int_0^5 2t dt$$

解得
$$v_1 = \frac{1}{m}t^2\Big|_0^5 = 25\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

当 $5 \leqslant t \leqslant 7$ 时，$m\frac{dv}{dt} = -5t+35$，分离变量并积分得

$$\int_{v_1}^{v_2} dv = \frac{1}{m}\int_5^7 (-5t+35) dt$$

解得
$$v_2 - v_1 = \frac{1}{m}\left(\frac{5}{2}t^2 + 35t\right)\Big|_5^7 = 10\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

所以 $t=7$ s 时，$v_2 = 35\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$。

解法二：0 ~7 s 内质点所受冲量的大小为

$$I = \int_0^7 F dt = \int_0^5 2t dt + \int_5^7 (-5t+35) dt = 35\ \mathrm{N \cdot s}$$

根据动量定理有 $I = mv_2 - mv_0$，其中 $v_0 = 0$，所以 $v_2 = 35\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$。

讨论：

解法一用牛顿第二定律解题需要考虑中间过程，必须先求出 $t=5$ s 时的速度，而应用动量定理则不需要考虑中间过程，只要考虑两个时刻的状态量即可，这也是解法二比解法一方便的原因。此外，解法二还可以利用积分的几何意义求解。首先求得图中三角形的几何面积，从而得到 0 ~7 s 内质点所受冲量的大小，再运用动量定理即可求得 $t=7$ s 时质点的速度。

常见错误：

不能将力与时间图像正确的用函数关系表达出来，从而导致后面的计算错误。

例 1-2 有一水平放置的弹簧，其一端固定，另一端系一小球，如图 1-2 所示。求小球的位置由 A 移到 B 的过程中，弹力对它做的功。设弹簧的劲度系数为 k。

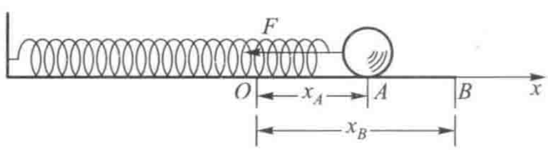


图 1-2

分析：

功是力的空间积累 $A = \int \boldsymbol{F} \cdot d\boldsymbol{r}$。如果质点沿一曲线从 A 点运动到 B 点，在这一路径上力的大小和方向都有可能发生变化。沿这一路径力对质点做的功可

以按如下方法计算：先把路径分成很多小段，任取一小段位移，用 d$\boldsymbol{r}$ 表示。在这一小段位移上质点受的力 $\boldsymbol{F}$ 可视为恒力，因而力对质点做的元功可以用 $\mathrm{d}A=\boldsymbol{F}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{r}$ 求出。把沿整个路径的所有元功加起来就得到沿整个路径力对质点做的功。质点沿曲线从 A 到 B，力 $\boldsymbol{F}$ 对它做的功为

$$A_{AB}=\int_A^B \mathrm{d}A=\int_A^B \boldsymbol{F}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{r}$$

解题思路：

依据功的定义 $A=\int\boldsymbol{F}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{r}$，首先建立坐标系，给出元功的表达式 $\mathrm{d}A=\boldsymbol{F}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{r}$，寻找力函数 $F=F(r)$。根据胡克定律，小球所受到的弹力为 $\boldsymbol{F}=-k\boldsymbol{x}$，负号表明小球所受弹力的方向与小球位移的方向相反。小球在 $\boldsymbol{x}$ 处受弹力 $\boldsymbol{F}$ 的作用发生微小位移 d$\boldsymbol{x}$，运动到 $\boldsymbol{x}+\mathrm{d}\boldsymbol{x}$ 处，弹力所做功为

$$\mathrm{d}A=\boldsymbol{F}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{x}=-kx\cos 0°\mathrm{d}x=-kx\mathrm{d}x$$

然后对小球运动的路径积分。

具体步骤：

首先建立坐标系，取 x 轴与小球运动方向平行，水平向右为其正方向，而坐标原点对应于小球的平衡位置。这样，小球在任意位置 x 时，弹力就可以表示为

$$F_x=-kx$$

小球由 A 移到 B 的过程中，弹力做的功为

$$A_{AB}=\int_A^B \boldsymbol{F}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{r}=\int_{x_A}^{x_B}F_x\mathrm{d}x=\int_{x_A}^{x_B}(-kx)\mathrm{d}x$$

计算此积分，可得

$$A_{AB}=\frac{1}{2}kx_A^2-\frac{1}{2}kx_B^2$$

讨论：

（1）当小球从 A 运动到 B 时，弹力对小球做负功，系统的弹性势能增加；

（2）当小球从 B 运动到 A 时，弹力对小球做正功，系统的弹性势能减小。

常见错误：

（1）元功表达式错误；（2）不能建立合适的坐标系，表达正确的力函数。

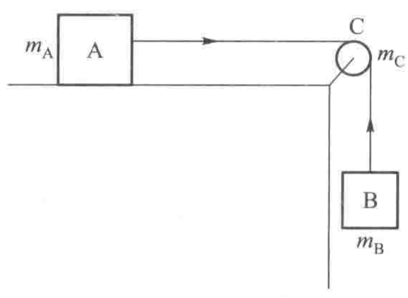


图 1-3(a)

例 1-3 如图 1-3(a)所示，质量为 m_A 的物体 A 静止在光滑水平面上，和一质量不计的绳索相连接，绳索跨过一半径为 R、质量为 m_C 的圆柱形滑轮 C，并系在另一质量为 m_B 的物体 B 上。滑轮与绳索间没有滑动，且

滑轮与轴承间的摩擦力可略去不计。问：两物体的线加速度为多少？水平和竖直两段绳索的张力各为多少？

分析：

处理这类问题的方法与处理质点力学问题相同，即采用隔离体的方法，先选取研究对象，建立坐标系，分析各隔离体所受的力或力矩，画出受力分析图，判断各隔离体的运动情况，根据牛顿第二定律和转动定律分别列出方程，再加上线量与角量之间的关系。当列出方程个数与未知量个数相同时，即可进行求解。

解题思路：

物体 A 和 B 可视为质点，运用牛顿第二定律建立两个方程。由于绳与滑轮间无滑动，滑轮两边绳中的张力不同，滑轮在力矩作用下产生定轴转动，因此，对滑轮必须运用刚体的定轴转动定律建立方程。列出方程后，并考虑到角量与线量之间的关系，即能解出结果。

具体步骤：

在地面参考系中，选取 A、B 和滑轮为研究对象，用隔离法对各物体进行受力分析，如图 1-3(b)所示。

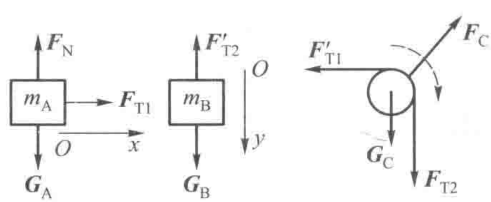


图 1-3(b)

A、B 平动，可看作质点，坐标选取如图 1-3(b)所示，运用牛顿第二定律得

$$F_{T1}=m_A a \quad ①$$

$$m_B g-F_{T2}=m_B a \quad ②$$

滑轮定轴转动，可看作刚体，运用刚体转动定律，规定力矩方向顺时针为正方向(应与加速度一致)，得

$$RF_{T2}-RF_{T1}=I\alpha \quad ③$$

其中

$$I=\frac{1}{2}m_C R^2$$

由角量和线量的关系得

$$a=R\alpha \quad ④$$

联立方程解得

$$a=\frac{m_{B}g}{m_{A}+m_{B}+m_{C}/2}$$

$$F_{T1}=\frac{m_{A}m_{B}g}{m_{A}+m_{B}+m_{C}/2},\quad F_{T2}=\frac{(m_{A}+m_{C}/2)m_{B}g}{m_{A}+m_{B}+m_{C}/2}$$

一题多变：

(1) 若滑轮与轴承间的摩擦力不能忽略，并设它们间的摩擦力矩为 M_{f}，则方程式③变为 $RF_{T2}-RF_{T1}-M_{f}=I\alpha$，其他方程不变。

(2) 若水平面不光滑，且摩擦因数为 μ，则方程式①变为 $F_{T1}-\mu m_{A}g=m_{A}a$，其他方程不变。

常见错误：

误认为 $F_{T1}=F_{T2}$。错误在于：系统加速运动时，由于中学阶段通常不考虑滑轮的质量，即 $I=\frac{1}{2}m_{C}R^{2}=0$，式③$RF_{T2}-RF_{T1}=0$，所以有 $RF_{T2}=RF_{T1}$，当滑轮的质量不可以忽略时，$RF_{T2}\neq RF_{T1}$。

讨论：

该例题是质点和刚体定轴转动的关联问题，无论质点和刚体的数目如何变化，之间如何连接，应从以下几个方面考虑问题：

(1) 分析各物体的运动，分清哪个物体是平动，哪个物体是转动；

(2) 分析各物体的受力情况，找到刚体的力矩；

(3) 对质点应用牛顿第二定律列方程，对刚体应用转动定律列方程；

(4) 找出角量和线量之间的关系并列方程；

(5) 解方程组，必要时对结果进行讨论。

例 1-4 如图 1-4 所示，质量为 m'、长为 l 的均匀直棒，可绕垂直于棒的一端的水平轴 O 无摩擦地转动。它原来静止在平衡位置上，现有一质量为 m 的弹性小球飞来，正好在棒的下端与棒垂直相撞。相撞后，棒从平衡位置处摆动到最大角度 $\theta=60°$处。求：

(1) 设碰撞为弹性碰撞，试计算小球初速 v_0 的值。

(2) 相撞时，小球受到多大的冲量？

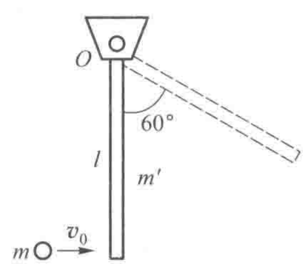


图 1-4

分析：

如果碰撞是弹性碰撞，则系统的总动能保持不变。如果没有外力矩作用于系统，或系统所受的合外力矩为零，则系统的角动量守恒。如果系统的外力做功与系统内部非保守力做功之和等于零，则系统的机械能守恒。

解题思路：

对该题可分为两个过程进行分析。首先是弹性小球与棒发生弹性相撞。以弹性小球和棒为系统，因为发生的是弹性碰撞，所以在碰撞过程中，系统的动能守恒。又在碰撞瞬间，系统只受重力及轴对棒的作用力，这两个力对转轴的力矩为零，即系统对通过转轴的合力矩为零，因此系统的角动量守恒。其次，以棒、小球和地球为系统，碰撞后棒上摆过程中系统的外力做功与系统内部非保守力做功之和等于零，只有重力对它做功，所以机械能守恒。对小球和棒运用动能守恒和角动量守恒，而对棒上摆过程中应用机械能守恒，问题即可迎刃而解。

具体步骤：

设碰撞后小球速度为 v，棒的转速为 ω。

（1）因为是弹性碰撞，碰撞过程中系统的动能守恒，即

$$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv^2+\frac{1}{2}I\omega^2 \qquad ①$$

又因为碰撞瞬间系统对转轴的合外力矩为零，所以角动量守恒，即

$$mv_0l=mvl+I\omega,\quad I=\frac{1}{3}m'l^2 \qquad ②$$

以棒、小球、地球为系统，碰撞后棒上摆过程中只有重力做功，所以机械能守恒，设棒在平衡位置时质心处为势能零点，则有

$$\frac{1}{2}I\omega^2=m'g\frac{l}{2}(1-\cos 60^\circ) \qquad ③$$

联立①、②、③式解得

$$\omega=\sqrt{\frac{3g}{2l}}\qquad v_0=\frac{3m+m'}{12m}\sqrt{6gl}$$

（2）解法一：由②式得到

$$v=v_0-\frac{I\omega}{ml}$$

将(1)的计算结果代入得碰后小球的速度

$$v=\frac{3m-m'}{12m}\sqrt{6gl}$$

设碰撞过程中，小球受到的作用力为 F，棒受到的作用力为 F'，根据动量定理，小球受到的冲量为

$$\int_{t_1}^{t_2}F\mathrm{d}t=mv-mv_0=-\frac{m'\sqrt{6gl}}{6}$$

解法二：利用牛顿第三定律，对棒应用角动量定理：

$$\int_{t_1}^{t_2} M\mathrm{d}t = \int_{t_1}^{t_2} F'l\mathrm{d}t = I\omega, \quad \int_{t_1}^{t_2} F'\mathrm{d}t = \frac{I\omega}{l}$$

因为 $F=-F'$，所以

$$\int_{t_1}^{t_2} F\mathrm{d}t = -\int_{t_1}^{t_2} F'\mathrm{d}t = -\frac{I\omega}{l} = -\frac{m'\sqrt{6gl}}{6}$$

常见错误：

错误地认为碰撞过程中动量守恒。错误原因：以小球和棒为系统，在碰撞过程中，棒在悬挂点 O 处受的作用力很大，系统在水平方向合外力不为零，因此系统动量不守恒。如果用一根轻绳将一沙袋悬挂于 O 点，以小球和沙袋为系统，则在碰撞过程中系统水平方向不受合外力作用，系统动量守恒。

第二章 流体的运动

例 2-1 注射器活塞面积为 1.2 cm^2，注射器针头截面积为 1.0 mm^2。当注射器水平放置时，用 4.9 N 的力推动活塞移动了 4.0 cm。问药液($\rho = 1.0\times 10^3\ kg\cdot m^{-3}$)从注射器中流出的时间为多少？(见喀蔚波书习题 2-1.)

分析：

理想流体作定常流动遵循两个守恒方程，一个是质量守恒方程——连续性原理；另一个是压强守恒方程——伯努利方程。在现实生活中，不可能存在理想流体作定常流动这样的理想模型。只要将实际问题中的细节简化，考虑其主要运动形式，近似认为符合理想流体作定常流动模型，即可运用伯努利方程及连续性原理解决问题。

解题思路：

将注射器看成一水平管(忽略活塞及针头的高度差)；药液看成理想流体；由于活塞运动较慢，可以将流体的流动方式看成定常流动。在活塞及针头处建立伯努利方程，利用活塞面积远远大于针头面积，可以求得针头处流体的流速；再利用连续性原理，求得活塞运动的速度；由活塞运动的距离可以求得活塞运动时间。

具体步骤：

已知：$S_1 = 1.2\ cm^2 = 1.2\times 10^{-4}\ m^2$，$S_2 = 1.0\ mm^2 = 1.0\times 10^{-6}\ m^2$，$F = 4.9\ N$，$L = 4.0\ cm = 4.0\times 10^{-2} m$，$\rho = 1.0\times 10^3\ kg\cdot m^{-3}$。

设针管活塞处为点 1，针头出口为点 2，取连接点 1 与点 2 的流线，有

$$p_1 = p_0 + \frac{F}{S_1}$$

$$p_2 = p_0$$

列出伯努利方程：

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

由于 $S_1 >> S_2$，所以 $v_1 \approx 0$，则

$$p_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

得