基础物理学 A1
2025年春季学期

谢柯盼

kpxie@buaa.edu.cn

物理学院

课程要求

三、教学方法

教学方式以课堂教学为主、根据教学内容安排习题和研讨课。学生需要自主学习，课内外学时比至少为 1:2.

四、课内外教学环节及基本要求

环节：课堂教学、习题研讨、课堂小测验、课后作业、期末考试。

课堂教学：按时出勤、认真听讲、适当记笔记

习题研讨课：课后小结、解题方法、实际应用及作业中出现的问题。

课后作业： 每周交一次作业，由任课教师根据课程安排确定提交时间.

考试：期末统考.

申请免修：书面申请，参加免修考试，成绩合格予以免修。成绩按免修考试卷面成绩录入教务系统。

本课程在课前发预习用PPT，课后发完整PPT

- **前者包含所有要掌握的知识及例题，不含例题答案**
- **后者是实际上课所用PPT，包含所有内容＋花絮**

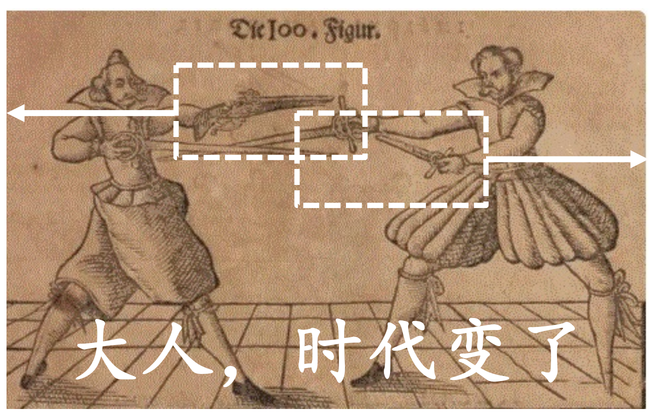
思维误区·I

“我高中的时候物理也挺好，平时不用太认真，期末突击复习一下应该是没问题的”

为什么这个想法是**错误的**？

1. 微积分是大学物理的**基本语言**，而《力学》是培养**新思维方式**的基础课程，需要认真学习，否则后续物理课都会感觉很艰难
2. 高中时为解题而记的很多公式，实际上是特殊情况的**二级结论**，不适用于一般情形

大学物理所需技能



高中物理解题技巧100条

思维误区·II

“物理太难了，我怎么学都学不会”

为什么这个想法是**错误的**？

1. 基础物理课程设置较为合理，循序渐进，从高中时熟悉的概念入手，逐步搭建起完整的知识体系，只要用心，学习起来**并不难**
2. 只要按时认真完成作业，就能巩固课堂上所学知识，不难通过考试
3. 如果课内外有任何物理相关的问题，均可以找老师、助教或者身边的同学讨论解决。要勤于提问和发起讨论，最终会获益匪浅

人之为学有难易乎？学之，则难者亦易矣；不学，则易者亦难矣。——《为学》【清】彭端淑

力学（Mechanics）

力学是物理学的一个分支，研究物体之间或物体内各部分之间相对位置的变化，即机械运动（mechanics motion）的规律。

力学可细分为静力学、运动学及动力学。

国际单位制规定的7个基本物理量及其单位：

- 时间【秒】，长度【米】，质量【千克】
- 温度【开尔文】，电流【安培】
- 物质的量【摩尔】，发光强度【坎德拉】

本课程涉及前三个

课程内容：质点运动学、牛顿力学的基本定律、动量变化定理和动量守恒、动能与势能、角动量变化定理与角动量守恒、质心力学定理、刚体力学、相对论

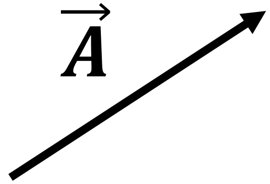
§ 0-0 开始之前：数学知识复习

矢量（或称向量）：既有大小又有方向，且遵从平行四边形加法法则的量

符号表示：字母上方加箭头（手写）或粗体（印刷）

几何表示：

$\vec{A}$



线段长度表示大小，称为模，记为$|\vec{A}|$，有时也用A表示

大小和方向都相同的两个矢量相等
- 在平直时空中，矢量平移后方向和大小都不变
- 换句话说，矢量在平移中保持不变

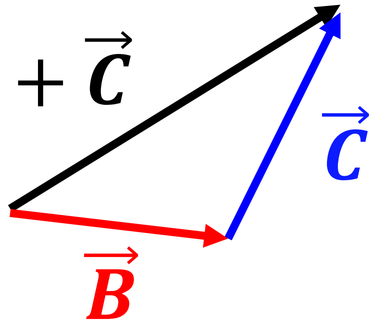
任意两个矢量共面，且其夹角必在0到π之间

若两矢量所在直线平行，则称平行或共线，记为$\vec{A} \parallel \vec{B}$

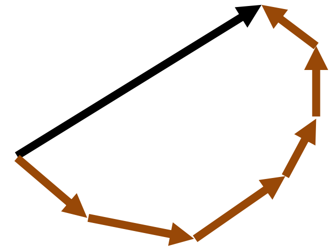
注意平行包括同向和反向两种可能性

矢量的加法：三角形或平行四边形法则

$$\vec{A} = \vec{B} + \vec{C}$$

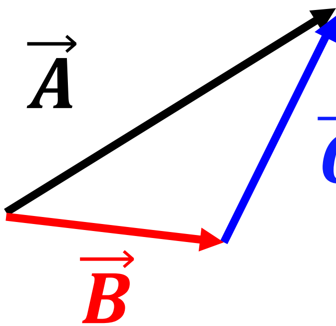


$$\vec{A} = \vec{a}_1 + \vec{a}_2 + \cdots$$



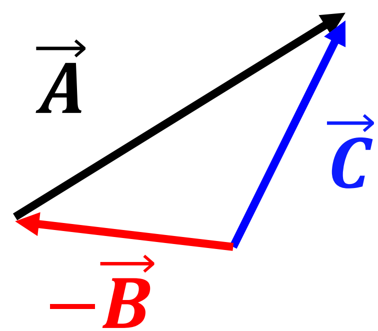
涉及矢量较多时，三角形法则比平行四边形法则方便

矢量的减法：逆应用三角形或平行四边形法则



$$\vec{C} = \vec{A} - \vec{B}$$

亦可视为$\vec{C} = \vec{A} + \left(-\vec{B}\right)$



$-\vec{B}$是$\vec{B}$的负矢量：大小相等，方向相反

矢量的乘法：数乘、标量积和矢量积

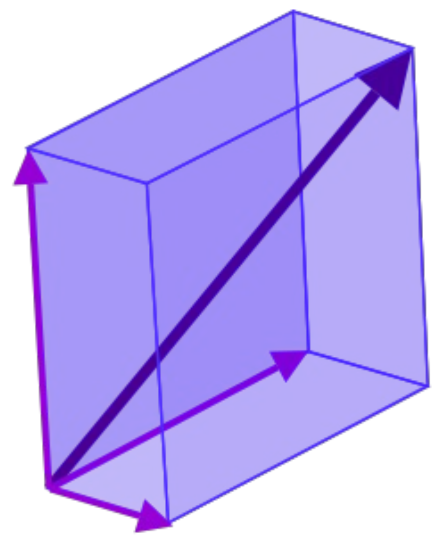
数乘：实数m与矢量$\vec{A}$的乘积$m\vec{A}$是一个矢量

其大小为$|m||\vec{A}|$。若$m > 0$，则其方向与$\vec{A}$相同；反之

若$m < 0$则其方向与$\vec{A}$相反

几何意义为矢量的伸缩变换

- 实数0乘以任何矢量得到零矢量$\vec{0}$
- -1乘以任何矢量得到其负矢量
- $\vec{A}/|\vec{A}|$称为方向矢量，其模为1

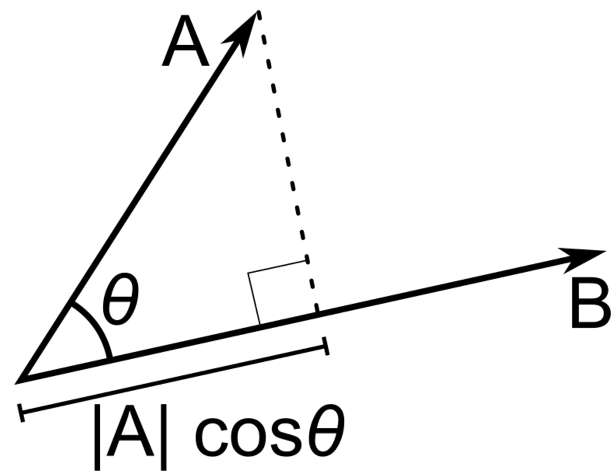


给定不共线矢量$\vec{e}_{1,2,3}$作为基矢，三维空间中任一矢量均可唯一表示为

$$\vec{A} = A_1\vec{e}_1 + A_2\vec{e}_2 + A_3\vec{e}_3$$

其中有序实数组(A_1, A_2, A_3)称为坐标

标量积（又称点乘）：两个矢量$\vec{A}$与$\vec{B}$给出一个标量
$\vec{A}\cdot\vec{B} = |\vec{A}||\vec{B}|\cos\theta$，这里$\vec{A}$和$\vec{B}$的夹角$\theta \in [0,\pi]$



几何意义为$\vec{A}$在$\vec{B}$方向上的投影大小
当然也是$\vec{B}$在$\vec{A}$方向上的投影

- 交换律$\vec{A}\cdot\vec{B} = \vec{B}\cdot\vec{A}$
- 分配律$\vec{A}\cdot(\vec{B}+\vec{C}) = \vec{A}\cdot\vec{B}+\vec{A}\cdot\vec{C}$

以上性质均易于用几何方法证明，在此不赘述

- $\vec{A}$的模为$|\vec{A}| = \sqrt{\vec{A}\cdot\vec{A}} = \sqrt{\vec{A}^2}$
- 若非零矢量$\vec{A}\cdot\vec{B} = 0$，则意味着夹角为$\pi/2$，称两矢量垂直或正交，记为$\vec{A}\perp\vec{B}$

若基矢$(\vec{i},\vec{j},\vec{k})$是一组彼此正交的单位矢量，则称其为**标准正交基**，其满足

$$\vec{i}\cdot\vec{i}=\vec{j}\cdot\vec{j}=\vec{k}\cdot\vec{k}=1$$

$$\vec{i}\cdot\vec{j}=\vec{j}\cdot\vec{k}=\vec{k}\cdot\vec{i}=0$$

且空间任一矢量的分解

$$\vec{A}=A_1\vec{i}+A_2\vec{j}+A_3\vec{k}$$

是唯一的，系数为：$A_1=\vec{A}\cdot\vec{i}$，$A_2=\vec{A}\cdot\vec{j}$且$A_3=\vec{A}\cdot\vec{k}$

在**标准正交基**下，若$\vec{A}$、$\vec{B}$坐标分别为(A_1,A_2,A_3)和(B_1,B_2,B_3)，则$\boldsymbol{\vec{A}\cdot\vec{B}=A_1B_1+A_2B_2+A_3B_3}$

标量积（点乘）也称为**内积**

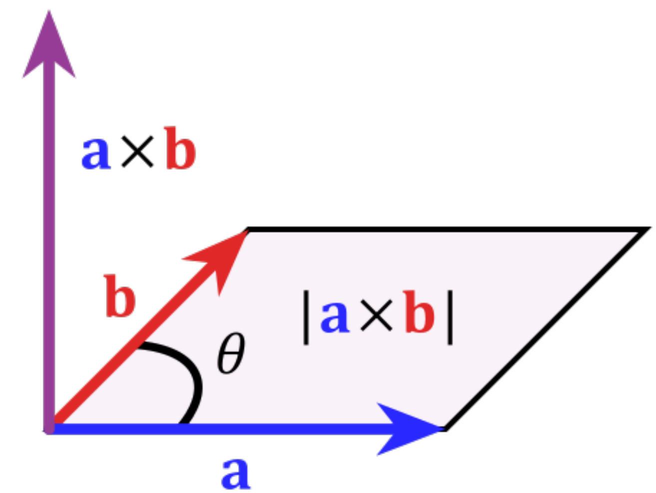
矢量积（又称叉乘）：两个矢量$\vec{A}$与$\vec{B}$给出一个矢量

$\vec{A}\times\vec{B}$的大小为$|\vec{A}||\vec{B}|\sin\theta$

方向垂直于$\vec{A}$与$\vec{B}$构成的平面

右手四指从$\vec{A}$经夹角方向绕向$\vec{B}$，

则大拇指的方向为$\vec{A}\times\vec{B}$



几何意义：$|\vec{A}\times\vec{B}|$为$\vec{A}$与$\vec{B}$构成平行四边形的面积

若非零矢量$\vec{A}\times\vec{B}=\vec{0}$，则意味着$\vec{A}\parallel\vec{B}$，平行

- 不满足交换律！$\vec{A}\times\vec{B}=-\vec{B}\times\vec{A}$
- 分配律$\vec{A}\times(\vec{B}+\vec{C})=\vec{A}\times\vec{B}+\vec{A}\times\vec{C}$
- 标准正交基满足$\vec{i}\times\vec{j}=\vec{k}$，$\vec{j}\times\vec{k}=\vec{i}$，$\vec{k}\times\vec{i}=\vec{j}$

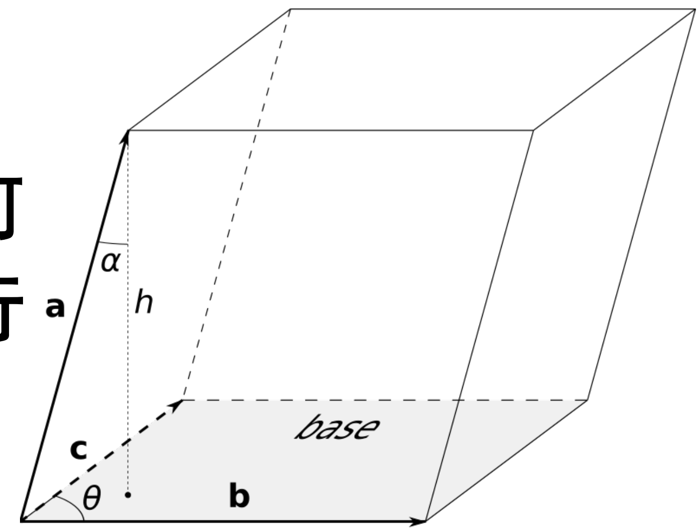
在标准正交基下，若矢量$\vec{A}$和$\vec{B}$坐标分别为(A_1, A_2, A_3)和(B_1, B_2, B_3)，则$\vec{A}\times\vec{B} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ A_1 & A_2 & A_3 \\ B_1 & B_2 & B_3 \end{vmatrix}$

写为标准正交基下的分量式为$\vec{A}\times\vec{B} =$

$$(A_2B_3 - A_3B_2)\vec{i} + (A_3B_1 - A_1B_3)\vec{j} + (A_1B_2 - A_2B_1)\vec{k}$$

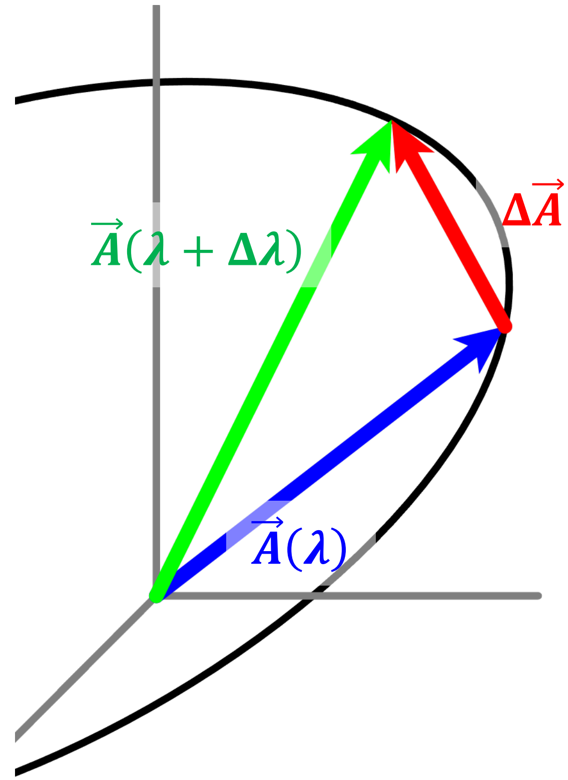
两种混合积

- $(\vec{A}\times\vec{B})\cdot\vec{C}$，结果为标量，几何意义为三个矢量所张成的平行六面体的体积



- $(\vec{A}\times\vec{B})\times\vec{C} = (\vec{A}\cdot\vec{C})\vec{B} - (\vec{B}\cdot\vec{C})\vec{A}$结果为矢量

矢量的微积分（重点）：求导与求积



令$\vec{A}(\lambda)$为参数λ所决定的矢量，则其导数定义为

$$\frac{\mathrm{d}\vec{A}}{\mathrm{d}\lambda}=\lim_{\Delta\lambda\to 0}\frac{\vec{A}(\lambda+\Delta\lambda)-\vec{A}(\lambda)}{\Delta\lambda}$$

矢量的导数仍是一个矢量，方向沿$\vec{A}(\lambda)$末端轨迹的切线

在一阶无穷小意义下，

$$\vec{A}(\lambda+\Delta\lambda)\approx\vec{A}(\lambda)+\Delta\lambda\frac{\mathrm{d}\vec{A}}{\mathrm{d}\lambda}$$

λ可以是任意物理参数，例如时间（最常见）、路程、长度、角度等，甚至能量、动量大小

求导是线性运算。若c_1、c_2为常数，则

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\lambda}\left(c_1\vec{A}+c_2\vec{B}\right)=c_1\frac{\mathrm{d}\vec{A}}{\mathrm{d}\lambda}+c_2\frac{\mathrm{d}\vec{B}}{\mathrm{d}\lambda}$$

分配律（数乘、点乘、叉乘）

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\lambda}\left(f\vec{A}\right)=\frac{\mathrm{d}f}{\mathrm{d}\lambda}\vec{A}+f\frac{\mathrm{d}\vec{A}}{\mathrm{d}\lambda}$$

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\lambda}\left(\vec{A}\cdot\vec{B}\right)=\frac{\mathrm{d}\vec{A}}{\mathrm{d}\lambda}\cdot\vec{B}+\vec{A}\cdot\frac{\mathrm{d}\vec{B}}{\mathrm{d}\lambda}$$

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\lambda}\left(\vec{A}\times\vec{B}\right)=\frac{\mathrm{d}\vec{A}}{\mathrm{d}\lambda}\times\vec{B}+\vec{A}\times\frac{\mathrm{d}\vec{B}}{\mathrm{d}\lambda}$$

求导的链式法则

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\lambda}\vec{A}\left(F(\lambda)\right)=\frac{\mathrm{d}\vec{A}}{\mathrm{d}F}\frac{\mathrm{d}F}{\mathrm{d}\lambda}$$

可以进一步定义二阶导数及更高阶导数，如

$$\frac{\mathrm{d}^2\vec{A}}{\mathrm{d}\lambda^2}=\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\lambda}\left(\frac{\mathrm{d}\vec{A}}{\mathrm{d}\lambda}\right)$$

矢量的积分：基于矢量的三种乘法

- 数乘，得到矢量（例：冲量）

$$\vec{B}=\lim_{\Delta\lambda_i\to 0}\sum\vec{A}_i\Delta\lambda_i=\int\vec{A}\mathrm{d}\lambda$$

- 点乘，得到标量（例：功）

$$W=\lim_{|\Delta\vec{s}_i|\to 0}\sum\vec{A}_i\cdot\Delta\vec{s}_i=\int\vec{A}\cdot\mathrm{d}\vec{s}$$

- 叉乘，得到矢量（例：毕奥-萨伐尔定律）

积分较复杂，后续课程用到再细讲

坐标系及其方向矢量

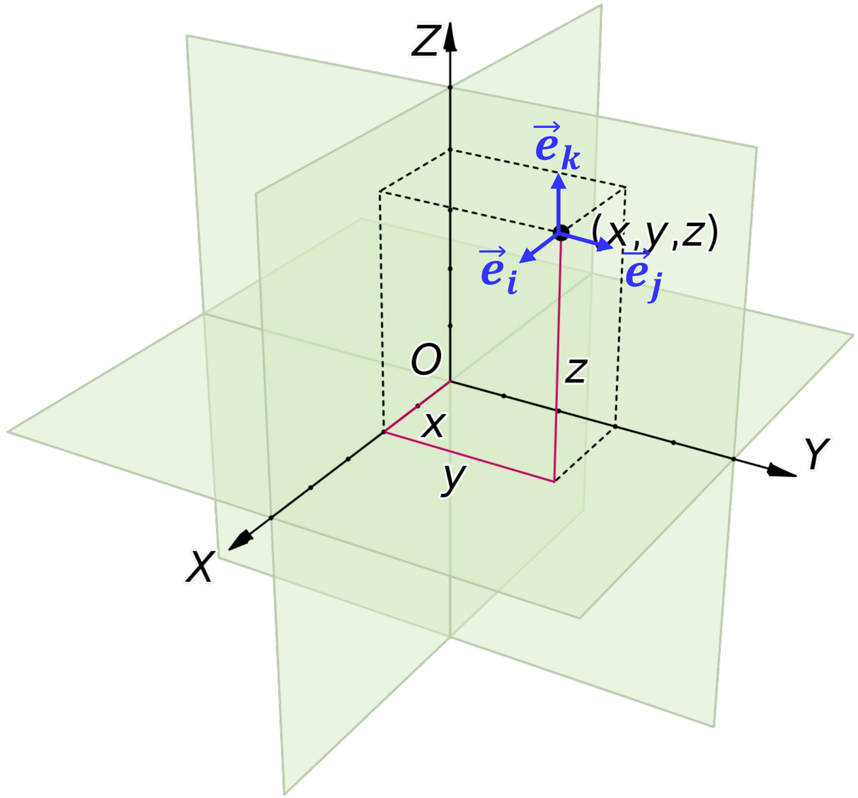
将三维空间中的点与有序实数组(x_1, x_2, x_3)建立起一一对应的关系，就得到了一个三维坐标系

- $(0,0,0)$称为原点
- 常用坐标系有直角坐标、极坐标、球坐标及柱坐标

在某给定坐标系内：

- 从点(x_1, x_2, x_3)指点向$(x_1 + \Delta x_1, x_2, x_3)$的单位矢量，在$\Delta x_1 \to 0$时趋于一固定值，称为$x_1$轴方向的方向矢量，记为$\vec{e}_1$
- 类似地$\vec{e}_2$为x_2轴的方向矢量，$\vec{e}_3$为x_3轴的方向矢量
- 故任一空间点均存在三个方向矢量$(\vec{e}_1, \vec{e}_2, \vec{e}_3)$，可以作为一组标准基
- 要注意，一般说来方向矢量会随着空间点的不同而发生变化，并非常量

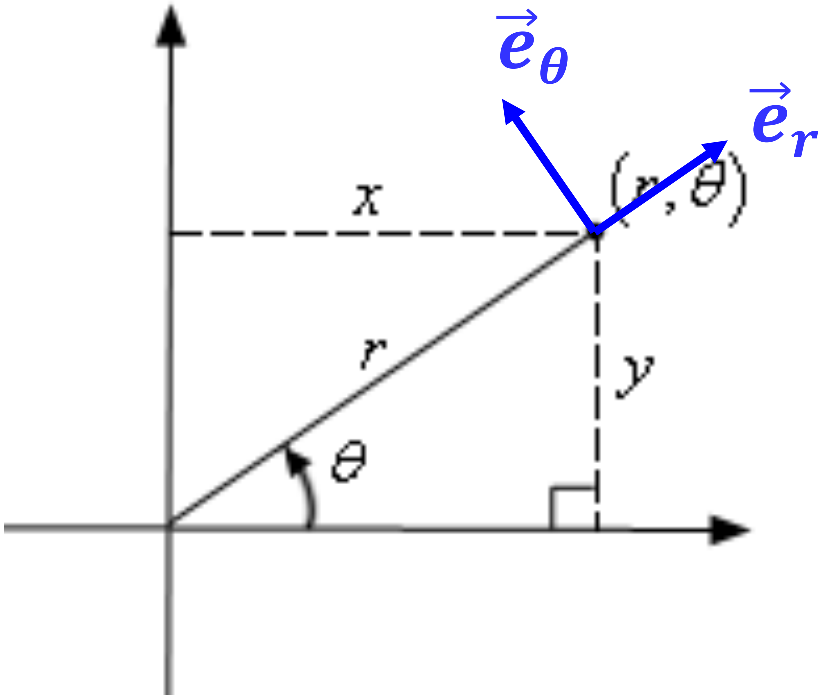
右手直角坐标系：空间点由(x,y,z)指明



方向矢量$\vec{e}_i$、$\vec{e}_j$、$\vec{e}_k$与空间点无关，为**常矢量**，分别与x轴、y轴、z轴平行

- 方向矢量与空间点无关是直角坐标系的特殊性质

极坐标系：平面点(r,θ)由极矢大小r及极角θ指明



与直角坐标之间的转换：

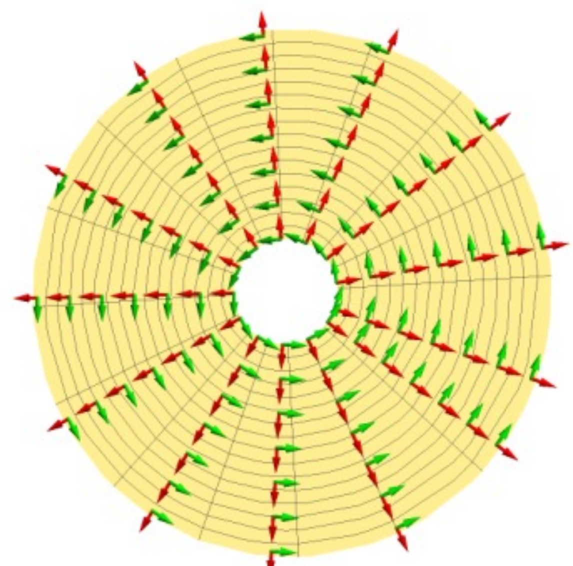
$$x = r\cos\theta$$
$$y = r\sin\theta$$

或者

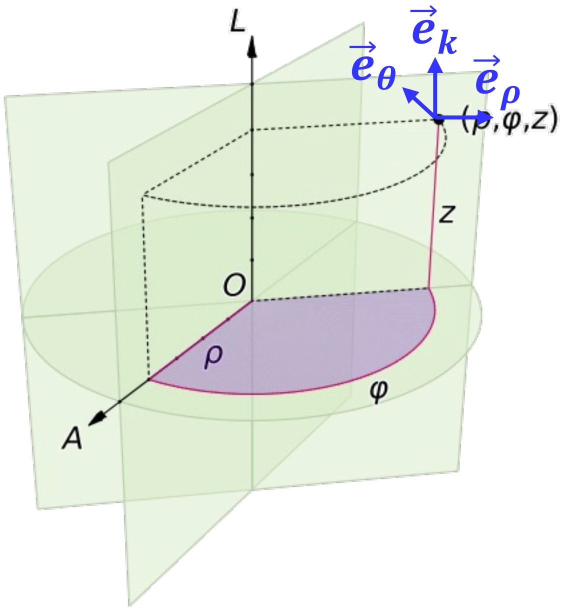
$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$
$$\theta = \tan^{-1} y/x$$

方向矢量与位置有关，不是常矢量

- $\vec{e}_r$及$\vec{e}_\theta$都是θ的函数（重要）



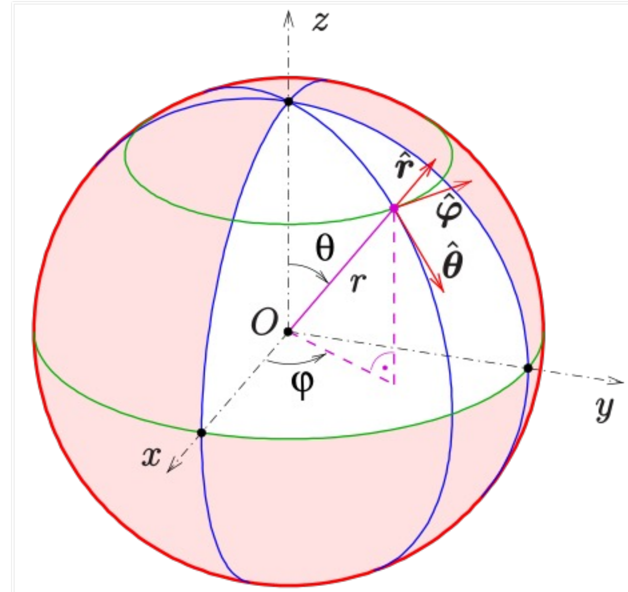
柱坐标系：(ρ,φ,z)
相当于极坐标加z轴



转换到直角坐标：

$$x = \rho\cos\varphi$$
$$y = \rho\sin\varphi$$
$$z = z$$

球坐标系：(r,θ,φ)
矢径大小，极角，方位角



转换到直角坐标：

$$x = r\sin\theta\cos\varphi$$
$$y = r\sin\theta\sin\varphi$$
$$z = r\cos\theta$$

在一般的坐标系中，方向矢量普遍地与位置有关

本节课小结

矢量的加、减、乘，以及微积分
坐标系和方向矢量

点乘得到标量，叉乘得到矢量
注意叉乘的右手定则，以及不可交换性

- 非零矢量点乘得到零，意味着垂直；
- 非零矢量叉乘得到零矢量，意味着平行。

矢量的导数，分配律、莱布尼茨法则及链式法则

空间直角坐标系与平面极坐标系要重点掌握
尤其注意极坐标的方向矢量与位置有关

主要参考书目

书名及主要编者：

《大学物理通用教程·力学·第二版》钟锡华&周岳明，北京大学出版社，2010（课后作业来源）

《大学物理学》吴百诗，高等教育出版社，2011
《大学物理学》张三慧，清华大学出版社，2017
《普通物理学》程守洙，高等教育出版社，2016
《力学概论》（翻译版）丹尼尔·克莱普纳，MIT
《伯克利物理学教程》（翻译版）E. M. 珀赛尔，哈佛
《祖尔物理学》埃里克·马祖尔，哈佛