



教育图书



功能学具



学生之家

基础教育行业专研品牌

30⁺年专注教育行业

全品学练考

主编 肖德好

导学案

高中数学

基础版

选择性必修第一册 RJA

数智教辅

索取二维码
贴此处
激活享受服务

AI时代就该用AI学习
遇到问题快扫我

天津出版传媒集团
天津人民出版社

CONTENTS



目录

导学案

01 第一章 空间向量与立体几何

PART ONE

1.1 空间向量及其运算	139
1.1.1 空间向量及其线性运算	139
第1课时 空间向量及线性运算	139
第2课时 共线向量与共面向量	141
1.1.2 空间向量的数量积运算	144
1.2 空间向量基本定理	147
1.3 空间向量及其运算的坐标表示	150
1.3.1 空间直角坐标系	150
1.3.2 空间向量运算的坐标表示	153
1.4 空间向量的应用	156
1.4.1 用空间向量研究直线、平面的位置关系	156
第1课时 空间中点、直线和平面的向量表示	156
第2课时 空间中直线、平面的平行	158
第3课时 空间中直线、平面的垂直	160
1.4.2 用空间向量研究距离、夹角问题	162
第1课时 用空间向量研究距离问题	162

第2课时 用空间向量研究夹角问题 ... 165

④ 本章总结提升 ... 168

02 第二章 直线和圆的方程

PART TWO

2.1 直线的倾斜角与斜率	172
2.1.1 倾斜角与斜率	172
2.1.2 两条直线平行和垂直的判定	175
2.2 直线的方程	177
2.2.1 直线的点斜式方程	177
2.2.2 直线的两点式方程	179
2.2.3 直线的一般式方程	181
2.3 直线的交点坐标与距离公式	184
2.3.1 两条直线的交点坐标	184
2.3.2 两点间的距离公式	186
2.3.3 点到直线的距离公式	188
2.3.4 两条平行直线间的距离	188
2.4 圆的方程	191
2.4.1 圆的标准方程	191
2.4.2 圆的一般方程	193

2.5 直线与圆、圆与圆的位置关系	195
2.5.1 直线与圆的位置关系	195
第1课时 直线与圆的位置关系(一)	195
第2课时 直线与圆的位置关系(二)	197
2.5.2 圆与圆的位置关系	199
拓展微课(一) 与圆有关的最值问题	201
◆ 本章总结提升	202

03 第三章 圆锥曲线的方程

PART THREE

3.1 椭圆	207
3.1.1 椭圆及其标准方程	207
第1课时 椭圆及其标准方程	207
第2课时 与椭圆有关的轨迹问题	209
3.1.2 椭圆的简单几何性质	211
第1课时 椭圆的简单几何性质(一)	211

第2课时 椭圆的简单几何性质(二)	213
第3课时 直线与椭圆的位置关系	215
3.2 双曲线	218
3.2.1 双曲线及其标准方程	218
3.2.2 双曲线的简单几何性质	221
第1课时 双曲线的简单几何性质	221
第2课时 直线与双曲线的位置关系及应用	223
拓展微课(二) 圆锥曲线的离心率	227
3.3 抛物线	228
3.3.1 抛物线及其标准方程	228
3.3.2 抛物线的简单几何性质	230
第1课时 抛物线的简单几何性质	230
第2课时 直线与抛物线的位置关系	233
◆ 本章总结提升	236

◆ 参考答案(单独成册)	241
--------------	-----

第一章 空间向量与立体几何

1.1 空间向量及其运算



讲课智能体

1.1.1 空间向量及其线性运算

第1课时 空间向量及线性运算

【学习目标】

1. 经历由平面向量推广到空间向量的过程,理解空间向量的概念.
2. 经历由平面向量的运算及其运算律推广到空间向量的过程.
3. 掌握空间向量的线性运算.

课堂明新知

知识导学 典例探究

◆ 要点一 空间向量及有关概念

1. 概念与表示

(1)空间向量:在空间,我们把具有 _____ 和 _____ 的量叫作空间向量,空间向量用字母 a, b, c, \dots 表示,也用有向线段 \overrightarrow{AB} 表示.

(2)空间向量的模:空间向量的大小叫作空间向量的 _____ 或 _____. 有向线段的 _____ 表示空间向量的模.

2. 几类特殊的空间向量

名称	定义及表示
零向量	规定长度为 0 的向量叫作 _____, 记为 $\mathbf{0}$
单位向量	_____ 的向量叫作单位向量
相反向量	与向量 a 长度 _____ 而方向 _____ 的向量, 叫作 a 的相反向量, 记为 _____
共线(平行)向量	如果表示若干空间向量的有向线段所在的直线 _____, 那么这些向量叫作共线向量或平行向量. 规定: 零向量与任意向量 _____, 即对于任意向量 a , 都有 $\mathbf{0}$ _____ a
相等向量	方向 _____ 且模 _____ 的向量叫作相等向量. 在空间, _____ 且 _____ 的有向线段表示同一向量或相等向量

【诊断分析】判断正误.(请在括号中打“√”或“×”)

- (1)零向量是没有方向的. ()
- (2)两个有共同起点且相等的空间向量,其终点必相同. ()

- (3)空间中方向相反的两个向量是相反向量. ()
- (4)空间内的所有单位向量都是相等的. ()

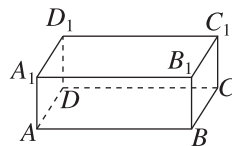
典例解析

例1 (1)(多选题)给出下列四个说法,其中正确的是 ()

- A. 若两个空间向量相等,则它们的起点相同,终点也相同
- B. 若空间向量 a, b 满足 $|a| = |b|$, 则 $a = b$
- C. 在正方体 $ABCD-A_1B_1C_1D_1$ 中, 必有 $\overrightarrow{AC} = \overrightarrow{A_1C_1}$
- D. 若空间向量 m, n, p 满足 $m = n, n = p$, 则 $m = p$

(2)(多选题)[2026·陕西宝鸡高二质检] 如图所示, 在长方体 $ABCD-A_1B_1C_1D_1$ 中, $AB = 3, AD = 2, AA_1 = 1$, 则在以八个顶点中的两个分别为起点和终点的向量中, ()

- A. 单位向量有 8 个
- B. 与 \overrightarrow{AB} 相等的向量有 3 个
- C. $\overrightarrow{AA_1}$ 的相反向量有 4 个
- D. 模为 $\sqrt{5}$ 的向量有 4 个



变式 给出下列命题:

- ①将空间中所有的单位向量平移到同一个点为起点,则它们的终点构成一个圆;
 - ②在正五棱柱 $ABCDE-A_1B_1C_1D_1E_1$ 中, 必有 $\overrightarrow{BE} = -\overrightarrow{E_1B_1}$;
 - ③空间中任意两个方向相反的单位向量, 它们的模必相等.
- 其中所有真命题的序号是 _____.

[素养小结]

解答空间向量有关概念问题的关键点及注意点:

- (1) 关键点: 紧紧抓住向量的两个要素, 即大小和方向.
 (2) 注意点: ① 零向量不是没有方向, 它的方向是任意的. ② 单位向量的方向虽然不一定相同, 但它们的长度都是 1. ③ 两个向量的模相等, 不一定是相等向量; 反之, 若两个向量相等, 则它们不仅模相等, 而且方向相同. 若两个向量的模相等, 方向相反, 则它们为相反向量.

◆ 要点二 空间向量的线性运算

1. 空间向量的自由性

任意两个空间向量都可以通过平移转化为同一平面内的向量, 这样任意两个_____的运算就可以转化为_____的运算.

2. 空间向量的线性运算

运算	定义	法则 (或几何意义)	运算律
加法	求两个向量的运算		(1) 加法交换律: $a + b = \underline{\hspace{2cm}}$; (2) 加法结合律: $(a + b) + c = \underline{\hspace{2cm}}$
减法	减去一个向量相当于加上这个向量的_____		$a - b = \underline{\hspace{2cm}}$
数乘	实数 λ 与向量 a 的积是一个_____, 这种运算叫作向量的_____, 记作_____	(1) $ \lambda a = \underline{\hspace{2cm}}$. (2) 当 $\lambda > 0$ 时, λa 与 a 的方向_____; 当 $\lambda < 0$ 时, λa 与 a 的方向_____; 当 $\lambda = 0$ 时, $\lambda a = \underline{\hspace{2cm}}$	(1) 对向量加法的分配律: $\lambda(a + b) = \underline{\hspace{2cm}}$; (2) 对实数加法的分配律: $(\lambda + \mu)a = \underline{\hspace{2cm}}$

【诊断分析】 1. 判断正误. (请在括号中打“√”或“×”)

- (1) $\overrightarrow{AB} - \overrightarrow{DA} + \overrightarrow{AA'} = \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{AD} + \overrightarrow{AA'}$. ()
 (2) 有限个向量求和, 交换相加向量的顺序, 其和不变. ()
 (3) 若 $\lambda \in \mathbf{R}$, 则 $\lambda(a + b) = \lambda a + \lambda b$. ()

2. 空间向量的加、减法运算与平面向量的加、减法运算是否相同? 平面向量加、减法的运算律在空间向量中还适用吗?

D 典例解析

角度 1 空间向量的加、减运算

例 2 (1) (多选题) [2026 · 四川成都双流区期中] 在正方体 $ABCD - A_1B_1C_1D_1$ 中, 下列各式的运算结果为向量 $\overrightarrow{BD_1}$ 的是 ()

- A. $(\overrightarrow{A_1D_1} - \overrightarrow{A_1A}) - \overrightarrow{AB}$
 B. $(\overrightarrow{BC} + \overrightarrow{BB_1}) - \overrightarrow{D_1C_1}$
 C. $(\overrightarrow{AD} - \overrightarrow{AB}) - \overrightarrow{DD_1}$
 D. $(\overrightarrow{B_1D_1} - \overrightarrow{A_1A}) + \overrightarrow{DD_1}$

(2) 化简: $\overrightarrow{OB} - [\overrightarrow{OA} - (\overrightarrow{BA} - \overrightarrow{BC})] = \underline{\hspace{2cm}}$.

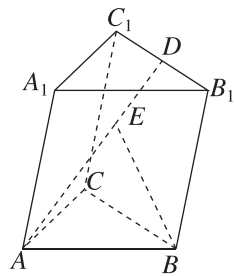
[素养小结]

空间向量加法、减法运算的两个常用技巧:

- (1) 巧用相反向量: 灵活运用相反向量可使向量首尾相接;
 (2) 巧用平移: 务必注意和向量、差向量的方向, 必要时可采用空间向量的自由平移获得运算结果.

角度 2 空间向量的数乘运算

例 3 如图, 在三棱柱 $ABC - A_1B_1C_1$ 中, D 是棱 B_1C_1 的中点, $\overrightarrow{AE} = 2\overrightarrow{ED}$. 设 $\overrightarrow{AB} = a$, $\overrightarrow{AC} = b$, $\overrightarrow{AA_1} = c$, 试用向量 a, b, c 表示向量 \overrightarrow{AD} 和 \overrightarrow{BE} .

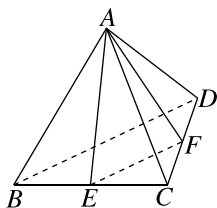


变式 (1)若 A, B, C, D 为空间中不同的四个点,则下列各式中运算结果不一定为零向量的是 ()

- A. $\overrightarrow{AB} + 2\overrightarrow{BC} + 2\overrightarrow{CD} + \overrightarrow{DC}$
 B. $2\overrightarrow{AB} + 2\overrightarrow{BC} + 3\overrightarrow{CD} + 3\overrightarrow{DA} + \overrightarrow{AC}$
 C. $\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{DA} + \overrightarrow{BD}$
 D. $\overrightarrow{AB} - \overrightarrow{CB} + \overrightarrow{CD} - \overrightarrow{AD}$

(2)[教材 P5 练习 T4] 如图,已知四面体 $ABCD$, E, F 分别是 BC, CD 的中点.化简下列表达式,并在图中标出化简结果:

① $\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC} + \overrightarrow{CD}$;



② $\overrightarrow{AB} + \frac{1}{2}(\overrightarrow{BD} + \overrightarrow{BC})$;

③ $\overrightarrow{AF} - \frac{1}{2}(\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{AC})$.

[素养小结]

利用数乘运算进行向量表示的技巧:

- (1)数形结合:利用数乘运算解题时,要结合具体图形,并应用三角形法则、平行四边形法则,将目标向量用已知向量表示;
 (2)明确目标:在化简过程中要有目标意识,巧妙运用中点性质及其他等分点的性质将目标向量表示出来.

第 2 课时 共线向量与共面向量

【学习目标】

1. 理解向量共线、向量共面的定义.
2. 掌握向量共线的充要条件和向量共面的充要条件.
3. 会证明空间三点共线、四点共面.

课堂明新知

知识导学 典例探究

◆ 要点一 空间向量共线的充要条件

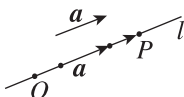
1. 空间两向量共线的充要条件

对任意两个空间向量 $a, b (b \neq 0)$, $a // b$ 的充要条件是存在实数 λ , 使 _____.

2. 空间直线的确定

(1)直线的方向向量

如图, O 是直线 l 上一点, 在直线 l 上取 _____, 则对于直线 l 上任意一点 P , 存在实数 λ , 使得 $\overrightarrow{OP} = \lambda a$. 把与向量 a _____ 的非零向量称为直线 l 的方向向量.

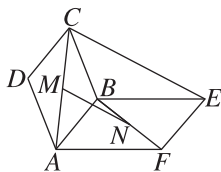


(2)空间直线的确定

空间直线可以由其上一点和它的 _____ 确定.

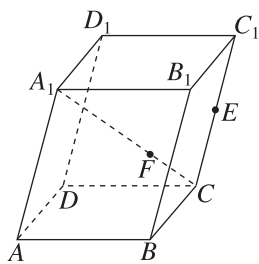
D 典例解析

例 1 (1)如图所示, 四边形 $ABCD$ 与四边形 $ABEF$ 都是平行四边形且不共面, M, N 分别是 AC, BF 的中点, 则 \overrightarrow{CE} 与 \overrightarrow{MN} _____ . (填“共线”或“不共线”)



(2)在空间四边形 $ABCD$ 中, $\overrightarrow{BC} = 3\overrightarrow{BM}$, $\overrightarrow{AM} = -\overrightarrow{DA} + \frac{1}{3}\overrightarrow{DC} + \lambda\overrightarrow{DB}$, 则 $\lambda =$ _____.

变式 如图,在平行六面体 $ABCD-A_1B_1C_1D_1$ 中,
 $\overrightarrow{C_1C}=2\overrightarrow{EC}, \overrightarrow{A_1C}=3\overrightarrow{FC}$. 求证: A, F, E 三点共线.



(2) 向量与平面平行

如图,如果表示向量 a 的有向线段 \overrightarrow{OA} 所在的直线 OA _____ 或 _____, 那么称向量 a 平行于平面 α .

(3) 共面向量

平行于同一个平面的向量,叫作 _____.

2. 共面向量定理

如果两个向量 a, b 不共线,那么向量 p 与向量 a, b 共面的充要条件是存在唯一的有序实数对 (x, y) , 使 _____.

【诊断分析】 判断正误.(请在括号中打“√”或“×”)

(1) 若向量 p 与向量 a, b 共面,则存在 $x, y \in \mathbf{R}$, 使得 $p = xa + yb$ 成立. ()

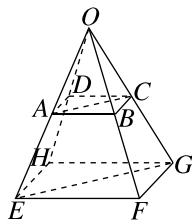
(2) 若 $\overrightarrow{MP} = x\overrightarrow{MA} + y\overrightarrow{MB}$, 则 P, M, A, B 共面. ()

(3) 若 P, M, A, B 共面, 则 $\overrightarrow{MP} = x\overrightarrow{MA} + y\overrightarrow{MB}$. ()

D 典例解析

例 2 [教材 P5 例 1] 如图,已知平行四边形 $ABCD$, 过平面 AC 外一点 O 作射线 OA, OB, OC, OD , 在四条射线上分别取点 E, F, G, H , 使 $\frac{OE}{OA} =$

$\frac{OF}{OB} = \frac{OG}{OC} = \frac{OH}{OD} = k$. 求证: E, F, G, H 四点共面.



[素养小结]

(1) 向量共线的判定及应用: 证明空间向量 a, b 共线的关键是利用已知条件找到实数 λ , 使 $a = \lambda b$ ($b \neq 0$) 成立.

(2) 对于空间三点 P, A, B , 可通过证明下列结论来证明 P, A, B 三点共线.

① 存在实数 λ , 使 $\overrightarrow{PA} = \lambda\overrightarrow{PB}$ 成立.

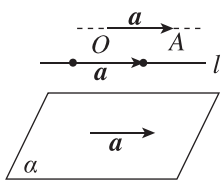
② 对空间中一点 O , 有 $\overrightarrow{OP} = x\overrightarrow{OA} + y\overrightarrow{OB}$ ($x + y = 1$).

◆ 要点二 空间向量共面的充要条件

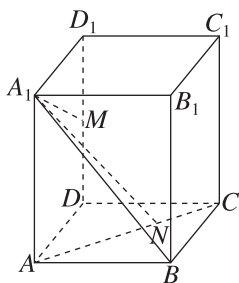
1. 共面向量的定义

(1) 向量与直线平行

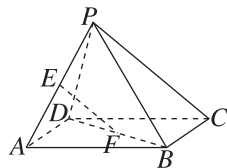
如图,如果表示向量 a 的有向线段 \overrightarrow{OA} 所在的直线 OA 与直线 l _____ 或 _____, 那么称向量 a 平行于直线 l .



例 3 如图,在长方体 $ABCD-A_1B_1C_1D_1$ 中, M 为 DD_1 的中点, N 在线段 AC 上,且 $AN:NC=2:1$. 求证: $\overrightarrow{A_1N}$ 与 $\overrightarrow{A_1B}, \overrightarrow{A_1M}$ 共面.



(2)如图,在四棱锥 $P-ABCD$ 中,底面 $ABCD$ 是平行四边形, E, F 分别为 PA, BD 的中点. 求证: 向量 $\overrightarrow{EF}, \overrightarrow{BC}, \overrightarrow{BP}$ 共面.



变式 (1) [2026 · 江苏常州高二质检] 已知空间 A, B, C, D 四点共面,且其中任意三点均不共线, 设 P 为空间中任意一点,若 $\overrightarrow{BD} = 6\overrightarrow{PA} - 4\overrightarrow{PB} + \lambda\overrightarrow{PC}$, 则 $\lambda =$ ()

- A. 2 B. -2
C. 1 D. -1

[素养小结]

(1)证明空间三个向量共面的方法:证明其中一个向量可以表示成另两个向量的线性组合,即若 $p = xa + yb$ ($x, y \in \mathbf{R}$), 则向量 p, a, b 共面.

(2)证明空间四点共面的思路:对于空间四点 P, M, A, B , 可通过证明下列结论来证明 P, M, A, B 四点共面.

- ①存在实数 x, y , 使 $\overrightarrow{MP} = x\overrightarrow{MA} + y\overrightarrow{MB}$ 成立;
- ②对空间中一点 O , 有 $\overrightarrow{OP} = \overrightarrow{OM} + x\overrightarrow{OA} + y\overrightarrow{OB}$ ($x, y \in \mathbf{R}$);
- ③对空间中一点 O , 有 $\overrightarrow{OP} = x\overrightarrow{OA} + y\overrightarrow{OB} + z\overrightarrow{OM}$ ($x + y + z = 1$).

1.1.2 空间向量的数量积运算

【学习目标】

1. 结合立体几何与空间向量的特征,了解空间向量投影的概念.
2. 类比平面向量,掌握空间向量的数量积.
3. 类比平面向量并借助空间图形,掌握空间向量的有关运算律,能运用数量积解决空间中的垂直、夹角及距离问题.

课堂明新知

知识导学 典例探究

◆ 要点一 空间向量的数量积运算

1. 空间向量的夹角

定义	已知两个非零向量 a, b , 在空间任取一点 O , 作 $\overrightarrow{OA} = a, \overrightarrow{OB} = b$, 则 $\angle AOB$ 叫作向量 a, b 的 _____, 记作 _____
取值范围	_____
向量垂直	如果 $\langle a, b \rangle =$ _____, 那么向量 a, b 互相垂直, 记作 $a \perp b$

【诊断分析】判断正误.(请在括号中打“√”或“×”)

(1) 向量 \overrightarrow{AB} 与 \overrightarrow{CD} 的夹角等于向量 \overrightarrow{AB} 与 \overrightarrow{DC} 的夹角. ()

(2) 若向量 \overrightarrow{AB} 与 \overrightarrow{CD} 的夹角为 α , 则直线 AB 与 CD 所成的角也为 α . ()

2. 空间向量的数量积

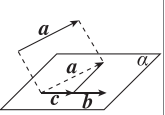
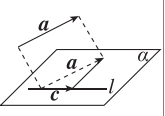
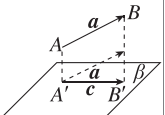
(1) 概念: 已知两个非零向量 a, b , 则 _____ 叫作 a, b 的数量积, 记作 $a \cdot b$, 即 $a \cdot b =$ _____.

特别地, 零向量与任意向量的数量积为 0.

(2) 空间向量数量积的性质与运算律

性质	运算律
$a \perp b \Leftrightarrow a \cdot b =$ _____	$(\lambda a) \cdot b =$ _____, $\lambda \in \mathbf{R}$
$a^2 = a \cdot a = a a \cdot \cos \langle a, a \rangle =$ _____	$a \cdot b =$ _____ (交换律)
$\cos \langle a, b \rangle =$ _____	$(a + b) \cdot c =$ _____ (分配律)

3. 投影向量的概念

	作法	图形表示	符号表示
向量 a 在向量 b 上的投影向量	将向量 a, b (直线 l) 平移到同一个平面 α 内, 利用平面上向量的投影, 得到与向量 b (直线 l 的方向向量) 共线的向量 c		$c =$ _____
向量 a 在直线 l 上的投影向量	同上		_____
向量 a 在平面 β 上的投影向量	分别由向量 a 的起点 A 和终点 B 作平面 β 的垂线, 垂足分别为 A', B' , 得到向量 $\overrightarrow{A'B'}$		$\overrightarrow{A'B'}$

注: 向量 $a, \overrightarrow{A'B'}$ 的夹角就是向量 a 所在直线与平面 β 所成的角.

【诊断分析】判断正误.(请在括号中打“√”或“×”)

(1) 对于向量 a, b , 若 $a \cdot b = 0$, 则一定有 $a = \mathbf{0}$ 或 $b = \mathbf{0}$. ()

(2) 对于非零向量 b , 由 $a \cdot b = b \cdot c$, 可得 $a = c$. ()

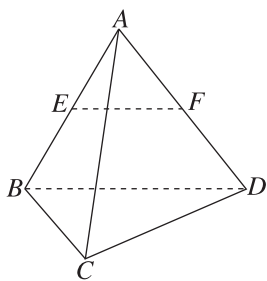
(3) 若 $a \cdot b < 0$, 则 $\langle a, b \rangle$ 是钝角. ()

(4) 已知 e_1, e_2 是夹角为 120° 的两个单位向量, 则向量 e_1 在向量 e_2 上的投影向量为 $-\frac{1}{2}e_2$. ()

典例解析

例 1 如图所示,在棱长为 1 的正四面体 $A-BCD$ 中, E,F 分别是 AB,AD 的中点,求:

- (1) $\overrightarrow{EF} \cdot \overrightarrow{BA}$;
- (2) $\overrightarrow{EF} \cdot \overrightarrow{BD}$;
- (3) $\overrightarrow{EF} \cdot \overrightarrow{DC}$;
- (4) $\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{CD}$.



[素养小结]

(1)空间向量数量积运算的两种方法:

- ① 已知 a, b 的模及 a 与 b 的夹角,直接代入数量积公式计算.
- ② 如果要求的是关于 a 与 b 的多项式形式的数量积,可以先利用数量积的运算律将多项式展开,再利用 $a \cdot a = |a|^2$ 及数量积公式进行计算.

(2)在几何体中求空间向量数量积的步骤:

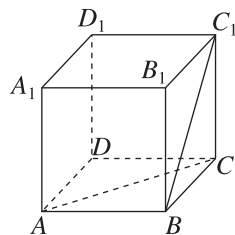
- ① 首先将各向量分解成已知模和夹角的向量的组合形式.
- ② 利用向量的运算律将数量积展开,转化为已知模和夹角的向量的数量积.
- ③ 代入 $a \cdot b = |a||b|\cos\langle a, b \rangle$ 求解.

◆ 要点二 向量的数量积在几何中的应用

典例解析

例 2 如图所示,在正方体 $ABCD-A_1B_1C_1D_1$ 中,求:

- (1) $\overrightarrow{BC_1}$ 与 \overrightarrow{CA} 的夹角;
- (2) 异面直线 BC_1 与 CA 所成角的大小.



变式 (1) [2026·陕西渭南期中] 已知 a, e 都是

空间向量, $|a|=2, e$ 为单位向量, $\langle a, e \rangle = \frac{2\pi}{3}$, 则

向量 a 在向量 e 上的投影向量为 ()

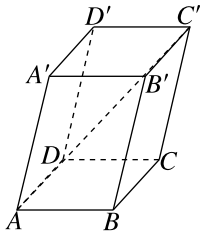
- | | |
|--------------------|-------------------|
| A. e | B. $-e$ |
| C. $-\frac{1}{2}e$ | D. $\frac{1}{2}e$ |

(2) 正四面体 $P-ABC$ 的棱长为 2, 点 D 是 $\triangle PAB$ 的重心, 则 $\overrightarrow{PD} \cdot \overrightarrow{BC} =$ _____.

变式 1 [教材 P7 例 2] 如图, 在平行六面体 $ABCD-A'B'C'D'$ 中, $AB=5, AD=3, AA'=7, \angle BAD=60^\circ, \angle BAA'=\angle DAA'=45^\circ$. 求:

(1) $\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AD}$;

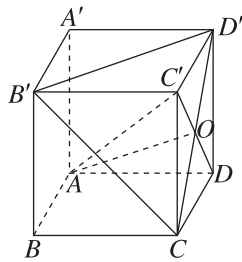
(2) AC' 的长(精确到 0.1).



变式 2 如图, 在正方体 $ABCD-A'B'C'D'$ 中, CD' 与 DC' 相交于点 O , 求证:

(1) $AO \perp CD'$;

(2) $AC' \perp$ 平面 $B'CD'$.



[素养小结]

(1) 求两个空间向量的夹角的两种常用方法:

① 结合图形, 平移向量, 利用空间向量夹角的定义来求, 但要注意向量夹角的取值范围.

② 先求 $a \cdot b, |a|, |b|$, 再利用公式 $\cos \langle a, b \rangle =$

$$\frac{a \cdot b}{|a||b|} \text{ 求 } \cos \langle a, b \rangle, \text{ 最后确定 } \langle a, b \rangle.$$

(2) 求两点间的距离或线段长度的一般步骤:

① 将两点间的线段用向量表示;

② 用其他已知夹角和模的向量表示该向量;

③ 利用 $|a| = \sqrt{a^2}$, 计算出 $|a|$, 即得所求距离或长度.

(3) 证明线线垂直, 线面垂直的思路:

① 证明线线垂直的关键是确定直线的方向向量, 根据两直线的方向向量的数量积为 0, 证明线线垂直;

② 证明直线与平面垂直则要利用直线与平面垂直的判定定理, 转化为证明直线与直线垂直.



1.2 空间向量基本定理

【学习目标】

1. 在平面向量基本定理的基础上,能借助投影进行向量分解,掌握空间向量基本定理.
2. 知道基底、单位正交基底,并能在选定基底下进行向量的表示及运算.

课堂明新知

知识导学 典例探究

◆ 要点一 空间向量基本定理

1. 空间向量基本定理

如果三个向量 a, b, c _____, 那么对任意一个空间向量 p , 存在 _____ 的有序实数组 (x, y, z) , 使得 _____.

我们把 $\{a, b, c\}$ 叫作空间的一个 _____, a, b, c 都叫作 _____. 空间任意三个 _____ 的向量都可以构成空间的一个基底.

2. 单位正交基底

如果空间的一个基底中的三个基向量 _____, 且长度都为 _____, 那么这个基底叫作单位正交基底, 常用 _____ 表示. 把一个空间向量分解为三个 _____ 的向量, 叫作把空间向量进行正交分解.

【诊断分析】 判断正误.(请在括号中打“√”或“×”)

- (1) 空间中的任何一个向量都可以用三个给定的向量表示. ()
- (2) 若 $\{a, b, c\}$ 为空间的一个基底, 则 a, b, c 都不是零向量. ()
- (3) 若向量 a, b 与任何向量都不能构成空间的一个基底, 则 a 与 b 不一定共线. ()
- (4) 任何三个不共线的向量都可构成空间的一个基底. ()

D 典例解析

例 1 已知 $\{e_1, e_2, e_3\}$ 是空间的一个基底, 且 $\overrightarrow{OA} = e_1 + 2e_2 - e_3, \overrightarrow{OB} = -3e_1 + e_2 + 2e_3, \overrightarrow{OC} = e_1 + e_2 - e_3$, 试判断 $\overrightarrow{OA}, \overrightarrow{OB}, \overrightarrow{OC}$ 能否构成空间的一个基底.

变式 (1)(多选题) 设 $\{a, b, c\}$ 是空间的一个基底, 若 $x = a + b, y = b + c, z = c + a$, 则下列向量可以构成空间的一个基底的是 ()

- A. a, b, x B. x, y, z
C. b, c, z D. $x, y, a + b + c$

(2) 已知 M, A, B, C 为空间的四个点, 且任意三点不共线, O 为空间中一点, 下列可能使 $\overrightarrow{MA}, \overrightarrow{MB}, \overrightarrow{MC}$ 构成空间的一个基底的关系式是 ()

- A. $\overrightarrow{OM} = \frac{1}{3}\overrightarrow{OA} + \frac{1}{3}\overrightarrow{OB} + \frac{1}{3}\overrightarrow{OC}$
B. $\overrightarrow{MA} = \overrightarrow{MB} + \overrightarrow{MC}$
C. $\overrightarrow{OM} = \overrightarrow{OA} + \overrightarrow{OB} + \overrightarrow{OC}$
D. $\overrightarrow{MA} = 3\overrightarrow{MB} - \overrightarrow{MC}$

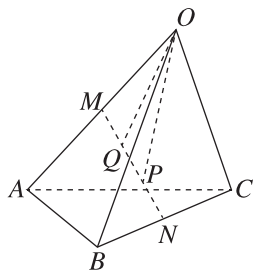
◆ 要点二 用基底表示空间向量

D 典例解析

例 2 如图所示,在四面体 $O-ABC$ 中, M,N 分别是 OA,BC 的中点, P,Q 是 MN 的两个三等分点(点 P 靠近点 N ,点 Q 靠近点 M).

(1)用基底 $\{\vec{OA}, \vec{OB}, \vec{OC}\}$ 表示向量 \vec{OP} ;

(2)若 $\vec{OQ} = x\vec{OA} + y\vec{OB} + z\vec{OC}$,求实数 x, y, z 的值.

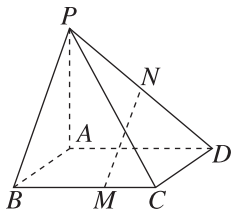


变式 (1) [2025·贵阳高二期末] 已知 $\{a, b, c\}$ 是空间的一个基底,若向量 $p = 4a + 2b + 3c$,且向量 $i = a + b, j = a - b, k = c$,则用基底 $\{i, j, k\}$ 表示向量 p 为 ()

- A. $p = 3i + j + 3k$ B. $p = 3i + 3j + k$
C. $p = i + 3j + 3k$ D. $p = i + j + 3k$

(2) 如图所示,已知四棱锥 $P-ABCD$ 的底面 $ABCD$ 为平行四边形, M,N 分别为棱 BC,PD 上的点, $CM = \frac{1}{2}BM$, N 是 PD 的中点,若向量 $\vec{MN} = -\vec{AB} + x\vec{AD} + y\vec{AP}$,则 ()

- A. $x = \frac{1}{3}, y = -\frac{1}{2}$
B. $x = -\frac{1}{6}, y = \frac{1}{2}$
C. $x = -\frac{1}{3}, y = \frac{1}{2}$
D. $x = \frac{1}{6}, y = -\frac{1}{2}$



[素养小结]

用基底表示向量的步骤:

(1)定基底:根据已知条件,确定三个不共面的向量构成空间的一个基底.

(2)找目标:用确定的基底(或已知基底)表示目标向量,需要根据三角形法则及平行四边形法则,结合相等向量的代换、向量的运算进行变形、化简,最后求出结果.

(3)下结论:利用空间的一个基底 $\{a, b, c\}$ 可以表示出空间所有向量.表示要彻底,结果中只能含有 a, b, c ,不能含有其他向量.

◆ 要点三 空间向量基本定理的应用

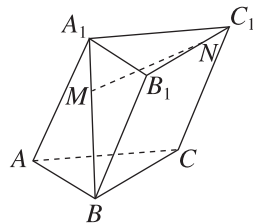
D 典例解析

角度 1 垂直、平行关系的证明

例 3 如图所示,在三棱柱 $ABC-A_1B_1C_1$ 中, M,N 分别是 A_1B, B_1C_1 上的点,且 $BM = 2MA_1, B_1N = 2NC_1$.用空间向量解决如下问题:

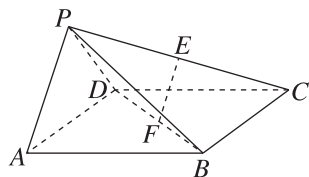
(1)若 $\angle BAA_1 = \angle CAA_1, AB = AC$,证明: $BC \perp AA_1$;

(2)证明: $MN \parallel$ 平面 ACC_1A_1 .



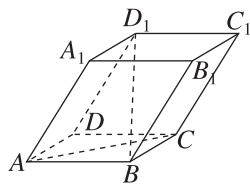
变式 如图,在四棱锥 $P-ABCD$ 中,底面 $ABCD$ 是正方形,侧面 $PAD \perp$ 底面 $ABCD$,且 $PA = PD = \frac{\sqrt{2}}{2}AD$, E, F 分别为 PC, BD 的中点.用向量方法证明:

- (1) $EF \parallel$ 平面 PAD ;
- (2) $EF \perp$ 平面 PCD .



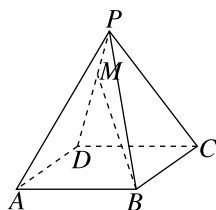
角度 2 求两直线的夹角

例 4 [2026·安徽合肥期中节选] 如图,在平行六面体 $ABCD-A_1B_1C_1D_1$ 中,以顶点 A 为端点的三条棱的长度都为 1,且两两夹角为 60° ,求 BD_1 与 AC 所成角的余弦值.



变式 [2026·浙江杭州期中] 如图,在四棱锥 $P-ABCD$ 中,底面 $ABCD$ 是边长为 1 的正方形,侧棱 AP 的长为 2,且 \vec{AP} 与 \vec{AB}, \vec{AD} 的夹角都为 60° , M 在棱 PD 上, $\vec{PM} = \frac{1}{3}\vec{PD}$, 设 $\vec{AB} = \mathbf{a}$, $\vec{AD} = \mathbf{b}, \vec{AP} = \mathbf{c}$.

- (1) 试用 $\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c}$ 表示向量 \vec{BM} ;
- (2) 求异面直线 BM 与 AP 所成的角.



[素养小结]

用空间向量基本定理解决立体几何问题的步骤:首先根据已知条件,确定三个不共面的向量构成空间的一个基底,如果存在三个两两垂直的空间向量,那么可以确定一个单位正交基底;然后根据三角形法则及平行四边形法则,结合相等向量的代换、向量的运算用确定的基底(或已知基底)表示目标向量;最后把空间向量的运算转化为基向量的运算.涉及异面直线所成的角时,可用已知向量代入公式 $\cos \theta = \left| \frac{\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}}{|\mathbf{a}| |\mathbf{b}|} \right|$ 求解,其中 \mathbf{a}, \mathbf{b} 用基向量表示.

1.3 空间向量及其运算的坐标表示

1.3.1 空间直角坐标系

【学习目标】

1. 在空间向量基本定理的基础上,了解空间直角坐标系.
2. 结合简单几何体,能写出有关点和向量的坐标.

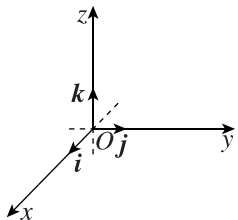
课堂明新知

知识导学 典例探究

◆ 要点一 空间直角坐标系

1. 空间直角坐标系

定义:如图,在空间选定一点 O 和一个单位正交基底 $\{i, j, k\}$. 以点 O 为原点,分别以 i, j, k 的方向为正方向、以它们的长为单位长度建立三条数轴: x 轴、 y 轴、 z 轴,它们都叫作_____. 这时我们就建立了一个空间直角坐标系 $Oxyz$, O 叫作_____, i, j, k 都叫作_____, 通过每两条坐标轴的平面叫作_____, 分别称为 Oxy 平面, Oyz 平面, Ozx 平面.



2. 空间直角坐标系的画法

(1)空间直角坐标系的画法:画空间直角坐标系 $Oxyz$ 时,一般使 $\angle xOy =$ _____, $\angle yOz =$ _____.

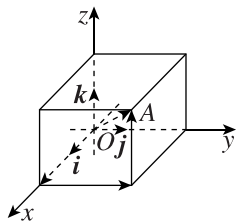
(2)右手直角坐标系:在空间直角坐标系中,让右手拇指指向 x 轴的正方向,食指指向 y 轴的正方向,如果中指指向_____,则称这个坐标系为右手直角坐标系.

◆ 要点二 空间向量的坐标

1. 空间中点的坐标

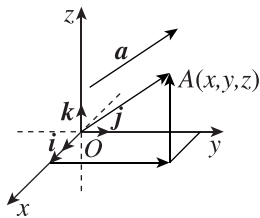
如图,由空间向量基本定理,存在唯一的有序实数组 (x, y, z) , 使 $\vec{OA} =$ _____ . 在单位正交

基底 $\{i, j, k\}$ 下与向量 \vec{OA} 对应的有序实数组 (x, y, z) , 叫作点 A 在空间直角坐标系中的坐标, 记作_____, 其中 x 叫作点 A 的横坐标, y 叫作点 A 的纵坐标, z 叫作点 A 的竖坐标.



2. 空间中向量的坐标

如图,在空间直角坐标系 $Oxyz$ 中,给定向量 a , 作 $\vec{OA} = a$. 由空间向量基本定理,存在唯一的有序实数组 (x, y, z) , 使 $a = xi + yj + zk$. 有序实数组_____叫作 a 在空间直角坐标系 $Oxyz$ 中的坐标, 可简记作_____.



【诊断分析】判断正误.(请在括号中打“√”或“×”)

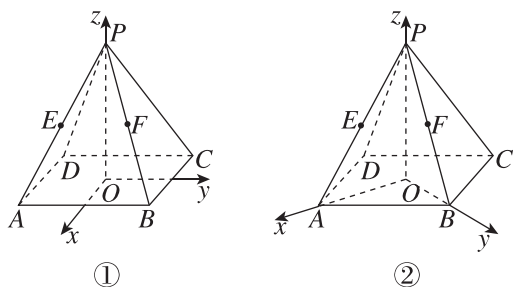
- (1)实数组 (x, y, z) 既可以表示向量,也可以表示点. ()
- (2)点 $(2, 0, 3)$ 在空间直角坐标系中的 y 轴上. ()
- (3)点 $(0, 0, 3)$ 在空间直角坐标系中的 Oxy 平面上. ()
- (4)已知 i, j, k 分别是空间直角坐标系 $Oxyz$ 中 x 轴、 y 轴、 z 轴的正方向上的单位向量,且 $\vec{AB} = -i + j - k$, 则点 B 的坐标一定是 $(-1, 1, -1)$. ()

D 典例解析

例 1 已知在正四棱锥 $P-ABCD$ 中, O 为底面中心, 底面边长和高都是 2, E, F 分别是侧棱 PA, PB 的中点.

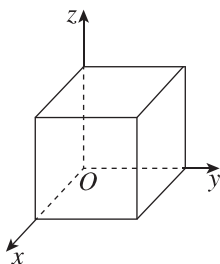
(1) 如图①, 以 O 为坐标原点, 分别以 $\overrightarrow{DA}, \overrightarrow{DC}, \overrightarrow{OP}$ 的方向为 x 轴、 y 轴、 z 轴的正方向, 建立空间直角坐标系, 写出点 A, B, C, D, P, E, F 的坐标;

(2) 如图②, 以 O 为坐标原点, 分别以 $\overrightarrow{OA}, \overrightarrow{OB}, \overrightarrow{OP}$ 的方向为 x 轴、 y 轴、 z 轴的正方向, 建立空间直角坐标系, 写出点 A, B, C, D, P, E, F 的坐标.

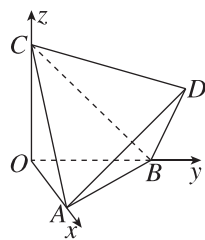


变式 (1) (多选题) 在棱长为 1 的正方体中, 建立如图所示的空间直角坐标系, 则下列各点在正方体内或正方体表面上的是 ()

- A. $(1, 0, 1)$
- B. $(\frac{2}{5}, -\frac{1}{5}, \frac{1}{5})$
- C. $(\frac{1}{5}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$
- D. $(1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3})$



(2) 如图, 棱长为 $\sqrt{2}$ 的正四面体 $A-BCD$ 的三个顶点 A, B, C 分别在空间直角坐标系的 x, y, z 轴的正半轴上, 则顶点 D 的坐标为 _____.



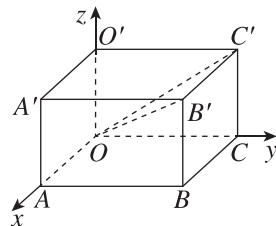
[素养小结]

(1) 建立空间直角坐标系时应遵循的两个原则: ①让尽可能多的点落在坐标轴上或坐标平面内; ②充分利用几何图形的对称性.

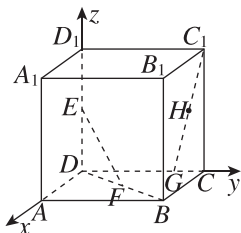
(2) 求某点 M 的坐标的方法: 作 MM' 垂直于平面 Oxy , 垂足为 M' , 求 M' 的横坐标 x , 纵坐标 y , 即点 M 的横坐标 x , 纵坐标 y , 再求点 M 在 z 轴上射影的竖坐标 z , 即为点 M 的竖坐标 z , 于是得到点 M 的坐标 (x, y, z) .

例 2 如图, 在空间直角坐标系 $Oxyz$ 中有一长方体 $OABC-O'A'B'C'$, 且 $OA=6, OC=8, OO'=5$.

- (1) 写出点 B' 的坐标, 并将 $\overrightarrow{OB'}$ 用单位正交基底 $\{i, j, k\}$ 表示;
- (2) 求 $\overrightarrow{OC'}$ 的坐标.



变式 如图,在棱长为 1 的正方体 $ABCD-A_1B_1C_1D_1$ 中, E, F 分别是 D_1D, BD 的中点, G 在棱 CD 上,且 $CG = \frac{1}{4}CD$, H 为 C_1G 的中点.以 $\{\vec{DA}, \vec{DC}, \vec{DD}_1\}$ 为单位正交基底,建立如图所示的空间直角坐标系 $Dxyz$,写出 \vec{EF} 和 \vec{GH} 的坐标.



◆ 要点三 空间中点的对称问题

D 典例解析

例 3 在空间直角坐标系中,点 $P(-2, 1, 4)$.

- (1) 求点 P 关于 x 轴的对称点 P_1 的坐标;
- (2) 求点 P 关于 Oxy 平面的对称点 P_2 的坐标;
- (3) 求点 P 关于点 $M(2, -1, -4)$ 的对称点 P_3 的坐标.

变式 (多选题) 下列关于空间直角坐标系 $Oxyz$ 中的一点 $P(1, 2, 3)$ 的说法正确的是 ()

- A. 线段 OP 的中点坐标为 $(\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2})$
- B. 点 P 关于 x 轴对称的点的坐标为 $(-1, -2, -3)$
- C. 点 P 关于原点对称的点的坐标为 $(1, 2, -3)$
- D. 点 P 关于 Oxy 平面对称的点的坐标为 $(1, 2, -3)$

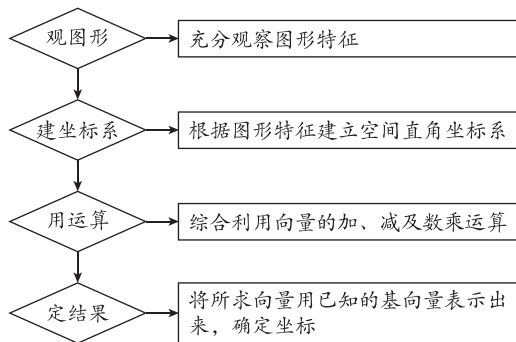
[素养小结]

在空间直角坐标系中,点 $P(x, y, z)$ 关于坐标轴和坐标平面的对称点的坐标特点如下:

- (1) 关于原点的对称点的坐标为 $(-x, -y, -z)$;
- (2) 关于横轴(x 轴)的对称点的坐标为 $(x, -y, -z)$;
- (3) 关于纵轴(y 轴)的对称点的坐标为 $(-x, y, -z)$;
- (4) 关于竖轴(z 轴)的对称点的坐标为 $(-x, -y, z)$;
- (5) 关于 Oxy 平面的对称点的坐标为 $(x, y, -z)$;
- (6) 关于 Oyz 平面的对称点的坐标为 $(-x, y, z)$;
- (7) 关于 Ozx 平面的对称点的坐标为 $(x, -y, z)$.

[素养小结]

用坐标表示空间向量的步骤:



1.3.2 空间向量运算的坐标表示

【学习目标】

1. 类比平面向量,掌握空间向量的线性运算及其坐标表示.
2. 基于运算,能探究空间向量模的坐标公式、空间两点间的距离公式.
3. 类比平面向量,知道空间向量平行、垂直、夹角的坐标表示.

课堂明新知

知识导学 典例探究

◆ 要点一 空间向量运算的坐标表示

若 $a = (a_1, a_2, a_3), b = (b_1, b_2, b_3)$, 则

加法	$a + b =$ _____
减法	$a - b =$ _____
数乘	$\lambda a =$ _____, $\lambda \in \mathbf{R}$
数量积	$a \cdot b =$ _____
向量长度	$ a =$ _____ = _____
向量夹角公式	$\cos \langle a, b \rangle =$ _____ = _____
空间两点间的距离公式	<p>设 $P_1(x_1, y_1, z_1), P_2(x_2, y_2, z_2)$ 是空间中任意两点, O 为坐标原点, 则</p> <p>$\overrightarrow{P_1P_2} = \overrightarrow{OP_2} - \overrightarrow{OP_1} =$ _____,</p> <p>$P_1P_2 =$ _____ = _____</p>

【诊断分析】 判断正误.(请在括号中打“√”或“×”)

(1) 已知向量 $a = (1, -1, -2), b = (-4, 2, 0)$, 则 $a + b = (-3, 1, -2)$. ()

(2) 已知向量 $a = (3, 5, 1), b = (2, 2, 3), c = (4, -1, -3)$, 则向量 $2a - 3b + 4c$ 的坐标为 $(16, 0, -19)$. ()

D 典例解析

例 1 已知 $a = (2, -1, -2), b = (0, -1, 4)$, 求 $a + b, a - b, a \cdot b, 2a \cdot (-b), (a + b) \cdot (a - b)$.

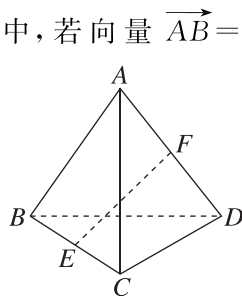
变式 (1) (多选题) 已知向量 $a = (1, 2, 2), b = (6, -3, 2)$, 则下列结论正确的是 ()

- A. $a + b = (7, -1, 4)$
- B. $a - b = (-5, -1, 0)$
- C. $a \cdot b = 4$
- D. $|a| = \sqrt{5}$

(2) 如图, 在四面体 $A-BCD$ 中, 若向量 $\overrightarrow{AB} = (-3, 5, 2), \overrightarrow{CD} = (-7, -1,$

$-4)$, E, F 分别为 BC, AD 的中点, 则 \overrightarrow{EF} 的坐标为 ()

- A. $(2, 3, 3)$
- B. $(-2, -3, -3)$
- C. $(5, -2, 1)$
- D. $(-5, 2, -1)$



◆ 要点二 空间向量平行、垂直的坐标表示及应用

示及应用

已知 $\mathbf{a} \neq \mathbf{0}, \mathbf{b} \neq \mathbf{0}, \mathbf{a} = (a_1, a_2, a_3), \mathbf{b} = (b_1, b_2, b_3)$.

(1) 平行关系: $\mathbf{a} // \mathbf{b} \Leftrightarrow \underline{\hspace{2cm}} \Leftrightarrow \underline{\hspace{2cm}}$
($\lambda \in \mathbf{R}$);

(2) 垂直关系: $\mathbf{a} \perp \mathbf{b} \Leftrightarrow \underline{\hspace{2cm}} \Leftrightarrow \underline{\hspace{2cm}}$.

【诊断分析】 判断正误.(请在括号中打“√”或“×”)

(1) 设 $\mathbf{a} = (x_1, y_1, z_1), \mathbf{b} = (x_2, y_2, z_2)$ 且 $\mathbf{b} \neq \mathbf{0}$, 若

$\mathbf{a} // \mathbf{b}$, 则 $\frac{x_1}{x_2} = \frac{y_1}{y_2} = \frac{z_1}{z_2}$. ()

(2) 已知非零向量 $\mathbf{a} = (x_1, y_1, z_1), \mathbf{b} = (x_2, y_2, z_2)$, 若 $\mathbf{a} \perp \mathbf{b}$, 则 $x_1x_2 + y_1y_2 + z_1z_2 = 0$. ()

典例解析

例 2 已知空间三点 $A(-2, 0, 2), B(-1, 1, 2), C(-3, 0, 4)$. 设 $\mathbf{a} = \overrightarrow{AB}, \mathbf{b} = \overrightarrow{AC}$.

(1) 若 $|\mathbf{c}| = 3, \mathbf{c} // \overrightarrow{BC}$, 求 \mathbf{c} ;

(2) 若 $k\mathbf{a} + \mathbf{b}$ 与 $k\mathbf{a} - 2\mathbf{b}$ 互相垂直, 求 k .

变式 (1) 设 $x, y \in \mathbf{R}$, 向量 $\mathbf{a} = (x, 1, 0), \mathbf{b} = (2, y, 2), \mathbf{c} = (1, -2, 1)$, 且 $\mathbf{a} \perp \mathbf{b}, \mathbf{b} // \mathbf{c}$, 则 $|\mathbf{a} + \mathbf{b}| =$

()

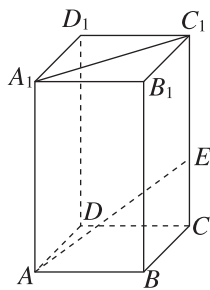
A. $\sqrt{14}$

B. $\sqrt{10}$

C. $\sqrt{29}$

D. $2\sqrt{7}$

(2) 如图, 在长方体 $ABCD - A_1B_1C_1D_1$ 中, $AB = BC$, E 是侧棱 CC_1 上的任意一点, 在线段 A_1C_1 上是否存在一个定点 P , 使得 D_1P 总垂直于 AE ? 请说明理由.



[素养小结]

利用空间向量证明垂直、平行的一般步骤:

(1) 建立空间直角坐标系, 建系时要尽可能地利用条件中的垂直关系.

(2) 建立空间图形与空间向量之间的关系, 用空间向量表示出问题中所涉及的点、直线、平面的要素.

(3) 通过空间向量的运算求出直线的方向向量, 再研究平行、垂直关系.

(4) 根据运算结果解释相关问题.