

Всероссийская школа математики и физики  
«Авангард»

---

Е. Н. ФИЛАТОВ

# ФИЗИКА

# 9

---

---

Экспериментальный учебник

Часть 1

*Кинематика*

МОСКВА – ВШМФ «АВАНГАРД» –2001

## СОДЕРЖАНИЕ

Методические рекомендации	4
1. Равномерное движение по дороге	9
2. Равноускоренное и равнозамедленное движение	53
3. Свободное падение тел	79
4. Элементы векторной алгебры	87
5. Перемещение. Средняя скорость перемещения. Уравнение равномерного прямолинейного движения	110
6. Векторное сложение скоростей	135
7. Мгновенная скорость перемещения. Среднее ускорение. Равнопеременное движение	149
8. Равномерное движение по окружности	169
Подсказки	187
Ответы	193



## Закон сложения скоростей в векторной форме

Рассмотрим такую задачу. По реке плывет плот, а по плоту идет человек, причем необязательно *по* или *против* направления течения реки, а как-то под углом (рис. 6.1). Движения плота и человека равномерные. Спрашивается: как, зная скорость человека относительно плота и скорость плота относительно берега, определить скорость человека относительно берега?

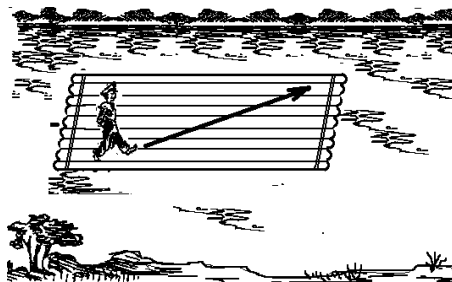


Рис. 6.1

Как Вы уже знаете, *покой* и *движение* – понятия относительные. Мы могли бы, например, считать неподвижным берег, тогда плот будет двигаться относительно берега. А можно, наоборот, считать неподвижным плот, тогда берег будет двигаться относительно плота, ведь движение – это *изменение положения* тела относительно других тел.

Договоримся в данной задаче считать неподвижным берег. Пусть система координат  $XOY$  связана с берегом, точнее – с каким-либо деревом, растущим на берегу. Эту систему координат будем далее называть *неподвижной*, а скорость в этой системе координат – *абсолютной*. Абсолютную скорость здесь и далее в этом параграфе будем обозначать буквой  $\vec{v}$ .

Пусть система координат  $X'O'Y'$  связана с плотом. Эту систему координат будем называть *подвижной*. Она движется по течению реки вместе с плотом, скорость которого равна скорости течения реки (рис. 6.2).

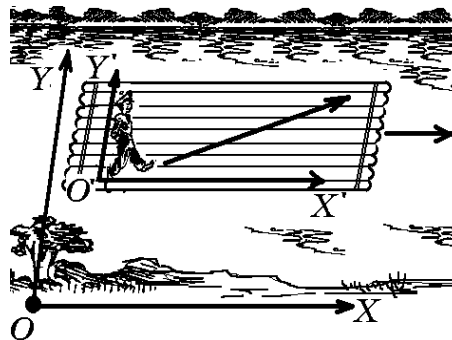


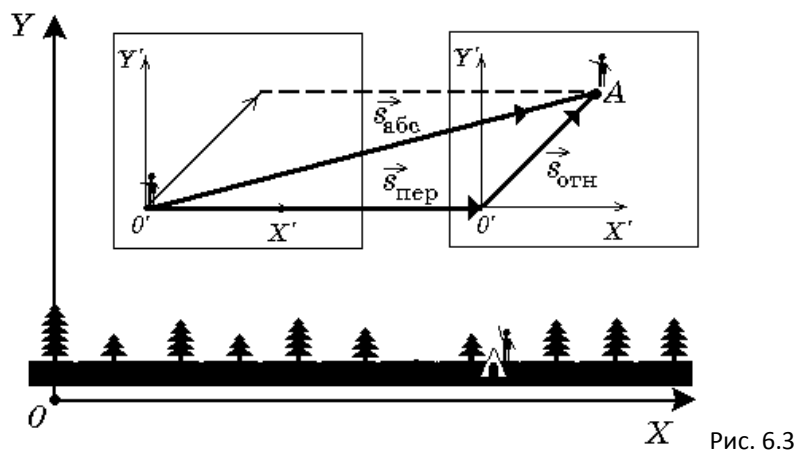
Рис. 6.2

Договоримся скорость подвижной системы координат относительно неподвижной называть *переносной* скоростью и обозначать буквой  $\vec{u}$ .

Скорость человека относительно плота, то есть относительно подвижной системы координат  $X'O'Y'$ , будем называть *относительной* скоростью и обозначать буквой  $\vec{v}'$ .

Таким образом, наша задача сводится к следующей: по данной переносной скорости  $\vec{u}$  и относительной скорости  $\vec{v}'$  требуется найти абсолютную скорость  $\vec{v}$ .

Пусть в начальный момент человек находился в начале координат системы  $X'O'Y'$  – точке  $O'$  и за время  $\Delta t$  со скоростью  $\vec{v}'$  относительно плота переместился из точки  $O'$  в точку  $A$  (рис. 6.3).



Тогда *перемещение* человека относительно плота (назовем его относительным перемещением) – это вектор:

$$\vec{s}_{\text{отн}} = \overline{O'A} = \vec{v}'\Delta t. \quad (1)$$

За это же время  $\Delta t$  плот вместе с системой координат  $X'O'Y'$ , двигаясь со скоростью  $\vec{u}$  относительно берега, совершил перемещение (назовем его переносным перемещением), равное:

$$\vec{s}_{\text{пер}} = \vec{u}\Delta t. \quad (2)$$

Как видно из рис. 6.3, перемещение человека в неподвижной системе координат  $XOY$  (назовем его абсолютным перемещением) равно:

$$\vec{s}_{\text{абс}} = \vec{s}_{\text{отн}} + \vec{s}_{\text{пер}}. \quad (3)$$

Если скорость человека в неподвижной системе координат  $XOY$ , то есть его абсолютная скорость, равна  $\vec{v}$ , то

$$\vec{s}_{\text{абс}} = \vec{v}\Delta t. \quad (4)$$

Подставляя значения  $\vec{s}_{\text{отн}}$  из (1),  $\vec{s}_{\text{пер}}$  из (2) и  $\vec{s}_{\text{абс}}$  из (4) в равенство (3), получим:

$$\vec{v}\Delta t = \vec{v}'\Delta t + \vec{u}\Delta t. \quad (5)$$

Разделив обе части равенства (5) на  $\Delta t$ , получим:

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{u}. \quad (6.1)$$

Формула (6.1) является ответом на нашу задачу и называется *законом сложения скоростей в векторной форме* (рис. 6.4).

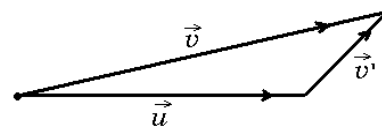


Рис. 6.4

**Задача 6.1.** Лодка переплывает реку, держа курс перпендикулярно к берегу. Скорость лодки относительно воды  $v' = 2,0$  м/с. Скорость течения реки  $u = 1,5$  м/с. Определите скорость лодки относительно берега.

$v' = 2,0$  м/с  
 $u = 1,5$  м/с  
 $v = ?$

**Решение.** Если лодка держит курс перпендикулярно берегу, это значит, что прямая, проведенная от носа лодки к корме, будет перпендикулярна линии берега. То есть скорость лодки относительно воды  $v'$  перпендикулярна скорости течения  $u$  (рис. 6.5).

Ясно, что при этом лодку будет сносить вниз по течению, а ее абсолютная скорость относительно берега будет определяться формулой (6.1):

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{u}.$$

Модуль вектора скорости  $\vec{v}$  легко найти из прямоугольного треугольника  $ABC$ , образованного векторами скоростей  $\vec{u}$ ,  $\vec{v}'$  и  $\vec{v}$  (см. рис. 6.5).

В этом треугольнике  $AB = |\vec{v}| = v$ ,  $BC = |\vec{v}'| = v'$ ;  $AC = |\vec{u}| = u$ . По теореме Пифагора:

$$AB^2 = BC^2 + AC^2 \Rightarrow$$

$$v^T = v'^T + u^T. \quad (6.2)$$

Отсюда:

$$v = \sqrt{v'^T + u^T}. \quad (6.3)$$

Подставим численные значения:

$$v = \sqrt{v'^T + u^T} = \sqrt{(1,5 \text{ м/с})^T + (1,5 \text{ м/с})^T} = 2,5 \text{ м/с}.$$

Ответ:  $v = \sqrt{v'^T + u^T} = 2,5 \text{ м/с}$ .

**Задача 6.2.** Лодка начинает двигаться от берега перпендикулярно течению реки со скоростью  $v' = 4,0 \text{ км/ч}$  относительно воды и через время  $\tau = 0,20 \text{ ч}$  достигает противоположного берега. Определите ширину реки  $H$  и расстояние  $L$ , на которое лодку снесет вдоль берега, если скорость течения реки  $u = 2,0 \text{ км/ч}$ .

$v' = 4,0 \text{ км/ч}$   
 $u = 2,0 \text{ км/ч}$   
 $\tau = 0,20 \text{ ч}$

$H = ?$   $L = ?$

**Решение.** Возьмем систему координат  $XOY$  так, чтобы начало координат – точка  $O$  – совпадала с начальным положением лодки, ось  $OX$  была направлена вдоль берега, а ось  $OY$  – перпендикулярно берегу (рис. 6.6). Тогда абсолютная скорость лодки относительно берега согласно (6.1) равна:

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{u}.$$

Из рис. 6.6 видно, что проекция вектора скорости  $\vec{v}$  на ось  $OX$  равна  $u$ , то есть  $v_x = u$ . А проекция вектора скорости  $\vec{v}$  на ось  $OY$  равна  $v'$ :  $v_y = v'$ . Уравнения движения  $x = x(t)$  и  $y = y(t)$  в данном случае согласно формулам (5.9) будут иметь вид:

$$x(t) = x_0 + v_x(t - t_0) = 0 + u(t - 0) = ut,$$

$$y(t) = y_0 + v_y(t - t_0) = 0 + v'(t - 0) = v't.$$

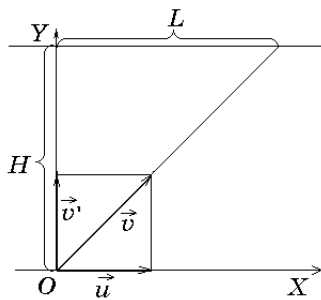


Рис. 6.6

В момент времени  $\tau$ , то есть в тот момент, когда лодка достигла противоположного берега, координата  $y$  равна  $H$ , а координата  $x$  равна  $L$ :

$$x(\tau) = L = u\tau, \quad (6.4)$$

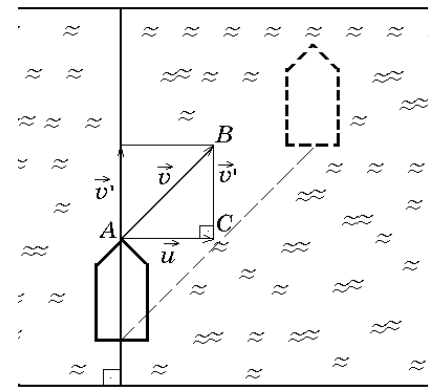
$$y(\tau) = H = v'\tau. \quad (6.5)$$

Подставим численные значения:

$$L = u\tau = 2,0 \text{ км/ч} \cdot 0,20 \text{ ч} = 0,40 \text{ км};$$

$$H = v'\tau = 4,0 \text{ км/ч} \cdot 0,20 \text{ ч} = 0,80 \text{ км}.$$

Ответ:  $L = u\tau = 0,40 \text{ км}$ ;  $H = v'\tau = 0,80 \text{ км}$ .



Р, с. 6.5

**Задача 6.3.** Лодка держит курс перпендикулярно берегу реки. Какой угол  $\alpha$  составляет вектор абсолютной скорости лодки с перпендикуляром, восстановленным к берегу реки, если: а)  $u = 1,2$  м/с;  $v' = 2,0$  м/с; б)  $u = 1,5$  м/с;  $v = 2,5$  м/с; в)  $v' = 2,0$  м/с;  $v = 3,5$  м/с (рис. 6.7). Линию берега здесь и далее мы считаем прямой, параллельной скорости течения.

- а)  $u = 1,2$  м/с;  $v' = 2,0$  м/с  
 б)  $u = 1,5$  м/с;  $v = 2,5$  м/с  
 в)  $v' = 2,0$  м/с;  $v = 3,5$  м/с

$\alpha = ?$

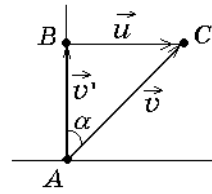


Рис. 6.7

**Решение.** Так как лодка держит курс перпендикулярно берегу реки, то ее относительная скорость  $\vec{v}'$  перпендикулярна берегу. Таким образом, задача сводится к тому, чтобы определить угол  $\alpha$  между векторами  $\vec{v}'$  и  $\vec{v}$  (см. рис. 6.7).

Из прямоугольного треугольника  $ABC$ , который образован векторами скоростей  $\vec{v}'$ ,  $\vec{u}$  и  $\vec{v}$  можно получить соотношения:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{BC}{AB} = \frac{u}{v'} \Rightarrow \alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{u}{v'}\right); \quad (6.6)$$

$$\sin \alpha = \frac{BC}{AC} = \frac{u}{v} \Rightarrow \alpha = \operatorname{arcsin}\left(\frac{u}{v}\right); \quad (6.7)$$

$$\cos \alpha = \frac{AB}{AC} = \frac{v'}{v} \Rightarrow \alpha = \operatorname{arccos}\left(\frac{v'}{v}\right). \quad (6.8)$$

Нам осталось только подставить численные значения в формулы (6.6), (6.7) и (6.8):

$$\text{а) } \alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{u}{v'}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{1,2 \text{ м/с}}{2,0 \text{ м/с}}\right) \approx 31^\circ;$$

$$\text{б) } \alpha = \operatorname{arcsin}\left(\frac{u}{v}\right) = \operatorname{arcsin}\left(\frac{1,5 \text{ м/с}}{2,5 \text{ м/с}}\right) \approx 37^\circ;$$

$$\text{в) } \alpha = \operatorname{arccos}\left(\frac{v'}{v}\right) = \operatorname{arccos}\left(\frac{2,0 \text{ м/с}}{3,5 \text{ м/с}}\right) \approx 55^\circ.$$

$$\text{Ответ: а) } \alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{u}{v'}\right) \approx 31^\circ; \quad \text{б) } \alpha = \operatorname{arcsin}\left(\frac{u}{v}\right) \approx 37^\circ;$$

$$\text{в) } \alpha = \operatorname{arccos}\left(\frac{v'}{v}\right) \approx 55^\circ.$$

Какой курс должна держать лодка,  
чтобы пересечь реку по кратчайшему пути?

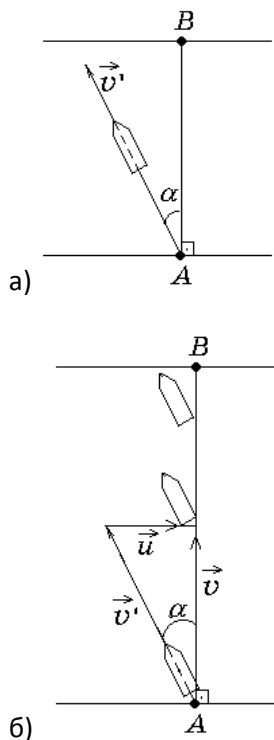


Рис. 6.8

**Задача 6.4.** Лодка, имея скорость относительно воды  $v' = 4,0$  км/ч переправляется через реку по кратчайшему пути. Скорость течения реки  $u = 2,5$  км/ч. Определите скорость лодки относительно берега.

$v' = 4,0$  км/ч  
 $u = 2,5$  км/ч  
 $v = ?$

**Решение.** Из рис. 6.8,б видно, что в данном случае в треугольнике скоростей  $v'$  – гипотенуза, а  $v$  и  $u$  – катеты. По теореме Пифагора

$$v'^T = u^T + v^T. \quad (6.9)$$

Отсюда  $v^T = v'^T - u^T \Rightarrow$

$$v = \sqrt{v'^T - u^T}. \quad (6.10)$$

Подставим численные значения:

$$v = \sqrt{v'^T - u^T} = \sqrt{(4,0 \text{ км/ч})^T - (2,5 \text{ км/ч})^T} \approx 3,1 \text{ км/ч}.$$

Ответ:  $v = \sqrt{v'^T - u^T} \approx 3,1$  км/ч.

**Задача 6.5.** Рыбак переправляется на лодке через реку по кратчайшему пути. Определите курс лодки, если известно: а)  $u = 1,2$  м/с,  $v' = 2,2$  м/с; б)  $u = 1,5$  м/с,  $v = 2,8$  м/с; в)  $v = 1,8$  м/с,  $v' = 2,2$  м/с.

- а)  $u = 1,2 \text{ м/с}$ ,  $v' = 2,2 \text{ м/с}$   
 б)  $u = 1,5 \text{ м/с}$ ,  $v = 2,8 \text{ м/с}$   
 в)  $v = 1,8 \text{ м/с}$ ,  $v' = 2,2 \text{ м/с}$

$$\alpha = ?$$

**Решение.** Из треугольника скоростей на рис. 6.8,б можно записать следующие соотношения:

$$\sin \alpha = \frac{u}{v'} \Rightarrow \alpha = \arcsin\left(\frac{u}{v'}\right); \quad (6.11)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{u}{v} \Rightarrow \alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{u}{v}\right); \quad (6.12)$$

$$\cos \alpha = \frac{v}{v'} \Rightarrow \alpha = \arccos\left(\frac{v}{v'}\right). \quad (6.13)$$

Подставим численные значения:

$$\text{а) } \alpha = \arcsin\left(\frac{u}{v'}\right) = \arcsin\left(\frac{1,2 \text{ м/с}}{2,2 \text{ м/с}}\right) \approx 33^\circ;$$

$$\text{б) } \alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{u}{v}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{1,5 \text{ м/с}}{2,8 \text{ м/с}}\right) \approx 28^\circ;$$

$$\text{в) } \alpha = \arccos\left(\frac{v}{v'}\right) = \arccos\left(\frac{1,8 \text{ м/с}}{2,2 \text{ м/с}}\right) \approx 35^\circ.$$

$$\text{Ответ: а) } \alpha = \arcsin\left(\frac{u}{v'}\right) \approx 33^\circ; \text{ б) } \alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{u}{v}\right) \approx 28^\circ;$$

$$\text{в) } \alpha = \arccos\left(\frac{v}{v'}\right) \approx 35^\circ.$$

**Задача 6.6.** Лодка переправляется на другой берег реки, ширина которой  $H = 700 \text{ м}$ , в первый раз так, чтобы затратить наименьшее время, а во второй раз – по кратчайшему пути. Определите время переправы в первом и втором случае, если скорость течения реки  $u = 1,20 \text{ м/с}$ , а скорость лодки относительно воды  $v' = 2,00 \text{ м/с}$ .

- $H = 700 \text{ м}$   
 $u = 1,20 \text{ м/с}$   
 $v' = 2,00 \text{ м/с}$   
 $t_1 = ?$   $t_2 = ?$

**Решение.** Для того чтобы переплыть реку за кратчайшее время, необходимо, чтобы скорость лодки в направлении, перпендикулярном берегу реки, была наибольшей, то есть чтобы проекция скорости  $v_y$  (см. рис. 6.6) была наибольшей.

Ясно, что это достигается в том случае, если курс лодки перпендикулярен берегу, как показано на рис. 6.6. В этом случае согласно формуле (6.5):

$$H = v' t_1 \Rightarrow t_1 = \frac{H}{v'} = \frac{700 \text{ м}}{2,00 \text{ м/с}} = 350 \text{ с}.$$

Во втором случае абсолютная скорость лодки, то есть ее скорость относительно берега  $\vec{v}$  направлена перпендикулярно берегу (см. рис. 6.8,б). Тогда согласно формуле (6.10)



$$v = \sqrt{v'^T - u^T}.$$

Расстояние  $H$  равно скорости  $v$ , умноженной на время  $t_2$ :

$$H = vt_T = t_T \sqrt{v'^T - u^T},$$

отсюда

$$t_T = \frac{H}{\sqrt{v'^T - u^T}} = \left( \frac{700 \text{ м}}{\sqrt{(7,00 \text{ м/с})^T - (1,70 \text{ м/с})^T}} \right) \approx 438 \text{ с.}$$

$$\text{Ответ: } t_1 = \frac{H}{v'} = 350 \text{ м; } t_T = \frac{H}{\sqrt{v'^T - u^T}} \approx 438 \text{ с.}$$

## ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

### Задачи очень легкие

**A1.** Катер, скорость которого в стоячей воде  $v' = 20,0$  м/с, движется поперек течения реки. Скорость течения  $u = 2,0$  м/с. Вычислите скорость катера относительно берега.

**A2.** У сенокосилки нож движется в направлении, перпендикулярном направлению движения косилки. Скорость косилки относительно луга  $u = 1,0$  м/с, скорость ножа относительно косилки  $v' = 1,5$  м/с. Какова скорость ножа относительно луга?

**A3.** Подъемный кран поднимает груз вертикально вверх со скоростью  $v' = 20$  м/мин относительно тележки крана. Одновременно тележка движется горизонтально со скоростью  $u = 10$  м/мин относительно земли. Определите модуль скорости груза относительно земли.

### Задачи легкие

**B1.** Моторная лодка переплывает реку, держа курс перпендикулярно берегу. Скорость течения реки  $u = 5,0$  км/ч, скорость лодки относительно берега  $v = 13,0$  км/ч. Вычислите скорость лодки в стоячей воде.

**B2.** Утка плывет поперек течения реки со скоростью  $v' = 1,00$  км/ч относительно воды. Скорость утки относительно берега  $v = 2,0$  км/ч. Вычислите скорость течения реки.

**B3.** Туристы переправляются на байдарке на противоположный берег реки, держа курс перпендикулярно берегу. Скорость байдарки относительно воды  $v' = 5,00$  км/ч, скорость течения реки  $u = 3,00$  км/ч, время переправы составило  $t = 120$  с. Определите ширину реки  $s_y$ . На какое расстояние  $s_x$  снесло байдарку вниз по течению?

**B4.** Поперек ленты транспортера ползет муравей со скоростью  $v' = 2,0$  см/с относительно ленты. Через время  $t = 100$  с муравей переползает ленту, сместившись от своего первоначального положения вдоль направления движения ленты на расстояние  $s_x = 25$  м. Определите ширину ленты  $s_y$  и скорость ее движения  $u$ .

**B5.** Улитка ползет по листу кувшинки, который плывет вниз по течению реки. Скорость улитки направлена перпендикулярно скорости течения. За время  $t = 0,50$  ч улитка проползла по листу расстояние  $s_y = 15$  см, а течение снесло лист вместе с улиткой на расстояние  $s_x = 1,00$  км. Определите скорость улитки относительно листа и скорость течения реки.

**Б6.** Лягушка переплывает речку шириной  $s_y = 6,0$  м за время  $t = 30$  с, двигаясь перпендикулярно течению. Скорость течения  $u = 2,0$  м/с. Какова скорость лягушки в стоячей воде? На какое расстояние  $s_x$  снесет лягушку вниз по течению за время переправы?

### Задачи средней трудности

**В1.** Рыбак переправляется на противоположный берег реки на надувной лодке, держа курс строго перпендикулярно берегу. Скорость лодки относительно воды  $v' = 3,0$  км/ч, а скорость течения реки  $u = 2,0$  км/ч. Вычислите скорость лодки относительно берега и угол  $\alpha$ , который вектор скорости лодки относительно берега составляет с перпендикуляром к берегу реки.

**В2.** Лодка пересекает реку, держа курс перпендикулярно берегу. Известно, что скорость лодки относительно воды  $v' = 4,5$  км/ч, а скорость лодки относительно берега  $v = 6,8$  км/ч. Вычислите по этим данным скорость течения реки и угол между векторами  $\vec{v}$  и  $\vec{v}'$ .

**В3.** Самолет летит со скоростью  $v' = 100$  м/с относительно воздуха, держа курс строго на север. При этом вектор скорости самолета относительно земли составляет с направлением на север угол  $\alpha = 12^\circ$ . Определите скорость  $v$  самолета относительно земли и скорость ветра  $u$ , если известно, что ветер восточный.

**В4.** Воздушный шар поднимается вверх и попадает в горизонтальный воздушный поток, скорость которого  $u = 5,0$  м/с. При этом скорость шара относительно земли составляет с вертикалью угол  $\alpha = 25^\circ$ . Определите скорость шара относительно воздуха и скорость шара относительно земли.

**В5.** Лодка держит курс строго перпендикулярно к берегу и движется со скоростью  $v = 7,0$  км/ч относительно берега. Ось лодки (прямая, соединяющая нос и корму) составляет с вектором скорости лодки относительно берега  $\vec{v}$  угол  $\alpha = 30^\circ$ . Определите скорость течения  $u$  и скорость лодки относительно воды  $v'$ .

**В6.** Рыбак переправляется на противоположный берег реки на надувной лодке, держа курс перпендикулярно к берегу. Скорость лодки относительно воды  $v' = 2,0$  км/ч, скорость течения реки  $u = 3,5$  км/ч. При этом рыбака снесло вниз по течению на расстояние  $s_x = 150$  м. Определите время переправы и ширину реки.

**В7.** Пловец переплывает реку шириной  $s_y = 120$  м, держа курс строго перпендикулярно течению. Известно, что скорость пловца в стоячей воде  $v' = 6,5$  км/ч, а скорость течения реки  $u = 2,0$  км/ч. Определите время переправы  $t$ , а также расстояние  $s_x$ , на которое пловца снесет вниз по течению.



**В8.** Однажды, прогуливаясь вдоль реки, я задумался, можно ли определить скорость течения, не имея часов? Не долго думая, я разделся и переплыл реку, держа курс строго перпендикулярно ее течению. Свою скорость в стоячей воде я хорошо знаю; она равна  $v' = 5,0$  м/с, ширина реки мне тоже известна и равна  $s_y = 50,0$  м. Расстояние, на которое меня снесло вниз по течению, я тщательно измерил, оно оказалось равно  $s_x = 10,0$  м. Определите по этим данным скорость течения, а также время переправы.

**В9.** Лодка движется перпендикулярно течению и переправляется на другой берег реки, ширина которой  $s_y = 125$  м. При этом лодку сносит вниз по течению на расстояние  $s_x = 75$  м. Скорость течения реки  $u = 2,0$  м/с. Определите скорость лодки относительно воды и время переправы.

**В10.** Катер, переправляясь через реку, движется перпендикулярно течению реки со скоростью  $v' = 4$  м/с в системе отсчета, связанной с водой. На сколько метров будет снесен катер течением, если ширина реки  $s_y = 800$  м, а скорость течения  $u = 1$  м/с?

**В11.** Самолет, скорость которого относительно воздуха  $v' = 100$  м/с, движется относительно земли точно на север, несмотря на то, что дует западный ветер, со скоростью  $u = 20$  м/с. Какова скорость самолета относительно земли?

**В12.** Рыбак переправляется на противоположный берег реки по кратчайшему пути, то есть так, что его перемещение относительно берега перпендикулярно течению реки. Скорость лодки, в которой находится рыбак, в стоячей воде  $v' = 3,0$  км/ч, а скорость течения реки  $u = 1,0$  км/ч. Какова скорость лодки относительно берега?

**В13.** Самолет движется относительно земли точно на север, несмотря на то, что дует восточный ветер со скоростью  $u = 25$  м/с. Скорость самолета относительно земли равна  $v = 125$  м/с. Какова скорость самолета относительно воздуха?

**В14.** Туристы переправляются на противоположный берег реки на байдарке по кратчайшему пути. Скорость байдарки относительно воды при этом равна  $v' = 5,0$  км/ч, а относительно берега  $v = 4,0$  км/ч. Определите скорость течения реки.

**В15.** Катер, скорость которого в стоячей воде  $v' = 72,0$  км/ч пересекает реку с одного берега на другой по кратчайшему пути. При этом вектор скорости катера относительно воды  $\vec{v}'$  составляет с перпендикуляром к направлению течения угол  $\alpha = 5,00^\circ$ . Определите скорость течения и скорость катера относительно берега.

**В16.** Самолету необходимо лететь точно в северном направлении. Поскольку дует восточный ветер со скоростью  $u = 30,0$  м/с, вектор скорости самолета относительно воздуха составляет угол  $\alpha = 7,50^\circ$  с меридианом. Определите скорость самолета относительно воздуха и относительно земли.

**В17.** Самолет летит точно на север относительно земли, но так как дует западный ветер, скорость самолета относительно воздуха  $v'$  составляет с меридианом угол  $\alpha = 3,00^\circ$ . Известно, что скорость самолета относительно земли  $v = 200,0$  м/с. Определите скорость ветра  $u$  и скорость самолета относительно воздуха  $v'$ .

### Задачи трудные

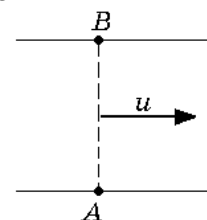
**Г1.** Человек бежит относительно берега со скоростью  $v = 13,0$  км/ч поперек плота, который сплавляется вниз по течению со скоростью  $u = 5,0$  км/ч. Определите скорость человека относительно плота и угол  $\beta$  между вектором скорости человека относительно берега  $\vec{v}$  и вектором скорости плота относительно берега  $\vec{u}$ .

**Г2.** Вертолет держит курс точно на север, но при этом дует восточный ветер, который сносит его в сторону. За время  $t = 300$  с вертолет сместился на  $s_x = 600$  м к востоку и на  $s_y = 15,0$  км к северу. Определите скорость ветра и скорость вертолета относительно земли, а также угол  $\alpha$  между перемещением вертолета относительно земли и направлением на север.

**Г3.** Катер, скорость которого в стоячей воде  $v' = 10,0$  м/с, переправляется через реку, держа курс перпендикулярно течению. Ширина реки  $s_y = 250$  м. При переправе катер снесло вниз по течению на  $s_x = 50,0$  м. Определите скорость катера относительно берега и угол  $\alpha$  между вектором перемещения катера относительно берега и перпендикуляром к направлению течения реки.

**Г4.** Пловец переплывает реку с быстрым течением, держа курс перпендикулярно течению. Скорость течения реки  $u = 3,5$  м/с, ширина реки  $s_y = 50$  м. При переправе пловца снесло вниз по течению на расстояние  $s_x = 2,0$  м. Определите скорость пловца относительно берега и угол  $\alpha$  между вектором перемещения пловца относительно берега и перпендикуляром к направлению течения реки.

**Г5.** Пловец переплывает реку, имеющую ширину  $h$ . Под каким углом  $\alpha$  к направлению течения он должен плыть, чтобы переправиться на противоположный берег в кратчайшее время? Где он в этом случае окажется и какой путь  $s$  проплывет, если скорость течения реки равна  $u$ , а скорость пловца относительно воды равна  $v'$ ?



Р, с. 6.9

**Г6.** На лодке переплывают реку, отправляясь из пункта А (рис. 6.9). Скорость лодки в стоячей воде  $v' = 5$  м/с, скорость течения реки  $u = 3$  м/с, ширина реки  $s_y = 200$  м. В какой точке пристанет лодка к противоположному берегу, если держать курс перпендикулярно берегам? Какой курс следует держать, чтобы попасть в точку В? Для обоих случаев определите время переправы.

**Г7.** Самолет летит относительно земли точно на юг, несмотря на то, что дует западный ветер со скоростью  $u = 36,0$  км/ч. Скорость самолета относительно земли при этом равна  $v = 360$  км/ч. Определите

скорость самолета относительно воздуха и угол  $\alpha$  между скоростью самолета относительно воздуха  $\vec{v}'$  и направлением на юг.

**Г8.** Пловец переплывет реку по кратчайшему пути. Скорость пловца относительно воды при этом  $v' = 4,5$  км/ч, а относительно берега  $v = 3,8$  км/ч. Определите скорость течения и угол между векторами скоростей  $\vec{v}$  и  $\vec{v}'$ .

**Г9.** Рыбак на надувной лодке переправляется на противоположный берег реки по кратчайшему пути за время  $t = 300$  с. Скорость течения реки  $u = 2,00$  км/ч, а скорость лодки относительно воды  $v' = 3,50$  км/ч. Определите ширину реки, скорость лодки относительно берега и угол  $\alpha$  между векторами скоростей  $\vec{v}$  и  $\vec{v}'$ , где  $\vec{v}$  – скорость лодки относительно берега.

**Г10.** Катер, скорость которого в стоячей воде  $v' = 36$  км/ч, идет на противоположный берег реки по кратчайшему пути, держа курс таким образом, что угол между вектором скорости относительно воды  $\vec{v}'$  и вектором скорости относительно берега  $\vec{v}$  равен  $\alpha = 10^\circ$ . Время движения катера  $t = 65$  с. Определите ширину реки  $s_y$ , скорость течения реки  $u$  и скорость катера относительно земли  $v$ .

**Г11.** Военный вертолет должен двигаться строго в западном направлении на расстояние  $s_y = 20,0$  км. Известно, что дует северный ветер со скоростью  $u = 20,0$  м/с и вектор скорости вертолета относительно воздуха составляет с вектором перемещения самолета относительно земли угол  $\alpha = 12^\circ$ . Определите скорость самолета относительно воздуха, относительно земли и время движения.

**Г12.** Утка переплывает небольшую речку по кратчайшему пути за время  $t = 20$  с. При этом скорость утки относительно берега  $v = 1,0$  км/ч угол между перемещением утки относительно земли и вектором ее скорости относительно воды  $\alpha = 36^\circ$ . Определите скорость течения реки, скорость утки относительно воды и ширину речки.

**Г13.** Самолет летит из пункта  $A$  в пункт  $B$  и обратно со скоростью  $v' = 390$  км/ч относительно воздуха. Пункты  $A$  и  $B$  находятся на расстоянии  $s_y = 1080$  км друг от друга. Сколько времени потратит самолет на весь полет, если на трассе полета непрерывно дует ураганный ветер со скоростью  $u = 150$  км/ч? Рассмотрите два случая: а) ветер дует вдоль прямой  $AB$ ; б) ветер дует под прямым углом к прямой  $AB$ .

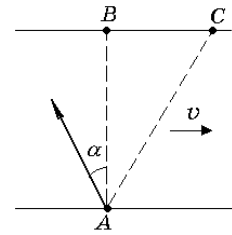
**Г14.** Самолет летит из пункта  $A$  в пункт  $B$  и возвращается назад в пункт  $A$ . Скорость самолета в безветренную погоду равна  $v'$ . Найдите отношение средних скоростей всего перелета для двух случаев, когда во время перелета ветер дует: а) вдоль линии  $AB$ ; б) перпендикулярно линии  $AB$ . Скорость ветра равна  $u$ .

**Г15.** Лодка, движущаяся со скоростью  $v'$  в системе отсчета, связанной с водой, должна переправиться через реку по кратчайшему пути. 1. Какой курс должна держать лодка, если скорость течения реки  $u$ ? 2. Какова скорость лодки  $v$  относительно земли? 3. Сколько времени займет переправа, если ширина реки  $H$ ? (Примечание: курс определяется углом  $\alpha$  между линией, проходящей через корпус лодки от носа к корме, и перпендикуляром, восстановленным к берегу реки.)

№	$v_{\text{л}}, \text{ м/с}$	$v_{\text{т}}, \text{ м/с}$	$H, \text{ м}$
л	6	т	тт0
т	т,т	т,л	86
з	4,л8	л9	т6

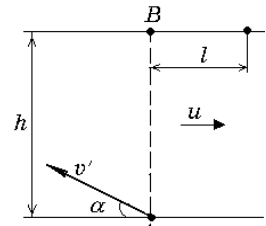
**Задачи очень трудные**

**Д1.** Человек в лодке переплывает реку, отправляясь из точки  $A$  (рис. 6.10). Если он будет держать курс перпендикулярно к берегам, то через  $t_1 = 1,0$  мин после отправления он попадет в точку  $C$ , лежащую на расстоянии  $s = 120$  м ниже точки  $B$  по течению реки. Если он будет держать курс под некоторым углом  $\alpha$  к прямой  $AB$  ( $AB$  перпендикулярна берегам) против течения, то через  $t_2 = 2,5$  мин попадет в точку  $B$ . Определите ширину реки  $l$ , скорость лодки  $v'$  относительно воды, скорость течения реки  $u$  и угол  $\alpha$ , под которым плыл лодочник во втором случае. Скорость движения лодки относительно воды постоянна и одинакова по величине в обоих случаях.



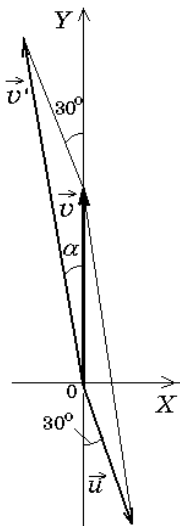
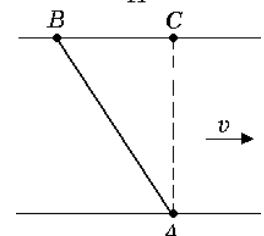
Р, с. 6.№

**Д2.** Лодочник, переправляясь через реку ширины  $h$  из пункта  $A$  в пункт  $B$ , все время направляет лодку под углом  $\alpha$  к берегу (рис. 6.11). Найдите скорость лодки  $v'$  относительно воды, если скорость течения реки равна  $u$ , а лодку снесло ниже пункта  $B$  на расстояние  $l$ .



Р, с. 6.№

**Д3.** Из пункта  $A$ , расположенного на берегу реки, необходимо попасть в пункт  $B$ , двигаясь по прямой  $AB$  (рис. 6.12). Ширина реки  $AC = 1,0$  км, расстояние  $BC = 2,0$  км, максимальная скорость лодки относительно воды  $v' = 5,0$  км/ч, а скорость течения реки  $u = 2,0$  км/ч. Можно ли проплыть расстояние  $AB$  за 30 мин?



Р, с. 6.№

**Д4.** В безветренную погоду вертолет двигался со скоростью  $v' = 90$  км/ч точно на север. Найдите скорость и курс вертолета, если подул северо-западный ветер под углом  $\beta = 45^\circ$  к меридиану. Скорость ветра  $u = 10$  м/с.

**Д5.** С какой скоростью и по какому курсу должен лететь самолет, чтобы за время  $t = 2,0$  ч пролететь точно на север путь, равный  $l = 300$  км, если во время полета дует северо-западный ветер под углом  $\beta = 30^\circ$  к меридиану со скоростью  $u = 27$  км/ч (рис. 6.13)?

