

измерителем разности частот, то при помощи формулы (4) мы найдем линейную (окружную) скорость и, следовательно, скорость вращения звезды.

Тут уместно вспомнить анекдотичный случай с одним Физиком, автомобиль которого остановил Полисмен за движение на красный свет. Физик объяснил, что при сближении со светофором красный свет кажется зеленым. Зная характерные длины волн для этих участков спектра ( $\lambda_{кр} \approx 0,65 \text{ мкм}$ ,  $\lambda_{зел} \approx 0,55 \text{ мкм}$ ), по формуле (3) можно рассчитать или по формуле (4) оценить эту скорость сближения – она более ста миллионов километров в час! Поэтому Полисмен все-таки оштрафовал Физика – за превышение скорости в городе. (Полисмен всегда прав.)

Эффект Доплера сыграл большую роль в космологии. Астрономические наблюдения показали, что чем дальше находится галактика, тем больше ее излучение сдвинуто в красную сторону спектра («красное смещение») и, значит, тем быстрее она удаляется от нас:  $v = Hr$ . Это выражение получило имя *закона Хаббла*, а коэффициент пропорцио-

нальности  $H$  – постоянной Хаббла. Картина похожа на разлет осколков при сильном взрыве. Так появилось понятие Большого Взрыва – исходной точки нашей Вселенной. В настоящее время постоянная Хаббла принимается равной приблизительно  $50 \text{ км/с}$  на миллион парсеков. Поскольку  $1 \text{ парсек} \approx 3 \cdot 10^{13} \text{ км}$ , то  $H \approx 2 \cdot 10^{-18} \text{ с}^{-1}$ . Обратная  $H$  величина не случайна – это время:  $1/H = \tau_H \approx 5 \cdot 10^{17} \text{ с} \approx 20 \text{ млрд. лет}$ . И оно имеет определенное отношение к возрасту Вселенной, а будучи умноженным на скорость света, дает оценку современного размера Вселенной:  $R \sim t_H c \sim 10^{26} \text{ м}$ .

Так эффект Доплера позволил добраться до самого начала Мира. Почему же древние физики умалчивают о нем (хотя они ближе к Большому Взрыву). Конечно, не только потому, что Доплер тогда еще не родился. По-видимому, это связано с тем, что в то время не было достаточно больших скоростей передвижения, которые позволили бы обнаружить этот эффект. А с лошади что возьмешь?..

ПРАКТИКУМ АБИТУРИЕНТА

# Кинематика и векторы

В. ПЛИС

**ОБСУДИМ ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ РАБОТЫ С ВЕКТОРНЫМИ** соотношениями в кинематике материальной точки и проиллюстрируем их на примерах равномерного и равнопеременного движений.

**Равномерное движение**

Известно, что при равномерном движении скорость  $\vec{v}$  материальной точки остается постоянной и равной начальной скорости  $\vec{v}_0$ , а перемещение

$$\vec{s}(t) = \vec{r}(t) - \vec{r}_0 = \vec{v}_0 t$$

за время от 0 до  $t$  сонаправлено с вектором  $\vec{v}_0$  и пропорционально ему по величине (здесь  $\vec{r}$  – радиус-вектор материальной точки).

**Задача 1.** *Сверхзвуковой самолет летит горизонтально. Два микрофона, находящиеся на одной вертикали на расстоянии  $d$  друг от друга, зарегистрировали приход звука от самолета с запаздыванием по времени, равным  $\tau$ . Найдите величину  $v$  скорости самолета. Скорость звука в воздухе  $c$ .*

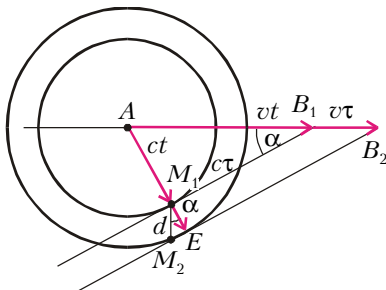


Рис. 1

Обратимся к рисунку 1, иллюстрирующему последовательные перемещения сверхзвукового самолета (источника звука) и фронта звуковой волны (огibaющей вторичных волн). Пусть при пролете самолета через точку  $A$  в атмосфере

возбуждается звуковая волна, и через некоторое время  $t$  волновое возмущение достигает первого микрофона  $M_1$ . В этот момент времени самолет находится в точке  $B_1$ , и прямая  $B_1M_1$  определяет положение волнового фронта. За последующий промежуток времени  $\tau$  самолет перемещается в точку  $B_2$ , а волновой фронт, двигаясь со скоростью  $c$ , перемещается в положение  $B_2EM_2$ . Проанализировав кинематику перемещений самолета и волнового фронта, находим:

из прямоугольного треугольника  $AB_1M_1$

$$\sin \alpha = \frac{AM_1}{AB_1} = \frac{ct}{vt} = \frac{c}{v},$$

из прямоугольного треугольника  $M_1M_2E$

$$\cos \alpha = \frac{c\tau}{d}.$$

Исключая  $\alpha$  из полученных соотношений, получаем

$$v = c \sqrt{1 - \frac{(c\tau)^2}{d^2}}.$$

**Задача 2.** *Две частицы 1 и 2 движутся с постоянными скоростями  $\vec{v}_1$  и  $\vec{v}_2$ , их радиусы-векторы в начальный момент времени равны  $\vec{r}_{01}$  и  $\vec{r}_{02}$  соответственно. При каком соотношении между этими четырьмя векторами частицы испытают столкновение друг с другом?*

По условию, частицы в лабораторной системе отсчета движутся равномерно, их радиусы-векторы зависят от времени по законам

$$\vec{r}_1(t) = \vec{r}_{01} + \vec{v}_1 t, \quad \vec{r}_2(t) = \vec{r}_{02} + \vec{v}_2 t.$$