

Эффект Доплера

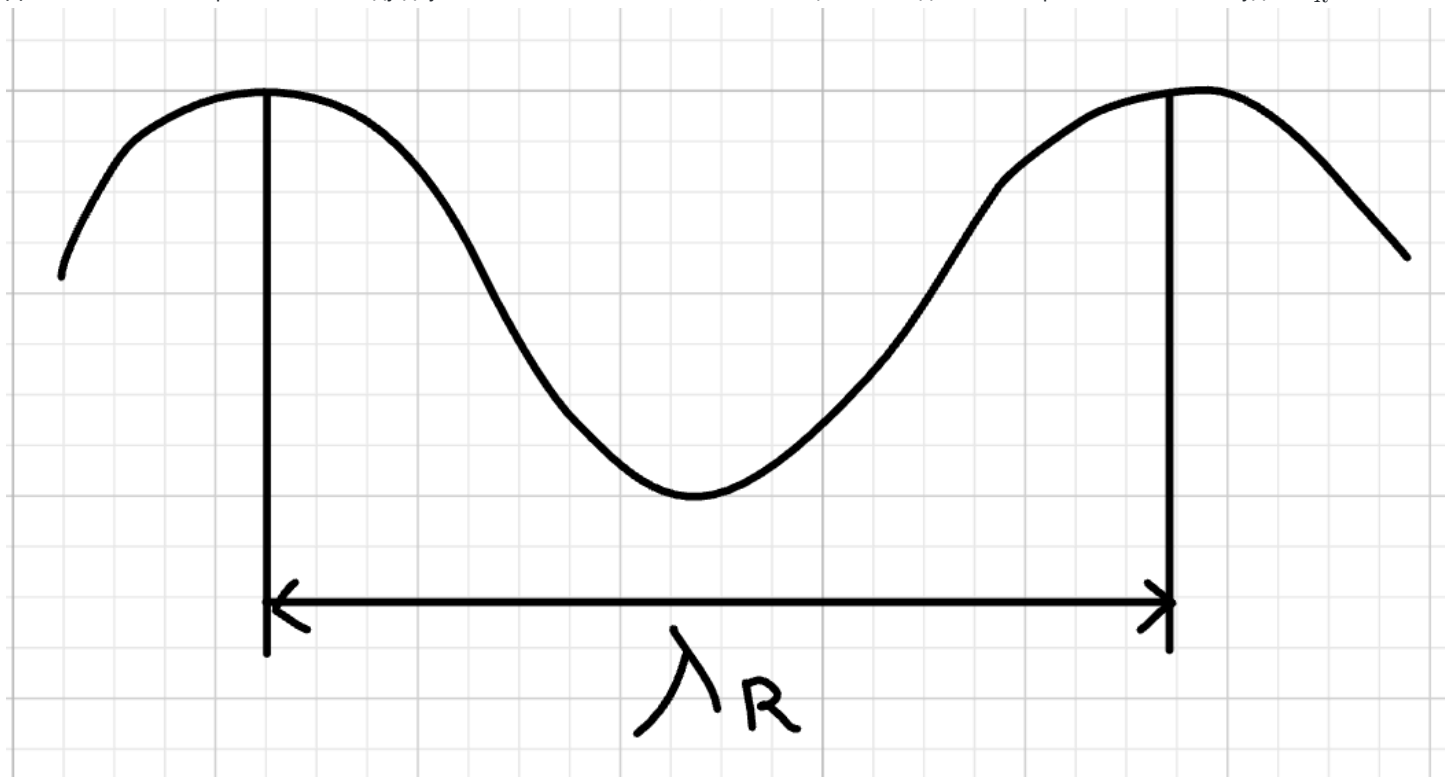
Эффект Доплера — это изменение **частоты** и **длины волны** сигнала (звука, света, радиоволн) из-за движения источника волн или наблюдателя.

- Если **источник и наблюдатель сближаются** → частота **увеличивается** (длина волны уменьшается).
- Если **удаляются** → частота **уменьшается** (длина волны увеличивается).

Мы будем рассматривать данный эффект на примере звуковых волн в некой среде распространяющей данный тип волн.

ОПР

Длина волны - это расстояние между двумя ближайшими точками, колеблющимися в одинаковой фазе. Обозначать будем λ_R



ОПР

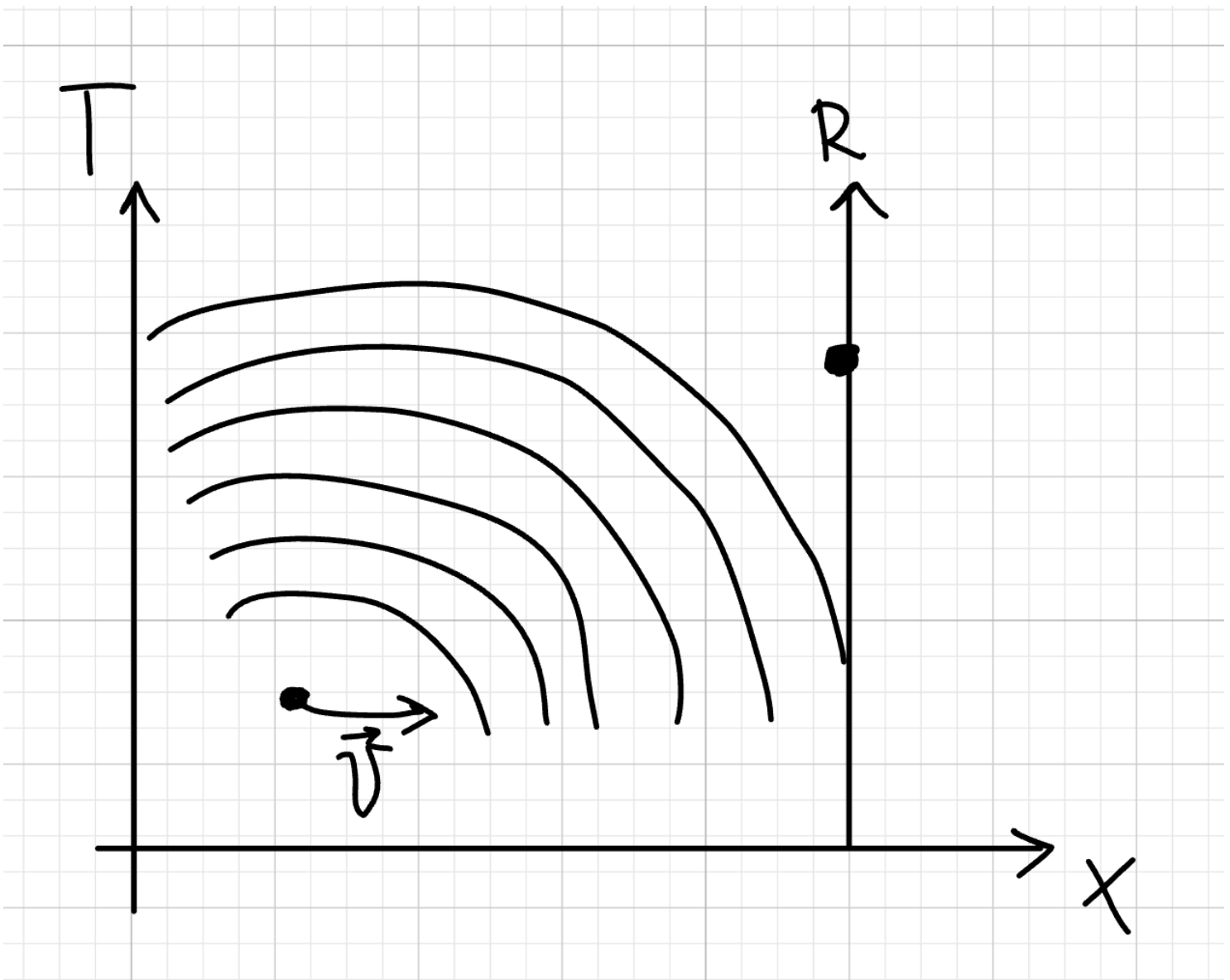
Частота - это количество колебаний в секунду (Гц). Обозначать будем $\nu_R = \frac{N}{t}$ (t-время, N-количество волн за промежуток t)

ОПР

Скорость звука вычисляется так:

$$V_{\text{зв}} = \lambda_R \cdot \nu_R$$

Случай 1. Источник движется, приемник в покое



T - система источника волн (например звуковых), \vec{u} - вектор скорости источника, R - система приемника волн (в состоянии покоя)

Так как источник движется со скоростью V , а приемник в покое длина волны будет вычисляться вот так:

$$\lambda_R = \frac{t(V_{3B} - V)}{N}$$

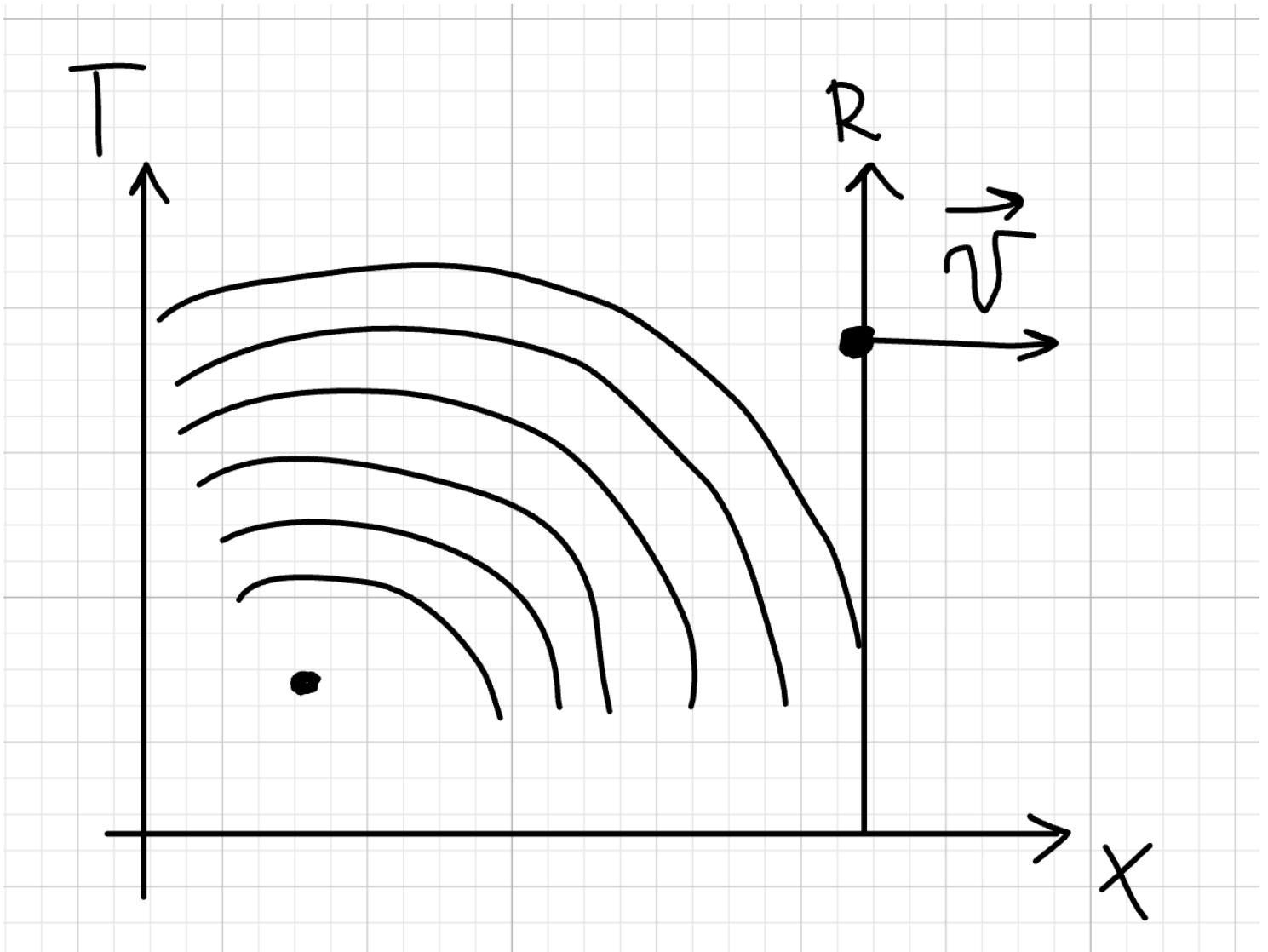
где t - единица времени, N - количество волн за промежуток времени t

$$\nu_R = \frac{V_{3B}}{\lambda_R} = \frac{N \cdot V_{3B}}{t(V_{3B} - V)} = [\text{т.к. } \nu_T = \frac{N}{t}] = \nu_T \cdot \frac{V_{3B}}{V_{3B} - V}$$

Получаем соотношение, где ν_R - частота приемника, а ν_T - частота источника:

$$\nu_R = \nu_T \cdot \frac{V_{3B}}{V_{3B} - V}$$

Случай 2. Источник в покое, приемник движется

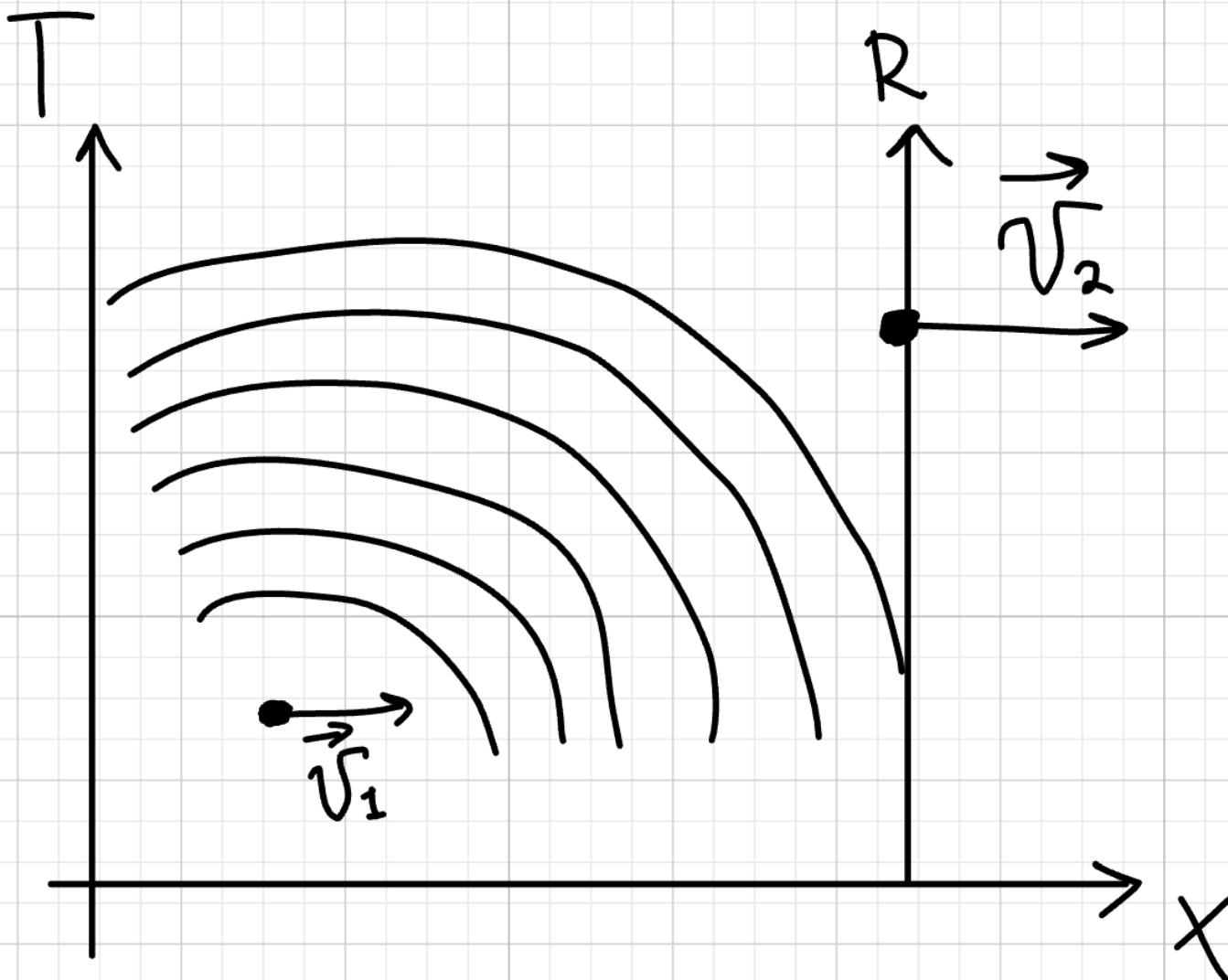


T - система источника волн (в покое), \vec{u} - вектор скорости приемника, R - система приемника волн (в движении)

$$\nu_R = \frac{V + V_{3B}}{\lambda_T} = \left[\lambda_T = \frac{V_{3B}}{\nu_T} \right] = \frac{\nu_T (V + V_{3B})}{V_{3B}} = \nu_T \left(1 + \frac{V}{V_{3B}} \right)$$

где ν_R - частота приемника, а ν_T - частота источника, V -скорость перемещения приемника

Случай 3. Оба движутся



Получаем соотношение:

$$\nu_R = \nu_T \left(\frac{V_{3B} + V_1}{V_{3B} - V_2} \right)$$

Опыт Майкельсона — Морли

Цель эксперимента

Проверить существование «**эфира**» — гипотетической среды, в которой, как считалось, распространяются световые волны (аналогично звуку в воздухе). Если эфир есть, то скорость Земли относительно него должна влиять на скорость света.

Если бы эфир существовал:

- Лучи, движущиеся вдоль "эфирного ветра", должны были бы иметь разную скорость
- Это вызвало бы заметное смещение интерференционных полос при повороте прибора

Но эксперимент показал:

- Интерференционные полосы **не смещались** при повороте
- Разница во времени прохождения лучей была незначительной

Теория данного опыта

В этом опыте сравнивались времена прохождения света от источника S к зеркалу M и обратно к источнику для двух случаев: когда путь света был параллелен и ортогонален орбитальной скорости Земли.

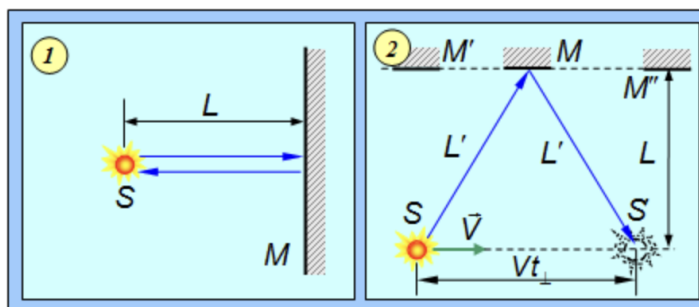


Рис. 6.3. Идея опыта Майкельсона — Морли: 1 — путь света параллелен орбитальной скорости Земли; 2 — путь света ортогонален орбитальной скорости Земли

В первом случае (см. рис. 6.3–1) свет проходит путь L до зеркала за время

$$\tau_1 = \frac{L}{c - V},$$

а обратный путь — за время

$$\tau_2 = \frac{L}{c + V}.$$

Складывая эти времена, получаем полное время, затрачиваемое светом на прохождение пути до зеркала и обратно:

$$t_{\parallel} = \tau_1 + \tau_2 = \frac{2L}{c} \cdot \frac{1}{1 - \frac{V^2}{c^2}}$$

Во втором случае (см. рис. 6.3–2) из-за движения зеркала и источника свет затратит на путь время

$$t_{\perp} = \frac{2L'}{c}.$$

Расстояние L' легко найти по теореме [Пифагора](#):

$$L' = \sqrt{L^2 + \left(\frac{Vt_{\perp}}{2}\right)^2}.$$

откуда получаем уравнение для времени, за которое свет проходит свой путь вот втором случае

$$t_{\perp} = \frac{2}{c} \cdot \sqrt{L^2 + \left(\frac{Vt_{\perp}}{2}\right)^2}.$$

Решение этого уравнения дает

$$t_{\perp} = \frac{2L}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}.$$

Сравнивая времена распространения света в первом и втором случаях, убеждаемся, что они различаются

$$t_{\parallel} \neq t_{\perp}.$$

Конструктивно интерферометр Майкельсона был выполнен так, что луч от источника раздваивался, часть его шла параллельно скорости Земли, а часть — ортогонально. После отражения от зеркал лучи встречались в одной точке и создавали интерференционную картину (рис. 6.4).

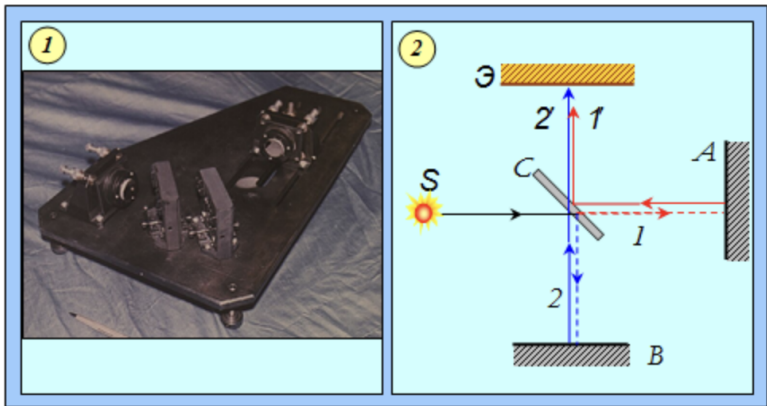


Рис. 6.4. Интерферометр Майкельсона: 1 — общий вид; 2 — схема установки

Никакой разницы во временах прохождения обоих путей обнаружено не было. Но, быть может, скорости Земли и эфира случайно совпали, и потому эфирного ветра не наблюдалось? Опыт повторили через полгода, когда Земля в своем орбитальном движении повернула в противоположную сторону. Результат оказался тем же.