§8.1 旧时空理论

§8.1 旧时空理论

一、Galilean 变换，绝对时空

§ 8.1 旧时空理论

一、Galilean 变换，绝对时空

参考系:

§8.1 旧时空理论

一、Galilean 变换，绝对时空

参考系：在力学中为描述物体运动而建立的参照坐标系

§8.1 旧时空理论

一、Galilean 变换，绝对时空

参考系： 在力学中为描述物体运动而建立的参照坐标系

惯性系：

§8.1 旧时空理论

一、Galilean 变换，绝对时空

参考系：在力学中为描述物体运动而建立的参照坐标系

惯性系：满足牛顿第一定律的参考系（静止或匀速运动的参考系）

§8.1 旧时空理论

一、Galilean 变换，绝对时空

参考系： 在力学中为描述物体运动而建立的参照坐标系

惯性系： 满足牛顿第一定律的参考系（静止或匀速运动的参考系）

特殊相关惯性系：

§8.1 旧时空理论

一、Galilean 变换，绝对时空

参考系：在力学中为描述物体运动而建立的参照坐标系

惯性系：满足牛顿第一定律的参考系（静止或匀速运动的参考系）

特殊相关惯性系： 两个惯性系 S 和 S'，其 x 轴与 x' 轴重合，y 轴与 y' 轴平行 z 轴与 z' 轴平行，S' 相对于 S 以速度 v 沿 $+x$ 方向运动，取两坐标系原点重合的时刻为共同时间零点。则称这两惯性系为特殊相关惯性系。

§ 8.1 旧时空理论

一、Galilean 变换，绝对时空

参考系： 在力学中为描述物体运动而建立的参照坐标系

惯性系： 满足牛顿第一定律的参考系（静止或匀速运动的参考系）

特殊相关惯性系： 两个惯性系 S 和 S'，其 x 轴与 x' 轴重合，y 轴与 y' 轴平行 z 轴与 z' 轴平行，S' 相对于 S 以速度 v 沿 $+x$ 方向运动，取两坐标系原点重合的时刻为共同时间零点。则称这两惯性系为特殊相关惯性系。

物理事件：

§ 8.1 旧时空理论

一、Galilean 变换，绝对时空

参考系：在力学中为描述物体运动而建立的参照坐标系

惯性系：满足牛顿第一定律的参考系（静止或匀速运动的参考系）

特殊相关惯性系： 两个惯性系 S 和 S'，其 x 轴与 x' 轴重合，y 轴与 y' 轴平行 z 轴与 z' 轴平行，S' 相对于 S 以速度 v 沿 $+x$ 方向运动，取两坐标系原点重合的时刻为共同时间零点。则称这两惯性系为特殊相关惯性系。

物理事件： 某空间位置在某确定时刻发生的现象，以时空坐标 (x, y, z, t) 标记

§8.1 旧时空理论

一、Galilean 变换，绝对时空

参考系：在力学中为描述物体运动而建立的参照坐标系

惯性系：满足牛顿第一定律的参考系（静止或匀速运动的参考系）

特殊相关惯性系： 两个惯性系 S 和 S'，其 x 轴与 x' 轴重合，y 轴与 y' 轴平行 z 轴与 z' 轴平行，S' 相对于 S 以速度 v 沿 $+x$ 方向运动，取两坐标系原点重合的时刻为共同时间零点。则称这两惯性系为特殊相关惯性系。

物理事件： 某空间位置在某确定时刻发生的现象，以时空坐标 (x, y, z, t) 标记

Galilean 变换：

§ 8.1 旧时空理论

一、Galilean 变换，绝对时空

参考系： 在力学中为描述物体运动而建立的参照坐标系

惯性系： 满足牛顿第一定律的参考系（静止或匀速运动的参考系）

特殊相关惯性系： 两个惯性系 S 和 S'，其 x 轴与 x' 轴重合，y 轴与 y' 轴平行 z 轴与 z' 轴平行，S' 相对于 S 以速度 v 沿 $+x$ 方向运动，取两坐标系原点重合的时刻为共同时间零点。则称这两惯性系为特殊相关惯性系。

物理事件： 某空间位置在某确定时刻发生的现象，以时空坐标 (x, y, z, t) 标记

Galilean 变换： 某物理事件 P 在 S 和 S' 参考系的时空坐标分别为 (x, y, z, t) 和 (x', y', z', t')，若 S 和 S' 是两特殊相关惯性系，(x, y, z, t) 与 (x', y', z', t') 之间的变换：$x' = x - vt, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = t$ 称为Galilean 变换。

§ 8.1 旧时空理论

一、Galilean 变换，绝对时空

参考系： 在力学中为描述物体运动而建立的参照坐标系

惯性系： 满足牛顿第一定律的参考系（静止或匀速运动的参考系）

特殊相关惯性系： 两个惯性系 S 和 S'，其 x 轴与 x' 轴重合，y 轴与 y' 轴平行 z 轴与 z' 轴平行，S' 相对于 S 以速度 v 沿 $+x$ 方向运动，取两坐标系原点重合的时刻为共同时间零点。则称这两惯性系为特殊相关惯性系。

物理事件： 某空间位置在某确定时刻发生的现象，以时空坐标 (x, y, z, t) 标记

Galilean 变换： 某物理事件 P 在 S 和 S' 参考系的时空坐标分别为 (x, y, z, t) 和 (x', y', z', t')，若 S 和 S' 是两特殊相关惯性系，(x, y, z, t) 与 (x', y', z', t') 之间的变换：$x' = x - vt, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = t$ 称为Galilean 变换。

绝对时空：

§ 8.1 旧时空理论

一、Galilean 变换，绝对时空

参考系：在力学中为描述物体运动而建立的参照坐标系

惯性系：满足牛顿第一定律的参考系（静止或匀速运动的参考系）

特殊相关惯性系： 两个惯性系 S 和 S'，其 x 轴与 x' 轴重合，y 轴与 y' 轴平行 z 轴与 z' 轴平行，S' 相对于 S 以速度 v 沿 $+x$ 方向运动，取两坐标系原点重合的时刻为共同时间零点。则称这两惯性系为特殊相关惯性系。

物理事件： 某空间位置在某确定时刻发生的现象，以时空坐标 (x, y, z, t) 标记

Galilean 变换：某物理事件 P 在 S 和 S' 参考系的时空坐标分别为 (x, y, z, t) 和 (x', y', z', t')，若 S 和 S' 是两特殊相关惯性系，(x, y, z, t) 与 (x', y', z', t') 之间的变换：$x' = x - vt, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = t$ 称为Galilean 变换。

绝对时空：由 Galilean 变换，两事件在两个惯性系中时间间隔：$\Delta t' = \Delta t$，空间距离：$\Delta R' = \Delta R$，即时间和空间间隔都不因参考系的改变而变化满足这一性质的时空称为绝对时空

二、力学相对性原理，速度相加定理

二、力学相对性原理，速度相加定理

所有惯性系中，一切力学规律具有相同的形式 —— 力学相对性原理

二、力学相对性原理，速度相加定理

所有惯性系中，一切力学规律具有相同的形式 —— 力学相对性原理

速度相加定理：由 Galilean 变换可导出 $\boxed{\vec{u}' = \vec{u} - \vec{v}}$ —— 速度相加定理

$\vec{u}'$ 和 $\vec{u}$ 分别为物体在 S' 和 S 惯性系中的速度

二、力学相对性原理，速度相加定理

所有惯性系中，一切力学规律具有相同的形式 —— 力学相对性原理

速度相加定理：由 Galilean 变换可导出 $\boxed{\vec{u}' = \vec{u} - \vec{v}}$ —— 速度相加定理

$\vec{u}'$ 和 $\vec{u}$ 分别为物体在 S' 和 S 惯性系中的速度

三、Maxwell 电磁理论与绝对时空理论

二、力学相对性原理，速度相加定理

所有惯性系中，一切力学规律具有相同的形式 —— 力学相对性原理

速度相加定理：由 Galilean 变换可导出 $\boxed{\vec{u}' = \vec{u} - \vec{v}}$ —— 速度相加定理

$\vec{u}'$ 和 $\vec{u}$ 分别为物体在 S' 和 S 惯性系中的速度

三、Maxwell 电磁理论与绝对时空理论

问题：Maxwell 电磁理论是否也满足相对性原理？

二、力学相对性原理，速度相加定理

所有惯性系中，一切力学规律具有相同的形式 —— 力学相对性原理

速度相加定理：由 Galilean 变换可导出 $\boxed{\vec{u}' = \vec{u} - \vec{v}}$ —— 速度相加定理

$\vec{u}'$ 和 $\vec{u}$ 分别为物体在 S' 和 S 惯性系中的速度

三、Maxwell 电磁理论与绝对时空理论

问题：Maxwell 电磁理论是否也满足相对性原理？

据绝对时空理论，答案是否定的

二、力学相对性原理，速度相加定理

所有惯性系中，一切力学规律具有相同的形式 —— 力学相对性原理

速度相加定理：由 Galilean 变换可导出 $\boxed{\vec{u}' = \vec{u} - \vec{v}}$ —— 速度相加定理

$\vec{u}'$ 和 $\vec{u}$ 分别为物体在 S' 和 S 惯性系中的速度

三、Maxwell 电磁理论与绝对时空理论

问题：Maxwell 电磁理论是否也满足相对性原理？

据绝对时空理论，答案是否定的

据绝对时空理论，光速依赖于惯性系

二、力学相对性原理，速度相加定理

所有惯性系中，一切力学规律具有相同的形式 —— 力学相对性原理

速度相加定理：由 Galilean 变换可导出 $\boxed{\vec{u}' = \vec{u} - \vec{v}}$ —— 速度相加定理

$\vec{u}'$ 和 $\vec{u}$ 分别为物体在 S' 和 S 惯性系中的速度

三、Maxwell 电磁理论与绝对时空理论

问题：Maxwell 电磁理论是否也满足相对性原理？

据绝对时空理论，答案是否定的

据绝对时空理论，光速依赖于惯性系

由绝对时空理论的速度相加定理可知：若在 S 惯性系中光在真空中的速度为 $\vec{u} = \vec{c}$，在 S' 惯性系中为 $\vec{u}'$

二、力学相对性原理，速度相加定理

所有惯性系中，一切力学规律具有相同的形式 —— 力学相对性原理

速度相加定理：由 Galilean 变换可导出 $\boxed{\vec{u}' = \vec{u} - \vec{v}}$ —— 速度相加定理

$\vec{u}'$ 和 $\vec{u}$ 分别为物体在 S' 和 S 惯性系中的速度

三、Maxwell 电磁理论与绝对时空理论

问题：Maxwell 电磁理论是否也满足相对性原理？

据绝对时空理论，答案是否定的

据绝对时空理论，光速依赖于惯性系

由绝对时空理论的速度相加定理可知：若在 S 惯性系中光在真空中的速度为 $\vec{u} = \vec{c}$，在 S' 惯性系中为 $\vec{u}'$

$$\vec{u}' = \vec{c} - \vec{v}$$

二、力学相对性原理，速度相加定理

所有惯性系中，一切力学规律具有相同的形式 —— 力学相对性原理

速度相加定理：由 Galilean 变换可导出 $\boxed{\vec{u}' = \vec{u} - \vec{v}}$ —— 速度相加定理

$\vec{u}'$ 和 $\vec{u}$ 分别为物体在 S' 和 S 惯性系中的速度

三、Maxwell 电磁理论与绝对时空理论

问题：Maxwell 电磁理论是否也满足相对性原理？

据绝对时空理论，答案是否定的

据绝对时空理论，光速依赖于惯性系

由绝对时空理论的速度相加定理可知：若在 S 惯性系中光在真空中的速度为 $\vec{u} = \vec{c}$，在 S' 惯性系中为 $\vec{u}'$

$$\vec{u}' = \vec{c} - \vec{v} \quad \Longrightarrow \quad \text{在 } S' \text{ 惯性系中光速与方向有关。}$$

二、力学相对性原理，速度相加定理

所有惯性系中，一切力学规律具有相同的形式 —— 力学相对性原理

速度相加定理：由 Galilean 变换可导出 $\boxed{\vec{u}' = \vec{u} - \vec{v}}$ —— 速度相加定理

$\vec{u}'$ 和 $\vec{u}$ 分别为物体在 S' 和 S 惯性系中的速度

三、Maxwell 电磁理论与绝对时空理论

问题：Maxwell 电磁理论是否也满足相对性原理？

据绝对时空理论，答案是否定的

据绝对时空理论，光速依赖于惯性系

由绝对时空理论的速度相加定理可知：若在 S 惯性系中光在真空中的速度为 $\vec{u} = \vec{c}$，在 S' 惯性系中为 $\vec{u}'$

$\vec{u}' = \vec{c} - \vec{v} \quad \Longrightarrow \quad$ 在 S' 惯性系中光速与方向有关。

真空中光速等于 c 仅仅对某一个特殊的绝对静止惯性系才成立。

二、力学相对性原理，速度相加定理

所有惯性系中，一切力学规律具有相同的形式 —— 力学相对性原理

速度相加定理：由 Galilean 变换可导出 $\boxed{\vec{u}' = \vec{u} - \vec{v}}$ —— 速度相加定理

$\vec{u}'$ 和 $\vec{u}$ 分别为物体在 S' 和 S 惯性系中的速度

三、Maxwell 电磁理论与绝对时空理论

问题：Maxwell 电磁理论是否也满足相对性原理？

据绝对时空理论，答案是否定的

据绝对时空理论，光速依赖于惯性系

由绝对时空理论的速度相加定理可知：若在 S 惯性系中光在真空中的速度为 $\vec{u} = \vec{c}$，在 S' 惯性系中为 $\vec{u}'$

$\vec{u}' = \vec{c} - \vec{v} \quad \Longrightarrow \quad$ 在 S' 惯性系中光速与方向有关。

真空中光速等于 c 仅仅对某一个特殊的绝对静止惯性系才成立。

—— 在绝对时空理论框架下，电磁规律不满足相对性原理

§8.2 狭义相对论的基本原理 Lorentz 变换

§8.2 狭义相对论的基本原理　Lorentz 变换

一、爱因斯坦的假设

§ 8.2 狭义相对论的基本原理　Lorentz 变换

一、爱因斯坦的假设

1. 光速不依赖于方向的实验

§8.2 狭义相对论的基本原理 Lorentz 变换

一、爱因斯坦的假设

1. 光速不依赖于方向的实验

旧时空理论表明，在一般的惯性系（如地球）中，光速与方向有关。

§ 8.2 狭义相对论的基本原理　Lorentz 变换

一、爱因斯坦的假设

1. 光速不依赖于方向的实验

旧时空理论表明，在一般的惯性系（如地球）中，光速与方向有关。

1887 年，Michelson-Morley 设计干涉仪，试图比较不同方向光速的差异

§8.2 狭义相对论的基本原理　Lorentz 变换

一、爱因斯坦的假设

1. 光速不依赖于方向的实验

旧时空理论表明，在一般的惯性系（如地球）中，光速与方向有关。

1887 年，Michelson-Morley 设计干涉仪，试图比较不同方向光速的差异

却发现：光速不依赖于方向

§8.2 狭义相对论的基本原理 Lorentz 变换

一、爱因斯坦的假设

1. 光速不依赖于方向的实验

旧时空理论表明，在一般的惯性系（如地球）中，光速与方向有关。

1887 年，Michelson-Morley 设计干涉仪，试图比较不同方向光速的差异

却发现：光速不依赖于方向

暗示着：光速可能与惯性系无关，不存在特殊的绝对静止惯性系

§ 8.2 狭义相对论的基本原理　Lorentz 变换

一、爱因斯坦的假设

1. 光速不依赖于方向的实验

旧时空理论表明，在一般的惯性系（如地球）中，光速与方向有关。

1887 年，Michelson-Morley 设计干涉仪，试图比较不同方向光速的差异

却发现：光速不依赖于方向

暗示着：光速可能与惯性系无关，不存在特殊的绝对静止惯性系

2. Faraday 定律的再讨论 (§2.3)

§ 8.2 狭义相对论的基本原理 Lorentz 变换

一、爱因斯坦的假设

1. 光速不依赖于方向的实验

旧时空理论表明，在一般的惯性系（如地球）中，光速与方向有关。

1887 年，Michelson-Morley 设计干涉仪，试图比较不同方向光速的差异

却发现：光速不依赖于方向

暗示着：光速可能与惯性系无关，不存在特殊的绝对静止惯性系

2. Faraday 定律的再讨论 (§2.3)

动生电动势：$\mathcal{E} = -\dfrac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t}$ 线圈运动，电动势来源于磁力，可表为通量规则。

§ 8.2 狭义相对论的基本原理 Lorentz 变换

一、爱因斯坦的假设

1. 光速不依赖于方向的实验

旧时空理论表明，在一般的惯性系（如地球）中，光速与方向有关。

1887 年，Michelson-Morley 设计干涉仪，试图比较不同方向光速的差异

却发现：光速不依赖于方向

暗示着：光速可能与惯性系无关，不存在特殊的绝对静止惯性系

2. Faraday 定律的再讨论 (§2.3)

动生电动势：$\mathcal{E} = -\dfrac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t}$ 线圈运动，电动势来源于磁力，可表为通量规则。

感生电动势：$\mathcal{E} = -\dfrac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t}$ 线圈静止，电动势来源于电力，也表为通量规则。

§ 8.2 狭义相对论的基本原理 Lorentz 变换

一、爱因斯坦的假设

1. 光速不依赖于方向的实验

旧时空理论表明，在一般的惯性系（如地球）中，光速与方向有关。

1887 年，Michelson-Morley 设计干涉仪，试图比较不同方向光速的差异

却发现：光速不依赖于方向

暗示着：光速可能与惯性系无关，不存在特殊的绝对静止惯性系

2. Faraday 定律的再讨论 (§2.3)

动生电动势：$\mathcal{E} = -\dfrac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t}$ 线圈运动，电动势来源于磁力，可表为通量规则。

感生电动势：$\mathcal{E} = -\dfrac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t}$ 线圈静止，电动势来源于电力，也表为通量规则。

当初人们认为：两个定律的物理起源不同，其相同形式是一种巧合

现在，在一辆匀速运动的列车上放置一线圈，让列车经过磁场区。

现在，在一辆匀速运动的列车上放置一线圈，让列车经过磁场区。

列车惯性系：线圈静止，磁场随时间改变，电动势可表为：通量规则

现在，在一辆匀速运动的列车上放置一线圈，让列车经过磁场区。

列车惯性系：线圈静止，磁场随时间改变，电动势可表为：通量规则

地面惯性系：线圈运动，磁场不随时间变，电动势仍表为：通量规则

现在，在一辆匀速运动的列车上放置一线圈，让列车经过磁场区。

列车惯性系：线圈静止，磁场随时间改变，电动势可表为：通量规则

地面惯性系：线圈运动，磁场不随时间变，电动势仍表为：通量规则

是否隐含：电磁规律也满足相对性原理，在任意惯性系中都可表为相同形式？

现在，在一辆匀速运动的列车上放置一线圈，让列车经过磁场区。

列车惯性系：线圈静止，磁场随时间改变，电动势可表为：通量规则

地面惯性系：线圈运动，磁场不随时间变，电动势仍表为：通量规则

是否隐含：电磁规律也满足相对性原理，在任意惯性系中都可表为相同形式？

爱因斯坦：电磁规律以及一切物理规律都满足相对性原理。

现在，在一辆匀速运动的列车上放置一线圈，让列车经过磁场区。

列车惯性系：线圈静止，磁场随时间改变，电动势可表为：通量规则

地面惯性系：线圈运动，磁场不随时间变，电动势仍表为：通量规则

是否隐含：电磁规律也满足相对性原理，在任意惯性系中都可表为相同形式？

爱因斯坦：电磁规律以及一切物理规律都满足相对性原理。

3. 爱因斯坦的两大假设

现在，在一辆匀速运动的列车上放置一线圈，让列车经过磁场区。

列车惯性系：线圈静止，磁场随时间改变，电动势可表为：通量规则

地面惯性系：线圈运动，磁场不随时间变，电动势仍表为：通量规则

是否隐含：电磁规律也满足相对性原理，在任意惯性系中都可表为相同形式？

爱因斯坦：电磁规律以及一切物理规律都满足相对性原理。

3. 爱因斯坦的两大假设

(a) 物理学相对性原理：一切物理规律在任何惯性系中均有相同的形式

现在，在一辆匀速运动的列车上放置一线圈，让列车经过磁场区。

列车惯性系：线圈静止，磁场随时间改变，电动势可表为：通量规则

地面惯性系：线圈运动，磁场不随时间变，电动势仍表为：通量规则

是否隐含：电磁规律也满足相对性原理，在任意惯性系中都可表为相同形式？

爱因斯坦：电磁规律以及一切物理规律都满足相对性原理。

3. 爱因斯坦的两大假设

(a) 物理学相对性原理：一切物理规律在任何惯性系中均有相同的形式

(b) 光速不变原理：真空中的光速在任何惯性系中沿任意方向均为 c，与光源的运动无关。

现在，在一辆匀速运动的列车上放置一线圈，让列车经过磁场区。

列车惯性系：线圈静止，磁场随时间改变，电动势可表为：通量规则

地面惯性系：线圈运动，磁场不随时间变，电动势仍表为：通量规则

是否隐含：电磁规律也满足相对性原理，在任意惯性系中都可表为相同形式?

爱因斯坦：电磁规律以及一切物理规律都满足相对性原理。

3. 爱因斯坦的两大假设

(a) 物理学相对性原理：一切物理规律在任何惯性系中均有相同的形式

(b) 光速不变原理：真空中的光速在任何惯性系中沿任意方向均为 c，与光源的运动无关。

二、从思想实验 (gedanken experiments) 看新的时空观

现在，在一辆匀速运动的列车上放置一线圈，让列车经过磁场区。

列车惯性系：线圈静止，磁场随时间改变，电动势可表为：通量规则

地面惯性系：线圈运动，磁场不随时间变，电动势仍表为：通量规则

是否隐含：电磁规律也满足相对性原理，在任意惯性系中都可表为相同形式？

爱因斯坦：电磁规律以及一切物理规律都满足相对性原理。

3. 爱因斯坦的两大假设

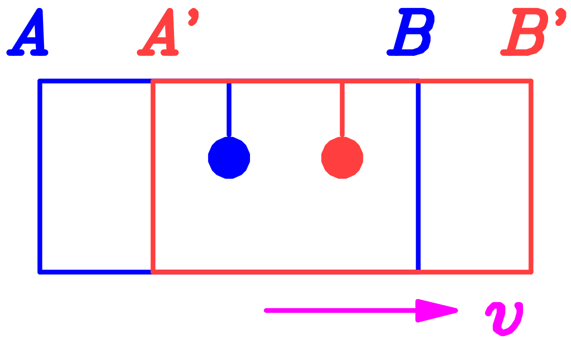
(a) 物理学相对性原理：一切物理规律在任何惯性系中均有相同的形式

(b) 光速不变原理：真空中的光速在任何惯性系中沿任意方向均为 c，
与光源的运动无关。

二、从思想实验 (gedanken experiments) 看新的时空观

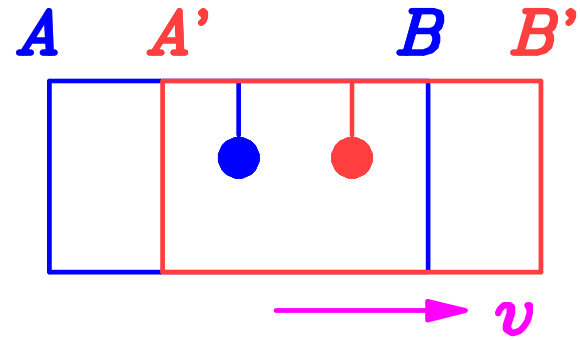
基于爱因斯坦的两大假设，即可推得一些崭新的时空性质。

1. 同时的相对性



1. 同时的相对性

在旧的绝对时空观中，同时是绝对的：$\Delta t' = \Delta t$。在新的时空观中并不如此。



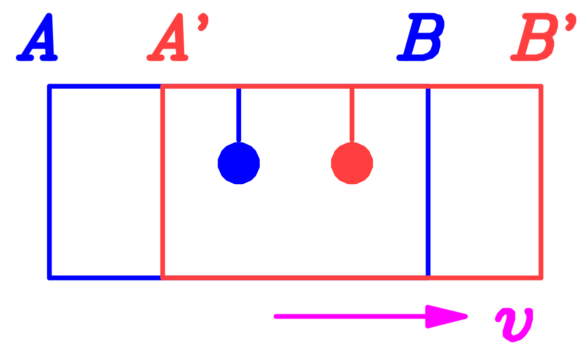
1. 同时的相对性

在旧的绝对时空观中，同时是绝对的：$\Delta t' = \Delta t$。在新的时空观中并不如此。

如图一车厢以速度 v 匀速运动，车厢中点挂一灯泡。

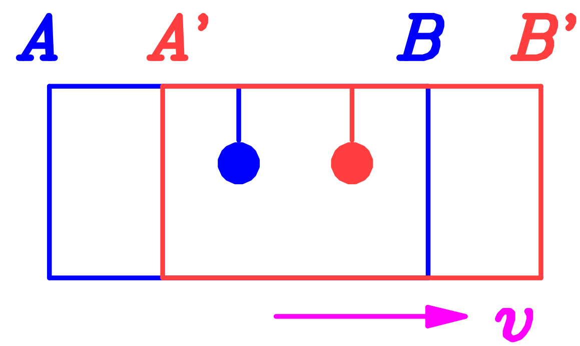
在 $t = 0$ 时刻开灯，由于光沿任意方向的速度都为 c

故在车厢上看，光同时到达 A 和 B 两端。



1. 同时的相对性

在旧的绝对时空观中，同时是绝对的：$\Delta t' = \Delta t$。在新的时空观中并不如此。



如图一车厢以速度 v 匀速运动，车厢中点挂一灯泡。

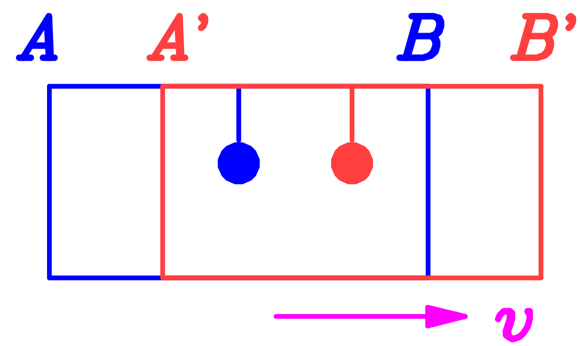
在 $t = 0$ 时刻开灯，由于光沿任意方向的速度都为 c

故在车厢上看，光同时到达 A 和 B 两端。

光到达 A 端的 A 事件和光到达 B 端的 B 事件同时发生。

1. 同时的相对性

在旧的绝对时空观中，同时是绝对的：$\Delta t' = \Delta t$。在新的时空观中并不如此。



如图一车厢以速度 v 匀速运动，车厢中点挂一灯泡。

在 $t = 0$ 时刻开灯，由于光沿任意方向的速度都为 c

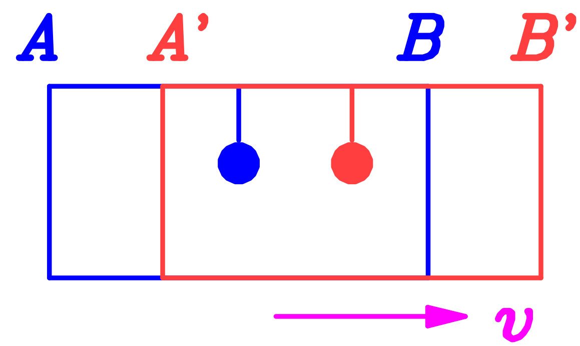
故在车厢上看，光同时到达 A 和 B 两端。

光到达 A 端的 A 事件和光到达 B 端的 B 事件同时发生。

对地面观察者，光还是以光速 c 传播，光到达 A 端时 A 已运行了一段距离 d 到达 A'

1. 同时的相对性

在旧的绝对时空观中，同时是绝对的：$\Delta t' = \Delta t$。在新的时空观中并不如此。



如图一车厢以速度 v 匀速运动，车厢中点挂一灯泡。

在 $t=0$ 时刻开灯，由于光沿任意方向的速度都为 c

故在车厢上看，光同时到达 A 和 B 两端。

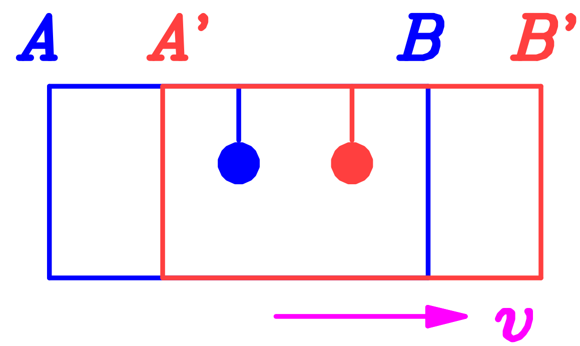
光到达 A 端的 A 事件和光到达 B 端的 B 事件同时发生。

对地面观察者，光还是以光速 c 传播，光到达 A 端时 A 已运行了一段距离 d 到达 A'

设车厢长度为 $2l$，故：A 事件发生于 $t_A = (l-d)/c$，类似地 B 事件发生于 $t_B = (l+d)/c$

1. 同时的相对性

在旧的绝对时空观中，同时是绝对的：$\Delta t' = \Delta t$。在新的时空观中并不如此。



如图一车厢以速度 v 匀速运动，车厢中点挂一灯泡。

在 $t = 0$ 时刻开灯，由于光沿任意方向的速度都为 c

故在车厢上看，光同时到达 A 和 B 两端。

光到达 A 端的 A 事件和光到达 B 端的 B 事件同时发生。

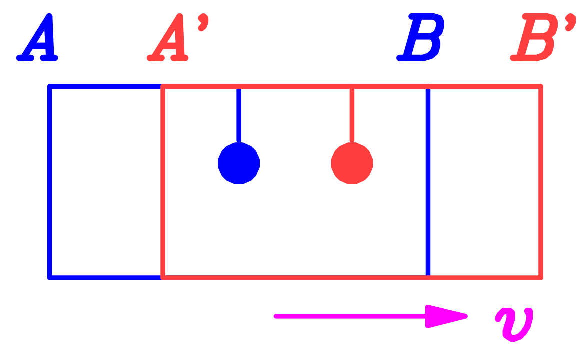
对地面观察者，光还是以光速 c 传播，光到达 A 端时 A 已运行了一段距离 d 到达 A'

设车厢长度为 $2l$，故：A 事件发生于 $t_A = (l - d)/c$，类似地 B 事件发生于 $t_B = (l + d)/c$

$t_A < t_B$，A 事件早于 B 事件

1. 同时的相对性

在旧的绝对时空观中，同时是绝对的：$\Delta t' = \Delta t$。在新的时空观中并不如此。



如图一车厢以速度 v 匀速运动，车厢中点挂一灯泡。

在 $t = 0$ 时刻开灯，由于光沿任意方向的速度都为 c

故在车厢上看，光同时到达 A 和 B 两端。

光到达 A 端的 A 事件和光到达 B 端的 B 事件同时发生。

对地面观察者，光还是以光速 c 传播，光到达 A 端时 A 已运行了一段距离 d 到达 A'

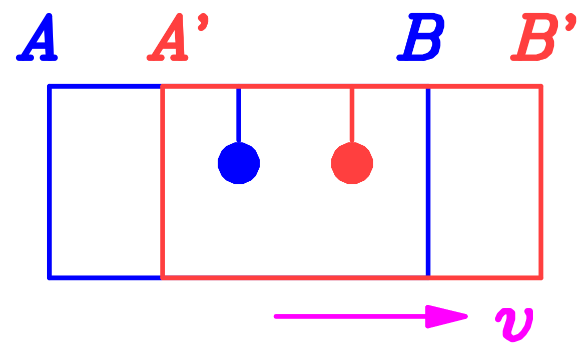
设车厢长度为 $2l$，故：A 事件发生于 $t_A = (l - d)/c$，类似地 B 事件发生于 $t_B = (l + d)/c$

$t_A < t_B$，A 事件早于 B 事件

$\Longrightarrow$ 同时的相对性：在一惯性系同时发生的两事件，在另一惯性系观察，不一定同时

1. 同时的相对性

在旧的绝对时空观中，同时是绝对的：$\Delta t' = \Delta t$。在新的时空观中并不如此。



如图一车厢以速度 v 匀速运动，车厢中点挂一灯泡。

在 $t = 0$ 时刻开灯，由于光沿任意方向的速度都为 c

故在车厢上看，光同时到达 A 和 B 两端。

光到达 A 端的 A 事件和光到达 B 端的 B 事件同时发生。

对地面观察者，光还是以光速 c 传播，光到达 A 端时 A 已运行了一段距离 d 到达 A'

设车厢长度为 $2l$，故：A 事件发生于 $t_A = (l-d)/c$，类似地 B 事件发生于 $t_B = (l+d)/c$

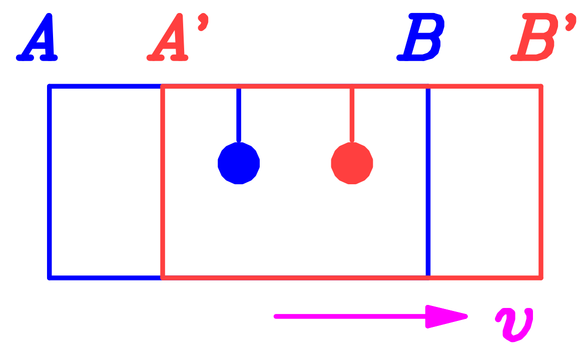
$t_A < t_B$，A 事件早于 B 事件

$\Longrightarrow$ 同时的相对性：在一惯性系同时发生的两事件，在另一惯性系观察，不一定同时

对地面观察者，光到达 A 端所需的时间 t_A 满足：$(l - vt_A)/c = t_A$，$2l$ 为地面观察车厢的长度。

1. 同时的相对性

在旧的绝对时空观中，同时是绝对的：$\Delta t' = \Delta t$。在新的时空观中并不如此。



如图一车厢以速度 v 匀速运动，车厢中点挂一灯泡。

在 $t = 0$ 时刻开灯，由于光沿任意方向的速度都为 c

故在车厢上看，光同时到达 A 和 B 两端。

光到达 A 端的 A 事件和光到达 B 端的 B 事件同时发生。

对地面观察者，光还是以光速 c 传播，光到达 A 端时 A 已运行了一段距离 d 到达 A'

设车厢长度为 $2l$，故：A 事件发生于 $t_A = (l-d)/c$，类似地 B 事件发生于 $t_B = (l+d)/c$

$t_A < t_B$，A 事件早于 B 事件

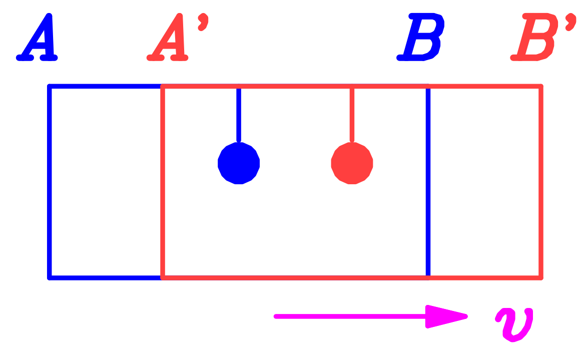
$\Longrightarrow$ 同时的相对性：在一惯性系同时发生的两事件，在另一惯性系观察，不一定同时

对地面观察者，光到达 A 端所需的时间 t_A 满足：$(l - vt_A)/c = t_A$，$2l$ 为地面观察车厢的长度。

光到达 B 端所需的时间 t_B 满足：$(l + vt_B)/c = t_B \Longrightarrow t_A = l/(c+v), \quad t_B = l/(c-v)$

1. 同时的相对性

在旧的绝对时空观中，同时是绝对的：$\Delta t' = \Delta t$。在新的时空观中并不如此。



如图一车厢以速度 v 匀速运动，车厢中点挂一灯泡。

在 $t = 0$ 时刻开灯，由于光沿任意方向的速度都为 c

故在车厢上看，光同时到达 A 和 B 两端。

光到达 A 端的 A 事件和光到达 B 端的 B 事件同时发生。

对地面观察者，光还是以光速 c 传播，光到达 A 端时 A 已运行了一段距离 d 到达 A'

设车厢长度为 $2l$，故：A 事件发生于 $t_A = (l-d)/c$，类似地 B 事件发生于 $t_B = (l+d)/c$

$t_A < t_B$，A 事件早于 B 事件

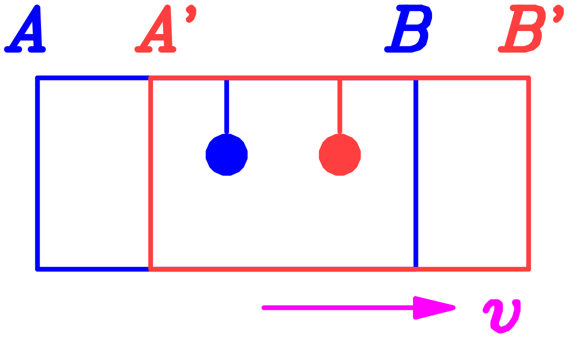
$\Longrightarrow$ 同时的相对性：在一惯性系同时发生的两事件，在另一惯性系观察，不一定同时

对地面观察者，光到达 A 端所需的时间 t_A 满足：$(l - vt_A)/c = t_A$，$2l$ 为地面观察车厢的长度。

光到达 B 端所需的时间 t_B 满足：$(l + vt_B)/c = t_B \Longrightarrow t_A = l/(c+v), \quad t_B = l/(c-v)$

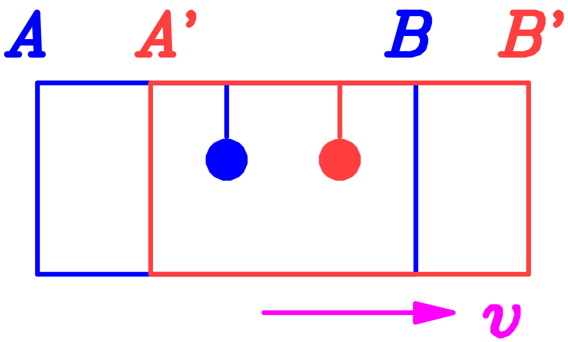
光先到达 A 端：$t_B - t_A = \dfrac{2l}{c} \dfrac{v/c}{1-(v/c)^2} > 0$

2. 洛仑兹收缩

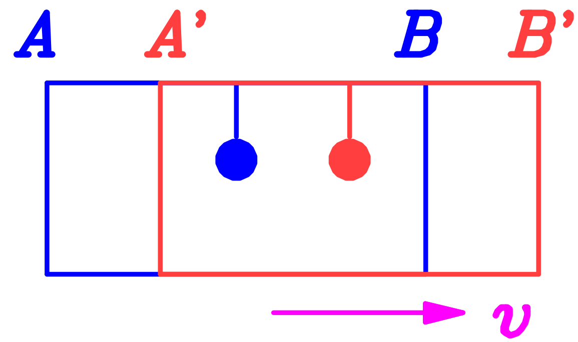


2. 洛仑兹收缩

车厢沿 $+x$ 方向以速度 v 匀速运动，



2. 洛仑兹收缩

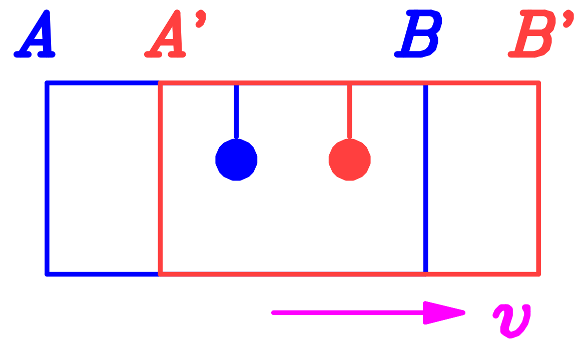


车厢沿 $+x$ 方向以速度 v 匀速运动，

在车厢参考系 S' 上测得车厢长度为 $2l'$

在地面参考系 S 测得运动车厢长度为 $2l$，　　$l \stackrel{?}{=} l'$

2. 洛仑兹收缩



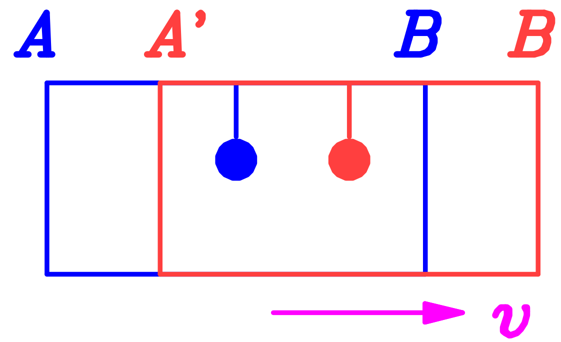
车厢沿 $+x$ 方向以速度 v 匀速运动，

在车厢参考系 S' 上测得车厢长度为 $2l'$

在地面参考系 S 测得运动车厢长度为 $2l$，　　$l \overset{?}{=} l'$

如何在地面参考系 S 测量运动车厢的长度？

2. 洛仑兹收缩



车厢沿 $+x$ 方向以速度 v 匀速运动，

在车厢参考系 S' 上测得车厢长度为 $2l'$

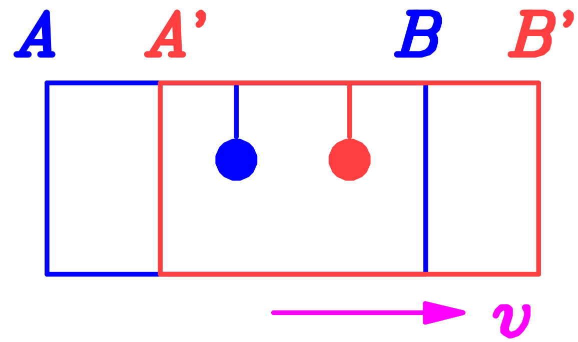
在地面参考系 S 测得运动车厢长度为 $2l$，　　$l \stackrel{?}{=} l'$

如何在地面参考系 S 测量运动车厢的长度？

在车厢的 A 端与坐标读数 x_A 对准的同时，车厢的 A 端与坐标读数 x_B 对准

地面参考系 S 测得车厢长度：$2l = x_B - x_A$

2. 洛仑兹收缩



车厢沿 $+x$ 方向以速度 v 匀速运动，

在车厢参考系 S' 上测得车厢长度为 $2l'$

在地面参考系 S 测得运动车厢长度为 $2l$， $l \overset{?}{=} l'$

如何在地面参考系 S 测量运动车厢的长度？

在车厢的 A 端与坐标读数 x_A 对准的同时，车厢的 A 端与坐标读数 x_B 对准

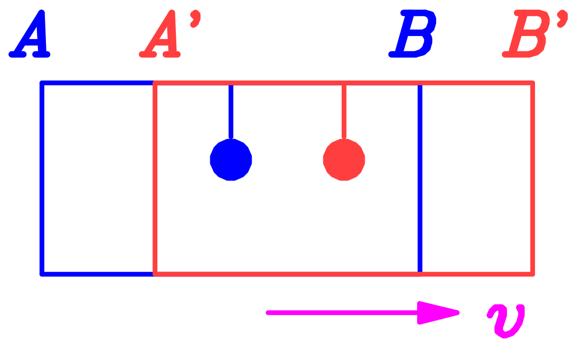
地面参考系 S 测得车厢长度：$2l = x_B - x_A$

由于同时是相对的，在地面参考系 S 同时读取 x_A 与 x_B，在车厢参考系 S' 上看并不同时，

因此，车厢上的观察者认为地面观察者在不同的时刻读取运动车厢两端的坐标读数，

再把读数相减得到车厢长度，因此地面观察者测量的车厢长度当然是“不正确的”：$2l \neq 2l'$

2. 洛仑兹收缩



车厢沿 $+x$ 方向以速度 v 匀速运动，

在车厢参考系 S' 上测得车厢长度为 $2l'$

在地面参考系 S 测得运动车厢长度为 $2l$， $l \overset{?}{=} l'$

如何在地面参考系 S 测量运动车厢的长度？

在车厢的 A 端与坐标读数 x_A 对准的同时，车厢的 A 端与坐标读数 x_B 对准

地面参考系 S 测得车厢长度：$2l = x_B - x_A$

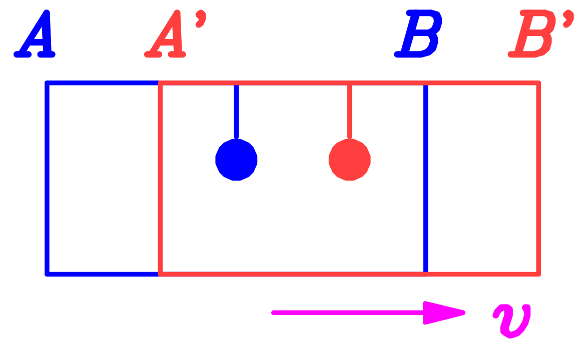
由于同时是相对的，在地面参考系 S 同时读取 x_A 与 x_B，在车厢参考系 S' 上看并不同时，

因此，车厢上的观察者认为地面观察者在不同的时刻读取运动车厢两端的坐标读数，

再把读数相减得到车厢长度，因此地面观察者测量的车厢长度当然是“不正确的”：$2l \neq 2l'$

那么 l 与 l' 的关系如何？

2. 洛仑兹收缩



车厢沿 $+x$ 方向以速度 v 匀速运动，

在车厢参考系 S' 上测得车厢长度为 $2l'$

在地面参考系 S 测得运动车厢长度为 $2l$，　　$l \overset{?}{=} l'$

如何在地面参考系 S 测量运动车厢的长度？

在车厢的 A 端与坐标读数 x_A 对准的同时，车厢的 A 端与坐标读数 x_B 对准

地面参考系 S 测得车厢长度：$2l = x_B - x_A$

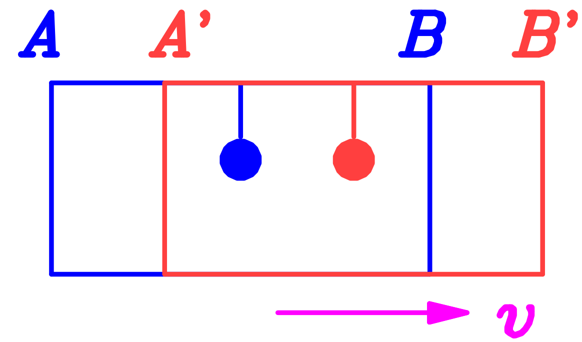
由于同时是相对的，在地面参考系 S 同时读取 x_A 与 x_B，在车厢参考系 S' 上看并不同时，

因此，车厢上的观察者认为地面观察者在不同的时刻读取运动车厢两端的坐标读数，

再把读数相减得到车厢长度，因此地面观察者测量的车厢长度当然是“不正确的”：$2l \neq 2l'$

那么 l 与 l' 的关系如何？为此，再引入一个长度

2. 洛仑兹收缩



车厢沿 $+x$ 方向以速度 v 匀速运动，

在车厢参考系 S' 上测得车厢长度为 $2l'$

在地面参考系 S 测得运动车厢长度为 $2l$，　　$l \stackrel{?}{=} l'$

如何在地面参考系 S 测量运动车厢的长度？

在车厢的 A 端与坐标读数 x_A 对准的同时，车厢的 A 端与坐标读数 x_B 对准

地面参考系 S 测得车厢长度：$2l = x_B - x_A$

由于同时是相对的，在地面参考系 S 同时读取 x_A 与 x_B，在车厢参考系 S' 上看并不同时，

因此，车厢上的观察者认为地面观察者在不同的时刻读取运动车厢两端的坐标读数，

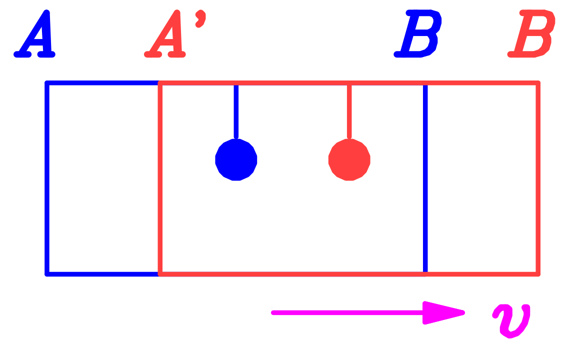
再把读数相减得到车厢长度，因此地面观察者测量的车厢长度当然是“不正确的”：$2l \neq 2l'$

那么 l 与 l' 的关系如何？为此，再引入一个长度

在车厢的 A、B 两端各放置一打印机，在车厢的中点放置一灯泡，在某时刻灯泡发光

当光到达 A 端时，A 端在地面上打一标记，同样地，光到达 B 端时，B 端也在地面打一标记

2. 洛仑兹收缩



车厢沿 $+x$ 方向以速度 v 匀速运动，

在车厢参考系 S' 上测得车厢长度为 $2l'$

在地面参考系 S 测得运动车厢长度为 $2l$， $l \overset{?}{=} l'$

如何在地面参考系 S 测量运动车厢的长度？

在车厢的 A 端与坐标读数 x_A 对准的同时，车厢的 A 端与坐标读数 x_B 对准

地面参考系 S 测得车厢长度：$2l = x_B - x_A$

由于同时是相对的，在地面参考系 S 同时读取 x_A 与 x_B，在车厢参考系 S' 上看并不同时，

因此，车厢上的观察者认为地面观察者在不同的时刻读取运动车厢两端的坐标读数，

再把读数相减得到车厢长度，因此地面观察者测量的车厢长度当然是“不正确的”：$2l \neq 2l'$

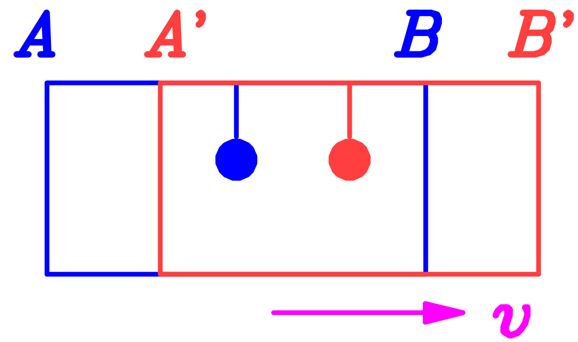
那么 l 与 l' 的关系如何？为此，再引入一个长度

在车厢的 A、B 两端各放置一打印机，在车厢的中点放置一灯泡，在某时刻灯泡发光

当光到达 A 端时，A 端在地面上打一标记，同样地，光到达 B 端时，B 端也在地面打一标记

在地面上看，光到达 A 端所需时间 $t_A = l/(c+v)$，到达 B 端所需时间 $t_B = l/(c-v)$

2. 洛仑兹收缩



车厢沿 $+x$ 方向以速度 v 匀速运动，

在车厢参考系 S' 上测得车厢长度为 $2l'$

在地面参考系 S 测得运动车厢长度为 $2l$， $l \overset{?}{=} l'$

如何在地面参考系 S 测量运动车厢的长度？

在车厢的 A 端与坐标读数 x_A 对准的同时，车厢的 A 端与坐标读数 x_B 对准

地面参考系 S 测得车厢长度：$2l = x_B - x_A$

由于同时是相对的，在地面参考系 S 同时读取 x_A 与 x_B，在车厢参考系 S' 上看并不同时，

因此，车厢上的观察者认为地面观察者在不同的时刻读取运动车厢两端的坐标读数，

再把读数相减得到车厢长度，因此地面观察者测量的车厢长度当然是“不正确的”：$2l \neq 2l'$

那么 l 与 l' 的关系如何？为此，再引入一个长度

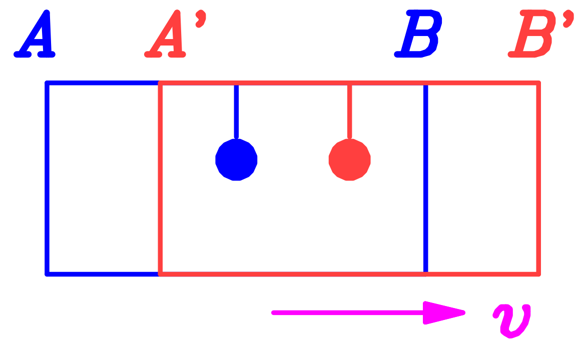
在车厢的 A、B 两端各放置一打印机，在车厢的中点放置一灯泡，在某时刻灯泡发光

当光到达 A 端时，A 端在地面上打一标记，同样地，光到达 B 端时，B 端也在地面打一标记

在地面上看，光到达 A 端所需时间 $t_A = l/(c+v)$，到达 B 端所需时间 $t_B = l/(c-v)$

光向左走了 ct_A，向右走了 ct_B，因此地面上两个标记相距：$a = c(t_A + t_B) = 2l/(1 - v^2/c^2)$

2. 洛仑兹收缩



车厢沿 $+x$ 方向以速度 v 匀速运动，

在车厢参考系 S' 上测得车厢长度为 $2l'$

在地面参考系 S 测得运动车厢长度为 $2l$，　　$l \stackrel{?}{=} l'$

如何在地面参考系 S 测量运动车厢的长度？

在车厢的 A 端与坐标读数 x_A 对准的同时，车厢的 A 端与坐标读数 x_B 对准

地面参考系 S 测得车厢长度：$2l = x_B - x_A$

由于同时是相对的，在地面参考系 S 同时读取 x_A 与 x_B，在车厢参考系 S' 上看并不同时，

因此，车厢上的观察者认为地面观察者在不同的时刻读取运动车厢两端的坐标读数，

再把读数相减得到车厢长度，因此地面观察者测量的车厢长度当然是“不正确的”：$2l \neq 2l'$

那么 l 与 l' 的关系如何？为此，再引入一个长度

在车厢的 A、B 两端各放置一打印机，在车厢的中点放置一灯泡，在某时刻灯泡发光

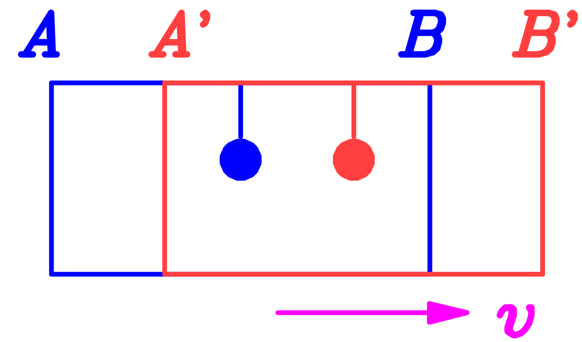
当光到达 A 端时，A 端在地面上打一标记，同样地，光到达 B 端时，B 端也在地面打一标记

在地面上看，光到达 A 端所需时间 $t_A = l/(c+v)$，到达 B 端所需时间 $t_B = l/(c-v)$

光向左走了 ct_A，向右走了 ct_B，因此地面上两个标记相距：$a = c(t_A + t_B) = 2l/(1 - v^2/c^2)$

现考虑：a, $2l$, $2l'$ 之间的关系。

2. 洛仑兹收缩



车厢沿 $+x$ 方向以速度 v 匀速运动，

在车厢参考系 S' 上测得车厢长度为 $2l'$

在地面参考系 S 测得运动车厢长度为 $2l$，　　$l \overset{?}{=} l'$

如何在地面参考系 S 测量运动车厢的长度？

在车厢的 A 端与坐标读数 x_A 对准的同时，车厢的 A 端与坐标读数 x_B 对准

地面参考系 S 测得车厢长度：$2l = x_B - x_A$

由于同时是相对的，在地面参考系 S 同时读取 x_A 与 x_B，在车厢参考系 S' 上看并不同时，

因此，车厢上的观察者认为地面观察者在不同的时刻读取运动车厢两端的坐标读数，

再把读数相减得到车厢长度，因此地面观察者测量的车厢长度当然是“不正确的”：$2l \neq 2l'$

那么 l 与 l' 的关系如何？为此，再引入一个长度

在车厢的 A、B 两端各放置一打印机，在车厢的中点放置一灯泡，在某时刻灯泡发光

当光到达 A 端时，A 端在地面上打一标记，同样地，光到达 B 端时，B 端也在地面打一标记

在地面上看，光到达 A 端所需时间 $t_A = l/(c+v)$，到达 B 端所需时间 $t_B = l/(c-v)$

光向左走了 ct_A，向右走了 ct_B，因此地面上两个标记相距：$a = c(t_A + t_B) = 2l/(1 - v^2/c^2)$

现考虑：a, $2l$, $2l'$ 之间的关系。　　设运动尺度与静止尺度有关系：$2l = k\,2l'$

Let there be light

$a = c(t_A + t_B) = 2l/(1 - v^2/c^2)$

Let there be light

$a = c(t_A + t_B) = 2l/(1 - v^2/c^2)$

设运动尺度与静止尺度有关系：$2l = k\,2l'$，k 可能与速度大小有关，但应与速度方向无关。

$a = c(t_A + t_B) = 2l/(1 - v^2/c^2)$

设运动尺度与静止尺度有关系：$2l = k\,2l'$，k 可能与速度大小有关，但应与速度方向无关。

在车厢上看，A、B 两端同时打印，故 $2l'$ 就是在车厢上测量地面相距为 a 的两点的距离（长度）

$a = c(t_A + t_B) = 2l/(1 - v^2/c^2)$

设运动尺度与静止尺度有关系：$2l = k\,2l'$，k 可能与速度大小有关，但应与速度方向无关。

在车厢上看，A、B 两端同时打印，故 $2l'$ 就是在车厢上测量地面相距为 a 的两点的距离（长度）

由于在车厢上看，地面是运动的，因此

$2l'$ 就是测量在车厢参考系测量长度为 a 的以速度 $-v$ 运动的两点的距离。

根据运动长度与静止长度的关系，有：$2l' = k'a$，注意 k 与运动方向无关：$k' = k$。

$a = c(t_A + t_B) = 2l/(1 - v^2/c^2)$

设运动尺度与静止尺度有关系：$2l = k\,2l'$，k 可能与速度大小有关，但应与速度方向无关。

在车厢上看，A、B 两端同时打印，故 $2l'$ 就是在车厢上测量地面相距为 a 的两点的距离（长度）

由于在车厢上看，地面是运动的，因此

$2l'$ 就是测量在车厢参考系测量长度为 a 的以速度 $-v$ 运动的两点的距离。

根据运动长度与静止长度的关系，有：$2l' = k'a$，注意 k 与运动方向无关：$k' = k$。

从而：$2l = k\,2l' = k^2 a = k^2 2l/(1 - v^2/c^2) \quad \Longrightarrow \quad k = \sqrt{1 - v^2/c^2} = \gamma^{-1}$

$a = c(t_A + t_B) = 2l/(1 - v^2/c^2)$

设运动尺度与静止尺度有关系：$2l = k\,2l'$，k 可能与速度大小有关，但应与速度方向无关。

在车厢上看，A、B 两端同时打印，故 $2l'$ 就是在车厢上测量地面相距为 a 的两点的距离（长度）

由于在车厢上看，地面是运动的，因此

$2l'$ 就是测量在车厢参考系测量长度为 a 的以速度 $-v$ 运动的两点的距离。

根据运动长度与静止长度的关系，有：$2l' = k'a$，注意 k 与运动方向无关：$k' = k$。

从而：$2l = k\,2l' = k^2 a = k^2 2l/(1 - v^2/c^2) \quad \Longrightarrow \quad k = \sqrt{1 - v^2/c^2} = \gamma^{-1}$

$l = l'/\gamma, \quad \gamma = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2} > 1$

$a = c(t_A + t_B) = 2l/(1 - v^2/c^2)$

设运动尺度与静止尺度有关系：$2l = k\,2l'$，k 可能与速度大小有关，但应与速度方向无关。

在车厢上看，A、B 两端同时打印，故 $2l'$ 就是在车厢上测量地面相距为 a 的两点的距离（长度）

由于在车厢上看，地面是运动的，因此

$2l'$ 就是测量在车厢参考系测量长度为 a 的以速度 $-v$ 运动的两点的距离。

根据运动长度与静止长度的关系，有：$2l' = k'a$，注意 k 与运动方向无关：$k' = k$。

从而：$2l = k\,2l' = k^2 a = k^2 2l/(1 - v^2/c^2) \quad \Longrightarrow \quad k = \sqrt{1 - v^2/c^2} = \gamma^{-1}$

$l = l'/\gamma, \quad \gamma = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2} > 1$

运动长度缩短：一根静止长度为 l' 的尺子，其运动长度 $l = l'/\gamma$

$a = c(t_A + t_B) = 2l/(1 - v^2/c^2)$

设运动尺度与静止尺度有关系：$2l = k\,2l'$，k 可能与速度大小有关，但应与速度方向无关。

在车厢上看，A、B 两端同时打印，故 $2l'$ 就是在车厢上测量地面相距为 a 的两点的距离（长度）

由于在车厢上看，地面是运动的，因此

$2l'$ 就是测量在车厢参考系测量长度为 a 的以速度 $-v$ 运动的两点的距离。

根据运动长度与静止长度的关系，有：$2l' = k'a$，注意 k 与运动方向无关：$k' = k$。

从而：$2l = k\,2l' = k^2 a = k^2 2l/(1 - v^2/c^2) \quad\Longrightarrow\quad k = \sqrt{1 - v^2/c^2} = \gamma^{-1}$

$l = l'/\gamma, \quad \gamma = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2} > 1$

运动长度缩短：一根静止长度为 l' 的尺子，其运动长度 $l = l'/\gamma$

用类似的方法可以证明垂直于运动方向的长度不变。

$a = c(t_A + t_B) = 2l/(1 - v^2/c^2)$

设运动尺度与静止尺度有关系：$2l = k\,2l'$，k 可能与速度大小有关，但应与速度方向无关。

在车厢上看，A、B 两端同时打印，故 $2l'$ 就是在车厢上测量地面相距为 a 的两点的距离（长度）

由于在车厢上看，地面是运动的，因此

$2l'$ 就是测量在车厢参考系测量长度为 a 的以速度 $-v$ 运动的两点的距离。

根据运动长度与静止长度的关系，有：$2l' = k'a$，注意 k 与运动方向无关：$k' = k$。

从而：$2l = k\,2l' = k^2 a = k^2 2l/(1 - v^2/c^2) \quad \Longrightarrow \quad k = \sqrt{1 - v^2/c^2} = \gamma^{-1}$

$l = l'/\gamma, \quad \gamma = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2} > 1$

运动长度缩短：一根静止长度为 l' 的尺子，其运动长度 $l = l'/\gamma$

用类似的方法可以证明垂直于运动方向的长度不变。

在地面建一面墙，在地面上测量离地面 1m 高的地方画一水平蓝线，

有一列车厢经过这面墙，车厢观察者在车厢上测量离地面 1m 高的地方往墙上画一水平红线。

$a = c(t_A + t_B) = 2l/(1 - v^2/c^2)$

设运动尺度与静止尺度有关系：$2l = k\,2l'$，k 可能与速度大小有关，但应与速度方向无关。

在车厢上看，A、B 两端同时打印，故 $2l'$ 就是在车厢上测量地面相距为 a 的两点的距离（长度）

由于在车厢上看，地面是运动的，因此

$2l'$ 就是测量在车厢参考系测量长度为 a 的以速度 $-v$ 运动的两点的距离。

根据运动长度与静止长度的关系，有：$2l' = k'a$，注意 k 与运动方向无关：$k' = k$。

从而：$2l = k\,2l' = k^2 a = k^2 2l/(1 - v^2/c^2) \quad \Longrightarrow \quad k = \sqrt{1 - v^2/c^2} = \gamma^{-1}$

$l = l'/\gamma, \quad \gamma = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2} > 1$

运动长度缩短：一根静止长度为 l' 的尺子，其运动长度 $l = l'/\gamma$

用类似的方法可以证明垂直于运动方向的长度不变。

在地面建一面墙，在地面上测量离地面 1m 高的地方画一水平蓝线，

有一列车厢经过这面墙，车厢观察者在车厢上测量离地面 1m 高的地方往墙上画一水平红线。

墙面有红蓝两条线。如果运动使长度缩短，在地面上看，车厢运动，故红线应在蓝线下面，

$a = c(t_A + t_B) = 2l/(1 - v^2/c^2)$

设运动尺度与静止尺度有关系：$2l = k\,2l'$，k 可能与速度大小有关，但应与速度方向无关。

在车厢上看，A、B 两端同时打印，故 $2l'$ 就是在车厢上测量地面相距为 a 的两点的距离（长度）

由于在车厢上看，地面是运动的，因此

$2l'$ 就是测量在车厢参考系测量长度为 a 的以速度 $-v$ 运动的两点的距离。

根据运动长度与静止长度的关系，有：$2l' = k'a$，注意 k 与运动方向无关：$k' = k$。

从而：$2l = k\,2l' = k^2a = k^2 2l/(1 - v^2/c^2) \quad \Longrightarrow \quad k = \sqrt{1 - v^2/c^2} = \gamma^{-1}$

$l = l'/\gamma, \quad \gamma = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2} > 1$

运动长度缩短：一根静止长度为 l' 的尺子，其运动长度 $l = l'/\gamma$

用类似的方法可以证明垂直于运动方向的长度不变。

在地面建一面墙，在地面上测量离地面 1m 高的地方画一水平蓝线，

有一列车厢经过这面墙，车厢观察者在车厢上测量离地面 1m 高的地方往墙上画一水平红线。

墙面有红蓝两条线。如果运动使长度缩短，在地面上看，车厢运动，故红线应在蓝线下面，

但在车厢上看，地面在运动，故蓝线应在红线下面。

$a = c(t_A + t_B) = 2l/(1 - v^2/c^2)$

设运动尺度与静止尺度有关系：$2l = k\,2l'$，k 可能与速度大小有关，但应与速度方向无关。

在车厢上看，A、B 两端同时打印，故 $2l'$ 就是在车厢上测量地面相距为 a 的两点的距离（长度）

由于在车厢上看，地面是运动的，因此

$2l'$ 就是测量在车厢参考系测量长度为 a 的以速度 $-v$ 运动的两点的距离。

根据运动长度与静止长度的关系，有：$2l' = k'a$，注意 k 与运动方向无关：$k' = k$。

从而：$2l = k\,2l' = k^2 a = k^2 2l/(1 - v^2/c^2) \quad \Longrightarrow \quad k = \sqrt{1 - v^2/c^2} = \gamma^{-1}$

$l = l'/\gamma, \quad \gamma = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2} > 1$

运动长度缩短：一根静止长度为 l' 的尺子，其运动长度 $l = l'/\gamma$

用类似的方法可以证明垂直于运动方向的长度不变。

在地面建一面墙，在地面上测量离地面 1m 高的地方画一水平蓝线，

有一列车厢经过这面墙，车厢观察者在车厢上测量离地面 1m 高的地方往墙上画一水平红线。

墙面有红蓝两条线。如果运动使长度缩短，在地面上看，车厢运动，故红线应在蓝线下面，

但在车厢上看，地面在运动，故蓝线应在红线下面。

从相对性原理，地面和车厢惯性系等价，也即两惯性系的结论都正确，因此只能是红、蓝线重合，

$a = c(t_A + t_B) = 2l/(1 - v^2/c^2)$

设运动尺度与静止尺度有关系：$2l = k\,2l'$，k 可能与速度大小有关，但应与速度方向无关。

在车厢上看，A、B 两端同时打印，故 $2l'$ 就是在车厢上测量地面相距为 a 的两点的距离（长度）

由于在车厢上看，地面是运动的，因此

$2l'$ 就是测量在车厢参考系测量长度为 a 的以速度 $-v$ 运动的两点的距离。

根据运动长度与静止长度的关系，有：$2l' = k'a$，注意 k 与运动方向无关：$k' = k$。

从而：$2l = k\,2l' = k^2 a = k^2 2l/(1 - v^2/c^2) \quad \Longrightarrow \quad k = \sqrt{1 - v^2/c^2} = \gamma^{-1}$

$l = l'/\gamma, \quad \gamma = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2} > 1$

运动长度缩短：一根静止长度为 l' 的尺子，其运动长度 $l = l'/\gamma$

用类似的方法可以证明垂直于运动方向的长度不变。

在地面建一面墙，在地面上测量离地面 1m 高的地方画一水平蓝线，

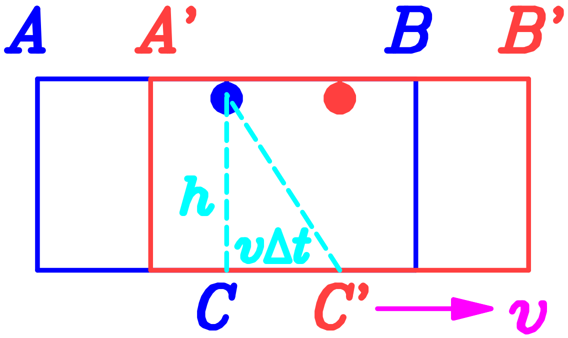
有一列车厢经过这面墙，车厢观察者在车厢上测量离地面 1m 高的地方往墙上画一水平红线。

墙面有红蓝两条线。如果运动使长度缩短，在地面上看，车厢运动，故红线应在蓝线下面，

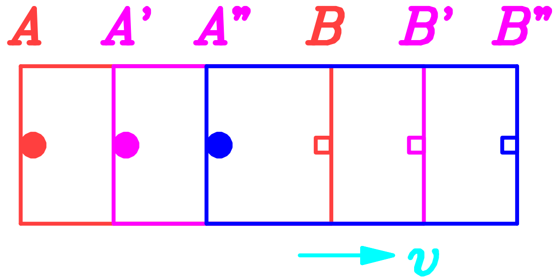
但在车厢上看，地面在运动，故蓝线应在红线下面。

从相对性原理，地面和车厢惯性系等价，也即两惯性系的结论都正确，因此只能是红、蓝线重合，

即；垂直于运动方向的尺度不收缩



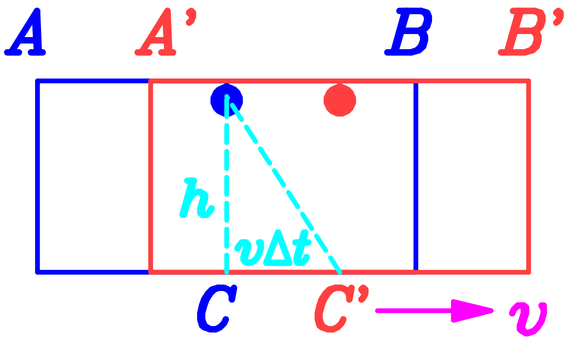
3. 时间延缓

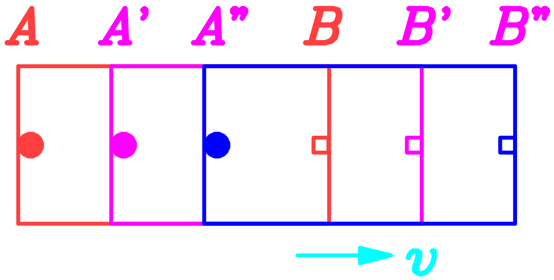


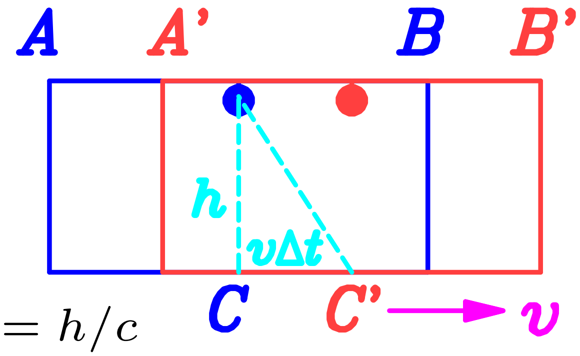
3. 时间延缓

车厢高度 h，沿 $+x$ 方向以速度 v 匀速运动，

车厢顶部中点有一灯泡在某时刻发光







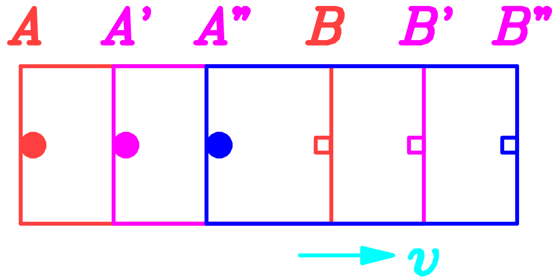
3. 时间延缓

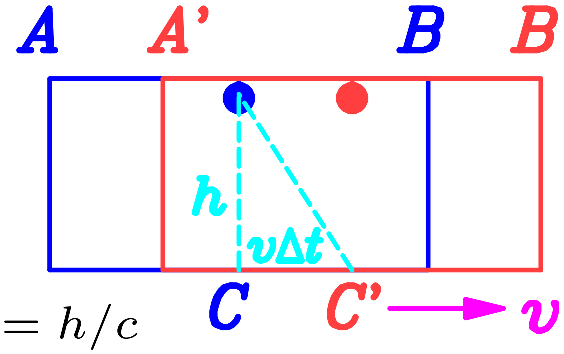
车厢高度 h，沿 $+x$ 方向以速度 v 匀速运动，

车厢顶部中点有一灯泡在某时刻发光

在车厢惯性系看，光线到达车厢底部中点所需的时间为：$\Delta t' = h/c$

即灯泡发光事件与光线到达车厢底部中点事件的时间间隔为：$\Delta t' = h/c$





3. **时间延缓**

车厢高度 h，沿 $+x$ 方向以速度 v 匀速运动，

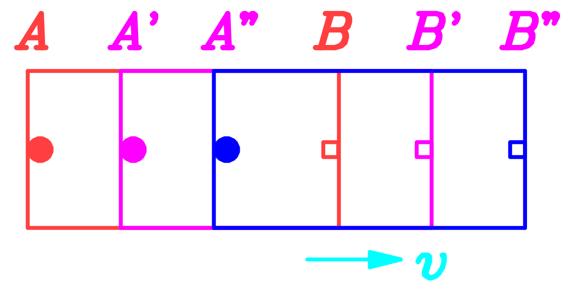
车厢顶部中点有一灯泡在某时刻发光

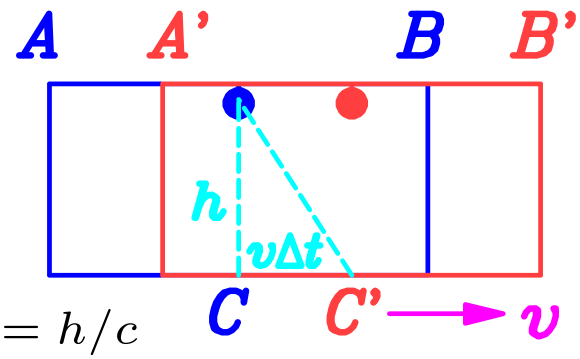
在车厢惯性系看，光线到达车厢底部中点所需的时间为：$\Delta t' = h/c$

即灯泡发光事件与光线到达车厢底部中点事件的时间间隔为：$\Delta t' = h/c$

在地面惯性系看，光线到达车厢底部时，C 已运动到 C'

光线到达车厢底部中点 C' 所需的时间为：$\Delta t = \sqrt{h^2 + (v\Delta t)^2}/c$





3. 时间延缓

车厢高度 h，沿 $+x$ 方向以速度 v 匀速运动，

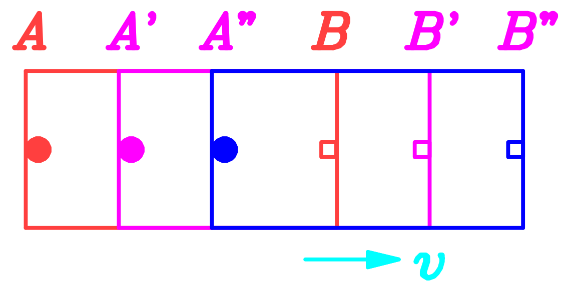
车厢顶部中点有一灯泡在某时刻发光

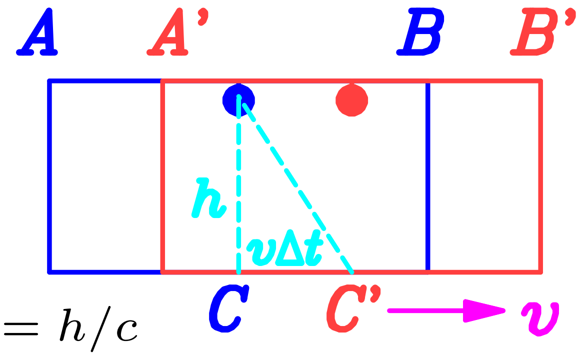
在车厢惯性系看，光线到达车厢底部中点所需的时间为：$\Delta t' = h/c$

即灯泡发光事件与光线到达车厢底部中点事件的时间间隔为：$\Delta t' = h/c$

在地面惯性系看，光线到达车厢底部时，C 已运动到 C'

光线到达车厢底部中点 C' 所需的时间为：$\Delta t = \sqrt{h^2 + (v\Delta t)^2}/c \quad \Longrightarrow \quad \Delta t = \gamma h/c$





3. 时间延缓

车厢高度 h，沿 $+x$ 方向以速度 v 匀速运动，

车厢顶部中点有一灯泡在某时刻发光

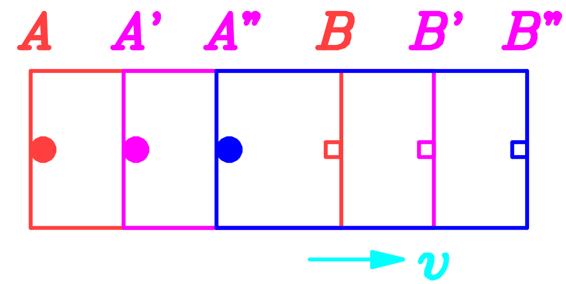
在车厢惯性系看，光线到达车厢底部中点所需的时间为：$\Delta t' = h/c$

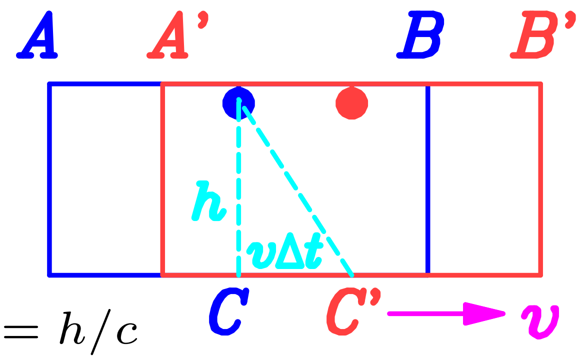
即灯泡发光事件与光线到达车厢底部中点事件的时间间隔为：$\Delta t' = h/c$

在地面惯性系看，光线到达车厢底部时，C 已运动到 C'

光线到达车厢底部中点 C' 所需的时间为：$\Delta t = \sqrt{h^2 + (v\Delta t)^2}/c \quad \Longrightarrow \quad \Delta t = \gamma h/c$

即灯泡发光事件与光线到达车厢底部中点事件的时间间隔为：$\Delta t = \gamma \Delta t'$





3. 时间延缓

车厢高度 h，沿 $+x$ 方向以速度 v 匀速运动，

车厢顶部中点有一灯泡在某时刻发光

在车厢惯性系看，光线到达车厢底部中点所需的时间为：$\Delta t' = h/c$

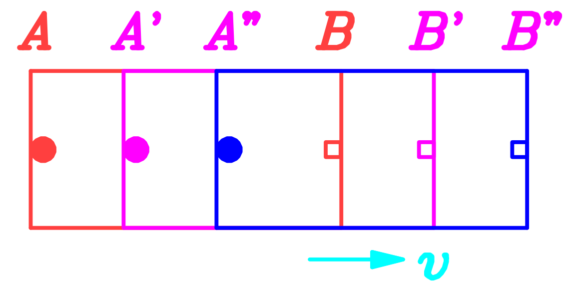
即灯泡发光事件与光线到达车厢底部中点事件的时间间隔为：$\Delta t' = h/c$

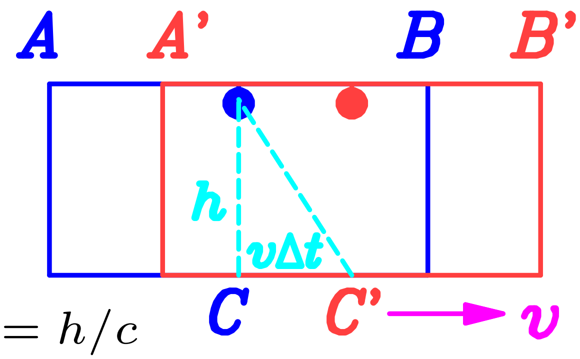
在地面惯性系看，光线到达车厢底部时，C 已运动到 C'

光线到达车厢底部中点 C' 所需的时间为：$\Delta t = \sqrt{h^2 + (v\Delta t)^2}/c \quad \Longrightarrow \quad \Delta t = \gamma h/c$

即灯泡发光事件与光线到达车厢底部中点事件的时间间隔为：$\Delta t = \gamma \Delta t'$

同样两件事件，在地面惯性系看，经历了 Δt 时间，在车厢惯性系看，经历了 $\Delta t' = \gamma^{-1}\Delta t$





3. 时间延缓

车厢高度 h，沿 $+x$ 方向以速度 v 匀速运动，

车厢顶部中点有一灯泡在某时刻发光

在车厢惯性系看，光线到达车厢底部中点所需的时间为：$\Delta t' = h/c$

即灯泡发光事件与光线到达车厢底部中点事件的时间间隔为：$\Delta t' = h/c$

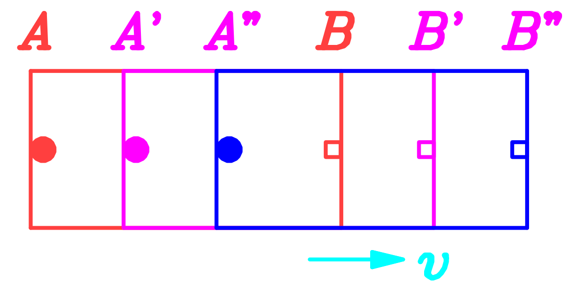
在地面惯性系看，光线到达车厢底部时，C 已运动到 C'

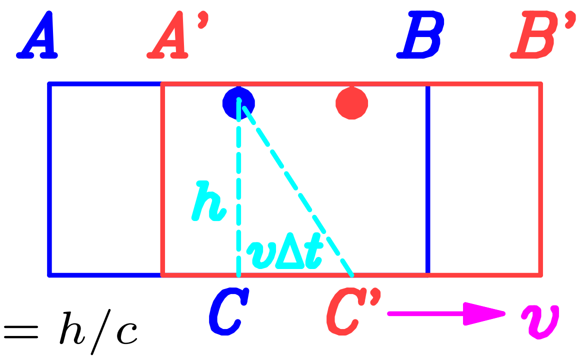
光线到达车厢底部中点 C' 所需的时间为：$\Delta t = \sqrt{h^2 + (v\Delta t)^2}/c \quad \Longrightarrow \quad \Delta t = \gamma h/c$

即灯泡发光事件与光线到达车厢底部中点事件的时间间隔为：$\Delta t = \gamma \Delta t'$

同样两件事件，在地面惯性系看，经历了 Δt 时间，在车厢惯性系看，经历了 $\Delta t' = \gamma^{-1}\Delta t$

运动时间变慢。





3. 时间延缓

车厢高度 h，沿 $+x$ 方向以速度 v 匀速运动，

车厢顶部中点有一灯泡在某时刻发光

在车厢惯性系看，光线到达车厢底部中点所需的时间为：$\Delta t' = h/c$

即灯泡发光事件与光线到达车厢底部中点事件的时间间隔为：$\Delta t' = h/c$

在地面惯性系看，光线到达车厢底部时，C 已运动到 C'

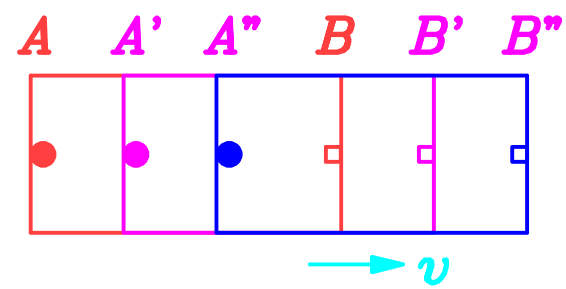
光线到达车厢底部中点 C' 所需的时间为：$\Delta t = \sqrt{h^2 + (v\Delta t)^2}/c \quad \Longrightarrow \quad \Delta t = \gamma h/c$

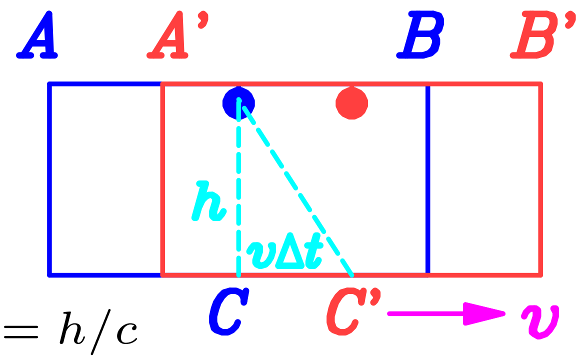
即灯泡发光事件与光线到达车厢底部中点事件的时间间隔为：$\Delta t = \gamma \Delta t'$

同样两件事件，在地面惯性系看，经历了 Δt 时间，在车厢惯性系看，经历了 $\Delta t' = \gamma^{-1}\Delta t$

运动时间变慢。

车厢 A 端放光源， B 端放反射镜





3. 时间延缓

车厢高度 h，沿 $+x$ 方向以速度 v 匀速运动，

车厢顶部中点有一灯泡在某时刻发光

在车厢惯性系看，光线到达车厢底部中点所需的时间为：$\Delta t' = h/c$

即灯泡发光事件与光线到达车厢底部中点事件的时间间隔为：$\Delta t' = h/c$

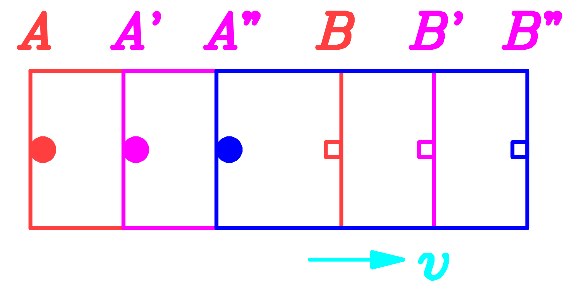
在地面惯性系看，光线到达车厢底部时，C 已运动到 C'

光线到达车厢底部中点 C' 所需的时间为：$\Delta t = \sqrt{h^2 + (v\Delta t)^2}/c \quad \Longrightarrow \quad \Delta t = \gamma h/c$

即灯泡发光事件与光线到达车厢底部中点事件的时间间隔为：$\Delta t = \gamma \Delta t'$

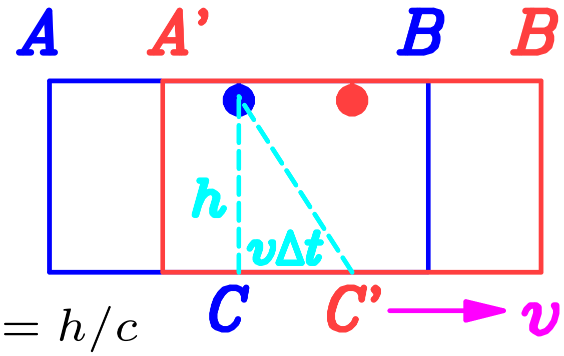
同样两件事件，在地面惯性系看，经历了 Δt 时间，在车厢惯性系看，经历了 $\Delta t' = \gamma^{-1}\Delta t$

运动时间变慢。



车厢 A 端放光源， B 端放反射镜

在车厢惯性系， A 发光，经 B 反射，再到 A 接收到反射光



3. 时间延缓

车厢高度 h，沿 $+x$ 方向以速度 v 匀速运动，

车厢顶部中点有一灯泡在某时刻发光

在车厢惯性系看，光线到达车厢底部中点所需的时间为：$\Delta t' = h/c$

即灯泡发光事件与光线到达车厢底部中点事件的时间间隔为：$\Delta t' = h/c$

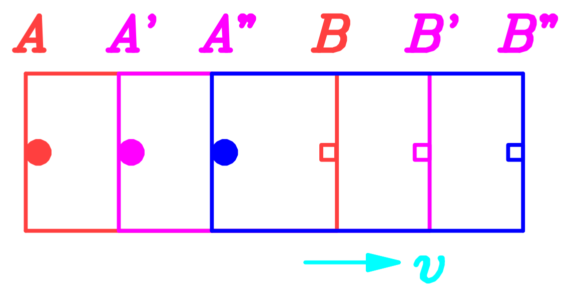
在地面惯性系看，光线到达车厢底部时，C 已运动到 C'

光线到达车厢底部中点 C' 所需的时间为：$\Delta t = \sqrt{h^2 + (v\Delta t)^2}/c \quad \Longrightarrow \quad \Delta t = \gamma h/c$

即灯泡发光事件与光线到达车厢底部中点事件的时间间隔为：$\Delta t = \gamma \Delta t'$

同样两件事件，在地面惯性系看，经历了 Δt 时间，在车厢惯性系看，经历了 $\Delta t' = \gamma^{-1}\Delta t$

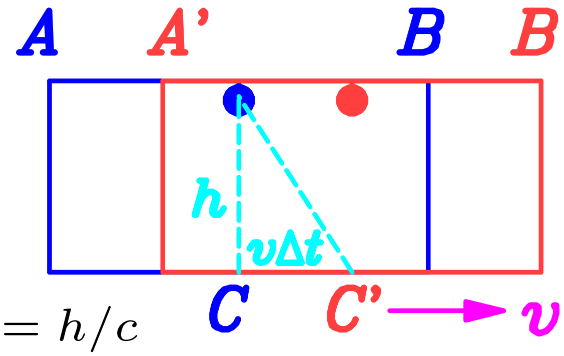
运动时间变慢。



车厢 A 端放光源， B 端放反射镜

在车厢惯性系， A 发光，经 B 反射，再到 A 接收到反射光

时间间隔 $\Delta t' = 4l'/c$，设在车厢惯性系，车厢长度为 $2l'$



3. 时间延缓

车厢高度 h，沿 $+x$ 方向以速度 v 匀速运动，

车厢顶部中点有一灯泡在某时刻发光

在车厢惯性系看，光线到达车厢底部中点所需的时间为：$\Delta t' = h/c$

即灯泡发光事件与光线到达车厢底部中点事件的时间间隔为：$\Delta t' = h/c$

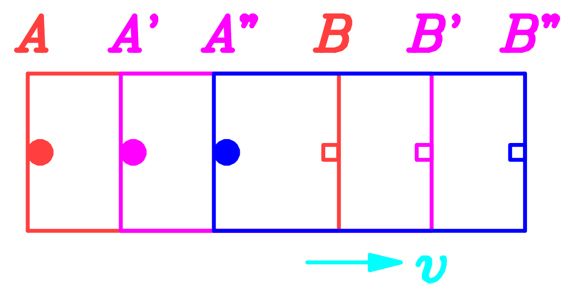
在地面惯性系看，光线到达车厢底部时，C 已运动到 C'

光线到达车厢底部中点 C' 所需的时间为：$\Delta t = \sqrt{h^2 + (v\Delta t)^2}/c \quad \Longrightarrow \quad \Delta t = \gamma h/c$

即灯泡发光事件与光线到达车厢底部中点事件的时间间隔为：$\Delta t = \gamma \Delta t'$

同样两件事件，在地面惯性系看，经历了 Δt 时间，在车厢惯性系看，经历了 $\Delta t' = \gamma^{-1}\Delta t$

运动时间变慢。

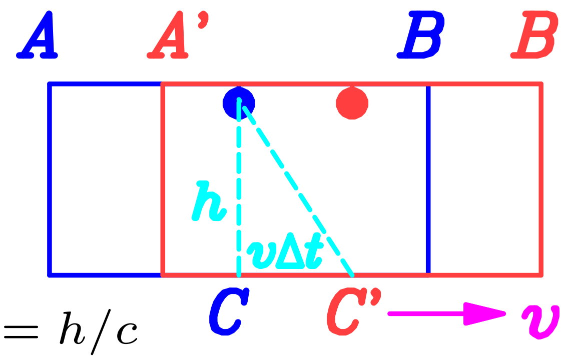


车厢 A 端放光源， B 端放反射镜

在车厢惯性系， A 发光，经 B 反射，再到 A 接收到反射光

时间间隔 $\Delta t' = 4l'/c$，设在车厢惯性系，车厢长度为 $2l'$

在地面惯性系， A 发光，到达 B 端，需时间 $\Delta t_1 = (2l + v\Delta t_1)/c \quad \Longrightarrow \quad \Delta t_1 = 2l/(c - v)$



3. 时间延缓

车厢高度 h，沿 $+x$ 方向以速度 v 匀速运动，

车厢顶部中点有一灯泡在某时刻发光

在车厢惯性系看，光线到达车厢底部中点所需的时间为：$\Delta t' = h/c$

即灯泡发光事件与光线到达车厢底部中点事件的时间间隔为：$\Delta t' = h/c$

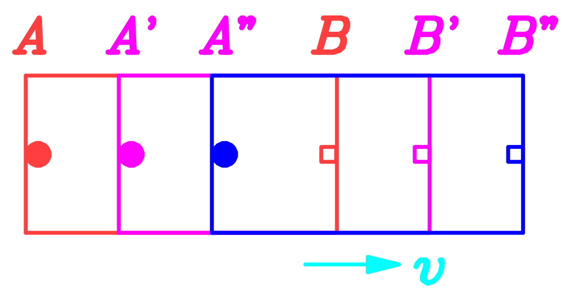
在地面惯性系看，光线到达车厢底部时，C 已运动到 C'

光线到达车厢底部中点 C' 所需的时间为：$\Delta t = \sqrt{h^2 + (v\Delta t)^2}/c \quad \Longrightarrow \quad \Delta t = \gamma h/c$

即灯泡发光事件与光线到达车厢底部中点事件的时间间隔为：$\Delta t = \gamma \Delta t'$

同样两件事件，在地面惯性系看，经历了 Δt 时间，在车厢惯性系看，经历了 $\Delta t' = \gamma^{-1}\Delta t$

运动时间变慢。



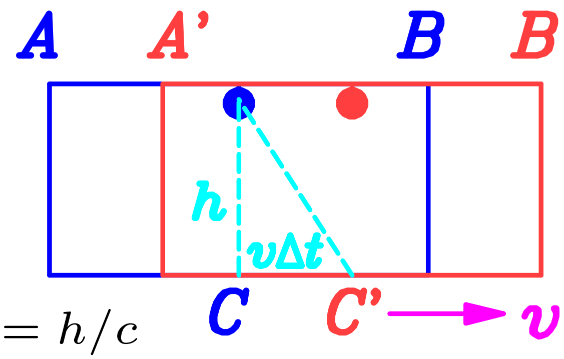
车厢 A 端放光源， B 端放反射镜

在车厢惯性系， A 发光，经 B 反射，再到 A 接收到反射光

时间间隔 $\Delta t' = 4l'/c$，设在车厢惯性系，车厢长度为 $2l'$

在地面惯性系， A 发光，到达 B 端，需时间 $\Delta t_1 = (2l + v\Delta t_1)/c \quad \Longrightarrow \quad \Delta t_1 = 2l/(c-v)$

B 端反射到 A 端接收需时间 $\Delta t_2 = (2l - v\Delta t_2)/c \quad \Longrightarrow \quad \Delta t_2 = 2l/(c+v)$



3. 时间延缓

车厢高度 h，沿 $+x$ 方向以速度 v 匀速运动，

车厢顶部中点有一灯泡在某时刻发光

在车厢惯性系看，光线到达车厢底部中点所需的时间为：$\Delta t' = h/c$

即灯泡发光事件与光线到达车厢底部中点事件的时间间隔为：$\Delta t' = h/c$

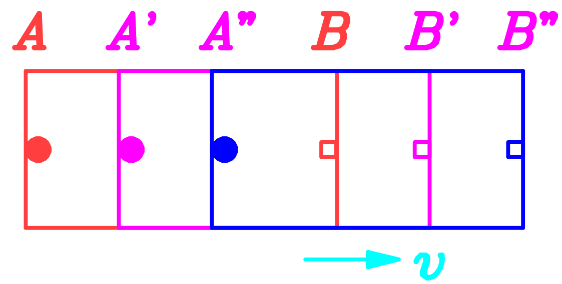
在地面惯性系看，光线到达车厢底部时，C 已运动到 C'

光线到达车厢底部中点 C' 所需的时间为：$\Delta t = \sqrt{h^2 + (v\Delta t)^2}/c \quad \Longrightarrow \quad \Delta t = \gamma h/c$

即灯泡发光事件与光线到达车厢底部中点事件的时间间隔为：$\Delta t = \gamma \Delta t'$

同样两件事件，在地面惯性系看，经历了 Δt 时间，在车厢惯性系看，经历了 $\Delta t' = \gamma^{-1}\Delta t$

运动时间变慢。



车厢 A 端放光源， B 端放反射镜

在车厢惯性系， A 发光，经 B 反射，再到 A 接收到反射光

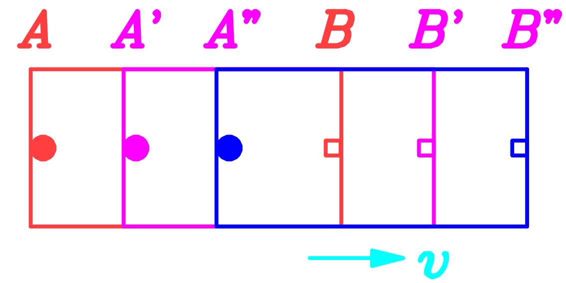
时间间隔 $\Delta t' = 4l'/c$，设在车厢惯性系，车厢长度为 $2l'$

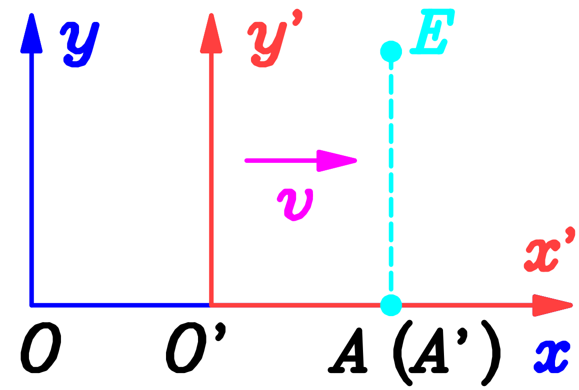
在地面惯性系， A 发光，到达 B 端，需时间 $\Delta t_1 = (2l + v\Delta t_1)/c \quad \Longrightarrow \quad \Delta t_1 = 2l/(c-v)$

B 端反射到 A 端接收需时间 $\Delta t_2 = (2l - v\Delta t_2)/c \quad \Longrightarrow \quad \Delta t_2 = 2l/(c+v)$

从 A 发光到 A 接收到反射光的时间间隔 $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 = \gamma^2 4l/c$

A 发光，经 B 反射，再到 A 接收到反射光

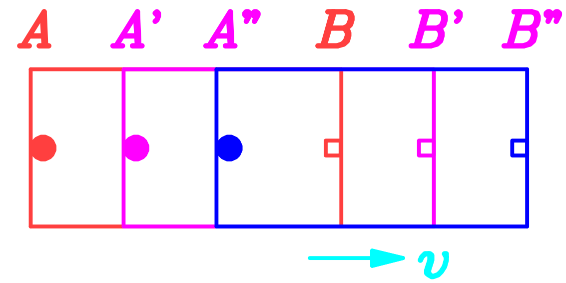


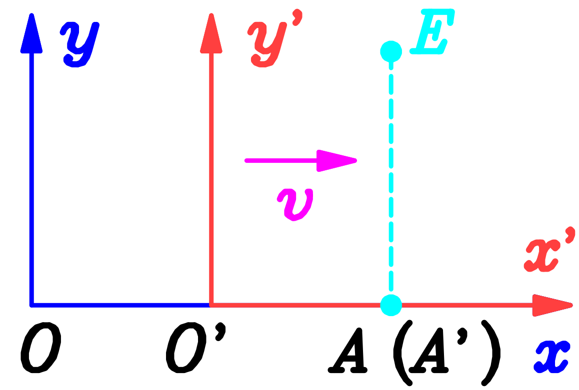


Let there be light

A 发光，经 B 反射，再到 A 接收到反射光

在车厢惯性系，时间间隔 $\Delta t' = 4l'/c$

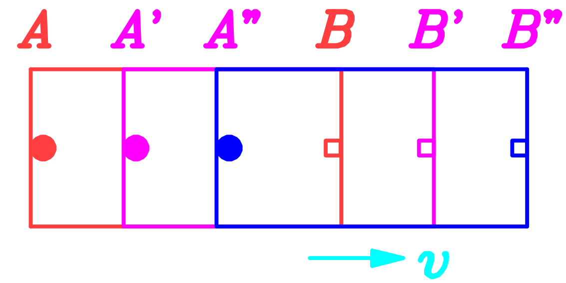


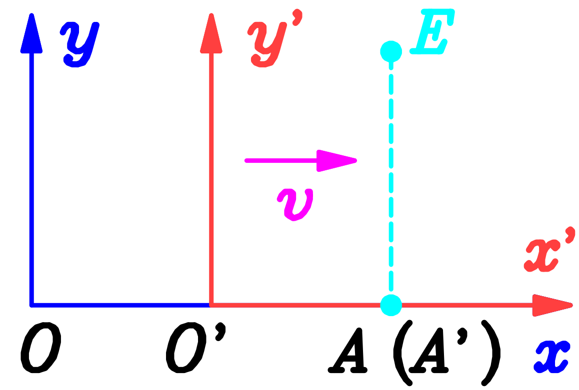


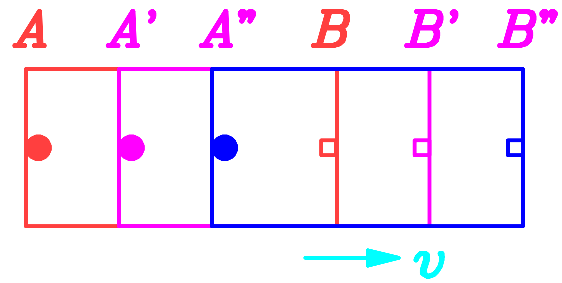
A 发光，经 B 反射，再到 A 接收到反射光

在车厢惯性系，时间间隔 $\Delta t' = 4l'/c$

在地面惯性系，时间间隔 $\Delta t = \gamma^2 4l/c$





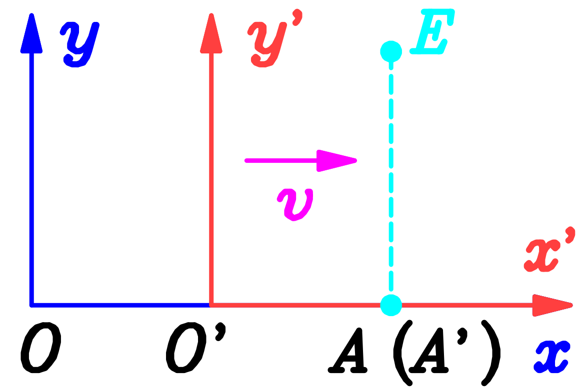


A 发光，经 B 反射，再到 A 接收到反射光

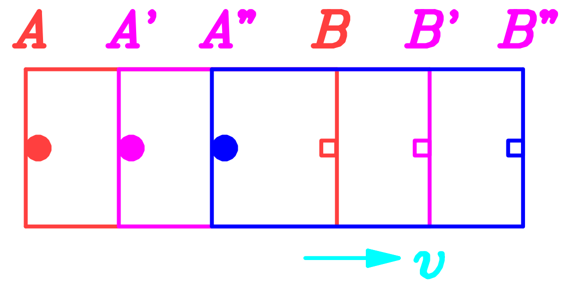
在车厢惯性系，时间间隔 $\Delta t' = 4l'/c$

在地面惯性系，时间间隔 $\Delta t = \gamma^2 4l/c$

在车厢惯性系，车厢长度为 $2l'$，在地面惯性系，车厢长度为 $2l$



A 发光，经 B 反射，再到 A 接收到反射光

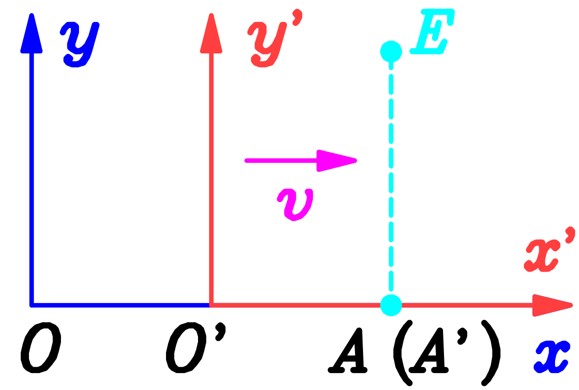


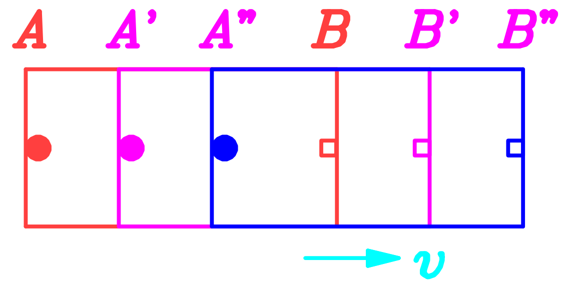
在车厢惯性系，时间间隔 $\Delta t' = 4l'/c$

在地面惯性系，时间间隔 $\Delta t = \gamma^2 4l/c$

在车厢惯性系，车厢长度为 $2l'$，在地面惯性系，车厢长度为 $2l$

由于：$l' = \gamma l \quad \Longrightarrow \quad \Delta t' = \Delta t/\gamma$





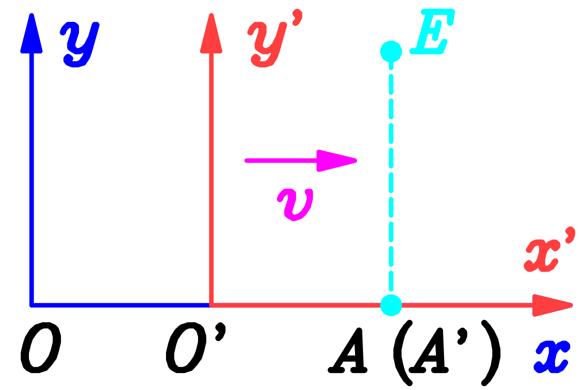
A 发光，经 B 反射，再到 A 接收到反射光

在车厢惯性系，时间间隔 $\Delta t' = 4l'/c$

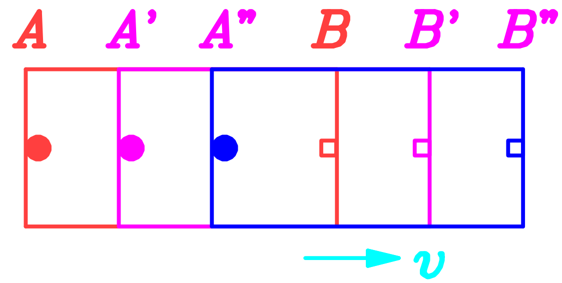
在地面惯性系，时间间隔 $\Delta t = \gamma^2 4l/c$

在车厢惯性系，车厢长度为 $2l'$，在地面惯性系，车厢长度为 $2l$

由于：$l' = \gamma l \quad \Longrightarrow \quad \Delta t' = \Delta t/\gamma$



三、Lorentz 变换



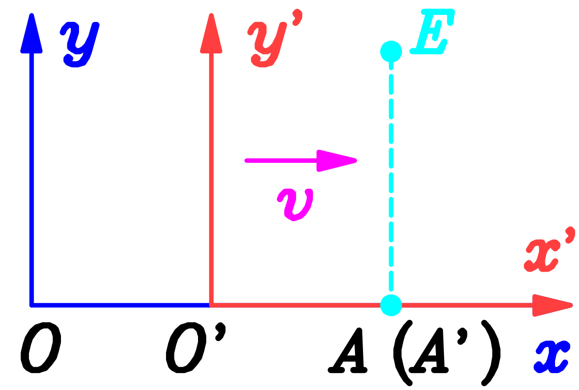
A 发光，经 B 反射，再到 A 接收到反射光

在车厢惯性系，时间间隔 $\Delta t' = 4l'/c$

在地面惯性系，时间间隔 $\Delta t = \gamma^2 4l/c$

在车厢惯性系，车厢长度为 $2l'$，在地面惯性系，车厢长度为 $2l$

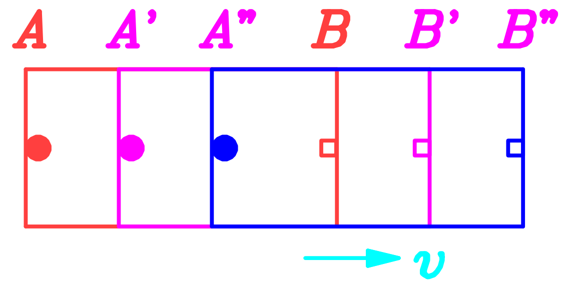
由于：$l' = \gamma l \quad \Longrightarrow \quad \Delta t' = \Delta t/\gamma$



三、Lorentz 变换

从思想实验可知新时空特性：

运动长度收缩（称为 Lorentz 收缩），同时相对性和时间延缓。



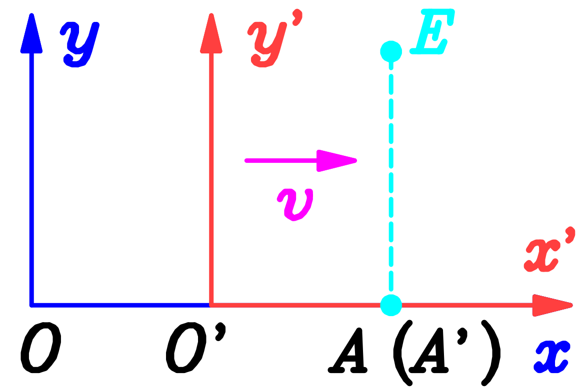
A 发光，经 B 反射，再到 A 接收到反射光

在车厢惯性系，时间间隔 $\Delta t' = 4l'/c$

在地面惯性系，时间间隔 $\Delta t = \gamma^2 4l/c$

在车厢惯性系，车厢长度为 $2l'$，在地面惯性系，车厢长度为 $2l$

由于：$l' = \gamma l \quad \Longrightarrow \quad \Delta t' = \Delta t/\gamma$

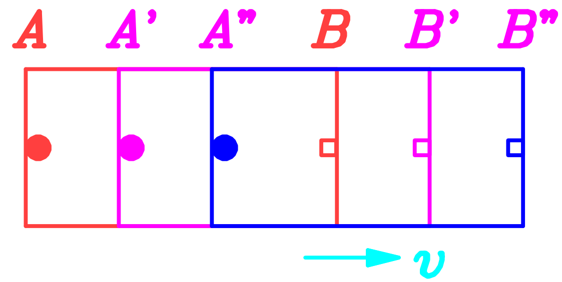


三、Lorentz 变换

从思想实验可知新时空特性：

运动长度收缩（称为 Lorentz 收缩），同时相对性和时间延缓。

现看时空坐标的变换关系。



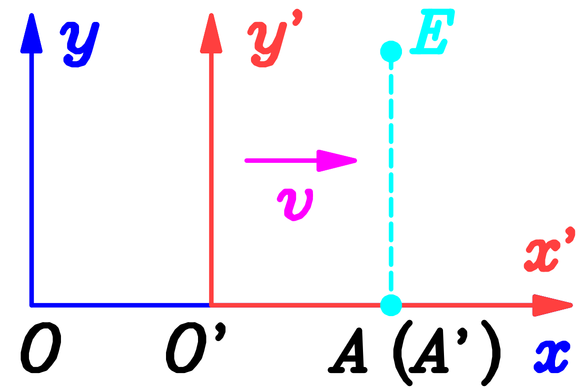
A 发光，经 B 反射，再到 A 接收到反射光

在车厢惯性系，时间间隔 $\Delta t' = 4l'/c$

在地面惯性系，时间间隔 $\Delta t = \gamma^2 4l/c$

在车厢惯性系，车厢长度为 $2l'$，在地面惯性系，车厢长度为 $2l$

由于：$l' = \gamma l \quad \Longrightarrow \quad \Delta t' = \Delta t/\gamma$



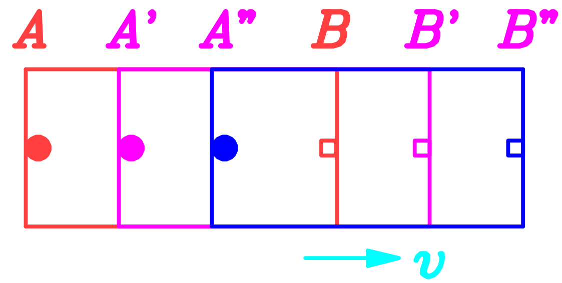
三、Lorentz 变换

从思想实验可知新时空特性：

运动长度收缩（称为 Lorentz 收缩），同时相对性和时间延缓。

现看时空坐标的变换关系。

设 S' 和 S 为两特殊相关惯性系。



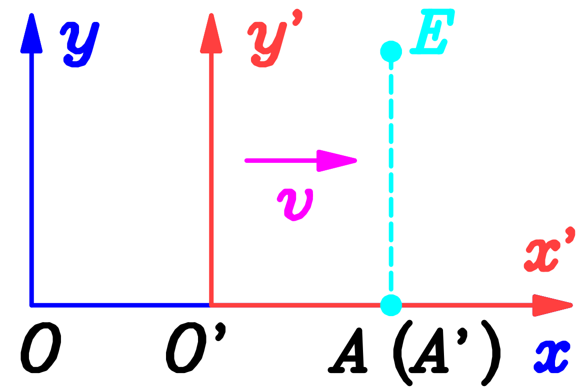
A 发光，经 B 反射，再到 A 接收到反射光

在车厢惯性系，时间间隔 $\Delta t' = 4l'/c$

在地面惯性系，时间间隔 $\Delta t = \gamma^2 4l/c$

在车厢惯性系，车厢长度为 $2l'$，在地面惯性系，车厢长度为 $2l$

由于：$l' = \gamma l \quad \Longrightarrow \quad \Delta t' = \Delta t/\gamma$



三、Lorentz 变换

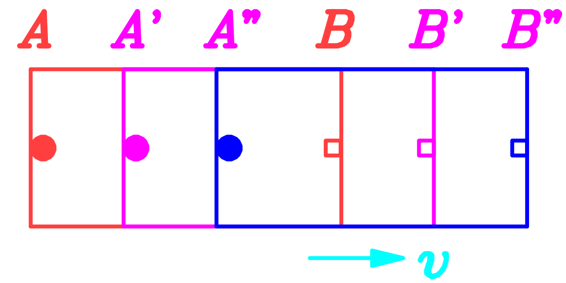
从思想实验可知新时空特性：

运动长度收缩（称为 Lorentz 收缩），同时相对性和时间延缓。

现看时空坐标的变换关系。

设 S' 和 S 为两特殊相关惯性系。

E 事件在 S' 和 S 中的时空坐标分别为：(x, y, z, t)，(x', y', z', t')



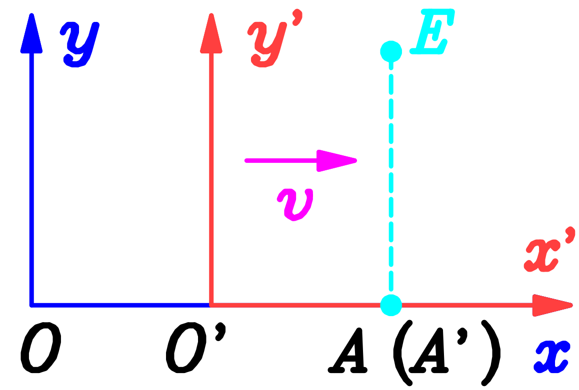
A 发光，经 B 反射，再到 A 接收到反射光

在车厢惯性系，时间间隔 $\Delta t' = 4l'/c$

在地面惯性系，时间间隔 $\Delta t = \gamma^2 4l/c$

在车厢惯性系，车厢长度为 $2l'$，在地面惯性系，车厢长度为 $2l$

由于：$l' = \gamma l \quad \Longrightarrow \quad \Delta t' = \Delta t/\gamma$



三、Lorentz 变换

从思想实验可知新时空特性：

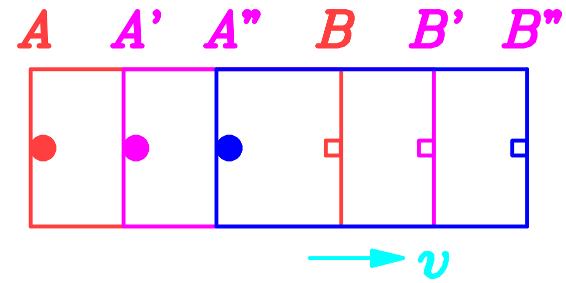
运动长度收缩（称为 Lorentz 收缩），同时相对性和时间延缓。

现看时空坐标的变换关系。

设 S' 和 S 为两特殊相关惯性系。

E 事件在 S' 和 S 中的时空坐标分别为：(x, y, z, t)，(x', y', z', t')

E 事件发生时，作一垂直于 x 轴的平面，平面交 x 轴于 A 点，交 x' 轴于 A' 点



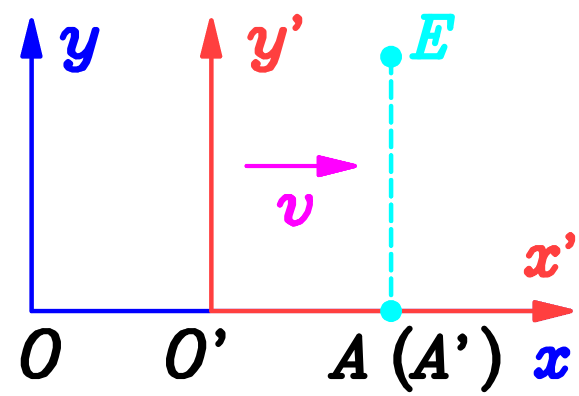
A 发光，经 B 反射，再到 A 接收到反射光

在车厢惯性系，时间间隔 $\Delta t' = 4l'/c$

在地面惯性系，时间间隔 $\Delta t = \gamma^2 4l/c$

在车厢惯性系，车厢长度为 $2l'$，在地面惯性系，车厢长度为 $2l$

由于：$l' = \gamma l \quad \Longrightarrow \quad \Delta t' = \Delta t/\gamma$



三、Lorentz 变换

从思想实验可知新时空特性：

运动长度收缩（称为 Lorentz 收缩），同时相对性和时间延缓。

现看时空坐标的变换关系。

设 S' 和 S 为两特殊相关惯性系。

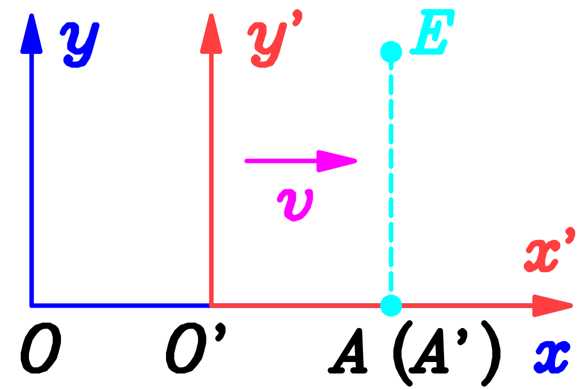
E 事件在 S' 和 S 中的时空坐标分别为：(x, y, z, t)，(x', y', z', t')

E 事件发生时，作一垂直于 x 轴的平面，平面交 x 轴于 A 点，交 x' 轴于 A' 点

显然，A 点与 A' 点重合。

Let there be light

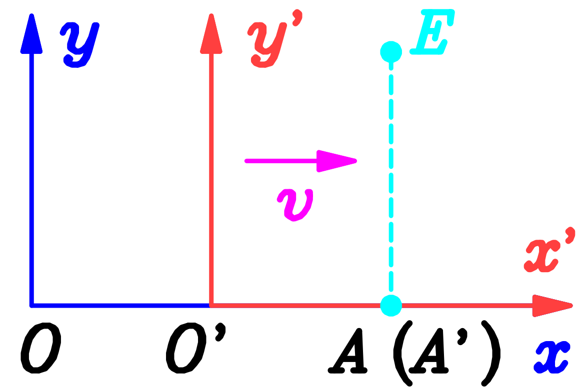
在 S 系看：$x = OA = OO' + O'A = vt + O'A'$



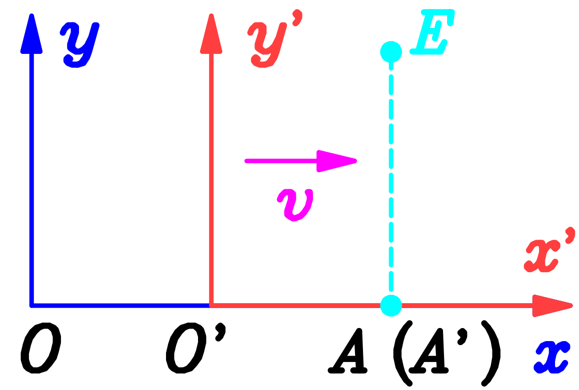
Let there be light

在 S 系看：$x = OA = OO' + O'A = vt + O'A'$

在旧时空理论中，$O'A' = x'$，从而有：



在 S 系看：$x = OA = OO' + O'A = vt + O'A'$



在旧时空理论中，$O'A' = x'$，从而有：

$$x = x' + vt \qquad \text{—— Galilean 变换}$$

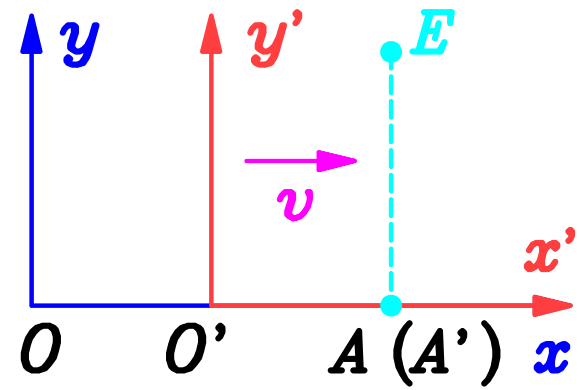
Let there be light

在 S 系看：$x = OA = OO' + O'A = vt + O'A'$

在旧时空理论中，$O'A' = x'$，从而有：

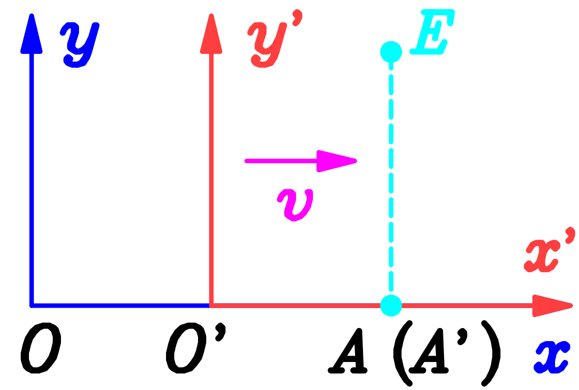
$$x = x' + vt \qquad \text{——} \quad \text{Galilean 变换}$$

在新时空理论中：因为求的是 S 系中的坐标



Let there be light

在 S 系看：$x = OA = OO' + O'A = vt + O'A'$



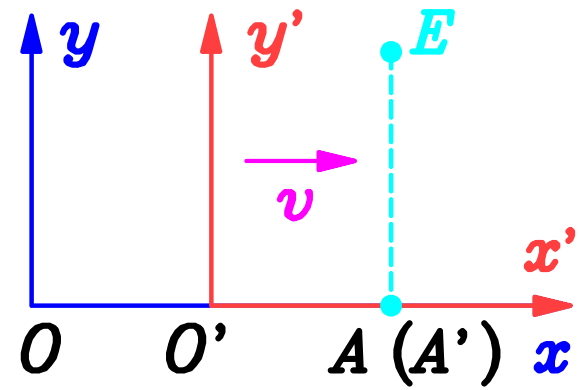
在旧时空理论中，$O'A' = x'$，从而有：

$$x = x' + vt \qquad \text{——} \quad \text{Galilean 变换}$$

在新时空理论中：因为求的是 S 系中的坐标

因此 $O'A'$ 是在 S 系观察的 O' 到 A' 的距离

在 S 系看：$x = OA = OO' + O'A = vt + O'A'$



在旧时空理论中，$O'A' = x'$，从而有：

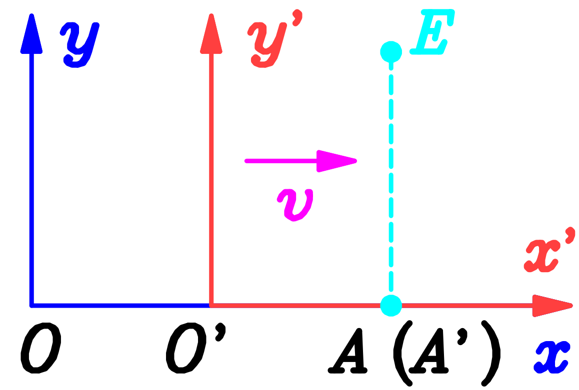
$$x = x' + vt \qquad \text{——} \quad \text{Galilean 变换}$$

在新时空理论中：因为求的是 S 系中的坐标

因此 $O'A'$ 是在 S 系观察的 O' 到 A' 的距离

而 x' 是在 S' 系观察的 O' 到 A' 的距离

在 S 系看：$x = OA = OO' + O'A = vt + O'A'$



在旧时空理论中，$O'A' = x'$，从而有：

$$x = x' + vt \qquad \text{——} \quad \text{Galilean 变换}$$

在新时空理论中：因为求的是 S 系中的坐标

因此 $O'A'$ 是在 S 系观察的 O' 到 A' 的距离

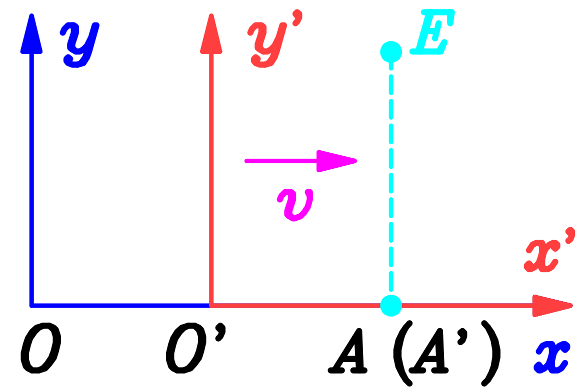
而 x' 是在 S' 系观察的 O' 到 A' 的距离

$O'A'$ 相对于 S 系以速度 v 运动，由 Lorentz 收缩：$O'A' = x'/\gamma$，从而有：

在 S 系看：$x = OA = OO' + O'A = vt + O'A'$

在旧时空理论中，$O'A' = x'$，从而有：

$$x = x' + vt \qquad \text{——} \quad \text{Galilean 变换}$$



在新时空理论中：因为求的是 S 系中的坐标

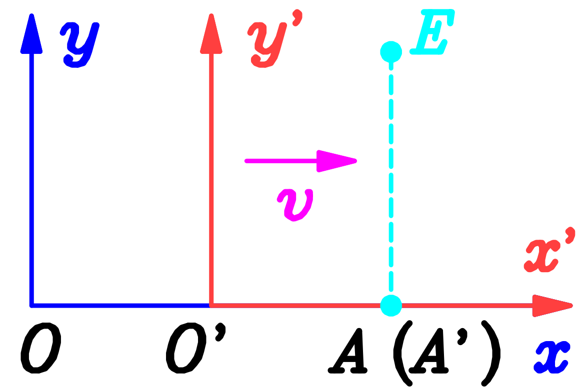
因此 $O'A'$ 是在 S 系观察的 O' 到 A' 的距离

而 x' 是在 S' 系观察的 O' 到 A' 的距离

$O'A'$ 相对于 S 系以速度 v 运动，由 Lorentz 收缩：$O'A' = x'/\gamma$，从而有：

$$x = vt + \frac{x'}{\gamma} \quad \Longrightarrow \quad x' = \gamma(x - vt) \tag{1}$$

在 S 系看：$x = OA = OO' + O'A = vt + O'A'$



在旧时空理论中，$O'A' = x'$，从而有：

$$x = x' + vt \qquad \text{——} \quad \text{Galilean 变换}$$

在新时空理论中：因为求的是 S 系中的坐标

因此 $O'A'$ 是在 S 系观察的 O' 到 A' 的距离

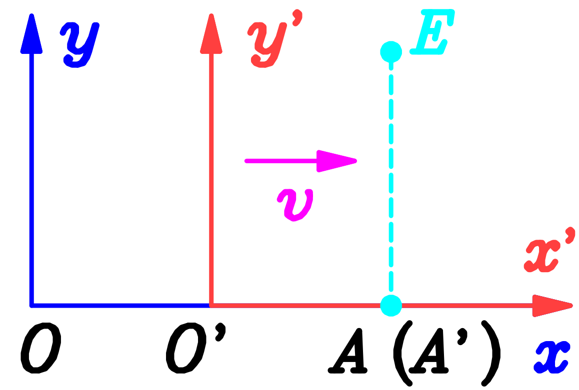
而 x' 是在 S' 系观察的 O' 到 A' 的距离

$O'A'$ 相对于 S 系以速度 v 运动，由 Lorentz 收缩：$O'A' = x'/\gamma$，从而有：

$$x = vt + \frac{x'}{\gamma} \quad \Longrightarrow \quad x' = \gamma(x - vt) \tag{1}$$

在 S' 系看：这时 S 系相对于 S' 以速度 $-v$ 运动：$x' = O'A' = OA - vt'$

在 S 系看：$x = OA = OO' + O'A = vt + O'A'$



在旧时空理论中，$O'A' = x'$，从而有：

$$x = x' + vt \qquad \text{——} \quad \text{Galilean 变换}$$

在新时空理论中：因为求的是 S 系中的坐标

因此 $O'A'$ 是在 S 系观察的 O' 到 A' 的距离

而 x' 是在 S' 系观察的 O' 到 A' 的距离

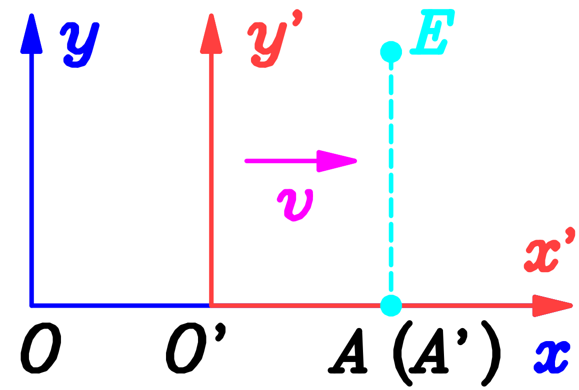
$O'A'$ 相对于 S 系以速度 v 运动，由 Lorentz 收缩：$O'A' = x'/\gamma$，从而有：

$$x = vt + \frac{x'}{\gamma} \quad \Longrightarrow \quad x' = \gamma(x - vt) \tag{1}$$

在 S' 系看：这时 S 系相对于 S' 以速度 $-v$ 运动：$x' = O'A' = OA - vt'$

在旧时空理论中，$OA = x$，从而有：$x' = x - vt'$ —— Galilean 变换

在 S 系看：$x = OA = OO' + O'A = vt + O'A'$



在旧时空理论中，$O'A' = x'$，从而有：

$x = x' + vt$ —— Galilean 变换

在新时空理论中：因为求的是 S 系中的坐标

因此 $O'A'$ 是在 S 系观察的 O' 到 A' 的距离

而 x' 是在 S' 系观察的 O' 到 A' 的距离

$O'A'$ 相对于 S 系以速度 v 运动，由 Lorentz 收缩：$O'A' = x'/\gamma$，从而有：

$$x = vt + \frac{x'}{\gamma} \quad \Longrightarrow \quad x' = \gamma(x - vt) \tag{1}$$

在 S' 系看：这时 S 系相对于 S' 以速度 $-v$ 运动：$x' = O'A' = OA - vt'$

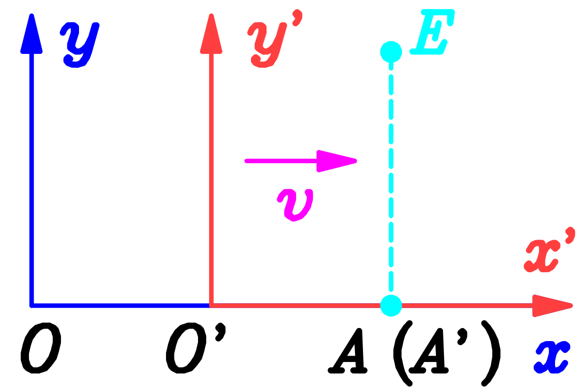
在旧时空理论中，$OA = x$，从而有：$x' = x - vt'$ —— Galilean 变换

在新时空理论中：因为求的是 S' 系中的坐标，故 OA 是在 S' 系观察的 O 到 A

在 S 系看：$x = OA = OO' + O'A = vt + O'A'$

在旧时空理论中，$O'A' = x'$，从而有：

$$x = x' + vt \qquad \text{—— Galilean 变换}$$



在新时空理论中：因为求的是 S 系中的坐标

因此 $O'A'$ 是在 S 系观察的 O' 到 A' 的距离

而 x' 是在 S' 系观察的 O' 到 A' 的距离

$O'A'$ 相对于 S 系以速度 v 运动，由 Lorentz 收缩：$O'A' = x'/\gamma$，从而有：

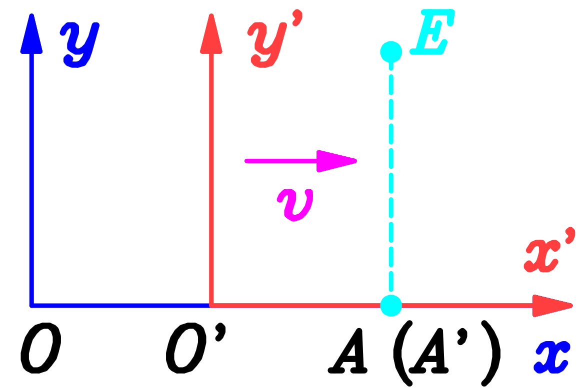
$$x = vt + \frac{x'}{\gamma} \quad \Longrightarrow \quad x' = \gamma(x - vt) \tag{1}$$

在 S' 系看：这时 S 系相对于 S' 以速度 $-v$ 运动：$x' = O'A' = OA - vt'$

在旧时空理论中，$OA = x$，从而有：$x' = x - vt'$ —— Galilean 变换

在新时空理论中：因为求的是 S' 系中的坐标，故 OA 是在 S' 系观察的 O 到 A 的距离，而 x 是在 S 系观察的 O 到A 的距离，OA 相对于 S' 系以速度 $-v$ 运动，

在 S 系看：$x = OA = OO' + O'A = vt + O'A'$



在旧时空理论中，$O'A' = x'$，从而有：

$$x = x' + vt \qquad \text{——} \quad \text{Galilean 变换}$$

在新时空理论中：因为求的是 S 系中的坐标

因此 $O'A'$ 是在 S 系观察的 O' 到 A' 的距离

而 x' 是在 S' 系观察的 O' 到 A' 的距离

$O'A'$ 相对于 S 系以速度 v 运动，由 Lorentz 收缩：$O'A' = x'/\gamma$，从而有：

$$x = vt + \frac{x'}{\gamma} \quad \Longrightarrow \quad x' = \gamma(x - vt) \tag{1}$$

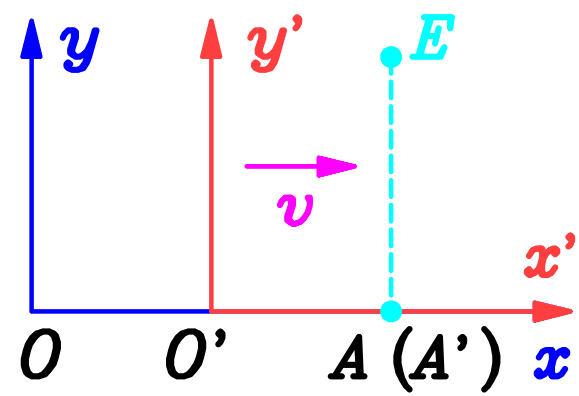
在 S' 系看：这时 S 系相对于 S' 以速度 $-v$ 运动：$x' = O'A' = OA - vt'$

在旧时空理论中，$OA = x$，从而有：$x' = x - vt'$ —— Galilean 变换

在新时空理论中：因为求的是 S' 系中的坐标，故 OA 是在 S' 系观察的 O 到 A 的距离，而 x 是在 S 系观察的 O 到 A 的距离，OA 相对于 S' 系以速度 $-v$ 运动，

由 Lorentz 收缩：$OA = x/\gamma$，从而有：$x' = \dfrac{x}{\gamma} - vt' \longrightarrow x = \gamma(x' + vt')$ (2)

在 S 系看：$x = OA = OO' + O'A = vt + O'A'$



在旧时空理论中，$O'A' = x'$，从而有：

$$x = x' + vt \quad \text{—— Galilean 变换}$$

在新时空理论中：因为求的是 S 系中的坐标

因此 $O'A'$ 是在 S 系观察的 O' 到 A' 的距离

而 x' 是在 S' 系观察的 O' 到 A' 的距离

$O'A'$ 相对于 S 系以速度 v 运动，由 Lorentz 收缩：$O'A' = x'/\gamma$，从而有：

$$x = vt + \frac{x'}{\gamma} \quad \Longrightarrow \quad x' = \gamma(x - vt) \tag{1}$$

在 S' 系看：这时 S 系相对于 S' 以速度 $-v$ 运动：$x' = O'A' = OA - vt'$

在旧时空理论中，$OA = x$，从而有：$x' = x - vt'$ —— Galilean 变换

在新时空理论中：因为求的是 S' 系中的坐标，故 OA 是在 S' 系观察的 O 到 A 的距离，而 x 是在 S 系观察的 O 到 A 的距离，OA 相对于 S' 系以速度 $-v$ 运动，

由 Lorentz 收缩：$OA = x/\gamma$，从而有：$x' = \dfrac{x}{\gamma} - vt' \longrightarrow x = \gamma(x' + vt')$ (2)

Let there be light

$$x' = \gamma(x - vt) \quad (1) \qquad\qquad x = \gamma(x' + vt') \quad (2)$$

$$x' = \gamma(x - vt) \qquad (1) \qquad\qquad x = \gamma(x' + vt') \qquad (2)$$

由 (1 - 2) 消去 x' 即得：$t' = \gamma\left(t - \dfrac{v}{c^2}x\right)$

由于垂直于速度方向不收缩，因此：$y' = y, \qquad z' = z$

$x' = \gamma(x - vt)$ (1) $x = \gamma(x' + vt')$ (2)

由 (1 - 2) 消去 x' 即得：$t' = \gamma\left(t - \frac{v}{c^2}x\right)$

由于垂直于速度方向不收缩，因此：$y' = y, \qquad z' = z$

整理即得 Lorentz 变换：

$$x' = \gamma(x - vt) \qquad (1) \qquad\qquad x = \gamma(x' + vt') \qquad (2)$$

由 (1 - 2) 消去 x' 即得：$t' = \gamma\left(t - \frac{v}{c^2}x\right)$

由于垂直于速度方向不收缩，因此：$y' = y, \qquad z' = z$

整理即得 Lorentz 变换：
$$\begin{cases} x' = \gamma(x - vt) \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \gamma\left(t - \dfrac{v}{c^2}x\right) \end{cases}$$

$x' = \gamma(x - vt)$ (1) $x = \gamma(x' + vt')$ (2)

由 (1 - 2) 消去 x' 即得：$t' = \gamma\left(t - \frac{v}{c^2}x\right)$

由于垂直于速度方向不收缩，因此：$y' = y, \qquad z' = z$

整理即得 Lorentz 变换：
$$\begin{cases} x' = \gamma(x - vt) \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \gamma\left(t - \frac{v}{c^2}x\right) \end{cases} \Longleftrightarrow \begin{cases} x = \gamma(x' + vt') \\ y = y' \\ z = z' \\ t = \gamma\left(t' + \frac{v}{c^2}x'\right) \end{cases}$$

$x' = \gamma(x - vt)$ (1) $x = \gamma(x' + vt')$ (2)

由 (1 - 2) 消去 x' 即得：$t' = \gamma\left(t - \frac{v}{c^2}x\right)$

由于垂直于速度方向不收缩，因此：$y' = y, \qquad z' = z$

整理即得 Lorentz 变换：
$$\left\{\begin{array}{l} x' = \gamma(x - vt) \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \gamma\left(t - \frac{v}{c^2}x\right) \end{array}\right. \quad \Longleftrightarrow \quad \left\{\begin{array}{l} x = \gamma(x' + vt') \\ y = y' \\ z = z' \\ t = \gamma\left(t' + \frac{v}{c^2}x'\right) \end{array}\right.$$

Lorentz 变换描述同一事件在两个特殊相关参考系中的空间、时间变换关系

$x' = \gamma(x - vt)$ (1) $x = \gamma(x' + vt')$ (2)

由 (1 - 2) 消去 x' 即得：$t' = \gamma\left(t - \frac{v}{c^2}x\right)$

由于垂直于速度方向不收缩，因此：$y' = y, \qquad z' = z$

整理即得 Lorentz 变换：

$$\begin{cases} x' = \gamma(x - vt) \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \gamma\left(t - \frac{v}{c^2}x\right) \end{cases} \iff \begin{cases} x = \gamma(x' + vt') \\ y = y' \\ z = z' \\ t = \gamma\left(t' + \frac{v}{c^2}x'\right) \end{cases}$$

Lorentz 变换描述同一事件在两个特殊相关参考系中的空间、时间变换关系