

BÖLÜM-III: RELATİVİSTİK OPTİK

1. Sürüklenme Etkisi
2. Aberasyon
3. Doppler Etkisi

1. Sürüklenme Etkisi

⇒ **Ether-drag(sürüklenme) hipotezi:** Ether düşüncesini sürdürmek için ileri atılan diğer bir fikirdir. Bu hipoteze göre, sonlu kütleyle sahip bütün cisimlere ether çerçevesinin iliştiirildiği (tutturulduğu) ve bu çerçevenin cisimle beraber sürüklenip gittiği farz edilir.

Bu bölümde elektromanyetik dalgaların hareketli ortamlarda yayılmasının bazı yönlerini ele alacağız. Şeffaf ortamlarda ışığın yayılması ile ilgili ethere dayanan bir teori Fresnel tarafından geliştirilmiştir ve sonrasında Fizeau deneyini yapmıştır:

- (1817) A. J. Fresnel → “Işık hareketli bir ortamda sürüklenir.”
- (1851) H. Fizeau → Yansıtıcı aynalar kullanarak su dolu tüplerin içinden ışığı geçirerek, hareketli bir sıvı içinden geçen ışığın bağıl hızını ölçmeye çalıştı.

⇒ Bir sıvının durgun olduğu bir çerçevede ışığın hızı, n sıvı ortamın kırılma indisi olmak üzere $u' = c/n$ ile verilir. Işığın geçtiği bir ortam olarak, bu sıvının akış hızı, laboratuvarında ölçülen ışık hızını değiştirecek mi? Fresnel' e göre cevap “evet”tir.

⇒ Gözlemciye göre v hızı ile hareket eden ve kırılma indisi n olan bir ortamda ışığın hızı Fresnel tarafından

$$u = \frac{c}{n} \pm v \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) \quad (*)$$

$$u = u' \pm k v$$

olarak verilmiştir. Burada $k = \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$ **Fresnel sürüklenme katsayısıdır.**

($0 \leq k \leq 1$) Buna göre hareketli bir ortamda ışığın hızı, o ortamda ışığın hızı olan c/n değerinden farklı olacaktır. $k < 1$ olduğu için bu farklılık ortamın hızından küçük olacaktır.

$$n = 1 \text{ (hareketli vakum için } k = 0 \text{ ve } u = c \text{ olur).}$$

⇒ (*) denklemini görelilik bakış açısına göre hiçbir şey ifade etmiyormuş gibi görünür. Görelî hız toplama kuralını hatırlayacak olursak;

$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{u'v}{c^2}} \quad x = \frac{u'v}{c^2} \quad \text{olsun.}$$

$$\frac{1}{1+x} = 1 - x + x^2 - x^3 + \dots \quad \text{seri açılımı kullanılarak;}$$

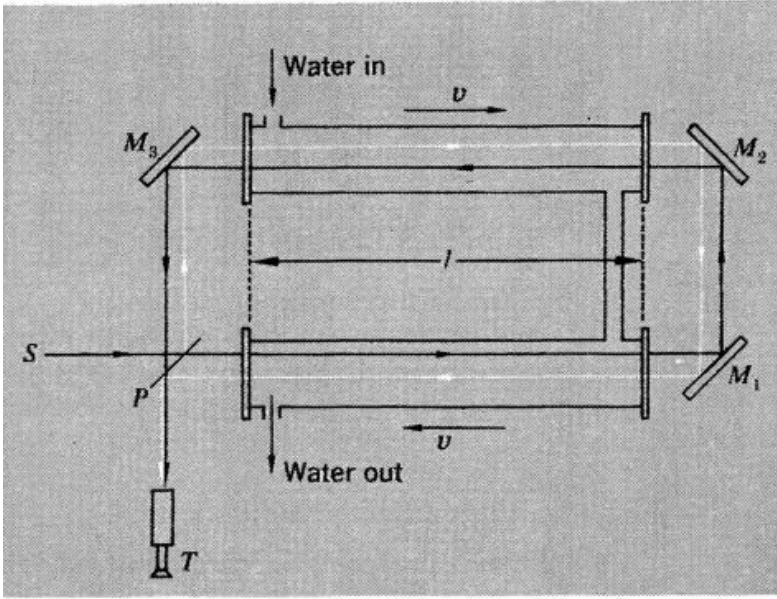
$$u = (u' + v) \left(\frac{1}{1+x} \right) = (u' + v) (1 - x + x^2 \dots) \quad \text{ihmal}$$

$$u \approx (u' + v) \left(1 - \frac{u'v}{c^2} \right) = \left(u' + v - \frac{u'^2v}{c^2} - \frac{u'v^2}{c^2} \right)$$

$$u = u' + v \left(1 - \frac{u'^2}{c^2} \right) = u' + v \left(1 - \frac{1}{n^2} \right)$$

$$= u' + kv \quad \longrightarrow$$

Fresnel sürüklenme katsayısı görelî hız toplama kuralına dayanır.



Fizeau' nun "ether-sürüklenme" deney düzeneği. Bu şekil, "Special Relativity", (A.P.French, 2017)' den alınmıştır.

S kaynağından çıkan ışık ışınları yarı geçirgen bir ayna olan P ' de ayrılıyorlar, daha sonra M aynalarına ulaşır, buralardan yansımaya uğruyorlar. Işık ışınlarının bir kısmı suyun akış yönünde, bir kısmı da suyun akış yönünün tersi yönde ilerliyor. T teleskopunda girişim desenine bakılıyor ve suyun hızı v değiştirilerek girişim deseninde kayma olup olmadığına bakılıyor.

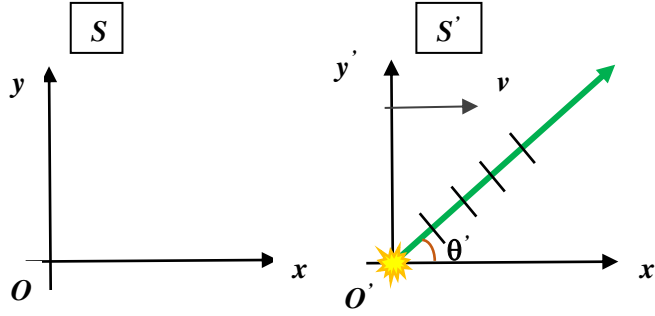
2. Aberasyon

S' gözlem çerçevesinin orijininde, birim genlikli (genliği 1 olan) tek renkli (monokromatik) düzlem ışık dalgaları yayan bir kaynak olsun. Işık ışınları (veya dalga normalleri) $x'y'$

düzleminde x' eksenine ile θ' açısı yapacak şekilde yayılırlar. Bu düzlem ışık dalgalarının yayılmasını tanımlayan denklem

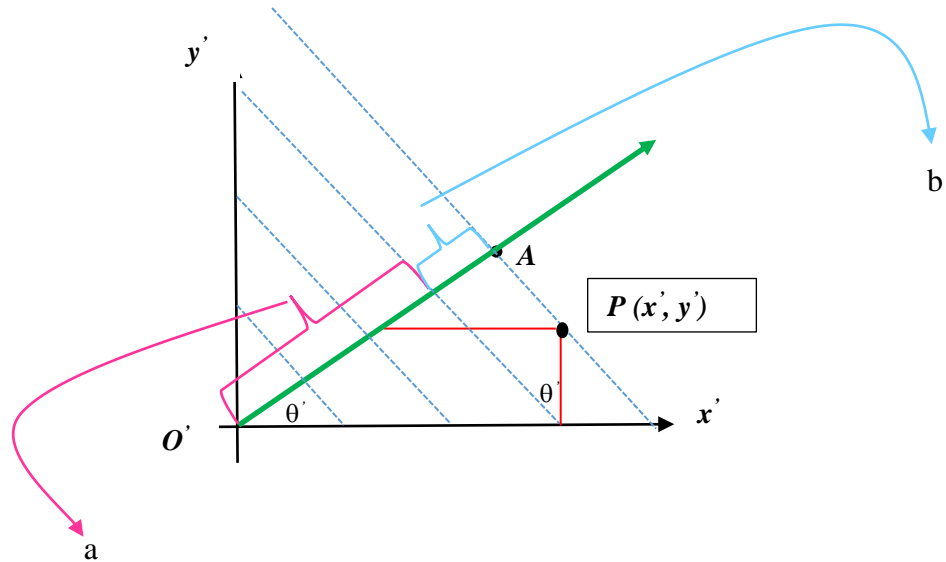
$$\Psi(r', t') = \cos(\vec{k}' \cdot \vec{r}' - \omega' t') \quad , \quad k' = \frac{2\pi}{\lambda'} \quad \text{ve} \quad \omega' = 2\pi f'$$

şeklindedir. f' frekans ve λ' dalga boyudur.



Şekilde, birer dalga boyu aralıklarla seçilmiş dalga cepheleri görülmektedir. S ve S' sırasıyla gözlemcinin ve kaynağın durduğu çerçevelerdir.

İşaretlenmiş bir dalga cephesi t' zaman sonra A noktasına ulaşır.



$$a = x' \cos \theta' \quad b = y' \sin \theta'$$

$$|O'A| = r' = a + b = x' \cos \theta' + y' \sin \theta'$$

Dalga denklemi;

$$\Psi'(r', t') = \Psi' = \cos 2\pi \left[\frac{x' \cos \theta' + y' \sin \theta'}{\lambda'} - f' t' \right] \quad (1)$$

S gözlem çerçevesinde bu dalga cepheleri hala düzlemdir. Çünkü Lorentz dönüşümleri çizgiseldir. Düzlemi yine bir düzleme dönüştürür.

$$\Psi(r, t) = \Psi = \cos 2\pi \left[\frac{x \cos \theta + y \sin \theta}{\lambda} - f t \right] \quad (2)$$

f ve λ sırasıyla S gözlem çerçevesinden ölçülen frekans ve dalga boyudur. θ da x eksenine ile ışık ışınlarının yaptığı açıdır. (1) numaralı denklemde Lorentz dönüşümleri $x' = \gamma(x - vt)$, $y' = y$, $t' = \gamma(t - \frac{v}{c^2}x)$ yazılıp denklem düzenlenirse $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$

olmak üzere;

$$\Psi' = \cos 2\pi \left[\frac{1}{\lambda'} \frac{(x - vt)}{\sqrt{1 - \beta^2}} \cos \theta' + \frac{y \sin \theta'}{\lambda'} - f' \frac{(t - \frac{v}{c^2}x)}{\sqrt{1 - \beta^2}} \right]$$

$\frac{1}{\lambda'} = \frac{f'}{c}$ ve $\beta = \frac{v}{c}$ yazılarak denkleme yeniden düzenlenirse;

$$\Psi' = \cos 2\pi \left[\frac{1}{\lambda'} \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} (\cos \theta' + \beta) x + \frac{\sin \theta'}{\lambda'} y - f' \frac{(1 + \beta \cos \theta')}{\sqrt{1 - \beta^2}} t \right] \quad (3)$$

elde edilir. Daha sonra (2) ve (3) denklemlerini karşılaştırarak kullanacağız.