

בדיון שהתפתח באתר הידען בנושא שעון קרינת הרקע הבנתי שחישוב שעון קרינת הרקע במערכת שנעה ביחס לקרינת הרקע, כפי שהוצג, אינו שעון רגיל של המערכת הנעה אלא העתקה מתמדת של שעון קרינת הרקע בנקודה בה חולפים במערכת קרינת הרקע.

מצאתי לנכון לבדוק מה אומרת תורת היחסות על מצב כזה.

מערכת S' נמצאת בתנועה קצובה במהירות v יחסית לרקע של מערכות שנייחות זו ביחס לזו ונעות תנועה בלתי מואצת. בכל אחת ממערכות הרקע יש שעון וכל השעונים הללו מסונכרנים.

ברגע מסויים מסונכרנת S' את שעונה עם שעון הרקע בנקודה שבה היא נמצאת (נקודה שבהמשך הדברים אתייחס אליה בשם "נקודת הסינכרון"). לשם הפשטות נאמר שערך השעון של מערכת S' כמו גם ערך השעון של מערכת S ברגע הסינכרון הוא 0.

מה יהיה הקשר, מנקודת מבטה של S' , בין ערך השעון t' של מערכת S' לבין ערך השעון t של מערכת הרקע שעל פניה היא חולפת מרגע הסינכרון ואילך? נאמר שמרחקה (במערכת הרקע) של נקודת הרקע על פניה חולפים מנקודת הסינכרון הוא x .

החישובים הבאים נועדו ליישב את הטענה של כל אחד מהשעונים של כל אחת מהמערכות שהשעון שהוא פוגש במערכת השנייה איטי ממנו, עם הטענה ששני השעונים בכל זאת צריכים להסכים ביניהם בשאלה מה מראה כל שעון ברגע המפגש.

הם מראים שהשעון של S' , תמיד יראה בנקודת המפגש זמן נמוך מזה שיראה השעון שהוא פוגש במערכת הרקע אבל הוא יסביר זאת - לא בכך שהשעון ברקע מהיר יותר אלא בכך שמלכתחילה הקדים אותו בהרבה ובמהלך המסע שלו עד לנקודת המפגש, פער הזמנים הצטמצם (זאת בשעה ששעון מערכת הרקע יטען ששעון S' היה מסונכרן ברגע הסינכרון ומאז נע לאט יותר).

$$t' = \frac{t - \frac{xv}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$t = t' \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} + \frac{xv}{c^2} \quad \text{לכן}$$

ברגע הסנכרון נמצאה אותה נקודה, ביחס למערכת S' במרחק $x' = x \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ מנקודת הסינכרון.

$$t = t' \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} + \frac{x'v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} c^2} \quad \text{נוכל להציב ולקבל}$$

אבל ברגע חליפת הנקודות זו על פני זו עברה המערכת S' במשך הזמן t' ובמהירות v בדיוק את המרחק x' או במילים אחרות $x' = t'v$

$$t = t' \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} + \frac{t'v^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} c^2} \quad \text{לכן נוכל להציב שוב ולקבל}$$

הוצאת אחד חלקי השורש מחוץ לסוגריים נותנת

$$t = t' \frac{1 - \frac{v^2}{c^2} + \frac{v^2}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{ובקיצור}$$

$$t = \frac{t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

במילים אחרות, בכל רגע t' תראה מערכת S' את השעה $t = \frac{t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

על שעונה של נקודת הרקע שבה היא חולפת.

תוצאה זו תואמת כמובן גם את נקודת המבט של הנקודה על פניה חולפים במערכת הרקע כי מבחינתה t' היה אפס ברגע הסינכרון והמשיך להתקדם בקצב איטי מאז לפי

$$\text{הנוסחה } t' = t\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

ואכן, יחס זה מתקיים גם בין מדידות הזמן שימדוד כל אחד מהשעונים:

במערכת הרקע המרחק בין השעונים הוא x והזמן שהיא תמדוד עד להגעת השעון של S' הוא $t = \frac{x}{v}$

במערכת S' המרחק שעל השעון לעבור עד למפגש הוא $x' = x\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ והזמן

$$t' = \frac{x'}{v} = \frac{x\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{v} = t\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

ששעונה ימדוד עד למפגש הוא

במילים אחרות, שתי המערכות מצפות לראות את אותה תמונה של שני שעונים בחלפן זו על פני זו וזה מה שאכן קורה.

בהצגה הנ"ל של הבעיה הקורא עשוי להיות מופתע מחוסר הסימטריה: איך זה ששעון הצופה נראה נמוך יותר משעון הרקע בשעה שההיפך לא קורה.

תופעה זו נובעת מחוסר הסימטריה שבהצגת הבעיה.

בעיה סימטרית תציב רקע גם סביב הצופה ובבעיה זו - כשם שהצופה ייתקל מרגע הסינכרון ואילך בשעונים המצביעים על ערך גבוה משלו, גם נקודת הסינכרון ברקע המקורי תיתקל בשעונים (במערכת הצופה) שערכם גבוה משלה.

http://galileoandeinstein.physics.virginia.edu/lectures/time_dil.html

<https://drive.google.com/file/d/0B4vC0WMYtR66bDF2WXc2Slc5ajU3MUtDTV95WFBfOHU0LXM0/view?usp=sharing>

