

Name, Vorname : _____

Frage 1 _____ **Feuerball-Modell** _____ **Punktzahl 4**

Im Feuerball-Modell für Gamma-Strahlen-Blitze bewegt sich die Emissionsregion für hochenergetische Gamma-Strahlung sehr schnell auf den Beobachter zu, da es sich in guter Näherung um eine relativistisch expandierende Kugelschale handelt. Nacheinander in der Quelle ablaufende Vorgänge werden zeitlich komprimiert vom Beobachter wahrgenommen. Nehmen Sie an, dass von der dem Beobachter zugewandten Seite der Oberfläche einer Kugel, die sich mit der Geschwindigkeit V_s ausdehnt, zwei Lichtpulse ausgesandt werden. Der Zeitunterschied der Emission der Lichtpulse sei Δt_{beob} im Ruhesystem des Beobachters.

- Zeigen Sie, dass im relativistischen Grenzfall $\Delta t_{\text{obs}} = \Delta t_{\text{beob}} / (2\Gamma_s^2)$ gilt, wobei Δt_{obs} der Ankunftszeitunterschied der Lichtpulse ist und Γ_s den Lorentzfaktor der expandierenden Kugelschale bezeichnet.
- Wie groß ist der Zeitunterschied Δt_{em} zwischen den Lichtpulsen im Ruhesystem des Emissionsgebiets für gegebenes Δt_{obs} und Γ_s ?
- Wie ändert sich die unter (b) gefundene Beziehung, wenn sich die Quelle in großer Entfernung, d.h. bei einer Rotverschiebung z mit $(1+z) \gg 1$ befindet?

Frage 2 _____ **Relativistischer Dopplereffekt und Strahlbildung** _____ **Punktzahl 4**

Zeigen Sie, dass eine in ihrem Ruhesystem isotrop emittierende Photonquelle die meisten Photonen in einem Kegel mit Öffnungswinkel $\theta \approx 1/\gamma$ um ihre Bewegungsrichtung emittiert, wenn man die Quelle von einem Bezugssystem beobachtet, in dem sie sich mit dem Lorentz-Faktor $\gamma \gg 1$ bewegt. Verfahren Sie hierzu wie folgt:

- Drücken Sie den Dopplerfaktor eines Photons einer gegebenen Richtung mit Hilfe von γ und $\cos \theta$ aus, wobei θ die Richtung des Photons relativ zur Bewegungsrichtung der Quelle ist. Der Dopplerfaktor D ist gegeben durch $D = E_\gamma / E'_\gamma$, wobei E_γ die Energie des Photons im Laborsystem ist, und E'_γ die Energie im Ruhesystem der Quelle.
- Drücken Sie den Dopplerfaktor D jeweils mit den Photonparametern (β, γ, θ) im Ruhesystem ($'$) und im Laborsystem aus. Das Gleichsetzen dieser Ausdrücke liefert eine Beziehung für die Transformation $\cos \theta' \rightarrow \cos \theta$.
- Betrachten Sie diese Beziehung im Grenzfall $\gamma \gg 1$.

Frage 3 _____ **Superluminaler Bewegung** _____ **Punktzahl 4**

Die Knoten in Jets von Aktiven Galaktischen Kernen (AGN) oder Mikroquasaren scheinen sich manchmal schneller als Licht zu bewegen. Betrachten Sie einen AGN, bei dem die Achse der Jets zur Beobachtungsrichtung den Winkel ϕ bildet. Die scheinbare Geschwindigkeit der Knoten (senkrecht zur Beobachtungsrichtung =: x -Achse) des einen Strahls sei $v_1 = 1.25c$ und des anderen $v_2 = 0.997c$. Der Knoten mit der höheren Geschwindigkeit ist im Radiobild viel heller als der mit der langsameren Geschwindigkeit. Unser Ziel ist die Erklärung dieser Beobachtung. (Die y -Achse zeige vom AGN zum Beobachter.)

- Berechnen Sie die scheinbare Geschwindigkeit $\tilde{v} = \tilde{\beta} \cdot c$ der Plasmaknoten als Funktion von β und ϕ , indem Sie annehmen, dass diese sich mit der Geschwindigkeit $v = \beta \cdot c$ relativ zum Schwarzen Loch entlang der Strahlachse zum Beobachter hin bzw. von ihm weg bewegen.
- Als Lösung der Teilaufgabe (a) sollten Sie $\tilde{\beta} = \frac{v_x}{c} = \frac{\beta \sin \phi}{1 - \beta \cos \phi}$ erhalten haben. Bestimmen Sie den Winkel, unter welchem die scheinbare Geschwindigkeit maximal wird. Unter welchen Bedingungen wird diese Geschwindigkeit größer als c ?
- Schätzen Sie den Winkel ϕ und die Geschwindigkeit β für die oben angegebenen Geschwindigkeiten v_1 und v_2 ab.
- Zeigen Sie, dass man aus dem Dopplerfaktor $D = \frac{1}{\gamma(1 - \beta \cos \phi)}$ und der scheinbaren Geschwindigkeit

$\tilde{\beta}c$ der Knoten die totale Geschwindigkeit βc und den Winkel ϕ bestimmen kann. (Den Dopplerfaktor erhält man durch die Beobachtung der Frequenzverschiebung von charakteristischen Emissions- oder Absorptionslinien. $\cos \phi < 0$ entspricht Blauverschiebung; $\cos \phi > 0$ einer Rotverschiebung.)