

Institut für Kernphysik, Campus Nord

Dr. M. Roth und Dr. D. Schmidt

Besprechung am 23.6.2020

Name, Vorname : \_\_\_\_\_

**Frage 1** \_\_\_\_\_ **Größe des Pulsars im Krebsnebel** \_\_\_\_\_ **Punktzahl 4**

Der Pulsar des Krebsnebels hat eine Rotationsfrequenz von  $\nu = 30.2 \text{ Hz}$  und verlangsamt sich mit einer Rate von  $\frac{d\nu}{dt} = -3.86 \cdot 10^{-10} \text{ Hz sec}^{-1}$ . Nehmen Sie an, dass ein Drittel der kinetischen Energie  $E_{\text{kin}}$  (in Form von Rotationsenergie) durch Sychrotronstrahlung verloren geht ( $P_{\text{sync}} = \frac{1}{3} \frac{dE_{\text{kin}}}{dt}$ ). Im umgebenden Nebel wird eine Sychrotronstrahlungsleistung von  $P_{\text{sync}} = 1.3 \cdot 10^{31} \text{ W}$  beobachtet.

- (a) Bestimmen Sie eine Formel für die Abnahme der kinetischen Energie  $\frac{dE_{\text{kin}}}{dt}$  als Funktion des Pulsar-radius und der Pulsarmasse.

Hinweis: Zur Bestimmung des Trägheitsmoments und nachfolgend der kinetischen Energie des als fest angenommenen Pulsars dürfen Sie von einer Kugelgestalt des Pulsars ausgehen.

- (b) Schätzen Sie den Radius des Pulsars ab ( $M_{\text{Pulsar}} = 1.4 \cdot M_{\text{Sun}} = 1.4 \cdot 1.99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ ).

**Frage 2** \_\_\_\_\_ **Photonfluss im Krebsnebel** \_\_\_\_\_ **Punktzahl 4**

Der Krebsnebel wird oft als Referenzmassstab für die Sensitivität von Cherenkov-Teleskopen benutzt. Die H.E.S.S.-Kollaboration hat den Photonfluss vom Krebsnebel sehr präzise bestimmt

$$\frac{d^3 N_\gamma}{dE_\gamma dA dt} = 2.86 \cdot 10^{-11} \left( \frac{E_\gamma}{\text{TeV}} \right)^{-2.67} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ TeV}^{-1}.$$

- (a) Nehmen Sie an, dass der Krebsnebel im Rahmen der Abbildungsauflösung der H.E.S.S.-Teleskope nicht von einer perfekten Punktquelle unterschieden werden kann. Wie viele Photonen mit einer Energie oberhalb 1 TeV können pro Minute im Idealfall mit einem Teleskop von Krebsnebel nachgewiesen werden (ohne Trigger- und Randeffekte zu berücksichtigen), wenn der Cherenkov-Lichtkegel der Photonschauer auf der Beobachtungshöhe des Teleskops einen Durchmesser von 250 m hat? Das Teleskop habe im Vergleich zum Lichtkegel eine vernachlässigbare Ausdehnung (damit werden Randeffekte idealisiert behandelt).
- (b) Vergleichen Sie die Rate der Photonschauer mit der von hadron-induzierten Schauern aus der Richtung des Krebsnebels mit gleicher Energie, die durch die isotrope kosmische Strahlung verursacht werden. Nehmen sie an, dass der Fluss der kosmischen Strahlung in guter Näherung durch

$$\frac{d^4 N_{\text{CR}}}{dE_{\text{CR}} dA d\Omega dt} = \frac{1.1 \cdot 10^{-18}}{\text{eV m}^2 \text{ srs}} \left( \frac{E_{\text{CR}}}{10^{14} \text{ eV}} \right)^{-2.7}$$

gegeben ist. Der Radius des als kreisförmig angenommenen Krebsnebels am Himmel beträgt  $\Delta\theta = 0.11^\circ$ .

**Frage 3** \_\_\_\_\_ **Synchrotron-Energieverlust eines Elektrons im Magnetfeld eines Pulsars** \_\_\_\_\_ **Punktzahl 4**

Die Strahlungsleistung eines Elektrons der Energie  $E$  in einem senkrecht zum Elektron orientierten Magnetfeld  $B$  durch Sychrotronstrahlung lässt sich durch klassische Elektrodynamik zu

$$P = \frac{e^2 c^3}{2\pi} C_\gamma E^2 B^2$$

bestimmen, mit

$$C_\gamma = \frac{4}{2} \pi \frac{r_e}{(m_e c^2)^3} \approx 8.85 \cdot 10^{-5} \text{ mGeV}^{-3}.$$

- (a) Leiten Sie eine Formel für die Strahlungsleistung her, die explizit nur von der Energie  $E$  des Elektrons aber nicht vom Magnetfeld  $B$  abhängt. Betrachtet werden sollen nur relativistische Teilchen: Für diese gilt  $cp \approx E$ .

Hinweis: Leiten Sie hierzu durch Gleichsetzen von Lorentzkraft und Zentripetalkraft eine Relation zwischen Energie  $E$  und Magnetfeld  $B$  her.

- (b) Berechnen Sie den Energieverlust eines Elektrons der Energie 1 TeV durch Synchrotron-Emission pro Umlauf auf einer kreisförmigen Bahn um einen Pulsar im Abstand von 1000 km.
- (c) Wie groß ist das Magnetfeld des Pulsars im Abstand von 1000 km? ( Siehe Hinweis zu Aufgabe 3 (a).)