

ntkspiegel  
hr klein und  
ausgebautem  
ai 600V kann  
schwierig, da

Bitte um **kurze prägnante Antworten** und achten Sie etwas auf Schriftbild und Form!

Please do not open the stitching!

We are kindly asking for short, concise and readable answers!

1) Sowohl am niederenergetischen als auch am höchstenergetischen Ende bricht das Spektrum der geladenen Komponente der kosmischen Strahlung ab („cut-off“). Welche physikalische Ursache hat das jeweilige spektrale Abschneiden? Ab welcher Energie bzw. bis zu welcher Energie beobachtet man entsprechend das ungestörte Spektrum der kosmischen Strahlung? [4P]

auf niederenergetischem Ende: ~~Abbruch durch Unterdrückung~~, da geladene Teilchen durch Magnetfeld abgelenkt,  $\sim 10^2$  eV  
(4)  $\sim 10^3$  eV

auf hochenergetischem Ende:  $\sim 10^{18} - 10^{20}$  eV, Annahme, dass geladene Teilchen mit Photonen d. <sup>CMB</sup> Cosmic Background wechselwirken, Energie sehr schnell verlieren, sogenannter GZK-Cut Off, geladene Teilchen niedrige Energie mindestens  $\sim 50$  HPe verlieren (theoretisch),  
(4P)

2) Schauerentwicklung in der Atmosphäre: Welche Teilchen sind bei einem beliebigen ausgedehnten Luftschauer die *am häufigsten* anzutreffenden, wenn man an folgenden Orten messen würde? ... [3P]

a) ...kurz vor dem ersten Wechselwirkung in der Atmosphäre?

H+ ~~Neutronen~~

b) ...bei Schauermaximum?  $e^-$  Elektronen ✓

c) ...an der Erdoberfläche?  $\mu$  Myonen ✓

(3P)

3) Nachweis von GeV-Gammastrahlung: Worauf beruht der Nachweis (wesentliche Wechselwirkung) und welche Eigenschaft des entsprechenden Wechselwirkungsquerschnitts nutzt man aus? [2P]

✓  
 Pairproduction,  $\gamma \rightarrow e^+ e^-$ , da Wechselwirkungsquerschnitt für  $e^+ e^-$  ist in diesem Energiebereich besonders höher als z.B. Compton-WW

(2P)

4) Was verstehen wir unter dem sogenannten „Gammastrahlen-Horizont“? Charakterisieren Sie die Wechselwirkung und erklären sie die Konsequenz für die Beobachtung kosmologisch entfernter Gammastrahlungsquellen als Funktion der Energie? [3P]

✓  
 ≈ nur wenn man mit Gammastrahlen astronomie ins Weltall schauen kann = Gammastrahlenhorizont

↳ durch sehr hohe Energien → können nicht entfernte Objekte "gesehen" werden, also nicht zurück in die Entwicklung d. Universum, ~~nein, sondern Wechselwirkung mit GHB~~

WW

(1 1/2 P)

5) Die Beobachtung von Neutrinos in verschiedenen Energiebereichen steht in ursächlichen Zusammenhang zu deren unterschiedlicher physikalischer Herkunft. Woher stammen Neutrinos in den folgenden Energiebereichen hauptsächlich? (jede ausgelassene bzw. falsche Nennung 1P Abzug) [3P]

a)  $10^{-6} \dots 10^{-4}$  eV ( $\mu$ eV-Neutrinos) sekundär, durch Zerfallsprozesse bei CR events in Atmosphäre f ✓

b)  $10^3 \dots 10^6$  eV (keV Neutrinos) solare Neutrinos ✓

c)  $10^8 \dots 10^{11}$  eV (GeV Neutrinos) galaktische Neutrinos f

d)  $10^{17} \dots 10^{19}$  eV (EeV-Neutrinos) extragalaktische Neutrinos (✓) woher?

(1 P)

11/12/15

2.0

6) Distanzbestimmungen:

a) Auf welchem physikalischen Prinzip basiert die Distanzbestimmung des "red clump" im HR Diagramm? [1P]

Annahme, dass alle Objekte im red-clump die gleichen Massen und absolute Helligkeiten aufweisen  $\Rightarrow$  die scheinbare Helligkeit wird gemessen, daraus Distanz berechnet

von Kern  $\rightarrow$  immer  $0.45 M_{\odot}$  He  $\rightarrow$  selbe Brennmasse

b) Was ist die Ursache, dass es am hellen Ende der PN Leuchtkrafffunktion  $\checkmark$  (PNLF) ein scharfes Ende und somit einen Distanzindikator gibt? [1P]

da Planetary Nebel bis  $\approx 8 M_{\odot}$  entstehen, alles darüber würde als Supernova enden,  $\Rightarrow$  maximale Masse bekannt  $\Rightarrow$  Leuchtkraft  $\Rightarrow$  absolute Helligkeit, scheinbare gemessen  $\Rightarrow$  Distanz

c) Auf welchem physikalischen Prinzip basiert die Distanzbestimmung  $\checkmark$  mit der Tully-Fischer Relation (aus der Rotation)? [1P]

mechanische Gesetze (bei gemisser Rotationsgeschwindigkeit  $\Rightarrow$  Masse berechnen für stabiles System), Masse bekannt  $\Rightarrow$

absolute Helligkeit, scheinbare Masse  $\Rightarrow$  Distanz

Rot / Blau verschiebung an Rotation  $\Rightarrow$  unterschieden  $\Rightarrow$  d. Objekten messen

2.3

7) Hydrodynamische Methoden:

a) Was bedeutet es im Sinne der Mathematischen Methode schockerhaltende Methoden / Schemen an zu wenden? [1P]

$\Rightarrow$  Euler Ansatz, keine Verschmierung (Mittelung über mehrere Zellen) zulassen,  $\Rightarrow$  eher kopieren d. Zellen in gewissen Bereichen, wo die Schockwelle gerade durch geht  $\Rightarrow$  nach fehlende Änderung der Lösung

das muss in diesen Fall

b) Was bedeutet AMR und warum verwendet man es? [1P]

Adaptives Mesh Refinement, lokale Verfeinerung d. Netzes / der Zellenanzahl, wird verwendet, um in interessanten Bereichen die notwendige Auflösung zu haben, in Bereichen, wo nicht viel passiert nicht großes Netz wird verwendet  $\Rightarrow$  um Speicherplatz und Rechenzeit sinnvoll zu nutzen

c) Was bedeutet SPH und was ist der größte Nachteil dieser Methode (siehe a)? [1P]

Lagrange - Ansatz  $\Rightarrow$

kann nicht schockerhaltend arbeiten, man simuliert Kollaps d. Systems

8) Sterne:

a) Was ist die Bedeutung der folgenden Grundgleichungen? [2P]

- 1)  $\frac{dP}{dr} = -\rho \frac{Gm}{r^2}$   $\frac{dP}{dm} = -\frac{Gm}{4\pi r^4}$   $\Rightarrow$  *Großdrucksdruck, ,expante.  $\infty$  Annahme  $\rho(r=0)$  maximal, steing monoton fallend mit wachsendem  $r$*
- 2)  $\frac{dm}{dr} = 4\pi r^2 \rho$   $\frac{dr}{dm} = \frac{1}{4\pi r^2 \rho}$   $\Rightarrow$  *Annahme Kernschicht sphärisch Masse nimmt steing monoton steigend mit Radius zu*
- 3)  $\frac{dT}{dr} = -\frac{3 \kappa \rho F}{4 4\sigma T^3 4\pi r^2}$   $\frac{dT}{dm} = -\frac{3 \kappa F}{4 4\sigma T^3 (4\pi r^2)^2}$  *Strahlungsdruck*
- 4)  $\frac{dF}{dr} = 4\pi r^2 \rho q$   $\frac{dF}{dm} = q$   *$q$  mehr Masse, desto mehr innere Energie Energieerzeugung*

2)  $m(r) = \frac{4}{3} R^3 \pi \cdot \rho$   $\frac{dm}{dr} = 4 \cdot 3 R^2 \pi \cdot \rho \Rightarrow \frac{dr}{dm} = \frac{1}{4 R^2 \pi \rho}$

$\rho$  bei  $0 \rightarrow$  bis  $R$  *Starrer Radius  $R_*$*

3)  $L = 4\pi r^2 \sigma T^4$   
 $\sigma 4 T^4 = -\frac{3 \kappa}{4} \frac{F m}{(4\pi r^2)^2}$   
 $4\pi r^2 \sigma \cdot 4 T^4 =$   
 4)  $dT = 4\pi r^2 \rho q dr$   
 $F = \frac{4\pi r^3}{3} \rho \cdot q$

relig. Annahmen  
 es geben Impuls- und Energieerhaltung,  
 m(r) steing monoton steigend

1)  $F = \frac{F}{A} = -\frac{Gm^2}{4\pi r^2 \cdot r^2}$

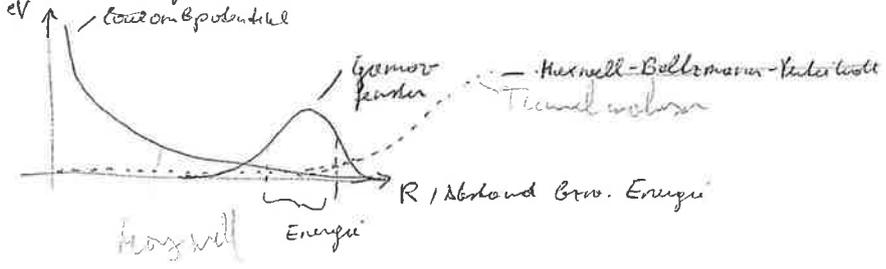
wobei  $\tau_{dyn} \ll \tau_{THERM} \ll \tau_{Nucleus}$  gemeint??

b) Welches sind und wie wie groß sind etwa die drei wichtigsten Zeitskalen (am Beispiel sonnenähnlicher Sterne)? [2P]

1. Entstehung aus riesigen Staubwolken / Nebel =  $10^7$  Jahre (längstes Zeit ~~spanne~~)
2. Brennen auf Hauptreihe, dann He-Brennen } Hauptstadium  $\ll$  als Entstehung  $\checkmark$
3. Endphase ( $\Rightarrow$  aufblähen, dann riesiger Zwerg), sehr sehr kurz im Vgl zu 2 anderen Phasen

9) Erklären Sie die Gamov Energie und was sind die zwei wichtigsten Konsequenzen für die Sternentwicklung daraus? [3P]

im sogenannten "Gamow-fenster", ist Energiebereich / optikum, in dem Kernfusion möglich ist, entsteht, aufgrund d. endlichen ~~Wahrscheinlichkeit~~ Tunnel von Teilchen durch Coulomb-Barrriere



1. dadurch Fusion möglich
2. ~~es~~ nur eine Art von Kernfusion, H-Fusion, wenn H fertig  $\Rightarrow$  Kohlenstoff bis Gamowenergie für He erreicht  $\Rightarrow$  dann He-Fusion, wellseparierte Gamow-fenster, bei C, N, O nicht mehr schmelz separiert, aber selbes Prinzip

20

10) Beschriften Sie die "Herkunft" / "Bedeutung" der markierten Terme der Impulsgleichung der stellaren Winde:

[2P]

$$\frac{dv}{dr} \left( v - \mathfrak{R} \frac{T}{v\mu} \right) = \underbrace{\frac{\mathfrak{R}}{\mu} \left( \frac{2T}{r^2} - \underbrace{\frac{dT}{dr}}_{\substack{\text{Abkühlungs-} \\ \text{effekte}}} + \underbrace{\frac{T}{\mu} \frac{d\mu}{dr}}_{\text{Ionisierung}} \right)}_{\text{Gasdruck}} - \underbrace{\frac{GM_*}{r^2}}_{\text{Gravitation}} \left( 1 - \underbrace{\frac{\omega^2 R_*^3}{GM_*}}_{\text{Reaktion}} \right) + \underbrace{F(r)}_{\substack{\text{Aurora} \\ \text{Kräfte}}}$$

11) a) Welche Energie (in eV bzw. Vielfachen davon) muss ein Elektron haben, um Strukturen von der Größenordnung 1 fm auflösen zu können? (mit Rechnung)

$1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$       $m_e = 0,511 \text{ MeV}/c^2$  (Ruhenergie) [1P] 1P  
 die de-Broglie-Wellenlänge muss im Bereich von fm liegen,  $\lambda_{dB} = \frac{h}{p} = \frac{h \cdot c}{E}$  ich hab den Wert für h vergessen!!!!  
 relativistisch  $E \approx cp$   
 $E = \sqrt{m^2 c^4 + c^2 p^2}$       $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$   
 $E \approx \frac{h \cdot c}{10^{-15}} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{10^{-15}} = 1,98 \cdot 10^{-16} \text{ J} = 1,24 \text{ GeV}$

b) Wie lange muss der LHC in Betrieb sein, um bei einer durchschnittlichen Luminosität von  $10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  insgesamt 1 Million Ereignisse zu erzeugen, die ein  $B_s$  Meson enthalten, wenn der Wirkungsquerschnitt  $\sigma(pp \rightarrow b\bar{b})$  gleich 0.5 mb ist, und die Wahrscheinlichkeit, dass ein b-Quark in ein  $B_s$  Meson hadronisiert 10% beträgt?  $1 \text{ b} = 10^{-28} \text{ m}^2$ , mb = millibarn.

Bemerkung: das Anti-b-Quark liefert natürlich ebensoviele Anti- $B_s$  Mesonen.

$N(t) = L \cdot \sigma \cdot t$  [2P] 2P  
 $10^6 B_s \dots 10\% \dots \frac{10^6}{10} = 10^5$  Ereignisse bei 10% Hadronisierung für  $B_s$  ✓  
 $t = \frac{N}{L \cdot \sigma} = \frac{10^7}{10^{33} \cdot 0,5 \cdot 10^{-27} \cdot 10^{-24}} = \frac{10^7 \cdot 10^{27}}{10^{33} \cdot \frac{1}{2}} = \frac{10^{34}}{10^{32}} = 20 \text{ Sekunden}$   
 $1 \text{ cm} = 0,01 \text{ m} = \frac{1}{100} = 1 \cdot 10^{-2}$   
 $1 \text{ cm}^2 = (0,01)^2 = 10^{-4}$

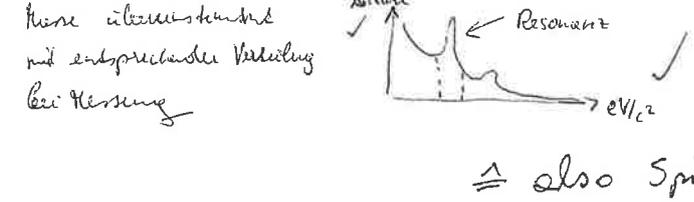
LHC muss 20 Sekunden messen

12) a) Erklären Sie kurz die in der Vorlesung beschriebene Methode, die verwendet wird, um neue Teilchen zu entdecken.

Kollision  $\rightarrow$  über Impuls- und Energieerhaltung  $\rightarrow$  von gemessenen Teilchen berechnet, wenn Teilchen mit "unbekannter" Masse  $\rightarrow$  neues Teilchen

\* einige Kollisionsprodukte werden direkt, Stoßenergie bekannt,

b) Was sind Resonanzen? z.B. wenn Masse zwei Teilchen mit gemessener [1P] 1P



c) Was sind virtuelle Teilchen? Geben Sie die Definition und ein Beispiel an.

Austauschteilchen, die ~~keine~~ maximale Masse, aber realen Teilchen stimmt dabei [1P] 0.5P  
 nicht mit der nominellen Masse überein, Hilfskonzept, z.B. virtuelles Photon  
 \* konkreter Prozess

13) Ein Pion-Strahl wird auf ein festes Wasserstofftarget geschossen. Berechnen Sie die Schwellenenergie  $E_\pi$  für die Erzeugung eines neutralen Kaon-Paares in der Reaktion  $\pi^- + p \rightarrow \pi^0 + n + K^0 + \bar{K}^0$  unter Verwendung des Konzeptes der invarianten Masse. Die Massen der involvierten Teilchen sind:  $m_{\pi^\pm} = 139.6 \text{ MeV}/c^2$ ,  $m_{\pi^0} = 135.0 \text{ MeV}/c^2$ ,  $m_p = 938.3 \text{ MeV}/c^2$ ,  $m_n = 939.6 \text{ MeV}/c^2$ ,  $m_{K^0} = 498 \text{ MeV}/c^2$ . [3P]

$139,6 + 938,3 = 1077,9 \text{ MeV}/c^2$  es gilt NICHT Massenerhaltung  
 $135 + 939,6 + 2 \cdot 498 = 2070,6$   
 $2070,6 - 938,3 = 1132,3 \text{ MeV}/c^2$

Statt man nur 1132,3 MeV/c^2 haben, erhält man zuerst 938,3 von  $p \Rightarrow$  insgesamt 2070,6 zur Verfügung für  $K\bar{K}$ -Erzeugung

14) Für einen Prozess  $1 + 2 \rightarrow 3 + 4$  sind die Mandelstam Variablen folgendermaßen definiert:

$s = (p_1 + p_2)^2$      $t = (p_1 - p_3)^2$      $u = (p_1 - p_4)^2$      $p_i \dots$  4-er Impulse

a) Erklären Sie, warum diese Variablen lorentz-invariant sind. [1P] 1P

$s' = \lambda \cdot s$   
 $s'^2 = (\lambda s)^T g (\lambda s) = s^2$  denn Lorentz-invariant, und auch für Subtraktion!  
 $= s^T \lambda^T g \lambda s$   
 da  $s$  eine Addition von zwei Impulsen  $\Rightarrow$  invariant für Impulse,  $p'^2 = (\lambda p)^T g \lambda p = p^2$  ist Lorentz-invariant  
 $\lambda = \begin{pmatrix} \gamma & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$  invarianz gezeigt

b) Zeigen Sie, dass folgendes gilt:  $s + t + u = m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2$  [2P] 0.5P

$p_1^2 = E_1^2 - \vec{p}_1^2 = m_1^2$   
 $p_2^2 = m_2^2$

$p_1^2 + 2p_1 p_2 + p_2^2 + p_1^2 - 2p_1 p_3 + p_3^2 + p_1^2 - 2p_1 p_4 + p_4^2 = s + t + u$   
 $m_1^2 + m_2^2 = m_3^2 + m_4^2 \Rightarrow m_1^2 = m_3^2 + m_4^2 - m_2^2$   
 $m_1^2 + 2p_1 p_2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2 - m_2^2 + m_3^2 + \dots$

$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_3 + \vec{p}_4$  ✓

$p_1^2 = E_1^2 - \vec{p}_1^2 = m_1^2$

~~$m_1^2 + m_2^2 = m_3^2 + m_4^2$~~  gilt nicht

15) Erklären Sie ausgehend von der Formel für die differentielle Zerfallsrate (bitte hinschreiben), warum die Lebensdauer des Myons indirekt proportional zur 5. Potenz der Myonmasse ist:  $\tau_\mu \propto (m_\mu)^{-5}$ . Verwenden Sie die bei der Ableitung der Neutronlebensdauer angegebenen Argumente. [3P] 0.5P

Differentielle Zerfallsrate:  $\checkmark$   
 warum?  $\checkmark$

$$T \propto \frac{E^5}{\cancel{m^5}}$$

↑  
Zerfallsmate

3-dimensionaler Phasenraum, durch Impuls- und Energieerhaltung 4 Dim eingeschränkt  $\checkmark$

$$\Rightarrow 3 - 4 = -1, \text{ daher Zerfallsmate} \propto E^5 \Rightarrow \tau \propto E^{-5} \approx m_\mu^{-5}$$

Teilchen: 6.5 / 15 P