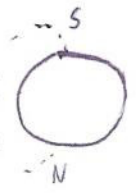


Name: [redacted] Matr. Nr.: [redacted]
Bitte die prägnante Antworten und achten Sie bitte etwas auf Schriftbild und Form!
Antworten folgen. Die Punktezahl der Aufgaben ist variabel und jeweils angegeben.

Please do not open the stitching! We are kindly asking for short, concise and readable answers! The grade points are variable and indicated for each question.

1) [3P] As early as in the 1930's the so-called east-west effect indicated that the majority of Cosmic Rays is of positive charge. What is causing the east-west effect and what is its observational signature?



Das Magnetfeld der Erde lenkt die ^{+negativen!} positive Teilchen ab. (✓)
Durch die Erdrotation (von west nach ost) bewegt sich die (✓)
Erde zusammen mit den Teilchen herum. Diese bewegt sich
also, von der Erde weg, von ost nach west) 1P

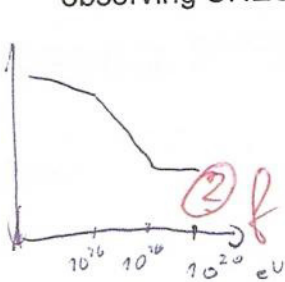
Was bedeutet das für die Detektoren?
Wann gilt das nicht ebenso für negative Teilchen?

2) [4P] The energy of cosmic neutrinos points directly to their astrophysical origin. Wherefrom originate the majority of neutrinos in the following energy regimes?

- a) $10^{17} \dots 10^{19}$ eV (EeV neutrinos): extragalactic neutrinos (✓) if UHECR are extragalactic → GZK-N
- b) $10^8 \dots 10^{11}$ eV (GeV neutrinos): galactic origin neutrinos f
- c) $10^3 \dots 10^6$ eV (keV neutrinos): solar origin neutrinos ✓
- d) $10^{-6} \dots 10^{-4}$ eV (μ eV neutrinos): Big Bang neutrinos ✓

2P

3) [3P] UHECR interactions with the Cosmic Microwave Background give reason to predict suppression of the Cosmic Ray primary spectrum. At what threshold energy we are expecting the so-called GZK-cutoff and, accordingly, how far can we study the Universe by observing UHECRs?



GZK-cutoff: 10^{20} eV ✓ (✓)
 6×10^{19} eV

We can observe the universe with UHECRS
 up to 50 Mpc ✓

2 1/2 P

4) [3P] Characterize the elemental abundance of the primary Cosmic Ray component:

(a) Which Cosmic Ray primaries are the most abundant ones? Name the top three!

Proton, Neutron, Elektron

(b) What is causing differences in the elemental abundance of Cosmic Rays compared to the elemental abundance in the solar system?

In Spektrum habe in der Normierten Skalierung wesentlich häufiger Teilchen mit gerader Kernladungszahl auf, da diese stabiler sind.

aber wurde in Sonnensystem als auch in CR!

1/2 P

10⁹

5) [2P] Which detection technique is used for observing GeV-scale gamma-rays? What constitutes the main background for observing high-energy gamma-rays?

Cherenkov

Problem bei der Detektion:

Wiederherkunft mit dem Querschnitt der Erde

- Ionisationsmessung

0 P

6/15 P

2

6) [3P] Derive the formula of the nonrelativistic cyclotron frequency ω_c ?

$$m \cdot \frac{v^2}{r} = q \cdot v \cdot B$$

$$m \cdot \frac{\omega_c \cdot r^2}{r} = q \cdot \omega_c \cdot r \cdot B \Rightarrow \omega_c = \frac{q \cdot B}{m}$$

Explain in 3 sentences how a cyclotron works?



In eine Cyclotron wird der Teilchen in ein gleiches Magnetmoment durch ein elektrisches Feld Energie zugeführt um diesen zu beschleunigen. Das Feld muss die richtige Frequenz aufweisen.

Why is a cyclotron limited in the energy it can achieve for a particle?

Das Teilchen verliert ständig Energie durch die beschl. Bremsung.
Lösung: Radius vergrößern \Rightarrow LHC *ist nicht das Problem*

3

7) [3P] A proton beam is directed on a fixed hydrogen target. Derive the threshold kinetic energy of the incident proton beam for the additional production of a K^+K^- pair by using the concept of invariant mass: $p + p \rightarrow p + p + K^+ + K^-$
($m_p = 938 \text{ MeV}/c^2$, $m_{K^\pm} = 494 \text{ MeV}/c^2$)

$$\begin{pmatrix} E_{p_1} \\ \vec{p}_{p_1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} m_p \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2m_p + 2m_K \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$E_{p_1}^2 - \vec{p}_{p_1}^2 = E_{ps}^2$$

$$E_{p_1}^2 + 2E_{p_1} m_p + m_p^2 = E_{ps}^2$$

$$E_{p_1} = \frac{E_{ps}^2 - 2m_p^2}{2m_p}$$

$$E_{p_1} = \frac{(2 \cdot (938 + 494))^2 - 2 \cdot 938^2}{2 \cdot 938} = 3434 \text{ MeV}$$

$$E_{p_{kin}} = E_{p_1} - m_p = 2496 \text{ MeV}$$

3

8) [3P] Given the charges and the 4-momenta of the following particles, identify them (all numbers in natural units of GeV, measurement errors included;
 $m_{K^\pm} = 494 \text{ MeV}/c^2$, $m_{\pi^\pm} = 140 \text{ MeV}/c^2$, $m_{\pi^0} = 135 \text{ MeV}/c^2$):

charge	E	px	py	pz	particle
+1	1.930	1.308	-1.176	0.620	K^+
-1	3.685	3.231	-1.374	1.111	π^-
0	0.783	0.505	-0.498	0.333	γ
0	1.081	0.730	-0.733	0.312	γ

496,649 MeV
132,917 MeV
28,79 MeV
32,62

Two of the particles in the table are the decay products of a π^0 . First calculate the 4-momentum vector of the π^0 and then its mass.

2.8

$$\begin{matrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{matrix} = \begin{matrix} 1235 \\ 1237 \\ 645 \end{matrix}$$

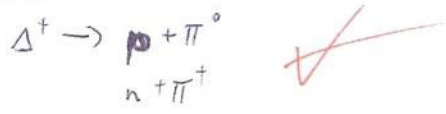
$E = 1864$
 $m_\pi = 133,79517 \text{ u}$

~~$$\begin{matrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ E \end{matrix} = \begin{matrix} 4539 \\ -2550 \\ 1733 \\ 5625 \end{matrix}$$

$$m = 1194 \text{ MeV}$$~~

9) [3P] Shortly explain the 3 different experimental methods used for measuring the lifetimes of the following particles:

a) for the Δ resonances



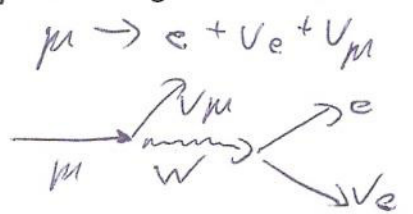
b) for the decay of B mesons (with a lifetime of the order of 10^{-12} s)

c) for muon decay

Direct measurement: mit Szintillatormaterial wird die Lebenszeit der Myonen direkt gemessen.

2.5

10) [3P] Draw the Feynman diagram for muon decay.



Write down the general formula for the differential decay rate $d\Gamma$ of an unstable elementary particle and explain what the different terms mean.

$$d\Gamma = |f_{ij}|^2 P(i)$$

Quadrat

$P(i)$... Menge der Teilchen in Zustand i ;

$|f_{ij}|$ Übergangswahrscheinlichkeit von i nach j ;

11) [4P] Stellar mass loss:

0.5 a) [1P] What does the equation $\dot{M} = 4\pi r^2 \overbrace{\rho(r) v(r)}^{\text{Fluss}}$ means, when does it apply (only) and what is the consequence for large radii when $v(r)$ has reached v_∞ ?

Massenerhalt ist gleich der Abstrahlungsfläche \times der Fluss (Dichte \times Geschwindigkeit)
 Nur für stationäres Gleichgewicht
 einsetzen
 Massenerhaltung

b) [3P] the momentum equation $v \frac{dv}{dr} + \frac{1}{\rho(r)} \frac{dp}{dr} + \frac{GM_*}{r^2} = 0$ defines the stationary case of the constant wind ($\delta v(r,t)/\delta t = 0$). Calculate the critical point using the equation of the ideal gas $p = \frac{\mathcal{R} \rho T}{\mu}$ and the isothermal case $T = \text{const.}$, $\mu = \text{const.}$

and $a = \sqrt{\frac{\mathcal{R} T}{\mu}}$ the isothermal sound speed.

$$v \frac{dv}{dr} + \frac{1}{\rho(r)} \frac{d}{dr} (\mathcal{R} \rho(r) T(r)) + \frac{GM}{r^2} = 0$$

$$\frac{d}{dt} \rho + v(\rho v) = 0$$

12) [2.5P] Basic stellar parameters:

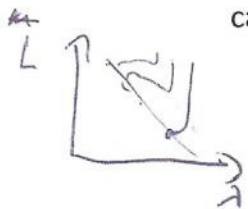
- a) [1P] How big are the typical timescales for the nuclear, the dynamic and the thermal processes of normal stars (estimated numbers and sorting)? What is the consequence for the handling of the basic equations?

$\tau_{\text{dyn}} < \tau_{\text{thermal}} < \tau_{\text{nuclear}}$
 Minuten < year < 10^6 years

Die Dynamik und ~~teilweise~~ auch thermale Effekte können vernachlässigt werden.

Sonne lebt 10 Milliarden Jahre auf der Hauptreihe = 10^{10} y

- b) [1.5P] What is the main difference of the early contraction (Hayashi track) contraction and later (Henyey) contraction during stellar formation / contraction of the initial cloud / cores? What is the underlying physics of the gas conditions causing the difference?



Hayashi: ~~Free-Fall contraction~~, full convective
 Henyey: nicht mehr voll konvektiv, da kein Temperaturgradient mehr, da - Gleichgewicht da durchstrahlung $\kappa \propto T^x$ $x \gg 1$

~~(isotherm)~~ \Rightarrow isotherm

0.5 13) [3.5P] Basic stellar equations:

Describe the equations below. What do they describe? What do the terms mean/describe? Which "simple" boundary conditions are we able to use? etc.

$$\frac{dP}{dr} = -\rho \frac{Gm}{r^2}$$

$$\frac{dP}{dm} = -\frac{Gm}{4\pi r^4}$$

(1) Hydrostatisch

$$\frac{dm}{dr} = 4\pi r^2 \rho$$

$$\frac{dr}{dm} = \frac{1}{4\pi r^2 \rho}$$

(2) Dichte profil z.B. Schwarzschild Chandrasekhar

$$\frac{dT}{dr} = -\frac{3}{4} \frac{\kappa \rho}{4\sigma T^3} \frac{F}{4\pi r^2}$$

$$\frac{dT}{dm} = -\frac{3}{4} \frac{\kappa}{4\sigma T^3} \frac{F}{(4\pi r^2)^2}$$

(3) Strahlungstransport

$$\frac{dF}{dr} = 4\pi r^2 \rho q$$

$$\frac{dF}{dm} = q$$

(4) Energie prod. Nuklear

$$P = \frac{\mathcal{R}}{\mu_1} \rho T + P_e + \frac{4\sigma}{3c} T^4$$

(5) ✓

$$\kappa = \kappa_0 \rho^a T^b$$

(6) opazität

$$q = q_0 \rho^m T^n$$

(7) Energie prod. Nuklear of f(T)

(Eqn. 1) Druckänderung mit der Radius, Druckänderung mit der Masse
 Bedingung der Hydro statische \Rightarrow ausbalancierter Bewegung

(Eqn. 2) $\int 4\pi r^2 \rho dr = \frac{4\pi}{3} r^3 \rho = M$ Masseänderung prop. der Dichte
 $\frac{dr}{dn} = \frac{1}{4\pi r^2 \rho}$.. Umkehrung von, wie ändert sich die Masse mit dem Radius

(Eqn. 3) Änderung der Temperatur entlang des Radius ist abh. von T und r
 Temperaturänderung mit der Masse \Rightarrow Strahlungstransport = Energie abfuhr

(Eqn. 4) Flussänderung entlang von r ist abh. von der Austrittsfläche, der Dichte und der Austrittsgeschw. $\frac{dF}{dr} = 4\pi r^2 \rho \cdot g$ | Fluss ist abh. von Dichte
 was ist $g \Rightarrow$ Nukleare Energiebilanz

(Eqn. 5) Druck ist abh. von Teilchendruck + Elektronendruck + Strahlungsdruck

(Eqn. 6) opazität

(Eqn. 7) Austrittsgeschw. ist abh. von Schwerkraft, der Dichte und der Temp.

(Boundaries): Temperatur, Dichte

$$\left. \begin{aligned} m(r=0) &= 0 && \text{ganz innen} \\ m(r=R) &= M \\ \rho(r=R) &= \rho \\ T(r=R) &= T \end{aligned} \right\} \text{Oberfläche}$$

45 14) [3P] Plasma states and stellar spectra:

What does the Boltzmann equation $\frac{N_a}{N_b} = \frac{g_a}{g_b} e^{-\frac{(x_b - x_a)}{kT}}$ describe ($x_{a,b}$ are the excitation potentials of the levels) ?

What does the Saha equation $\frac{N_{r+1} P_e}{N_r} = \frac{2kZ_{r+1}}{Z_r} \left(\frac{2\pi m_e kT}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{x_r}{kT}}$ describe (x_r is the ionization energy) ?

What are the consequences of the interplay of them and at which stellar class / spectral type do we see this interplay most prominent (one class / or T_{eff} !) ?

Boltzmann: Beschreibt das Verhältnis von angeregten / nicht angeregten Zuständen in Abh. ihrer Entartung (g_a, g_b), der Temperatur, und ihrer Anregungswärme

Saha: Beschreibt den Ionisationsgrad in Abh. der Temperatur

Ionisationslinien + Aufwärmelinien: 100% Sonne $T_{\text{eff}} \approx 6000^\circ \text{C}$
 Bohrs. Bevölkerung
 Sole enthält höhere Massen $T \approx 2000 - 10000^\circ \text{C}$

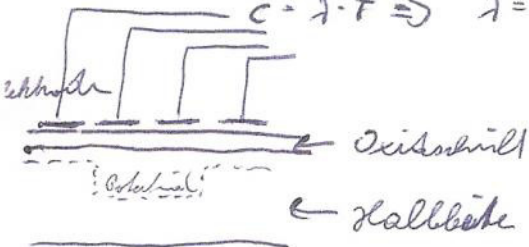
2P 5) [2P] Sketch and describe the principles of a single CCD detector cell and that of the readout mechanism. Calculate the limiting wavelength (in μm) of an InSb chip if the distance of the bands is 0,18 eV (1 eV = $1,602 \cdot 10^{-19}$ J; $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ J s; $c = 2,997 \cdot 10^8$ m s $^{-1}$).



Elektronen werden in die "geringen" und können durch bestenweise durch die Elektroden herausgeschoben werden

$$\Delta E = h \cdot \Delta \nu \quad \Delta \nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{0,18 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}}{6,626 \cdot 10^{-34}} = 43,5795 \cdot 10^4$$

$$c = \lambda \cdot f \Rightarrow \lambda = \frac{c}{f} = 6,88657 \mu\text{m}$$



Durch das einfallende Licht werden Elektronen aus der Halbleiter gelöst. Durch Anlegen einer Spannung werden die Elektronen zu der Elektrode gezogen.

Durch "Winterschleier" der Spannung können die Elektronen ausgelöst werden. Man unterscheidet hierbei z.B. Full-Frame, Interline oder Fit Verfahren zu anderen dieser CCD's