

Prüfungsfragen Diplom

Theoretische Physik

Aus Mechanik und Elektrodynamik sollte man immer noch parat haben: Newtonsche Axiome, Lagrangesche Gleichungen zweiter Art, Maxwellgleichungen, Wellengleichung, Lorentz-Transformation

Fragen zur

I. Quantenmechanik

1. Beschreiben Sie ein Beispiel Ihrer Wahl für das Versagen der klassischen Physik, also die Notwendigkeit der Einführung der Quantenmechanik. (Hohlraumstrahlung, Compton-Effekt, Photo-Effekt, Franck-Hertz-Versuch, o.Ä.)
2. Welche Vorhersagen macht die klassische Physik für die Hohlraumstrahlung? Wie korrigiert die Quantenmechanik diese?
3. Was versteht man unter Ultraviolett katastrophe?
4. Beschreiben Sie den Photoeffekt. Erläutern Sie, was man klassisch erwarten würde und was man stattdessen beobachtet. Wie erklärt die Quantenmechanik diese Beobachtungen?
5. Was ist der Compton-Effekt? Vergleichen Sie klassische und quantenmechanische Erwartung.
6. Welche Atommodelle aus der Zeit vor der Entwicklung der Quantenmechanik kennen Sie? Welche Probleme haben diese Modelle?
7. Beschreiben Sie das Bohrsches Atommodell: Welche Postulate stellt Bohr auf, was liefert das Modell für die Energieniveaus des Wasserstoffatoms? Wo liegen die Erfolge, wo die Grenzen des Modells?
8. Wie lautet die Sommerfeldsche Quantisierungsbedingung? Für welche Arten von Bewegungen kann man sie formulieren?
9. Diskutieren Sie die Teilchen-Welle-Dualität am Beispiel des Doppelspaltexperiments.
10. Schreiben Sie die zeitabhängige Schrödingergleichung auf und erläutern Sie alle vorkommenden Terme. Was für einen Typ von mathematischem Problem stellt sie dar?
11. Was ist bei der Lösung der Schrödingergleichung gegeben und was berechnet man?

12. Wie lautet die zeitunabhängige Schrödingergleichung? Was für einen Typ von mathematischem Problem stellt sie dar? Warum betrachtet man sie? Wie kann man mithilfe ihrer Lösungen die zeitabhängige Schrödingergleichung lösen?
13. Wie sehen die Lösungen der zeitunabhängigen und der zeitabhängigen Schrödingergleichung für ein freies Teilchen aus?
14. Wie beschreibt man ein Wellenpaket? Warum betrachtet man Wellenpakete?
15. Was kann man zum allgemeinen Verhalten eines Wellenpakets, das sich gemäß der Schrödingergleichung entwickelt, als Funktion der Zeit aussagen? Welche Schlussfolgerungen für die Interpretation der Wellenfunktion ergeben sich daraus?
16. Was ist der Tunneleffekt? Wie verhält sich der Transmissionskoeffizient als Funktion der Energie? Wie sieht die Wahrscheinlichkeitsdichte für den Ort des Teilchens auf den beiden Seiten eines rechteckigen Potentialwalls und in seinem Innern aus?
17. Es wird ein eindimensionales Potential (willkürlicher Form) skizziert. Die Frage lautet dann, was man über die Eigenwerte der Schrödingergleichung in diesem Potential aussagen kann.
18. Formalismus: Wie wird in der Quantenmechanik ein Zustand beschrieben, wie eine Observable?
19. Was kann man über die Eigenwerte und die Eigenfunktionen eines hermiteschen Operators aussagen?
20. Was ist ein unitärer Operator?
21. Welche Aussage kann man über die Eigenfunktionen kommutierender hermitescher Operatoren treffen?
22. Ein Teilchen befinde sich im Zustand $|\Psi\rangle$, die Observable A werde gemessen. Welche Messwerte sind möglich? Welche Wahrscheinlichkeit(sdichte) hat ein gegebener Messwert?
23. Erläutern Sie die Heisenbergsche Unschärferelation/Unbestimmtheitsrelation für den Fall von Ort und Impuls. Diskutieren Sie ihre physikalische Bedeutung.
24. Geben Sie die verallgemeinerte Heisenbergsche Unschärferelation an. Definition aller auftretenden Größen. Expliziter Ausdruck für Streuung einer Variablen.
25. Diskutieren Sie den Unterschied zwischen Schrödinger- und Heisenberg-Bild.
26. Wie lautet die Heisenbergsche Bewegungsgleichung?
27. Wie sieht der Hamilton-Operator des harmonischen Oszillators in der Darstellung durch Erzeugungs- und Vernichtungsoperatoren aus?

28. Welches sind die möglichen Energieeigenwerte des harmonischen Oszillators? Wie kann man sie ableiten (ohne das Problem vollständig zu lösen)? Wie sehen die Eigenzustände des harmonischen Oszillators aus?
29. Beschreiben Sie den Übergang zur Ortsdarstellung des harmonischen Oszillators. Welches Funktionensystem ist hier relevant?
30. Skizzieren Sie den Verlauf der ersten Eigenfunktionen des harmonischen Oszillators.
31. Geben Sie den Hamiltonoperator für das Wasserstoffatom an.
32. Wie geht man beim Lösen des Wasserstoffproblems vor? (4 Schritte)
33. Was ist Entartung?
34. Was versteht man unter einem vollständigen Satz vertauschbarer Operatoren?
35. Wie hoch ist der Entartungsgrad der Eigenwerte des Wasserstoffproblems? Wie hoch ist er beim wirklichen Wasserstoffatom? (Vernachlässigung von relativistischen und quantenelektrodynamischen Effekten, die die Entartung aufheben.)
36. Was ist zufällige Entartung? Was m-Entartung? Bei welchen Systemen tritt die letztere auf?
37. Wovon hängt das Auftreten der zufälligen Entartung (oder ihre Abwesenheit) ab?
38. Skizzieren Sie die Lösung des Eigenwertproblems für den Drehimpuls. Wie sieht die Gesamtheit der Drehimpulsvertauschungsrelationen aus? (\exists zwei offensichtliche alternative Formulierungen)
39. Wie sehen die Eigenfunktionen des Wasserstoffproblems ungefähr aus? (zwei Teilprobleme)
40. Welche Funktionensysteme sind in diesen Eigenfunktionen relevant?
41. Beschreiben Sie das Vorgehen bei der zeitunabhängigen Störungstheorie. (Unterschiedliche Ziele bei zeitunabhängiger und zeitabhängiger Störungstheorie, s. auch Frage 46.)
42. Wie sehen die Eigenwerte und Eigenfunktionen der Schrödingerschen Störungstheorie bei Abwesenheit von Entartung in erster Ordnung aus?
43. Wie sehen die Korrekturen zweiter Ordnung aus? Was kann man über die Korrektur der Grundzustandsenergie in zweiter Ordnung sagen?
44. Warum ist Entartung bei der Störungstheorie ein Problem?
45. Was macht man im Fall von Störungstheorie mit Entartung?
46. Wie geht man bei der zeitabhängigen (Diracschen) Störungstheorie vor? Was ist hier die interessierende Größe?

47. Wie lautet Fermis goldene Regel?
48. Was erreicht man in der zeitabhängigen Störungstheorie durch adiabatisches Einschalten der Störung? Welchen Effekt kann man beschreiben und wo wäre der wichtig?
49. Was besagt das Ritzsche Variationsprinzip?
50. Was ist die Idee der WKB-Methode?
51. Wie ist der Hamiltonoperator eines Atoms in Gegenwart eines Magnetfelds abzuändern?
52. Diskutieren Sie den Aharonov-Bohm-Effekt qualitativ.
53. Was versteht man unter dem Spin des Elektrons? Woher kommt er?
54. Wie sieht die Pauli-Gleichung aus?
55. Welche relativistischen Effekte kennen Sie, die die Energieeigenwerte eines Atoms beeinflussen?
56. Beschreiben Sie (mit Skizze) den normalen Zeeman-Effekt.
57. Beschreiben Sie (mit Skizze) den anomalen Zeeman-Effekt.
58. Beschreiben Sie (mit Skizze) den Paschen-Back-Effekt.
59. (Wer möchte, kann was über das Einstein-Podolsky-Rosen-Paradoxon erzählen.)

Fragen zur

II. Statistik und Thermodynamik

1. Auf welchen Grundkonzepten baut die klassische Statistik auf? (D.h., wie beschreibt man ein System, welche Arten von Zuständen unterscheidet man und worauf beruht der Name des Gebiets?)
2. Was ist ein Mikrozustand, was ein Makrozustand (Phasenraumbeschreibung)?
3. Wie reduziert man die Information auf das Wesentliche? (Was ist wesentliche Information?)
4. Welche Grundgröße dient zur statistischen Beschreibung eines makroskopischen Systems?
5. Welche Folgerungen zieht man aus der statistischen Unabhängigkeit makroskopischer Untersysteme? (mindestens zwei)
6. Welche Arten von Mittelwerten spielen in den Grundüberlegungen der Statistik eine Rolle und welche zentrale Hypothese stellt man auf?
7. Begründen Sie die genannte zentrale Grundannahme der klassischen Statistik.
8. Wodurch ist der Makrozustand des statistischen Gleichgewichts gekennzeichnet?
9. Wie lautet der liouvillesche Satz?
10. Was nimmt man für die Wahrscheinlichkeit von Mikrozuständen eines abgeschlossenen Systems in der klassischen Statistik an?
11. Was besagt das Ergodentheorem? Welche Bedeutung hat es für die Ableitung der mikrokanonischen Verteilung?
12. Wie lautet die statistische Verteilung in der mikrokanonischen Gesamtheit?
13. Welche Art von System wird durch die mikrokanonische Gesamtheit beschrieben; von welchen Variablen hängt die statistische Verteilung im Gleichgewicht ab?
14. Wie kann man die Entropie in der mikrokanonischen Gesamtheit definieren? (Kennen Sie mehr als eine Definition? Warum sind die verschiedenen Definitionen äquivalent?)
15. Was besagt der Entropiesatz?
16. Wie kommt man in der Statistik zum Begriff der Temperatur?

17. Zeigen Sie, dass in einem abgeschlossenen System, das aus zwei Untersystemen unterschiedlicher Temperatur besteht, die Energie vom System mit der höheren zu dem mit der tieferen Temperatur fließt. (Gälte das auch für negative Temperaturen?)
18. Welche makroskopischen Bewegungen sind in einem im Gleichgewicht befindlichen System möglich?
19. Begründen Sie, warum die Temperatur positiv sein muss. Gilt das in allen Systemen?
20. Muss der Druck immer positiv sein?
21. Nennen Sie zwei/drei Gesamtheiten der Statistik, geben Sie die zugehörigen statistischen Verteilungen an. Welche Größen charakterisieren die diversen Gesamtheiten, wie wird der Anschluss an die Thermodynamik vorgenommen?
22. Welche Art von System wird durch die kanonische Gesamtheit beschrieben; von welchen Variablen hängt die statistische Verteilung im Gleichgewicht ab?
23. Welche Art von System wird durch die großkanonische Gesamtheit beschrieben; von welchen Variablen hängt die statistische Verteilung im Gleichgewicht ab?
24. Kennen Sie eine in allen drei Gesamtheiten gültige Formel für die Entropie?
25. Was versteht man unter dem thermodynamischen Limes?
26. Was besagt der Gleichverteilungssatz?
27. Ableitung des Gleichverteilungssatzes in der kanonischen Gesamtheit.
28. Beschreiben Sie das gibbssche Paradoxon. Wie kann man es auflösen?
29. Geben Sie die (kanonische) Zustandssumme eines klassischen idealen Gases an. Wie sieht die thermische De-Broglie-Wellenlänge aus? (mindestens Temperaturabhängigkeit)
30. Wie lautet die Zustandsgleichung eines idealen Gases?
31. Skizzieren Sie, wie man bei der Behandlung eines realen Gases vorgeht. Welche qualitativen Änderungen erhält man in der Zustandsgleichung?
32. Welche physikalische Größe hängt mit den Energieschwankungen in der kanonischen Gesamtheit zusammen? Was kann man also über sie aussagen?
33. Welche physikalische Größe kann man mit den Dichteschwankungen in der großkanonischen Gesamtheit in Zusammenhang bringen? Unter welchen Umständen ist keine Gaußverteilung der Teilchenzahl zu erwarten?
34. Erläutern Sie den Begriff des Maxwellschen Dämons. Was soll er können und wieso könnte das zu einem Problem mit dem zweiten Hauptsatz führen?
35. Wie ist die Shannonsche Entropie definiert und wofür ist sie ein Maß?

36. Erläutern Sie das Funktionsprinzip von Feynmans Ratsche. Warum kann sie den Maxwell'schen Dämon nicht ersetzen?
37. Unter welcher Voraussetzung kann Feynmans Ratsche als thermodynamische Maschine funktionieren? Wie hoch ist ihr Wirkungsgrad im Idealfall?
38. Wie lassen sich die Gleichgewichtsverteilungen der Gesamtheiten der Thermodynamik durch ein Extremalprinzip "informationstheoretisch" ableiten? Welche Mikro- und Makronebenbedingungen gelten jeweils? (Beispiel für Mikro- und Makronebenbedingungen?)
39. Wie lauten die Hauptsätze der Thermodynamik?
40. Definieren Sie die Begriffe reversibel und irreversibel.
41. Was ist eine Zustandsgröße? Ist die bei einem Prozess reversibel aufgenommene Wärmemenge eine Zustandsgröße? Wie steht es mit der geleisteten Arbeit?
42. Skizzieren Sie die Argumentation zum Beweis der Äquivalenz der kelvinschen und der clausius'schen Formulierung des zweiten Hauptsatzes.
43. Was ist eine Carnot-Maschine? (Angabe der vier Teilprozesse)
44. Stellen Sie den carnot'schen Kreisprozess im pV -Diagramm und im TS -Diagramm dar. Umlaufssinn?
45. Wie kann man den carnot'schen Kreisprozess zur Definition einer absoluten Temperaturskala verwenden?
46. Wie ist der Wirkungsgrad definiert? Welchen Wert hat er für eine Carnot-Maschine?
47. Was ist eine endoreversible Wärmekraftmaschine? Welchen Wirkungsgrad hat sie?
48. Wie lautet der clausius'sche Satz? Wie und warum ermöglicht er die Definition einer Zustandsgröße Entropie? (Wie sieht diese thermodynamische Definition aus?)
49. Was ist ein Fließgleichgewicht? Beispiel? Konsequenzen?
50. Aus dem zweiten Hauptsatz kann man (in Kombination mit dem ersten Hauptsatz) einige unmittelbare Folgerungen ziehen. Welche Größen werden durch diese Folgerungen miteinander verknüpft? (Formel, wenn parat, wichtiger ist aber die Herstellung des Zusammenhangs)
51. Was besagt das Prinzip der minimalen Entropieproduktion?
52. Inwiefern geht der dritte Hauptsatz der Thermodynamik über die klassische Statistik hinaus?

53. Was kann man über den Wärmeausdehnungskoeffizienten, die spezifische Wärme und den Quotient dieser Größen bei $T \rightarrow 0$ aufgrund des dritten Hauptsatzes aussagen?
54. Erfüllt ein ideales Gas den dritten Hauptsatz?
55. Stellen Sie den Zusammenhang zwischen dem Prinzip der maximalen Entropie und dem Prinzip der minimalen Energie her.
56. Welche thermodynamischen Potentiale kennen Sie? Wie lauten die zugehörigen natürlichen Variablen?
57. Wie hängen die verschiedenen thermodynamischen Potentiale untereinander zusammen?
58. Ist die innere Energie als Funktion der Temperatur, des Drucks und der Teilchenzahl ein thermodynamisches Potential? Begründen Sie Ihre Antwort.
59. Was versteht man unter Maxwellrelationen? Geben Sie ein Beispiel an.
60. Wie lautet die Gibbs-Duhem-Beziehung? Was ist ihr physikalischer Inhalt?
61. Geben Sie allgemeine Gleichgewichtsbedingungen für ein pVT -System mit eventuell mehreren Phasen an.
62. Nennen Sie zwei Stabilitätsbedingungen für einen Gleichgewichtszustand.
63. Was besagt das Prinzip des kleinsten Zwangs?
64. Beschreiben Sie den Joule-Thomson-Effekt. Was ist bei seiner Anwendung für Kühlzwecke zu beachten? (Gefahren?)
65. Was beschreibt die clausius-clapeyronsche Gleichung? Formel?
66. Was sagt die clausius-clapeyronsche Gleichung für die Druckabhängigkeit des Gefrierpunkts von Wasser voraus? (Warum?)
67. Wie lautet die gibbssche Phasenregel?
68. Beschreiben Sie den Springbrunneneffekt.
69. Skizzieren Sie ein allgemeines Phasendiagramm eines Einkomponentensystems. (Änderung, wenn Wasser beschrieben wird?)
70. Welche Arten von Phasenübergängen kennen Sie? Wodurch unterscheiden sie sich?
71. Was bedeutet ein Phasenübergang in der Sprechweise der Statistik? Wieso gibt es nach dieser Sichtweise Phasenübergänge strenggenommen nur in unendlich großen Systemen?
72. Wie lautet die van-der-waalssche Zustandsgleichung?

73. Skizzieren Sie das Phasendiagramm eines Van-der-Waals-Gases (pV). Was ist zu den nichtmonotonen Isothermen zu sagen? Welche Konstruktion schafft hier Abhilfe?
74. Zeichnen Sie die Spinodale und die Binodale in das Phasendiagramm des Van-der-Waals-Gases ein.
75. Was passiert am kritischen Punkt des Van-der-Waals-Gases?
76. Von welcher qualitativen Grundüberlegung geht eine phänomenologische Theorie eines Phasenübergangs zweiter Art aus?
77. Wie sieht der Ansatz für die freie Enthalpie in der Landauschen Theorie eines Phasenübergangs zweiter Art aus? Was soll der Ordnungsparameter beschreiben? Was kann man zum Vorzeichen der auftretenden Koeffizienten sagen?
78. Welcher qualitative Zusammenhang besteht zwischen dem Ordnungsparameter und der reduzierten Temperatur auf der unsymmetrischen Seite eines Phasenübergangs nach Landau?
79. Nennen Sie drei Größen, deren Verhalten in der Nähe eines Phasenübergangs zweiter Art sich mit kritischen Exponenten beschreiben lässt.
80. Wie viele unabhängige kritische Exponenten gibt es laut Vorlesung, erstens im Rahmen der Landau-Theorie, zweitens tatsächlich?
81. Was besagt Universalität? (Wovon hängen die Werte der kritischen Exponenten ab?)
82. Warum versagt die Landau-Theorie bei der Vorhersage der kritischen Exponenten? Welche Werte sagt sie überhaupt vorher? (Mehr als drei braucht man nicht zu kennen.)
83. Gibt es Situationen, in denen die Landau-Theorie die kritischen Exponenten exakt vorhersagt?
84. Was sind die Voraussetzungen für die Gültigkeit der kinetischen Theorie? Wo leistet sie weniger als die Statistik, wo geht sie über diese hinaus?
85. Schreiben Sie die Boltzmann-Gleichung hin. (Stoßterm qualitativ)
86. Welche Annahmen macht man über Stöße zwecks Ableitung des H -Theorems?
87. Wie lautet das H -Funktional? Was besagt das H -Theorem über dessen zeitliche Entwicklung?
88. Welche Vereinfachung erlaubt die Boltzmann-Gleichung bei der Ableitung von Gleichungen für Mittelwerte von Erhaltungsgrößen?
89. Welche Einwände sind gegen die Boltzmann-Gleichung formuliert worden? Können Sie diese entkräften?

90. Geben Sie Beispiele für das Versagen der klassischen Statistik und die daraus folgende Notwendigkeit einer Quantenstatistik an.
91. Was ist das Grundpostulat der Quantenstatistik?
92. Inwiefern hat man es in der Quantenstatistik mit einer doppelten Mittelung zu tun?
93. Beschreiben Sie das Konzept des Dichteoperators. Welche Eigenschaften hat er? Was versteht man unter einer reinen, was unter einer gemischten Gesamtheit?
94. Welcher Bewegungsgleichung genügt der Dichteoperator? (Vergleichen Sie mit der Heisenbergschen Bewegungsgleichung.)
95. Wie lautet der Dichteoperator der mikrokanonischen Gesamtheit?
96. Wie sehen die Dichteoperatoren in der kanonischen bzw. großkanonischen Gesamtheit aus? Wie die Zustandssummen?
97. Was besagt das Spin-Statistik-Theorem? (Woraus folgt es?)
98. Wie sehen die mittleren Besetzungszahlen von Einteilchenniveaus in der Fermi-, Boltzmann- und Bosestatistik aus?
99. Wie verhält sich das chemische Potential eines idealen Fermigases für $T \rightarrow 0$, wie das eines idealen Bosegases? (Vorzeichen?)
100. Beschreiben Sie die Eigenschaften eines (fast) entarteten Fermigases. Wie verhält sich insbesondere der Druck bei tiefen Temperaturen?
101. Wie sieht der allgemeine Temperaturverlauf der spezifischen Wärme eines idealen Fermigases aus? Wie ist der Verlauf bei tiefen Temperaturen?
102. Geben Sie Beispiele von entarteten Fermigasen an.
103. Warum ist die Kondensation eines idealen Bosegases bemerkenswert?
104. Wann tritt die Bosekondensation auf, was für eine Art von Ordnungszustand stellt sie dar, und wodurch ist sie gekennzeichnet? (Verhalten der Besetzungszahlen der Energieniveaus?)
105. Gibt es (in der Theorie oder Praxis) ideale Bosegase, die keine Bosekondensation aufweisen? Begründen Sie ihre Antwort.
106. Skizzieren Sie das Verhalten der Fugazität als Funktion der Temperatur beim idealen Bosegas.
107. Skizzieren Sie das Verhalten der spezifischen Wärme C_V/N als Funktion der Temperatur beim idealen Bosegas.
108. Kennen Sie experimentelle Beispiele für Bosekondensation?
109. Was besagt das Bohr-van-Leeuwen-Theorem?

110. Charakterisieren Sie die Unterschiede der Eigenschaften Diamagnetismus, Paramagnetismus und Ferromagnetismus. Welches sind Einteilchen-Phänomene, welches Vielteilcheneigenschaften?
111. Wodurch kommt Ferromagnetismus zu Stande?
112. Wie sieht der Hamiltonoperator des Heisenbergmodells aus?
113. Was sind Spinwellen?
114. Wie sieht die Hamiltonfunktion des Isingmodells aus?
115. Wovon hängt die Frage der Existenz eines Phasenübergangs des einfachsten ferromagnetischen Isingmodells ab? Welche Modelle haben einen Übergang, welche keinen?
116. Welche Idee/Methode benutzte Onsager bei seiner exakten Lösung des zweidimensionalen Isingmodells?
117. Wie verhält sich die spezifische Wärme als Funktion der Temperatur beim zweidimensionalen Isingmodell? (Skizze, qualitative Aussage zur funktionalen Abhängigkeit)

Fragen zur

IIIa. Kosmologie

1. Welches sind die Grundannahmen kosmologischer Modelle? (physikalische Gesetze, kosmologisches Prinzip)
2. Erläutern Sie das Olberssche Paradoxon und seine Auflösung.
3. Welches sind die wesentlichen empirischen Grundlagen, auf die kosmologische Modellbildung sich stützt, d.h., welche wesentlichen Beobachtungen muss ein kosmologisches Modell erklären? (drei)
4. Welche ungefähre Temperatur hat der kosmische Mikrowellenhintergrund?
5. Welches ungefähre Verhältnis von Helium zu Wasserstoff resultiert aus der primordialen Nukleosynthese vor der Entstehung erster Sterne?
6. Wie entstanden schwerere Elemente (jenseits des Lithiums)?
7. Das Weltall dehnt sich bekanntlich aus. Dehnt sich das Sonnensystem auch aus?
8. Was gibt die Rotverschiebung z eines fernen Objektes an? (Hier ist nicht bloß die Definition gefragt, sondern auch, was man aus einem gegebenen z -Wert für den Zeitpunkt der Emission des Lichts berechnen kann.)
9. Was ist nach Einstein die Ursache der Gravitation?
10. Wie geht man prinzipiell bei der Ableitung der Friedmann-Gleichung(en) vor?
11. Wie sieht das Linienelement der Robertson-Walker-Metrik aus? Diskutieren Sie die Bedeutung der auftretenden Parameter.
12. Welches Zeitgesetz befolgt die anfängliche Ausdehnung bei einem Staubkosmos, wie sieht es bei einem strahlungsdominierten Kosmos aus?
13. Welche Langzeitverhalten zeigen die Lösungen der Friedmann-Gleichung?
14. Was ist die kosmologische Konstante? Hat sie heute noch eine Bedeutung?
15. Was versteht man unter dunkler Materie bzw. dunkler Energie? Warum sind sie wichtig?
16. Was sind kosmische Horizonte? Geben Sie ein Beispiel an.
17. Was versteht man unter dem Flachheits- und dem Horizontproblem? Wie löst das Modell eines inflationären Universums diese Probleme?
18. Beschreiben Sie das Szenario eines inflationären Kosmos.

Fragen zur

IIIb. Quantenmechanik II

1. Was ist die Dirac-Gleichung?
2. Wie lautet sie und welches sind die wesentlichen Ideen bei ihrer Ableitung?
3. Begründen Sie, warum die auftretenden Matrizen wenigstens 4×4 sein müssen.
4. Welche Kommutatorrelationen erfüllen die auftretenden Matrizen?
5. Diskutieren Sie die Beziehung zwischen Dirac-Gleichung und Klein-Gordon-Gleichung.
6. Welche nichtklassische Größe wird von der Dirac-Gleichung frei Haus geliefert?
7. Was sagt die Dirac-Gleichung zur Drehimpulserhaltung aus?
8. Was ist laut Dirac-Gleichung das Ergebnis einer idealen Geschwindigkeitsmessung eines Elektrons?
9. Wie folgen magnetisches Moment und Spin eines Elektrons aus der Dirac-Gleichung?
10. Wie löst Dirac das Problem der negativen Energien?
11. Von welchen Quantenzahlen hängen die Energieeigenwerte des Wasserstoffproblems gemäß der Dirac-Gleichung ab? Welche Entartung ist also aufgehoben?
12. Wie sieht die Feinstrukturkorrektur der Energieeigenwerte des Wasserstoffatoms aus, die die Dirac-Gleichung liefert? Welchen experimentellen Aspekt der Feinstruktur erklärt die Dirac-Gleichung nicht?
13. Wie sieht die kovariante Form der Dirac-Gleichung aus? Was für Antikommutatorrelationen erfüllen die dabei auftretenden Matrizen?
14. Wie geht man allgemein bei der Quantisierung eines Feldes vor? Welcher Unterschied besteht zwischen Feldern, die der Fermistatistik genügen und bosonischen Feldern?
15. In welchem Raum beschreibt man quantisierte Felder? Wie konstruiert man ihn? Welche Operatoren sind bei dieser Beschreibung nützlich?
16. Was versteht man unter zweiter Quantisierung?
17. Welche Besonderheit ist bei der Quantisierung des elektromagnetischen Felds zu beachten?
18. Welche Interpretationen etwa von Gitterschwingungen oder elektromagnetischen Schwingungen liefert die Feldquantisierung?
19. Wie ist die Struktur des Hamiltonoperators für die Coulomb-Wechselwirkung in zweiter Quantisierung?

Fragen zur

IIIc. Allgemeinen Relativitätstheorie

1. Was versteht man unter dem Äquivalenzprinzip? (schwaches, starkes)
2. Wie wird in der allgemeinen Relativitätstheorie die Gravitation erklärt?
3. Wie lautet die Bewegungsgleichung eines kräftefreien Probedeilchens?
4. Was beschreibt die Metrik eines Raumes?
5. Was ist ein Tensor?
6. Welcher Zusammenhang besteht zwischen kovarianten und kontravarianten Tensorkomponenten?
7. Wozu benützt man Christoffel-Symbole?
8. Sind die Christoffel-Symbole Tensoren?
9. Erläutern Sie den Begriff der kovarianten Ableitung.
10. Was versteht man unter dem Riemannschen Krümmungstensor?
11. Wann ist Parallelverschiebung wegunabhängig?
12. Ist Parallelverschiebung eines auf einer Kugeloberfläche definierten Vektors (also eines Tangentialvektors an die Kugel) wegunabhängig?
13. Wie sind Ricci-Tensor und Krümmungsskalar definiert?
14. Wie lauten die Einsteinschen Feldgleichungen?
15. Was kann man aus der Existenz der Bianchi-Identitäten folgern?
16. Wie kann man physikalische Gesetze in einer gekrümmten Raumzeit heuristisch ableiten? (Was sind die Inertialsysteme in der ART?)
17. Was sagt die allgemeine Relativitätstheorie zu Gravitationswellen aus? (Folgerungen für Spin des Gravitons?)
18. Geben Sie die Schwarzschildmetrik an.
19. Was ist ein schwarzes Loch?
20. Welche Bedeutung hat der Ereignishorizont eines schwarzen Lochs?
21. Formel für den Schwarzschildradius.
22. Wie groß oder wie klein kann ein schwarzes Loch werden?

23. Diskutieren Sie, was beim Fallen eines Objekts durch den Ereignishorizont passiert – aus der Sicht des unendlich fernen Inertialbeobachters und aus der Sicht des fallenden Objekts.
24. Nennen Sie experimentelle Befunde, zu deren Erklärung die allgemeine Relativitätstheorie benötigt wird. (Drei sollten Sie kennen, vier wäre super.)
25. Welche Folge hat die Hawking-Strahlung für ein schwarzes Loch?
26. Was besagt das Machsche Prinzip? Ist es in der allgemeinen Relativitätstheorie verwirklicht?