

# On the derivation of QCD/the strong interaction in the tetron model

Probleme:

- perturbative regime not in question, aber asymptotic freedom muss auch im tetronmodell verstanden werden - via dass sich Quarkmagnonen von ihrem nichtpert Zeug entkoppeln
- man braucht Gluons
- man will Hadronmassen berechnen können und das eta-etastrich rätsel etc lösen

## QCD - Essentials

Stand 4/2018

wie genau beschreibt man die Anregung eines Triplets durch ein anderes Triplet?  
ist das wie bei stimulated emission of radiation? Lasertheorie!  
Nein, beim Laser fliegt eins rein, und zwei fliegen raus.

Wenn man ein  $Q\bar{q}$  auseinander zieht, bildet sich an der Zwischenstelle ein leichtes  $q\bar{q}$  Paar (u,d oder s), dessen Erzeugung kostet  $\Lambda_{\text{QCD}}=(\mu+m_d+m_s)/3$ . Wenn sich dieses  $q\bar{q}$  nicht bilden würde, könnte das einzelne Q in seinem Tetraeder die Störung der Frustration gar nicht aushalten.

Achtung: es geht immer um **lineares Potential, nicht um lineare Kraft. Kraft ist konstant.**

Quarkspektren fitted durch  $V=\sigma*r - a/r +c$

wobei QCD nahelegt:  $a=-4\alpha_s/3$  und: es gibt noch  $\log(r)$  Terme gibt, die aber bisher nur für bottonium und dort auch nur erahnt werden.  $\sigma$ =string tension

wie ...9805112.pdf:  $Q\bar{q}k|frust\rangle$  ist der Zustand mit Potenzial/Energie

$V=\langle q\bar{q} \rangle *x/b$  linear in x. Wobei der Index k für die Erzeugungsoperatoren steht und

$\langle q\bar{q} \rangle$  die mittlere Energie ist, um ein  $q\bar{q}$  aus dem See zu holen und  $b$ =der mittlere Abstand zwischen der Quark und der Antiquark-Anregung. Diese Formel ist eine alte Formel des Quarkmodells; im Tetronmodell kann man für  $\langle q\bar{q} \rangle$  das Produkt  $j^* \langle dS.dS \rangle$  setzen, weil es die WW-Energie zwischen 2 Anregungen dS im Innen-Tetraeder angibt, die um so größer ist, wenn sie sich zu einem Singlet parallelisieren, weil dann  $dS.dS$  am größten ist.

Frage: warum spielt die inter keine Rolle, sondern nur die inner?

Antwort: weil das  $q\bar{q}$  als Singlet zunächst auf einem **einzigem** Tetraeder erzeugt wird, und dann erst auseinanderläuft als q und als qbar

Frage: warum ist der Abstand zwischen Triplettanregungen gegeben durch  $L_{\text{QCD}}$  und nicht  $L_{\text{PL}}$ ?

Antwort: weil es erst bei  $L_{\text{QCD}}$  für ein Triplet unerträglich wird, allein zu sein. Bei kleineren Abständen/höheren Energien als  $L_{\text{QCD}}$  sind die Triplets **asymptotisch frei**. Das ist der

Abstand, der der Energie des frustrierten Grundzustandes entspricht oder auch der mittleren Energie eines See-Paares

Soweit ok; man kann dies sowie auch das lineare Potential ganz gut durch das semitheoretische Argument mit dem See verstehen. ABER: **Das eigentliche Problem** ist eine Theorie zu machen, wo die Störung der Frustration durch das  $Q$  die  $q^*qbar$  Anregung erzwingt. Also: wenn  $Q$  ein Triplett ist, schaufelt es sich  $qbar$  herbei, um die Störung der Frustration auszugleichen, dh um wieder den frustrierten Stern herzustellen ... es ist wie: ein Molekül regt ein Nachbarmolekül zum Schwingen an.

Frage: So ähnlich könnte man doch auch bei dem viel stärkeren elektroschwachen Alignment argumentieren; dann wären alle Mignonen, auch die Leptons, confined mit  $L_{ew}$ . **Also: warum spielt die Störung der Frustration eine so große Rolle**, wo doch das elektroschwache Alignment viel stärker ist?

Antwort: Ein Mignon spielt sich innerhalb eines Tetraeders ab, und daher die Störung des äußeren Alignments führt nicht zu Confinement, sondern zur großen Masse des Mignons - im wesentlichen die Topmasse, weil alle anderen Mignons nach der Diagonalisierung von Masse verschont bleiben. Evtl führt die Störung des Alignments auch zum schnellen Zerfall des top bzw überhaupt zu den kurzen Lebensdauern der schwach zerfallenden Teilchen, die ja durch die Fermiskala bestimmt wird.

Frage: es ist trotzdem komisch, dass sich das confinement über so weite Abstände erstreckt, obwohl es doch eine Angelegenheit ist, die sich innerhalb eines Tetraeders abspielt.

Antwort: die isomagnetischen Energien innerhalb eines Tetraeders sind anscheinend klein, und kleinen Energien entsprechen nunmal großen Abständen.

Stand 3/2018

Genauere Beschreibung der Idee:

-die starke WW hängt mit der **Störung des frustrierten Grundzustandes eines einzelnen** Tetraeders zusammen, dessen isomagnetische Energie etwa gleich  $1\text{GeV}=\Lambda_{\text{QCD}}$  ist. NB, dass entgegen dem Ausdruck 'Frustration' diese Konfiguration, die ja übrigens auch ein Triplet ist, für einen einzelnen Tetraeder ein **Energieminimum** darstellt.

-das Grundzustandstriplets kann **nicht** durch Singletanregungen gestört werden:

**Betrachte ein  $Q^*Qbar$  Paar:** da es ein Colorsinglett ist, stört es die Frustration des Triplet-Tetraederstern-Grundzustandes überhaupt nicht; da es verändert den Tetraeder-Stern nicht

Hingegen ein **einzelnes Quark(triplett)**  $Q$  verändert und stört die frustrierte Konfiguration, also erhöht die Energie (i) um die flavorabhängige eigene Quarkmasse und (ii) um die Energie, die nötig ist, um ein Paar zur Abschirmung aus dem See zu holen, also um  $\Lambda_{\text{QCD}}$ . Letzteres ist **flavorunabhängig**, da es nicht vom ursprünglichen Quarkflavor abhängt, welche Quarks aus dem See geholt werden. Man könnte zwar einwenden, dass es doch vom Flavor abhängig ist, welche Energie es kostet, ein Paar aus dem See zu holen. Aber tatsächlich ist es bei dem Colorsinglet  $Q^*qbar$  egal, welches der Flavor von  $qbar$  ist. Entscheidend ist, dass  $Q^*qbar$  ein Singlet (bzgl Color) ist, und es ist **unwichtig**, ob  $Q$  und  $qbar$  denselben Flavor haben oder nicht, entscheidend ist, dass es ein irgendein Singlet ist, da JEDES Colorsinglet, also auch mit 2 verschiedenen Flavors, die Triplet-Frustration unangetastet lässt.

- **Die Störung der Frustration durch die Tripletanregung scheint den Tetraeder nämlich so zu nerven, dass im Nachbartetraeder ein  $q^*qbar$  Paar aus dem See geholt wird**, wo das

ursprüngliche reale  $Q$  mit dem  $q\bar{q}$  aus dem See sich zusammenzutut, und immer so weiter, bis irgendwo das reale  $Q\bar{q}$  (wieder)gefunden wird und sich eine Art String aufbaut. Dieses aus dem See Holen bedeutet nichts anderes als dass in der Umgebung des ursprünglichen Quarks  $Q$  weitere Tetraeder angeregt werden zu  $q\bar{q}$ ; und die Energie dazu wird der Stringbildung abgezogen/aufgebrummt.

-Anders ausgedrückt: das Erzeugen(oder das Aufbrechen?) des virtuellen  $q\bar{q}$  Paares verschlingt jeweils eine Energie  $\Lambda_{\text{QCD}}$  und daher das reale  $Q$  und das reale  $Q\bar{q}$  ihren Abstand tendenziell verringern wollen, was dann durch lineares Potential beschrieben werden kann. Confinement: The associated cost in energy is therefore proportional to the number of  $q\bar{q}$  pairs taken from the sea and the potential between quark and antiquark therefore increases linearly with distance.

grundlegende Fragen noch nicht beantwortet:

- **wie beschreibt man** das Holen/Generieren eines passenden Antitriplets? was bedeutet eigentlich der See? Wenn ich ein einzelnes Quark habe, stört dies die Frustration so erheblich, dass im Nachbartetraeder ein Antiquark angeregt wird, was aber gar nicht möglich ist ohne ein weiteres Quark usw.
- wie genau führt das Hinzufügen aus dem See zu linearem Potential? Leite also  $V(r) \sim A r + B/r$  her. Es kann nicht aus Relikten von  $J^{\text{SS}}$  kommen, sondern muss daher kommen, weil das unfrustrierte Ausrichten **zwischen 2 Tripletmignons** Energie einbringt. Also man vergrößert den Abstand zwischen 2 Triplets, die zunächst mit kleinem Abstand parallel=perturbativ ausgerichtet sind. Vielleicht geht es bei QCD auch **nicht um das Alignment von Nachbartetraedern**, sondern um die Frustration, die mit 1GeV geht, und vielleicht noch um **das Alignment der Anregungen**. Die Triplets wirken gegen die Frustration, aber nur, wenn sie sich trennen? Bei jedem Schritt erhöht sich der Energiebedarf.
- wieso sind  $A$  und  $B$  flavorunabhängig? Eigentlich sehen die  $a^{**4}$  WW so aus, als ob sie von der Schwingungsmode abhängig sind. Es ist richtig dass es nur eine antiferro-Kopplung  $j$  zwischen Mignonen gibt. Aber auch die Mignonmassen sind ja verschieden, wenn auch alle  $O(j)$ . Wieso sollten dann die Kopplungen alle gleich sein? Weil ja der Prozess des Holens aus dem See **unabhängig davon ist, ob man am Anfang ein Topquark oder ein d-quark hat**. Es wird im Mittel immer dasselbe  $u+d+s$  geholt, ganz egal welches Flavor das Anfangsquark hatte, und zwar wird eher ein leichtes  $q\bar{q}$  Paar geholt als ein schweres, von dem sich das  $q\bar{q}$  mit dem ursprünglichen Quark zu einem Colorsinglet verbindet.
- wieso ist die Quarkmasse was anderes als  $\Lambda_{\text{QCD}}$ ? nach der Art ihrer Berechnung hängt die Quarkmasse vom Flavor ab; die Quarkmasse müsste eigentlich den Grundzustand stärker stören, wenn sie groß ist. Antwort:  $\Lambda_{\text{QCD}}$  entspricht der Stringtension, und die wird vom Holen aus dem See bestimmt (siehe die sehr gute Antwort auf die letzte Frage)
- wie sieht das perturbative Vakuum innerhalb des Bags, wie das normale confinement Vakuum zwischen 2 Colortriplets aus? Antwort: Bei hohen Energien können quarks auch allein existieren; sie haben genug Energie, um gegen die Frustration und die Tendenz, sich was aus dem See zu holen, zu bestehen und brauchen kein  $q\bar{q}$  Paar aus dem See. NB: dass das Holen aus dem See Energie kostet, führt ja eben zum linearen Potential, wenn die Quarks wenig Energie haben.

## Stand 2/2018

Betrachte nun ein  $q\bar{q}$  Paar. Die dazwischen liegenden Tetraeder würden sich diesem gern anpassen, da  $q$  und  $\bar{q}$  sonst  $\Lambda_{\text{Fermi}}=100\text{GeV}$  Energie aufbringen müssten, um gegen die SSB/das Inter-Alignment zu schwingen. Das Aufgeben der frustrierten Konfiguration eines einzelnen Tetraeders kostet hingegen nur  $\Lambda_{\text{QCD}}$  und wird daher von den Tetraedern in Kauf genommen. Das lineare Confinement Potential entsteht weil bei jeder Abstandsvergrößerung um eine Gitterkonstante ein weiterer Tetraeder die frustrierte Konfiguration aufgeben muss (warum?) und es also  $\Lambda_{\text{QCD}}$  Energie kostet, ein Paar aus dem See zu holen.

Frage: es gibt sowohl  $u\bar{u}$  als auch  $d\bar{d}$  und auch  $b\bar{b}$ ,  $i=1,2,3$  und das top-Quark schwingt ja sowieso am stärksten gegen die SSB Richtung. wie kann dann das top noch confinement wollen? **weil color gegen die Frustration, nicht gegen das Alignment wirkt.**

### Mesonen und Baryonen:

Sie ergeben sich als zusammengesetzte Strukturen auf der Ebene der Triplets, in der sich die Störungen der Antiferrozustände gewissermaßen aufheben. Die G4-Triplets  $i=1,2,3$  definieren ja auch Vektoren  $\text{vecT}(i)$  im Isospinraum, und die Antiferrostrukturen können als Singlets interpretiert werden - es sind die Mesonen und Baryonen.

Baryonen =  $|\bar{i}\bar{j}\bar{k}\rangle$  ist ein frustrierter Antiferrozustand, da er nur nicht verschwindend ist, wenn  $\text{vecT}(i)$ ,  $\text{vecT}(j)$  und  $\text{vecT}(k)$  möglichst orthogonal zueinander stehen. Nur die orthogonalen Beiträge zählen!

**Dh wenn der Einzeltetraeder schon nicht den Antiferrogrundzustand Fig. 1 annehmen kann, will er wenigstens Antiferro angeregten Zustand haben. Thema ist also hier Anregung in magnetischen Molekülen.**

Mesonen =  $|\bar{i}\bar{j}\bar{k}\rangle$  ist ebenfalls ein Antiferrozustand, da  $\text{vecT}(\bar{i}\bar{j}\bar{k})$  in die Gegenrichtung von  $\text{vecT}(i)$  zeigt - wie wir beim 8erTetraeder studiert haben

Das lineare Potential ergibt sich, weil man bei Erhöhung des Abstandes zwischen  $\text{vecT}(i)$  und  $\text{vecT}(\bar{i}\bar{j}\bar{k})$  den Zwischenraum antiferromagnetisieren (oder besser **an die Störung des Antiferrogrundzustandes alignen**) und dazu eine Energie  $\Lambda_{\text{QCD}}$  aufbringen muss.

Vermutung: Wenn man nicht alignen würde, würde eine Energie von  $\Lambda_{\text{FERMI}}$  fällig werden. Diese letztere Vermutung halte ich im Moment nicht mehr für plausibel.

Bemerkung: das antiferro  $j=j_{\text{inner}}=1\text{GeV}=\Lambda_{\text{QCD}}$  ist entscheidend.

Da es im wesentlichen nur ein  $j$  gibt, kann man hoffen, dass die starke WW für alle Triplets gleich stark ist.

das ferromagnetische  $J=J_{\text{inter}}$  spielt bestenfalls beim topquark eine Rolle, fällt bei allen anderen Teilchen heraus, da es ja bei der Diagonalisierung nur dem topquark eine Masse gibt. Es könnte immerhin die starke WW des topquark beeinflussen - was aber schwierig zu sehen, da das topquark schnell zerfällt.