THE Secret Lite of scattering amplitudes

David Skinner - DAMTP

Fellows' Research Talks - 12/11/14

A scattering process is a description of what happens when stuff bumps into other stuff



Rutherford discovered the atomic nucleus by scattering α -particles off thin gold foil





"It was quite the most incredible event that has ever happened in my life. It was almost as incredible as if you fired a 15-inch shell at a piece of tissue paper and it came back and hit you."





Most of what we know about the Standard Model - our best theory of particle physics - has been gleaned from scattering experiments



Particles of the Standard Model



















Michio Kaku

You draw all diagrams with the same external lines; Feynman then tells you the amplitude



We teach these rules to our Part III students



the reason they work
was explained by Freeman
Dyson in the late 1940s



Result of a Feynman diagram calculation for 2 particles producing a third in a QFT (YM):

الم المحلق المحلق المحلق المحلي ا المراجع المراجع المراجع المراجع المراجع المراجع المراجع والمراجع والم All 14 - August - Aug

· 金金· 金金· 金金· 金金· 指 金盘· 经通 · 新闻· 白云· 白云· 白云· 山云· 山云· 山云· 山云· 山云· 北南· 北南· 北南· 小云· 小云· 小云· 小云· 小云· 小云· المرتبي المرتبي المرتبي المرتبي المرتبي المرتبي المرتبية المرتبي ALE - MAY - M.

·专自,·他起,·马能,·北南,·北南,·北南,·北南,·北部,·北南,·日市,·西南,·西南,·西南,·北市,·北南,·北南,·北南,·北市,·北南,·北南,·北南,·北南,·北南,·北南,·北南, · 辛 彭 - 2015、- 4436、- 45 辛 利 - 45 约 - 45 约 - 45 超 - 44 超 - 44 号 - 45 第 - 45 第 - 45 第 - 45 9 - 45 10 -一面,我的小姐的,我就是我一些一些,我们的我们,我们的我们,我一些你们的我,你的人们的,你不是不能是,我们的你们的,我不能不能起了你的。" الغالي المراجع والمراجع . + is is in the initial initia - 6 - 1010 - 1010 - 11 4 6 - 1210 - 1010 - 1010 - 10 - 10 - 1016 - 1010 - 1010 - 1010 - 1010 - 10 4 11 - 1010 - 1000 - 100 الغان مهدي مهدي مهدي مهدي ويدخله معدي ومهدي معدي ويدين والمراجع والم اخ از اختراق اختراق معرفو اختراق معرفه المراجع معرفي العالم /(10-inter-int)

الا آفور دورم مروقها مروقا مروقا مروقي مروقي مروقي موقي مورم فرامون موقي موقي موقي مروا فواموري مرقي مروق مروفي مروقي مروقي مروقي مروقي مروقي - by - 47-51 - 57-64 - 52-64 - 64 + 64 + 64 64 - 64 64 - 54 + 54 - 52 + 52-64 - 62-64 - 62-64 - 64 64 - 62-54 - 52-64 - 54 64 - 54 - 51-55 - 52-55-55 - 52-55 - 52-55 - 52-55 - 52-55-55 - 52-55-55-55-55-55-55-55-55-5 ÷ lag - 4). Eg - 10, الغارا ، والعار ، و سالو ، وي او ، وي او ، وي من او ، وي من او ، وي او ، وي او ، وي و سالم ، مربع ، برام ، اليم ، منه خال ، شرك ، برام ، برام ، فقل ، توقي ، توقي ، توقي ، توم ، برام ، مرق ، لوفي ، الي ا 443 - 4141 - 1242 - 1644 - 18 - 19 - 1942 - 1482 - 1448 - 1648 - 1648 - 1648 - 1942 - 164 + 15 - 1949 - 1688 - 164 - 17 - 1949 - 194 مهر - قول - برق ، سارة ، مرجع - مرغو - بريج - بريان - بريان - بريان - بريان - يو - يو - يوم - بريان - بري All - 14 - 14

ան վեր չացորը շարվել, եմս մի նել չացանց շարչնել մանչ մի միչ է որկող չանվել չար մի շարչող չերկեր չար մի արչեր չարի/(ենց չերը)։ س واسع ، معالم ، ديام ، ديام ، ديا - دي ، ديك ، ديام الدور والمراجع - دور ، دو قد - اينكار ، دو قد - در ، دو قور ، دو قور ، دو قور ، دو دور ، دو قور ، دو ق ه اور دوری در اور در می در می در مرب در م - غو ، ويكف ، ويوي ، هوله ، هو - فو - را هو ، ويوي - سوقو ، هو - هو ، ويكن ، لوهو ، هوقو ، هو خو ، هوقو ، لوغو ، هو خو ، دو غو المراجع ا - 81 - 1441 - 19342 - 1944 - 185 - 43 - 18482 - 18482 - 18444 - 184 - 14 - 1442 - 1444 - 15 - 11 - 1144 - 1442 - 14 — 前,小子前来,如果来,这里上来,这里一点,小子前,小子来来,你不知,你了一个,"他说道:"你道:"你们这一个了,"你没有了,你来来,不是我,你了一个,你们们,"你说道,"你没的,"" + خو ، دو ای ، دو ای ، دو ای ، دو + دو ، دو ای ، دو ا - در الم الم المحلم ، دو الدر الم - در الم - غور معرفور دورو ، معرفور دور - فور - در فور دورو ، معرفور - موجو - فور منوفور ، موجو ، موغور ، دورو ، موغور ، موغور ، موغور ، موغور ، دورو - \$1.444.45 - \$1.52 - \$5. - \$2.42 - \$1.52 - \$4.52 - \$2.52 - \$5. + \$2. - \$1.62 - \$5.52 - \$5. + \$5. - \$1.53 - \$6.57 - \$4.57 - \$5. - \$1. - \$5.5 - \$1.57 - - 42 - 19341 - 6441 - 8447 - 84 + 64 - 1947 - 84 17 - 8411 - 45 + 85 - 1942 - 4142 - 4947 - 44 - 81 - 4548 - 4748 - 41 - 81 - 4145 - 41 - 81 - 4145 - ه جا ، هايا ، حكو ، جايا ، حد ، دكو ، حديث ، حكو ، جا ، يكو ، حكو ، حك - خا ، حکول ، حکول ، خانها ، حک - ول ، حکول ، حک در در دول ، حکول ، حک AM - 44-41

તે (દકુ ન્દ્રક્ષાકુ ન્દ્રક્ષું, ત્યું ને લકુ ન્દ્રક્ષું, ન્દ્રકુ ને મુખ્યત્વે, ત્યું એ ત્યું ને ક્યું કરે ક્યું કરકો, ન્દ્રક્ષું, ન્દ્ તે ફેલ, ન્દ્રક્ષું, ન્દ્રક્ષું, ન્દ્રક્ષું, ન્દ્રક્ષું, ન્દ્રક્ષું, ન્દ્રક્ષું, ન્દ્રક્ષું, ન્દ્રક્ષું, ન્દ્રક્ષ તે ફેલ, ન્દ્રક્ષું, ન્દ્રન્ય, ન્દ્રક્ષું, ન્દ્ર્ક્ષું, ન્દ્ર્ક્યું, ન્દ્રક્ષું, ન્દ્રક્ષું, ન્દ્રક્ષું, ન્દ્ર્ક્યું, ન્દ્ર્ક્યું, ન્દ્રક્ષું, ન્દ્ર્ક્સ્યું, ન્દ્રક્ર્યું, ન્દ્રક્ર્યું, ન્દ્ર્ક્યું, ન્દ્રક્ર્યું, ન્દ્

 $k_1 \cdot k_4 \varepsilon_2 \cdot k_1 \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_3 \varepsilon_4 \cdot \varepsilon_5$

+ seventeen more pages!



 $\langle ij \rangle^4 \, \delta^4(\sum p_i)$ $\overline{\langle 12 \rangle \langle 23 \rangle \cdots \langle n1 \rangle}$



 $\langle ij \rangle^4 \, \delta^4(\sum p_i)$ $\langle 12 \rangle \langle 23 \rangle \cdots \langle n1 \rangle$

Why is the answer so simple?

TWISTOR THEORY



Twistors were developed in the 1970s by Penrose, intended as a new framework for physics

He wished to promote causal relationships between events above the events themselves



Thanks to Atiyah, Hitchin, Ward & many others they quickly found application in *mathematics*, but physics was slow to catch on...



Twistor space



Point in space-time Separation is light-like

Sphere in twistor space
Two spheres intersect

Physical objects are encoded in *global* properties of objects in twistor space



Physics is not described by point-like objects on twistor space: no "particles"



Replacing many Feynman diagrams with one single object is common in string theory, but at a high price:

10 dimensions

Infinitely many new types of particle

In late 2003, Witten realized that a string theory *in twistor space* was just what was needed







