

Elektroproduksi Kaon pada Nukleon dengan
Resonan Spin $3/2$ dan $5/2$



TESIS

Nofirwan
6304220269

PROGRAM MAGISTER ILMU FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA dan ILMU
PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS INDONESIA
SALEMBA
2008



UNIVERSITAS INDONESIA

Elektroproduksi Kaon pada Nukleon dengan
Resonan Spin $3/2$ dan $5/2$

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains

Nofirwan
6304220269

Kekhususan Fisika Murni dan Terapan
Program Studi Magister Ilmu Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Indonesia
Salemba
2008

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : Nofirwan
NPM : 6304220269
Program Studi : Magister Ilmu Fisika
Judul Tesis : Elektroproduksi Kaon pada Nukleon dengan Resonan Spin $3/2$ dan $5/2$

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Magister Ilmu Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : (Dr. Terry Mart)
Penguji : (Dr. Anto Sulaksono)
Penguji : (Dr. Agus Salam)
Penguji : (Dr. Imam Fachruddin)

Jakarta, 3 Januari 2008
Mengetahui,
Program Studi Magister Fisika
Program Pascasarjana FMIPA UI
Ketua

Dr. Dedi Suyanto
NIP. 130 935 271

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur ke hadirat Allah SWT, atas selesainya penyusunan tesis ini sebagai syarat untuk meraih gelar Magister Sains.

Tesis ini merupakan rangkaian terakhir dari sekian banyak tugas yang penulis harus jalani ketika menempuh pendidikan Magister di Departemen Fisika UI. Tema penelitian yang penulis angkat pada kesempatan kali ini adalah mengenai produksi elektromagnetik kaon menggunakan propagator Pascalutsa. Dalam penelitian ini, dicari bentuk umum untuk amplitudo invarian pada proses tersebut.

Pada kesempatan ini pula penulis memberikan apresiasi yang tinggi kepada pembimbing tesis Dr. Terry Mart yang telah dengan sabar membimbing penulis dalam menyelesaikan tesis ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Dr. Rolf Mertig yang telah memberikan bantuan dalam menghitung menggunakan Mathematica.

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada teman-teman yang telah memberikan dukungan moril dalam menyelesaikan tesis ini. Tesis ini penulis dedikasikan kepada kedua orang tua dan adik-adik yang atas cintanya dan dukungannya penulis dapat menyelesaikan tesis ini.

Jakarta, 3 Januari 2008

Nofirwan

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS
(Hasil Karya Perorangan)**

Sebagai civitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nofirwan
NPM : 6304220269
Program Studi : Magister Ilmu Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis karya : Tesis

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif** (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Elektroproduksi Kaon pada Nukleon dengan Resonan Spin $3/2$ dan $5/2$

beserta perangkat yang ada (bila diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminjam ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah ini menjadi tanggungjawab saya pribadi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 3 Januari 2008

Yang menyatakan

(Nofirwan)

ABSTRAK

Nama : Nofirwan
Program Studi : Magister Ilmu Fisika
Judul : Elektroproduksi Kaon pada Nukleon dengan Resonan Spin 3/2 dan 5/2

Kami menggunakan suatu formalisme, berdasarkan pendekatan isobarik menggunakan diagram Feynman untuk menyelidiki elektroproduksi kaon yang melibatkan resonan nukleonik (spin 3/2 dan 5/2). Dengan memakai lagrangian medan bebas Rarita-Schwinger, bisa diekstrak suatu propagator yang digunakan pada model Pascalutsa. Kemudian kami menyusun amplitudo-amplitudo invarian A_i dan menganalisa penampang lintang total untuk proses $\gamma p \rightarrow K^+\Lambda$.

Kata kunci:

Resonan, Rarita-Schwinger, Pascalutsa, penampang lintang

ABSTRACT

Name : Nofirwan
Study Program : Magister Ilmu Fisika
Title : Kaon Electroproduction on Nucleon with Spin 3/2 and 5/2 Resonances

We use a formalism, based on an isobaric approach using Feynman diagrammatic techniques, which includes the nucleonic (spin 3/2 and 5/2) resonances to investigate kaon electroproduction. By using the lagrangian of the free Rarita-Schwinger field, we can extract the propagator which useful in Pascalutsa model. We then construct the invariant amplitudes A_i and analyse the total cross section for the process $\gamma p \rightarrow K^+\Lambda$.

Key words:

Resonance, Rarita-Schwinger, Pascalutsa, cross section

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	iv
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Metode Penelitian	3
1.4 Sistematika Penulisan	3
2 TINJAUAN LITERATUR	4
2.1 Interaksi Kuat dan Lemah	4
2.2 Partikel Elementer	4
2.3 Hamburan	5
2.4 Diagram Feynman	6
2.5 Partikel Resonan	7
2.6 Propagator dan Verteks	7
3 FORMALISME ELEKTROPRODUKSI KAON PADA NUKLEON	9
3.1 Kinematika Reaksi	9
3.1.1 Propagator	13
4 HASIL PENGHITUNGAN DAN PEMBAHASAN	19
5 KESIMPULAN DAN SARAN	52

A	MEKANIKA KUANTUM RELATIVISTIK	53
A.1	Satuan	53
A.2	Aljabar Dirac	54
B	METODE PENGHITUNGAN	58
B.1	Program Mathematica	58
B.2	Bentuk-bentuk Invarian	61
C	FORMULA DALAM REAKSI ELEMENTER	62
C.1	Kinematika	62
C.2	Penampang Lintang	63
	DAFTAR ACUAN	67



DAFTAR GAMBAR

2.1	Skema umum diagram Feynman.	6
3.1	(a) Elektroproduksi Kaon dan (b) Fotoproduksi Kaon. Bulatan dalam Gambar (a) dan (b) menunjukkan reaksi elementer yang dijelaskan dengan diagram Feynman pada Gambar 3.2	10
3.2	Diagram Feynman untuk fotoproduksi kaon. Diagram (a), (b), dan (c) suku-suku Born kanal s , u , dan t , sementara (d), (e), dan (f) menunjukkan kontribusi resonan. Resonan Δ hanya berperan dalam produksi Σ . Faktor-faktor f_1 dan f_2 serta f_1^* dan f_2^* adalah verteks=verteks yang diberikan dalam Tabel 3.3 dan 3.5.	11
4.1	Penampang lintang total untuk proses fotoproduksi kaon.	50
C.1	Variabel-variabel kinematika untuk elektroproduksi kaon pada nukleon.	64

DAFTAR TABEL

1.1	Enam kanal reaksi produksi kaon yang mungkin dengan energi ambang foton dalam kerangka laboratorium dan energi ambang dalam kerangka pusat massa [2].	2
3.1	Data partikel yang diperhitungkan dalam penelitian ini [21]. . .	13
3.2	Faktor-faktor verteks elektromagnetik untuk spin 1/2 [2], spin 3/2 dan 5/2 [12].	14
3.3	Faktor verteks elektromagnetik yang digunakan dalam penelitian ini [14]. Massa sebesar $M = 1$ GeV dimasukkan untuk membuat kekuatan transisi $g_{\gamma N^* N}$ tidak berdimensi.	15
3.4	Faktor-faktor verteks hadronik untuk spin 1/2 [2], spin 3/2 dan 5/2 [12].	16
3.5	Faktor verteks hadronik yang digunakan dalam penelitian ini [8]. Bersama dengan kekuatan transisi pada Tabel 3.3, semua konstanta kopling hadronik $g_{KY N^*}$ ditentukan melalui pencocokan data.	16
3.6	Bentuk-bentuk propagator untuk partikel dengan momentum p_s , massa m , dan width Γ [12].	17
4.1	Kumpulan-kumpulan konstanta kopling, kumpulan I diperoleh dari data Kaon MAID, kumpulan II diperoleh dari <i>fitting</i> semua data yang sesuai dengan produksi Kaon.	51

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sejarah fisika partikel dimulai ketika orang mulai berpikir partikel apakah yang merupakan dasar dari materi dan bagaimanakah interaksi antara partikel-partikel tersebut. Tahap pertama perkembangan fisika partikel dimulai pada awal abad ke-19, dimana atom dipandang sebagai penyusun dasar dari segala materi. Selanjutnya dengan ditemukannya elektron oleh Thompson, menyusul kemudian Rutherford dengan teori hamburannya berhasil menemukan inti atom, memberikan sumbangan besar bagi pengembangan di bidang ini. Penelitian fisika partikel modern lahir dengan terciptanya mesin akselerator pada tahun 1950-an. Dengan mesin ini memungkinkan dipelajari terbentuknya partikel baru dan gaya-gaya yang bekerja di antara partikel-partikel tersebut. Dari kegiatan tersebut, orang mengenal banyak partikel-partikel, yang tentunya untuk kemudahan, dibuat pengklasifikasian. Salah satu dari partikel tersebut adalah Kaon. Partikel ini termasuk dalam kelompok hadron karena berinteraksi kuat dan termasuk meson karena memiliki spin bulat [1].

Pengalaman selama lebih dari tiga dekade memperlihatkan bahwa cara terbaik mempelajari hadron aneh adalah melalui reaksi elektromagnetik. Hal ini dapat dimengerti karena eksplorator elektromagnetik, yaitu elektron dan foton riil, dikenal 'bersih' dan mudah dikontrol. Reaksi ini dapat dibentuk dengan menggunakan nukleon atau intis ebagai target. Dengan nukleon sebagai terget, keadaan akhir akan terdiri dari Kaon dan Hyperon. Dari reaksi ini orang dapat mempelajari mekanisme reaksi, konstanta kopling, faktor bentuk elektromagnetik dari Kaon, atau bahkan faktor bentuk hadronik.

Reaksi elektromagnetik yang menghasilkan Kaon dibedakan menjadi dua macam, yaitu fotoproduksi dan elektroproduksi. Pada fotoproduksi, foton

Tabel 1.1: Enam kanal reaksi produksi kaon yang mungkin dengan energi ambang foton dalam kerangka laboratorium dan energi ambang dalam kerangka pusat massa [2].

No.	Tipe	$\tilde{k}_0^{\text{ambang}}$ (MeV)	W^{ambang} (MeV)
1.	$\gamma + p \rightarrow K^+ + \Lambda$	911	1609
2.	$\gamma + n \rightarrow K^0 + \Lambda$	915	1613
3.	$\gamma + p \rightarrow K^+ + \Sigma^0$	1046	1686
4.	$\gamma + p \rightarrow K^0 + \Sigma^+$	1048	1687
5.	$\gamma + n \rightarrow K^0 + \Sigma^0$	1051	1690
6.	$\gamma + n \rightarrow K^+ + \Sigma^-$	1052	1691

riil digunakan sebagai proyektil yang menumbuk target, sedangkan pada elektroproduksi digunakan elektron yang kemudian menghasilkan foton (foton virtual).

Massa kaon yang lebih besar daripada pion dan *strangeness* intrinsik kaon membuat reaksi yang melibatkan kaon lebih rumit dibandingkan pion. Namun, derajat kebebasan *strangeness* bisa memberi informasi yang tidak tersedia pada nukleon dan pion. Karena kekekalan *strangeness* dalam interaksi kuat dan elektromagnetik, produksi kaon disertai dengan penciptaan hiperon. Hiperon ini dapat digunakan lebih dalam untuk menjelajahi struktur inti karena ia tidak dibatasi oleh prinsip Pauli.

Berdasarkan hukum kekekalan bilangan keanehan (*strangeness*) pada proses interaksi kuat dan elektromagnetik, ada 6 kanal reaksi produksi Kaon pada nukleon yang mungkin (Tabel 1.1). Reaksi-reaksi ini disebut juga reaksi elementer untuk produksi Kaon. Untuk penelitian kali ini kami akan menggunakan model isobarik. Metode ini berdasarkan pada diagram Feynman yang sesuai untuk kanal *s*, *t* dan *u*. Selanjutnya model ini akan dicocokkan (*fitting*) dengan data eksperimen, dengan sejumlah konstanta kopling sebagai parameter bebas. Penggunaan pencocokkan untuk sejumlah konstanta kopling cukup beralasan karena hasilnya dibandingkan dengan harga konstanta kopling yang diperoleh metode lain.

Energi ambang untuk produksi Kaon sangat tinggi (911 MeV untuk reaksi $\gamma + p \rightarrow K^+ + \Lambda$ dalam koordinat lab). Sebagai konsekuensinya pada keadaan ambang jumlah resonan yang mungkin terbentuk sangat besar, sehingga menimbulkan kesulitan untuk menentukan resonan-resonan mana yang berperan besar dalam reaksi ini. Masalah yang timbul kemudian adalah banyak partikel-partikel resonan yang terbentuk memiliki spin lebih dari 1.

Tidak seperti pada spin $1/2$, formalisme propagator untuk spin yang lebih besar dari satu masih menimbulkan perdebatan [3, 4, 5, 6, 7, 8].

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini pada dasarnya merupakan kelanjutan dari penelitian sebelumnya [2, 10]. Pada penelitian ini kami ingin mencari formulasi umum untuk amplitudo invarian pada produksi elektromagnetik Kaon. Di sini kami menggunakan propagator Pascalutsa karena propagator ini tidak lagi memasukkan unsur spin $1/2$ seperti pada propagator model lain dan juga verteks elektromagnetik dan hadronik yang diperkenalkan oleh Pascalutsa memiliki invarian tera.

1.3 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, ingin dicari bentuk amplitudo umum dari proses elektroproduksi Kaon dengan propagator Pascalutsa. Di sini kami menggunakan program Mathematica dalam menghitung matriks transisi dari elektroproduksi kaon. Dari hasil penghitungan matriks transisi menggunakan metode diagram Feynman, diperoleh amplitudo-amplitudo invarian ($A_1 - A_6$). Selanjutnya pencocokan data dari hasil penghitungan dengan eksperimen dilakukan secara numerik.

1.4 Sistematika Penulisan

Penulisan tesis ini dibagi dalam lima bab. Bab 1 akan membahas tentang latar belakang masalah, tujuan penelitian, metode penelitian, dan sistematika penulisan. Bab 2 membahas tentang teori dasar yang berkaitan dengan penelitian ini. Bab 3 membahas tentang formalisme teori yang digunakan, yaitu elektroproduksi Kaon pada Nukleon. Bab 4 berisi hasil penghitungan dan pembahasannya. Bab 5 berisi kesimpulan dan saran dari penelitian ini. Bagian terakhir penulisan ini, berisi tentang aljabar Dirac.

BAB 2

TINJAUAN LITERATUR

2.1 Interaksi Kuat dan Lemah

Pada inti atom yang tersusun dari proton dan neutron (disebut nukleon, partikel-partikel penyusun inti) bekerja sebuah gaya yang mampu mengikat nukleon secara menyatu di dalam inti atom. Gaya ini kemudian diberi nama gaya inti (*nuclear force*). Salah satu ciri gaya inti ini adalah jangkauannya sangat pendek, sejauh jari-jari inti atom, karena di luar jarak tersebut pengaruhnya pada nukleon menjadi lenyap.

Pada jarak inti atom didapati bahwa kekuatan gaya inti antara dua proton adalah sekitar 100 kali lebih kuat daripada gaya elektrostatis pada jarak yang sama. Inilah alasan mengapa interaksi ini disebut interaksi kuat (*strong interaction*).

Jika jarak antara nukleon sekitar $1/100$ jari-jari inti atom maka kekuatannya, menurut teori peluruhan sinar β Fermi, sekitar 100 miliar kali lebih lemah daripada interaksi elektromagnet. Sehingga interaksi ini disebut interaksi lemah (*weak interaction*).

2.2 Partikel Elementer

Dengan adanya mesin akselerator maka banyak partikel baru yang ditemukan, untuk itu diperlukan penataan dengan mengelompokkannya. Secara umum partikel terbagi dalam dua kelompok yaitu Boson untuk partikel yang berspin genap dan untuk partikel yang berspin setengah termasuk dalam kelompok Fermion. Sedangkan jika berdasarkan jenis interaksi yang mempengaruhinya maka pada partikel yang terpengaruh interaksi lemah digolongkan dalam keluarga Lepton sedangkan yang terpengaruh interaksi kuat digolongkan ke dalam

keluarga Hadron.

Hadron terbagi lagi atas dua kelompok berdasarkan nilai spinnya, yaitu meson untuk yang berspin genap sedangkan barion untuk yang berspin pecahan setengah.

Lepton hingga saat ini belum dapat dipecah lagi menjadi partikel yang lebih dasar sedangkan hadron dapat dipecah lagi menjadi sejumlah kecil partikel elemen mendasar yang disebut quark. Sehingga lepton dan quark dapat disebut sebagai partikel elementer yang sesungguhnya.

Quark yang telah dikenal hingga saat ini ada enam jenis, yaitu: *up* (u), *down* (d), *strange* (s), *charm* (c), *top* (t) dan *bottom* (b). Berdasarkan teori quark Gell-Mann, barion tersusun atas tiga buah quark dan meson tersusun atas satu quark dan antiquarknya.

Dalam reaksi inti, reaksi dapat terjadi jika memenuhi hukum kekekalan energi, momentum, dan muatan. Selain itu juga harus memenuhi hukum kekekalan bilangan lepton, barion, dan *strangeness* (tidak berlaku pada interaksi lemah).

2.3 Hamburan

Dalam mempelajari interaksi partikel, seringkali hal yang perlu dilakukan sebagai awal penelaahan adalah melakukan eksperimen hamburan. Pada umumnya, bila kita berbicara tentang hamburan, yang terbayang dalam pikiran kita adalah suatu proses dimana: (1) ada dua objek saling mendekat, (2) dalam suatu jarak tertentu, mereka akan berinteraksi, (3) setelah itu mereka akan kembali berpisah. Peristiwa paling menarik terjadi pada saat kedua objek berinteraksi. Bagi fenomena yang melibatkan interaksi kuat, rentang interaksi berada dalam jarak yang amat kecil sehingga di luar jarak itu kedua objek praktis tidak berinteraksi satu sama lain [11], atau dengan kata lain mereka dalam keadaan bebas. Dengan demikian bila keadaan akhir berbeda dari keadaan awal, bisa diasumsikan perbedaan itu disebabkan oleh adanya interaksi antara kedua objek tersebut. Amplitudo hamburan, yang terkait dengan peluang terjadinya keadaan akhir (f) dari sebuah keadaan awal (i) adalah

$$S_{fi} = \delta_{fi} + i(2\pi)^4 \delta^4(\mathbf{p}_f - \mathbf{p}_i) M_{fi} \quad (2.1)$$

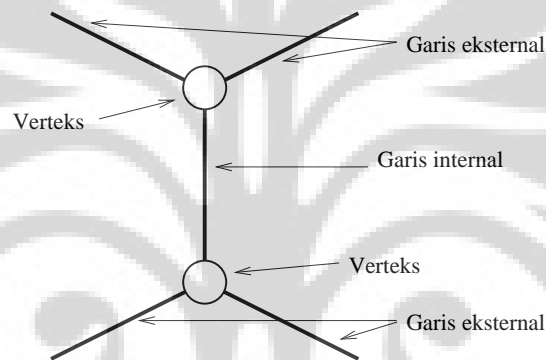
Apabila tidak terjadi interaksi maka keadaan akhir akan sama dengan keadaan awal, hal ini akan terpenuhi jika $M_{fi} = 0$. dari sini dapat ditarik kesimpulan bahwa segala macam hal yang berkaitan dengan interaksi tersimpan di dalam

matriks transisi M_{fi} .

Pada energi tinggi, interaksi antar partikel ini tidak hanya terbatas pada peristiwa hamburan, melainkan sudah menyangkut kreasi dan anihilasi partikel. Peristiwa ini berhasil dijelaskan dengan baik oleh teori medan kuantum. Untuk itu matriks transisi seharusnya direkonstruksi dengan formalisme tersebut. Namun rekonstruksi ini sangat rumit formalismenya, maka dipermudah melalui diagram Feynman.

2.4 Diagram Feynman

Adapun aturan Feynman yang digunakan dalam penelitian ini adalah:



Gambar 2.1: Skema umum diagram Feynman.

1. Semua diagram Feynman yang mungkin untuk reaksi digambarkan. Untuk setiap diagram terdapat garis eksternal, garis internal dan titik pertemuan garis-garis yang disebut verteks.
2. Garis eksternal yang mewakili momentum partikel yang datang dan pergi, disertai dengan faktor pengali yang berupa fungsi gelombang masing-masing. Untuk partikel fermion digunakan fungsi gelombang spinor $u(\mathbf{p}, s)$, partikel foton (spin 1) faktor pengalinya adalah vektor polarisasi ϵ_μ dan untuk boson (spin 0) faktor pengalinya adalah 1.
3. Faktor pengali garis internal diberikan bergantung harga spin partikelnya. Garis internal merepresentasikan propagasi (perambatan) partikel tertentu dari titik ruang-waktu ke titik yang lain, sehingga faktor pengalinya dinamakan propagator.
4. Verteks-verteks adalah titik dalam ruang-waktu dimana partikel tercipta dan lenyap yang menggambarkan proses terjadinya interaksi seperti yang

dijelaskan dalam teori interaksi Lagrangian. Faktor pengalinya merupakan faktor verteks yang bentuknya bergantung dari jenis interaksi dan partikel yang terlibat.

5. Faktor-faktor tersebut dikalikan $-i$.
6. Untuk mencari matriks-matriks transisi, verteks akhir dikalikan dengan propagator dikalikan dengan verteks awal yang diapit oleh spinor *adjoint* di sebelah kiri dan spinor disebelah kanan.

2.5 Partikel Resonan

Banyak reaksi nuklir sebenarnya berkaitan dengan dua langkah terpisah. Pertama partikel datang menumbuk inti target dan keduanya bergabung untuk membentuk inti baru yang disebut inti majemuk. Inti mejemuk ini dapat berupa partikel resonan.

Resonan dapat dijelaskan sebagai keadaan antara sebelum meluruh menjadi partikel-partikel lain. Keadaan antara ini berlangsung sangat singkat karena merupakan keadaan yang tidak stabil, sehingga keadaan ini tidak teramati dalam eksperimen.

Sistem resonan atau inti majemuk dapat terpisah melalui berbagai cara. Jika ia terpecah menjadi dua partikel yang sama dengan partikel-partikel yang membentuknya, peristiwa ini dikenal dengan nama hamburan. Jika partikel yang dihasilkan berbeda dengan partikel datang, peristiwa ini dinamakan reaksi inti. Dalam hal ini reaksi yang kami analisis tergolong pada reaksi inti, karena yang dihasilkan berbeda dengan partikel yang datang.

2.6 Propagator dan Verteks

Propagator dapat diartikan sebagai pernyataan matematis yang digunakan untuk menggambarkan perambatan partikel virtual dalam ruang-waktu.

Istilah partikel virtual jelas berbeda dengan partikel nyata, karena partikel virtual hanya terdapat dalam suatu proses virtual. Proses virtual adalah proses tidak berlakunya hukum kekekalan energi dan momentum di luar skala waktu mikroskopik yang dibolehkan oleh *prinsip ketidakpastian* Heisenberg.

Teori ini berangkat dari fungsi Green untuk mnyelesaikan persamaan diferensial yang berkaitan dengan partikel propagator. Secara umum propagator

dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{i \sum u \bar{u}}{p^2 - m^2} \quad (2.2)$$

dimana u, p, m masing-masing adalah spinor, momentum, dan massa dari nukleon.

Bentuk-bentuk propagator untuk spin 3/2 cukup banyak variasinya [6]. Dalam makalah ini, kami menggunakan propagator dan verteks yang diperkenalkan oleh Pascalutsa [Bab 3].

Untuk mencari bentuk propagator yang diperkenalkan oleh Pascalutsa, kita mulai dengan lagrangian medan bebas spin 3/2 yang berbentuk

$$\mathcal{L} = \bar{\Psi}_\mu \Lambda^{\mu\nu} \Psi_\nu, \quad (2.3)$$

dimana bentuk umum dari $\Lambda^{\mu\nu}$ diberikan oleh hubungan

$$\Lambda^{\mu\nu} \Psi_\nu = (\not{p} - m)g^{\mu\nu} + A(\gamma^\mu p^\nu + p^\mu \gamma^\nu) + \frac{1}{2}(3A^2 + 2A + 1)\gamma^\mu \not{p} \gamma^\nu \quad (2.4)$$

$$+ m(3A^2 + 2A + 1)\gamma^\mu \gamma^\nu, \quad (2.5)$$

Bentuk khusus lagrangian ini diperoleh dengan memaksakan kondisi invarian terhadap transformasi titik

$$\Psi^\mu \mapsto \Psi'^\mu = (g^{\mu\nu} + a\gamma^\mu \gamma^\nu), \quad (2.6)$$

$$A \mapsto A' = \frac{A - 2a}{1 + 4a}. \quad (2.7)$$

Dalam transformasi titik, a adalah parameter bebas, dengan pengecualian $a = -\frac{1}{4}$ dan $A = -\frac{1}{2}$.

Masalah Rarita-Schwinger (RS) bisa diperoleh ketika parameter bebas A diambil -1 . Pers. (2.4) menjadi

$$\Lambda^{\mu\nu} \rightarrow \Lambda_{RS}^{\mu\nu} = (\not{p} - m)g^{\mu\nu} - (\gamma^\mu p^\nu + p^\mu \gamma^\nu) + \frac{1}{2}\gamma^\mu \not{p} \gamma^\nu + m\gamma^\mu \gamma^\nu, \quad (2.8)$$

yang memenuhi

$$\Lambda_{\mu\rho} G_{RS}^{\rho\nu} = g_\mu^\nu \quad (2.9)$$

dalam ruang momentum menimbulkan propagator spin 3/2

$$P_{\mu\nu} = \frac{\not{p} + m}{p^2 - m^2 + i\varepsilon} \left[-g_{\mu\nu} + \frac{1}{3}\gamma_\mu \gamma_\nu + \frac{1}{3m}(\gamma^\mu p^\nu - \gamma^\nu p^\mu) + \frac{2}{3m^2} p^\mu p^\nu \right], \quad (2.10)$$

BAB 3

FORMALISME ELEKTROPRODUKSI KAON PADA NUKLEON

Reaksi fotoproduksi merupakan reaksi khusus dari reaksi elektroproduksi. Hasil dari reaksi elektroproduksi dapat digunakan untuk kasus fotoproduksi, yaitu dengan mengeliminasi suku-suku yang terdiri dari k^2 dan $k \cdot \epsilon$.

3.1 Kinematika Reaksi

Secara umum reaksi elektroproduksi [Gambar 3.1 (a)] dapat ditulis:

$$e(k_1) + N(p) \rightarrow e'(k_2) + K(q) + Y(p') \quad (3.1)$$

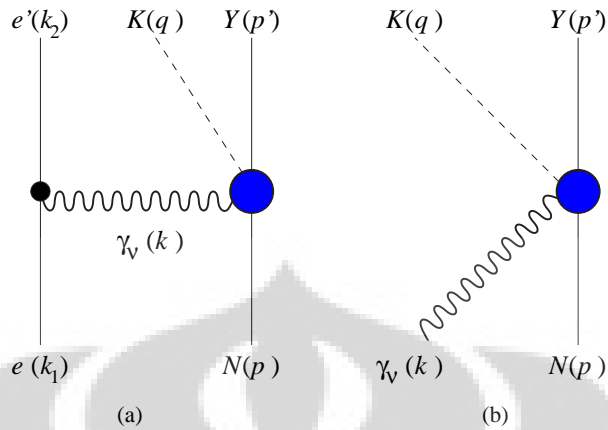
Dalam bagian berikutnya, kita akan konsisten menggunakan konvensi dari pers. (3.1), yaitu k_1 , k_2 , p , q , dan p' menyatakan momentum elektron datang, elektron terhambur, nukleon, kaon dan hyperon. Supaya singkat, semua kuantitas yang mengacu pada sistem laboratorium akan diberi tanda *tilde* (sebagai contoh momentum-empat foton dalam kerangka laboratorium dan pusat massa masing-masing ditunjukkan dengan \tilde{k} dan k).

Reaksi diatas dapat dituliskan dalam bentuk reaksi fotoproduksi dengan foton virtual [Gambar 3.1 (b)]

$$\gamma_v(k) + N(p) \rightarrow K(q) + Y(p') \quad (3.2)$$

dengan momentum foton virtual $k = k_2 - k_1$. Polarisasi foton virtual ditulis sebagai vektor-empat ϵ . Kedua reaksi yang dibahas di atas dapat diilustrasikan

dalam bentuk gambar sebagai berikut:



Gambar 3.1: (a) Elektroproduksi Kaon dan (b) Fotoproduksi Kaon. Bulatan dalam Gambar (a) dan (b) menunjukkan reaksi elementer yang dijelaskan dengan diagram Feynman pada Gambar 3.2

Setelah memandang simetri isospin, pers. (3.1) dan (3.2) menyatakan enam kanal kemungkinan produksi kaon. Ini ditunjukkan dalam Tabel 1.1 bersama dengan energi ambang yang bersesuaian dengan proses tersebut

$$\tilde{k}_0^{\text{ambang}} = \frac{(m_Y + m_K)^2 - m_N^2 - k^2}{2m_N} \quad (3.3)$$

Matriks transisi dalam kerangka kerja pertukaran sebuah foton dapat ditulis [13]

$$M = \epsilon_\mu \cdot J^\mu \quad (3.4)$$

μ bernilai dari 0 sampai 3. Vektor-empat polarisasi foton ϵ_μ dari foton virtual dihubungkan dengan arus elektron sebagai

$$\epsilon_\mu = \frac{\bar{u}(k_2)\gamma_\mu u(k_1)}{k^2} \quad (3.5)$$

dan j^μ adalah elemen matriks arus elektromagnetik yang didefinisikan sebagai

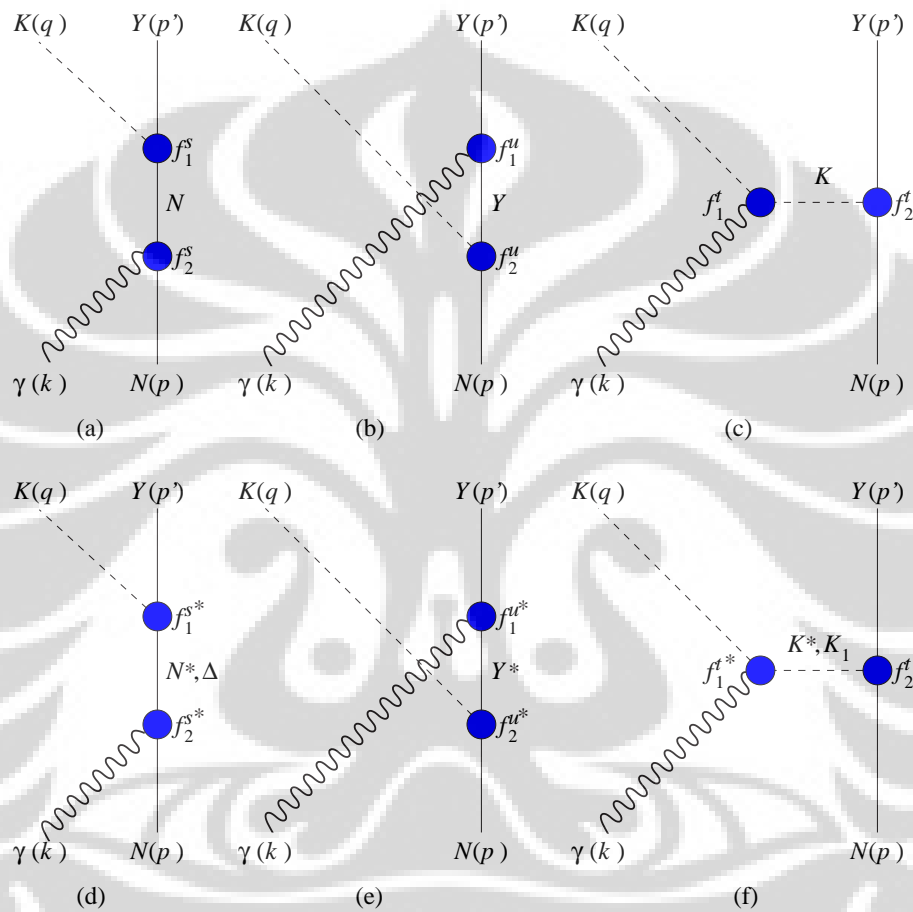
$$J^\mu = {}_{\text{out}} \langle p', q | j^\mu | p \rangle_{\text{in}} . \quad (3.6)$$

Karena arus j^μ kekal maka

$$\partial_\mu j^\mu = 0, \quad (3.7)$$

atau

$$k_\mu j^\mu = 0. \quad (3.8)$$



Gambar 3.2: Diagram Feynman untuk fotoproduksi kaon. Diagram (a), (b), dan (c) suku-suku Born kanal s , u , dan t , sementara (d), (e), dan (f) menunjukkan kontribusi resonan. Resonan Δ hanya berperan dalam produksi Σ . Faktor-faktor f_1 dan f_2 serta f_1^* dan f_2^* adalah verteks=verteks yang diberikan dalam Tabel 3.3 dan 3.5.

Dari persamaan Dirac kita dapatkan

$$(\gamma_\mu k_1^\mu - m_e)u = 0 \quad \text{dan} \quad (\gamma_\mu k_2^\mu - m_e)u = 0. \quad (3.9)$$

sehingga

$$\begin{aligned} k \cdot \epsilon &= k_\mu \epsilon^\mu \\ &= \frac{\bar{u}(k_2) \gamma_\mu (k_1 - k_2)^\mu u(k_1)}{k^2} \\ &= 0. \end{aligned} \quad (3.10)$$

Untuk foton virtual, pers. (3.4) dapat ditulis sebagai kombinasi linear dari enam amplitudo A_i dan matriks-matriks transisi M_i yang invarian-tera dan invarian-Lorentz [15, 16]:

$$M_{\text{fi}} = \bar{u}(p', s') \sum_{i=1}^6 A_i(s, t, k^2) M_i u(p, s) \quad (3.11)$$

dimana variabel-variabel Mandelstam ditentukan oleh

$$s = (k + p)^2, \quad t = (k - q)^2, \quad u = (k - p')^2, \quad (3.12)$$

dengan

$$s + t + u = k^2 + m_N^2 + m_K^2 + m_Y^2, \quad (3.13)$$

dan matriks-matriks M_i diberikan oleh

$$\begin{aligned} M_1 &= \frac{1}{2} \gamma_5 (\not{\epsilon} \not{k} - \not{k} \not{\epsilon}), \\ M_2 &= \gamma_5 [(2q - k) \cdot \epsilon P \cdot k - (2q - k) \cdot k P \cdot \epsilon], \\ M_3 &= \gamma_5 (q \cdot k \not{\epsilon} - q \cdot \epsilon \not{k}), \\ M_4 &= i \varepsilon_{\mu\nu\rho\sigma} \gamma^\nu \epsilon^\rho k^\sigma, \\ M_5 &= \gamma_5 (q \cdot \epsilon k^2 - q \cdot k k \cdot \epsilon), \\ M_6 &= \gamma_5 (k \cdot \epsilon \not{k} - k^2 \not{\epsilon}). \end{aligned} \quad (3.14)$$

dengan $P = \frac{1}{2}(p + p')$ dan tensor antisimetrik Levi-Civita didefinisikan sebagai

$$\varepsilon_{\mu\nu\rho\sigma} = \begin{cases} +1 & \text{untuk permutasi siklik,} \\ -1 & \text{untuk permutasi anti-siklik,} \\ 0 & \text{jika ada dua atau lebih indeks yang sama.} \end{cases} \quad (3.15)$$

Tabel 3.1: Data partikel yang diperhitungkan dalam penelitian ini [21].

Partikel	S	J^P	I	μ (n.m.)	Massa (MeV)	Width (MeV)
p	0	$\frac{1}{2}^+$	$\frac{1}{2}$	2.79284739	938.27231	-
n	0	$\frac{1}{2}^+$	$\frac{1}{2}$	-1.9130428	939.56563	-
K^\pm	± 1	0^-	$\frac{1}{2}$	-	493.677	-
K^0	+1	0^-	$\frac{1}{2}$	-	497.672	-
Λ	-1	$\frac{1}{2}^+$	0	-0.613 ± 0.004	1115.684	-
$K^{*\pm}$	± 1	1^-	$\frac{1}{2}$	-	891.59 ± 0.24	49.8 ± 0.8
K^{*0}	+1	1^-	$\frac{1}{2}$	-	896.10 ± 0.28	50.5 ± 0.6
K_1	+1	1^+	$\frac{1}{2}$	-	1273 ± 7	90 ± 20
$N_1(1440)$	0	$\frac{1}{2}^+$	$\frac{1}{2}$	-	1430 – 1470	250 – 450(350)
$N_2(1520)$	0	$\frac{3}{2}^-$	$\frac{1}{2}$	-	1515 – 1530	110 – 135(120)
$N_3(1535)$	0	$\frac{1}{2}^-$	$\frac{1}{2}$	-	1520 – 1555	100 – 250(150)
$N_4(1650)$	0	$\frac{1}{2}^-$	$\frac{1}{2}$	-	1640 – 1680	145 – 190(150)
$N_5(1700)$	0	$\frac{3}{2}^-$	$\frac{1}{2}$	-	1650 – 1750	50 – 150(100)
$N_6(1710)$	0	$\frac{1}{2}^+$	$\frac{1}{2}$	-	1680 – 1740	50 – 250(100)
$N_7(1720)$	0	$\frac{3}{2}^+$	$\frac{1}{2}$	-	1650 – 1750	100 – 200(150)
$Y_1(1405)$	-1	$\frac{1}{2}^-$	0	-	1407 ± 4	50.0 ± 2
$Y_2(1600)$	-1	$\frac{1}{2}^+$	0	-	1560 – 1700	50 – 250(150)
$Y_3(1670)$	-1	$\frac{1}{2}^-$	0	-	1660 – 1680	25 – 50(35)
$Y_4(1800)$	-1	$\frac{1}{2}^-$	0	-	1720 – 1850	200 – 400(300)
$Y_5(1810)$	-1	$\frac{1}{2}^+$	0	-	1750 – 1850	50 – 250(150)
$Y_6(1660)$	-1	$\frac{1}{2}^+$	1	-	1630 – 1690	40 – 200(100)
$Y_7(1750)$	-1	$\frac{1}{2}^-$	1	-	1730 – 1800	60 – 160(90)

Nilai $\varepsilon^{\mu\nu\rho\sigma}$ dalam bentuk matriks-matriks Dirac dapat dilihat pada lampiran A.2 pers. A.22.

3.1.1 Propagator

Model propagator spin 3/2 yang digunakan di sini adalah yang diperkenalkan oleh Pascalutsa [17], yaitu

$$S_{\mu\nu}^{3/2}(p_s) = \frac{\not{p}_s + m_{N^*}}{P^2} \left[-g_{\mu\nu} + \frac{1}{3}\gamma_\mu\gamma_\nu + \frac{1}{3m_{N^*}}(\gamma_\mu p_{s\nu} - \gamma_\nu p_{s\mu}) + \frac{2}{3m_{N^*}^2} p_{s\mu} p_{s\nu} \right], \quad (3.16)$$

Tabel 3.2: Faktor-faktor verteks elektromagnetik untuk spin 1/2 [2], spin 3/2 dan 5/2 [12].

Verteks	Kopling
$N^*(\frac{1}{2}^+)N\gamma$	$\mu_{N^*}\sigma^{\mu\nu}\epsilon_\mu k_\nu$
$N^*(\frac{1}{2}^-)N\gamma$	$i\mu_{N^*}\sigma^{\mu\nu}\epsilon_\mu k_\nu\gamma_5$
$N^*(\frac{3}{2}^+)N\gamma$	$i\left[g_{N^*N\gamma}^a\left(\epsilon^\nu - \frac{k^\nu\not{\epsilon}}{\sqrt{s} + m_N}\right) + g_{N^*N\gamma}^b\frac{\epsilon \cdot p k^\nu - k \cdot p \epsilon^\nu}{(\sqrt{s} + m_N)^2}\right]\gamma_5$
$N^*(\frac{3}{2}^-)N\gamma$	$\left[g_{N^*N\gamma}^a\left(\epsilon^\nu - \frac{k^\nu\not{\epsilon}}{\sqrt{s} - m_N}\right) + g_{N^*N\gamma}^b\frac{\epsilon \cdot p k^\nu - k \cdot p \epsilon^\nu}{(\sqrt{s} - m_N)^2}\right]$
$N^*(\frac{5}{2}^+)N\gamma$	$\left[\frac{g_{N^*N\gamma}^a}{m_{N^*}}\left(\epsilon^\rho k^\sigma - \frac{k^\rho k^\sigma\not{\epsilon}}{\sqrt{s} - m_N}\right) + \frac{g_{N^*N\gamma}^b}{m_{N^*}}\frac{\epsilon \cdot p k^\rho k^\sigma - k \cdot p \epsilon^\rho k^\sigma}{(\sqrt{s} - m_N)^2}\right]$
$N^*(\frac{5}{2}^-)N\gamma$	$i\left[\frac{g_{N^*N\gamma}^a}{m_{N^*}}\left(\epsilon^\rho k^\sigma - \frac{k^\rho k^\sigma\not{\epsilon}}{\sqrt{s} + m_N}\right) + \frac{g_{N^*N\gamma}^b}{m_{N^*}}\frac{\epsilon \cdot p k^\rho k^\sigma - k \cdot p \epsilon^\rho k^\sigma}{(\sqrt{s} + m_N)^2}\right]\gamma_5$

Tabel 3.3: Faktor verteks elektromagnetik yang digunakan dalam penelitian ini [14]. Massa sebesar $M = 1$ GeV dimasukkan untuk membuat kekuatan transisi $g_{\gamma N^* N}$ tidak berdimensi.

Verteks	Kopling
$N^*(\frac{3}{2}^+)N\gamma$	$\frac{1}{M^2} \left[g_{\gamma N^* N}^{(1)} \varepsilon^{\nu\mu\rho\sigma} p_\sigma (k_\mu \epsilon_\rho - k_\rho \epsilon_\mu) + g_{\gamma N^* N}^{(2)} \gamma_5 (p \cdot k \epsilon^\nu - p \cdot \epsilon k^\nu) \right. \\ + g_{\gamma N^* N}^{(3)} \varepsilon^{\nu\mu\rho\sigma} p_\sigma (\not{k} \epsilon_\mu - \not{\epsilon} k_\mu) \gamma_\rho \\ \left. + g_{\gamma N^* N}^{(4)} \gamma_5 \{ (\not{k} \not{\epsilon}^\nu - \not{\epsilon} \not{k}^\nu) - (p \cdot \epsilon \not{k} - p \cdot k \not{\epsilon}) \gamma^\nu \} \right]$
$N^*(\frac{3}{2}^-)N\gamma$	$\frac{1}{M^2} \left[g_{\gamma N^* N}^{(1)} \varepsilon^{\nu\mu\rho\sigma} p_\sigma (k_\mu \epsilon_\rho - k_\rho \epsilon_\mu) + g_{\gamma N^* N}^{(2)} \gamma_5 (p \cdot k \epsilon^\nu - p \cdot \epsilon k^\nu) \right. \\ + g_{\gamma N^* N}^{(3)} \varepsilon^{\nu\mu\rho\sigma} p_\sigma (\not{k} \epsilon_\mu - \not{\epsilon} k_\mu) \gamma_\rho \\ \left. + g_{\gamma N^* N}^{(4)} \gamma_5 \{ (\not{k} \not{\epsilon}^\nu - \not{\epsilon} \not{k}^\nu) - (p \cdot \epsilon \not{k} - p \cdot k \not{\epsilon}) \gamma^\nu \} \right] (-i\gamma_5)$
$N^*(\frac{5}{2}^+)N\gamma$	$\frac{1}{M^2} \left[g_{\gamma N^* N}^{(1)} \varepsilon^{\rho\alpha\beta\gamma} p_\gamma (k_\alpha \epsilon_\beta - k_\beta \epsilon_\alpha) + g_{\gamma N^* N}^{(2)} \gamma_5 (p \cdot k \epsilon^\rho - p \cdot \epsilon k^\rho) \right. \\ + g_{\gamma N^* N}^{(3)} \varepsilon^{\rho\alpha\beta\gamma} p_\gamma (\not{k} \epsilon_\alpha - \not{\epsilon} k_\alpha) \gamma_\beta \\ \left. + g_{\gamma N^* N}^{(4)} \gamma_5 \{ (\not{k} \not{\epsilon}^\rho - \not{\epsilon} \not{k}^\rho) - (p \cdot \epsilon \not{k} - p \cdot k \not{\epsilon}) \gamma^\rho \} \right] k^\sigma (-i\gamma_5)$
$N^*(\frac{5}{2}^-)N\gamma$	$\frac{1}{M^2} \left[g_{\gamma N^* N}^{(1)} \varepsilon^{\rho\alpha\beta\gamma} p_\gamma (k_\alpha \epsilon_\beta - k_\beta \epsilon_\alpha) + g_{\gamma N^* N}^{(2)} \gamma_5 (p \cdot k \epsilon^\rho - p \cdot \epsilon k^\rho) \right. \\ + g_{\gamma N^* N}^{(3)} \varepsilon^{\rho\alpha\beta\gamma} p_\gamma (\not{k} \epsilon_\alpha - \not{\epsilon} k_\alpha) \gamma_\beta \\ \left. + g_{\gamma N^* N}^{(4)} \gamma_5 \{ (\not{k} \not{\epsilon}^\rho - \not{\epsilon} \not{k}^\rho) - (p \cdot \epsilon \not{k} - p \cdot k \not{\epsilon}) \gamma^\rho \} \right] k^\sigma$

Tabel 3.4: Faktor-faktor verteks hadronik untuk spin 1/2 [2], spin 3/2 dan 5/2 [12].

Verteks	Kopling
$KYN^*(\frac{1}{2}^+)$	$g_{KYN^*}\gamma_5$
$KYN^*(\frac{1}{2}^-)$	$-ig_{KYN^*}$
$KYN^*(\frac{3}{2}^+)$	$\frac{g_{KYN^*}}{m_{N^*}}p'^\mu$
$KYN^*(\frac{3}{2}^-)$	$i\frac{g_{KYN^*}}{m_{N^*}}p'^\mu\gamma_5$
$KYN^*(\frac{5}{2}^+)$	$i\frac{g_{KYN^*}}{m_{N^*}^2}p'^\mu p'^\nu\gamma_5$
$KYN^*(\frac{5}{2}^-)$	$\frac{g_{KYN^*}}{m_{N^*}^2}p'^\mu p'^\nu$

Tabel 3.5: Faktor verteks hadronik yang digunakan dalam penelitian ini [8]. Bersama dengan kekuatan transisi pada Tabel 3.3, semua konstanta kopling hadronik g_{KYN^*} ditentukan melalui pencocokan data.

Verteks	Kopling
$KYN^*(\frac{3}{2}^+)$	$\frac{ig_{KYN^*}\varepsilon^{\mu\nu\rho\sigma}p'_\nu\gamma_5\gamma_\rho q_\sigma}{m_{N^*}^2}$
$KYN^*(\frac{3}{2}^-)$	$\frac{g_{KYN^*}\varepsilon^{\mu\nu\rho\sigma}p'_\nu\gamma_\rho q_\sigma}{m_{N^*}^2}$
$KYN^*(\frac{5}{2}^+)$	$\frac{ig_{KYN^*}\varepsilon^{\mu\alpha\beta\gamma}p'_\alpha\gamma_5\gamma_\beta q_\gamma p'^\nu i\gamma_5}{m_{N^*}^2}$
$KYN^*(\frac{5}{2}^-)$	$\frac{g_{KYN^*}\varepsilon^{\mu\alpha\beta\gamma}p'_\alpha\gamma_\beta q_\gamma p'^\nu}{m_{N^*}^2}$

Tabel 3.6: Bentuk-bentuk propagator untuk partikel dengan momentum p_s , massa m , dan width Γ [12].

Spin	Propagator
Spin 0	$\frac{i}{p_s^2 - m^2 + im\Gamma}$
Spin $\frac{1}{2}$	$\frac{i(\not{p}_s + m)}{p_s^2 - m^2 + im\Gamma}$
Spin 1	$\frac{i}{p_s^2 - m^2 + im\Gamma} \left(-g_{\mu\nu} + \frac{p_{s\mu}p_{s\nu}}{m^2} \right)$
Spin $\frac{3}{2}$	$\frac{i(\not{p}_s + \sqrt{s})}{3(p_s^2 - m^2 + im\Gamma)} \left[g_{\mu\nu} + \gamma_\nu \gamma_\mu - \frac{2}{s} p_{s\mu} p_{s\nu} - \frac{1}{\sqrt{s}} (\gamma_\mu p_{s\nu} - \gamma_\nu p_{s\mu}) \right]$

dengan p_s adalah momentum nukleon resonans ($p_s = s = k+p$) yang bermassa m_{N^*} serta $P^2 = p_s^2 - m_{N^*}^2 + im_{N^*}\Gamma_{N^*}$.

Model propagator spin 5/2 [18] adalah

$$P_{\mu\nu\rho\sigma}^{5/2}(p_s) = \frac{\not{p}_s + \sqrt{s}}{10(s - m_{N^*}^2 + im_{N^*}\Gamma_{N^*})} \mathcal{P}_{\mu\nu,\rho\sigma}^{5/2} \quad (3.17)$$

dengan operator proyeksi spin 5/2 didefinisikan

$$\begin{aligned} \mathcal{P}_{\mu\nu,\rho\sigma}^{5/2} = & 5P_{\mu\rho} P_{\nu\sigma} - 2P_{\mu\nu} P_{\rho\sigma} + 5P_{\mu\sigma} P_{\nu\rho} + P_{\mu\lambda} \gamma^\lambda \gamma^\delta P_{\delta\rho} P_{\nu\sigma} \\ & + P_{\nu\lambda} \gamma^\lambda \gamma^\delta P_{\delta\sigma} P_{\mu\rho} + P_{\mu\lambda} \gamma^\lambda \gamma^\delta P_{\delta\sigma} P_{\nu\rho} + P_{\nu\lambda} \gamma^\lambda \gamma^\delta P_{\delta\rho} P_{\mu\sigma}, \end{aligned} \quad (3.18)$$

dimana

$$P_{\mu\nu} = -g_{\mu\nu} + \frac{1}{s} p_{s\mu} p_{s\nu}. \quad (3.19)$$

Dengan menggunakan aturan Feynman, penghitungan elemen matriks transisi dapat diperoleh, yaitu:

$$M_{fi} = (\text{spinor } 2) \times (\text{verteks } 2) \times (\text{propagator}) \times (\text{verteks } 1) \times (\text{spinor } 1) \quad (3.20)$$

atau

$$M_{fi} = \bar{u}(p') \Gamma_{\text{had}}^\mu(p', q) S_{\mu\nu}^{3/2}(p_s) \Gamma_{\text{em}}^\nu(p, k) u(p) \quad (3.21)$$

dan

$$M_{fi} = \bar{u}(p') \Gamma_{\text{had}}^{\mu\nu}(p', q) P_{\mu\nu\rho\sigma}^{5/2}(p_s) \Gamma_{\text{em}}^{\rho\sigma}(p, k) u(p) \quad (3.22)$$

dimana $\Gamma_{\text{had}}^{\mu}(p', q)$, $\Gamma_{\text{had}}^{\mu\nu}(p', q)$ adalah faktor verteks hadronik yang dapat dilihat pada Tabel 3.5, sedangkan $\Gamma_{\text{em}}^{\nu}(p, k)$, $\Gamma_{\text{em}}^{\rho\sigma}(p, k)$ adalah faktor verteks elektromagnetik yang dapat dilihat pada Tabel 3.3. Verteks-verteks ini harus memiliki invarian tera.



BAB 4

HASIL PENGHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini kami hanya menampilkan hasil penghitungan saja dilengkapi dengan contoh penghitungan menggunakan program Mathematica (lihat Lampiran B.1). Adapun amplitudo-amplitudo invarian ($A_1 - A_6$) untuk propagator Pascalutsa spin 3/2 adalah:

$$\begin{aligned} A_1^{N^*(\frac{3}{2}\pm)} &= N^{N^*(\frac{3}{2}\pm)} \left[(\pm) \frac{i}{6} g_{\gamma N^* N}^{(1)} \left\{ \mp m_N m_{N^*} m_Y^2 - m_N m_Y^3 \mp m_{N^*} m_Y^3 \right. \right. \\ &\quad + m_K^2 (\pm 2m_N m_{N^*} + m_N m_Y \mp 2m_{N^*} m_Y - s) \\ &\quad + k^2 (m_K^2 \mp 3m_N m_{N^*} \pm m_{N^*} m_Y - m_Y^2 - s) \\ &\quad \pm m_N m_{N^*} s + m_N m_Y s \pm m_{N^*} m_Y s - m_Y^2 s + s^2 \\ &\quad \left. \pm 3m_N m_{N^*} t \pm 3m_{N^*} m_Y t + 6st \right\} \\ &\quad + \frac{1}{12m_{N^*}} g_{\gamma N^* N}^{(2)} \left\{ \mp k^2 \left[m_K^2 (\pm 2m_N + m_{N^*} \pm 2m_Y) \pm (m_{N^*} \pm 2m_Y) \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \times (m_{N^*} m_Y \mp m_Y^2 \mp s) + m_N (\pm 3m_{N^*}^2 + 2m_{N^*} m_Y \mp 2(m_Y^2 + s)) \right] \right. \\ &\quad + m_{N^*} \left[m_{N^*} m_Y^3 - m_{N^*} m_Y s \pm m_Y^2 s \mp s^2 \right. \\ &\quad + m_K^2 (2m_{N^*} m_Y + m_N (2m_{N^*} \pm m_Y) \pm s) - 3m_{N^*} m_Y t \\ &\quad \left. \left. \mp m_N (m_Y^3 - m_Y s \pm m_{N^*} (m_Y^2 - s + 3t)) \right] \right\} \\ &\quad + \frac{i}{6m_{N^*}} g_{\gamma N^* N}^{(3)} \left\{ \pm m_N^2 m_{N^*} m_Y^2 + m_N m_{N^*}^2 m_Y^2 + m_N^2 m_Y^3 \right. \\ &\quad \pm m_N m_{N^*} m_Y^3 + 2m_{N^*}^2 m_Y^3 \mp m_N^2 m_{N^*} s - m_N m_{N^*}^2 s - m_N^2 m_Y s \\ &\quad \left. \mp m_N m_{N^*} m_Y s - 2m_{N^*}^2 m_Y s \pm m_{N^*} m_Y^2 s - m_Y^3 s \mp m_{N^*} s^2 + m_Y s^2 \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \mp m_K^2 \left[\mp m_{N^*}^2 m_Y + m_N^2 (2m_{N^*} \pm m_Y) + m_N m_{N^*} (\pm 2m_{N^*} + m_Y) \right. \\
& \left. - m_{N^*} s \mp m_Y s \right] + k^2 \left[\mp m_K^2 (\pm m_N + m_{N^*}) + m_{N^*}^2 m_Y \pm m_{N^*} m_Y^2 \right. \\
& \left. \pm m_{N^*} s - 2m_Y s + m_N (3m_{N^*}^2 \pm m_{N^*} m_Y + m_Y^2 + s) \right] - 6m_N m_{N^*}^2 t \\
& \left. - 3m_{N^*}^2 m_Y t \mp 6m_{N^*} s t \right\} \\
& + \frac{1}{6m_{N^*}} g_{\gamma N^* N}^{(4)} \left\{ \pm m_N^2 m_{N^*} m_Y^2 - m_N m_{N^*}^2 m_Y^2 + m_N^2 m_Y^3 \right. \\
& \mp m_N m_{N^*} m_Y^3 + 2m_{N^*}^2 m_Y^3 \mp m_N^2 m_{N^*} s + m_N m_{N^*}^2 s - m_N^2 m_Y s \\
& \pm m_N m_{N^*} m_Y s - 2m_{N^*}^2 m_Y s \pm m_{N^*} m_Y^2 s - m_Y^3 s \mp m_{N^*} s^2 + m_Y s^2 \\
& + k^2 \left[m_{N^*}^2 m_Y \mp m_{N^*} m_Y^2 + 2m_Y^3 \mp m_K^2 (\pm 3m_N + m_{N^*} \pm 2m_Y) \right. \\
& \mp 3m_N (\pm m_{N^*}^2 + m_{N^*} m_Y \mp m_Y^2 \mp s) \pm m_{N^*} s \left. \right] + m_K^2 \left[m_{N^*}^2 m_Y \right. \\
& \mp m_N^2 (2m_{N^*} \pm m_Y) + m_N m_{N^*} (2m_{N^*} \pm m_Y) \pm m_{N^*} s + m_Y s \left. \right] \\
& \left. - 6m_N m_{N^*}^2 t - 3m_{N^*}^2 m_Y t \right\} \Big]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_2^{N^*(\frac{3}{2}\pm)} &= N^{N^*(\frac{3}{2}\pm)} \left[(\pm) \frac{i}{3(m_K^2 - t)} g_{\gamma N^* N}^{(1)} \left\{ k^2 \left[m_K^2 \mp 3m_N m_{N^*} \pm 4m_{N^*} m_Y \right. \right. \right. \\
& \left. \left. - m_Y^2 + 2s \right] \mp 3(m_N m_{N^*} \pm s)(m_K^2 - t) \right\} \\
& + \frac{1}{6m_{N^*}(m_K^2 - t)} g_{\gamma N^* N}^{(2)} \left\{ k^2 \left[\pm m_K^2 (\mp 2m_N + 3m_{N^*}) \right. \right. \\
& + m_Y (-4m_{N^*}^2 \mp 3m_{N^*} m_Y + 4s) \\
& + m_N (-3m_{N^*}^2 \mp 2m_{N^*} m_Y + 2(m_Y^2 + s)) \left. \right] \\
& \left. + 3m_{N^*} (m_N m_{N^*} \mp s)(m_K^2 - t) \right\} \\
& \mp \frac{i}{3(m_K^2 - t)} g_{\gamma N^* N}^{(3)} \left\{ k^2 \left[m_K^2 (\pm m_N + m_{N^*}) \pm 2m_{N^*}^2 m_Y - m_{N^*} m_Y^2 \right. \right. \\
& + 2m_{N^*} s \pm 2m_Y s \mp m_N (3m_{N^*}^2 \mp m_{N^*} m_Y + m_Y^2 + s) \left. \right] \\
& \mp 3m_{N^*} (2m_N m_{N^*} \pm s)(m_K^2 - t) \left. \right\} \\
& + \frac{1}{3m_{N^*}(m_K^2 - t)} g_{\gamma N^* N}^{(4)} \left\{ k^2 \left[-3m_K^2 (m_N \mp m_{N^*}) \right. \right. \\
& \mp 3m_N (\pm m_{N^*}^2 + m_{N^*} m_Y \mp m_Y^2 \mp s) + m_Y (-2m_{N^*}^2 \mp 3m_{N^*} m_Y \\
& + 2s) \left. \right] + 3m_{N^*} (2m_N m_{N^*} \mp s)(m_K^2 - t) \left. \right\} \Big]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_3^{N^*(\frac{3}{2}\pm)} &= N^{N^*(\frac{3}{2}\pm)} \left[(\mp) \frac{i}{6} g_{\gamma N^* N}^{(1)} \left\{ -m_K^2 (m_N \mp 2m_{N^*}) \mp 3k^2 m_{N^*} \pm 6m_{N^*}^2 m_{N^*} \right. \right. \\
&\quad \mp 4m_N m_{N^*} m_Y + m_N m_Y^2 \pm m_{N^*} m_Y^2 + 7m_N s \pm m_{N^*} s \\
&\quad \left. \left. - 4m_Y s \mp 3m_{N^*} t \right\} \right. \\
&\quad + \frac{1}{12m_{N^*}} g_{\gamma N^* N}^{(2)} \left\{ k^2 [-2m_K^2 + 3m_{N^*}^2 \mp 2m_{N^*} m_Y + 2(m_Y^2 + s)] \right. \\
&\quad + m_{N^*} [6m_{N^*}^2 m_{N^*} \pm m_K^2 (m_N \pm 2m_{N^*}) + m_{N^*} m_Y^2 - 5m_{N^*} s \pm 2m_Y s \\
&\quad \left. \mp m_N (\pm 2m_{N^*} m_Y + m_Y^2 + s) - 3m_{N^*} t \right\} \\
&\quad - \frac{i}{6m_{N^*}} g_{\gamma N^* N}^{(3)} \left\{ 3k^2 m_{N^*}^2 - 9m_N^2 m_{N^*}^2 \pm m_N^2 m_{N^*} m_Y + 7m_N m_{N^*}^2 m_Y \right. \\
&\quad - m_N^2 m_Y^2 \mp m_N m_{N^*} m_Y^2 - 2m_{N^*}^2 m_Y^2 + m_K^2 (m_N^2 \pm m_N m_{N^*} - m_{N^*}^2 - s) \\
&\quad \left. - m_{N^*}^2 s \mp 10m_N m_{N^*} s - 2m_{N^*}^2 s \pm 4m_{N^*} m_Y s + m_Y^2 s + s^2 + 3m_{N^*}^2 t \right\} \\
&\quad + \frac{1}{6m_{N^*}} g_{\gamma N^* N}^{(4)} \left\{ 9m_N^2 m_{N^*}^2 \mp m_N^2 m_{N^*} m_Y - 5m_N m_{N^*}^2 m_Y \right. \\
&\quad + m_N^2 m_Y^2 \mp m_N m_{N^*} m_Y^2 + 2m_{N^*}^2 m_Y^2 + m_N^2 s \pm 2m_N m_{N^*} s - 4m_{N^*}^2 s \\
&\quad \pm 2m_{N^*} m_Y s - m_Y^2 s - s^2 + m_K^2 (-m_N^2 \pm m_N m_{N^*} + m_{N^*}^2 + s) \\
&\quad \left. + k^2 [-2m_K^2 + 3m_{N^*}^2 \mp 2m_{N^*} m_Y + 2(m_Y^2 + s)] - 3m_{N^*}^2 t \right\} \\
A_4^{N^*(\frac{3}{2}\pm)} &= N^{N^*(\frac{3}{2}\pm)} \left[(\pm) \frac{i}{6} g_{\gamma N^* N}^{(1)} \left\{ m_K^2 (m_N \mp 2m_{N^*}) \mp 3k^2 m_{N^*} \pm 4m_N m_{N^*} m_Y \right. \right. \\
&\quad \left. \left. - m_N m_Y^2 \mp m_{N^*} m_Y^2 + 5m_N s \pm 5m_{N^*} s + 4m_Y s \pm 3m_{N^*} t \right\} \right. \\
&\quad + \frac{1}{12m_{N^*}} g_{\gamma N^* N}^{(2)} \left\{ k^2 [-2m_K^2 - 3m_{N^*}^2 \mp 2m_{N^*} m_Y + 2(m_Y^2 + s)] \right. \\
&\quad + m_{N^*} [\pm m_K^2 (m_N \pm 2m_{N^*}) + m_{N^*} m_Y^2 + m_{N^*} s \pm 2m_Y s \\
&\quad \left. \mp m_N (\pm 2m_{N^*} m_Y + m_Y^2 + s) - 3m_{N^*} t \right\} \\
&\quad + \frac{i}{6m_{N^*}} g_{\gamma N^* N}^{(3)} \left\{ 3k^2 m_{N^*}^2 - 3m_N^2 m_{N^*}^2 \mp m_N^2 m_{N^*} m_Y - 7m_N m_{N^*}^2 m_Y \right. \\
&\quad + m_N^2 m_Y^2 \pm m_N m_{N^*} m_Y^2 + 2m_{N^*}^2 m_Y^2 + m_N^2 s \mp 8m_N m_{N^*} s - 4m_{N^*}^2 s \\
&\quad \mp 4m_{N^*} m_Y s - m_Y^2 s - s^2 + m_K^2 (-m_N^2 \mp m_N m_{N^*} + m_{N^*}^2 + s) \\
&\quad \left. - 3m_{N^*}^2 t \right\} \\
\end{aligned}$$

$$\mp \frac{1}{6m_{N^*}} g_{\gamma N^* N}^{(4)} \left\{ \pm 3m_N^2 m_{N^*}^2 + m_N^2 m_{N^*} m_Y \pm 5m_N m_{N^*}^2 m_Y \mp m_N^2 m_Y^2 \right. \\ \left. + m_N m_{N^*} m_Y^2 \mp 2m_{N^*}^2 m_Y^2 \mp m_{N^*}^2 s + 4m_N m_{N^*} s \mp 2m_{N^*}^2 s \right. \\ \left. - 2m_{N^*} m_Y s \pm m_Y^2 s \pm s^2 \mp m_K^2 (-m_N^2 \pm m_N m_{N^*} + m_{N^*}^2 + s) \right. \\ \left. + k^2 [\pm 2m_K^2 \pm 3m_{N^*}^2 + 2m_{N^*} m_Y \mp 2(m_Y^2 + s)] \pm 3m_{N^*}^2 t \right\}$$

$$A_5^{N^*(\frac{3}{2}\pm)} = N^{N^*(\frac{3}{2}\pm)} \left[(\pm) \frac{i}{6(m_K^2 - t)} g_{\gamma N^* N}^{(1)} \left\{ \mp 6m_N^3 m_{N^*} \pm 8m_N^2 m_{N^*} m_Y \right. \right. \\ \left. - 2m_N^2 m_Y^2 + 4m_{N^*}^2 s \pm 6m_N m_{N^*} s \mp 8m_{N^*} m_Y s + 2m_Y^2 s - 4s^2 \right. \\ \left. + m_K^2 (2m_N^2 \mp 9m_N m_{N^*} + s) \pm 9m_N m_{N^*} t - 3st \right. \\ \left. + k^2 (m_K^2 \mp 3m_N m_{N^*} \pm 4m_{N^*} m_Y - m_Y^2 + 2s) \right\} \\ + \frac{1}{12m_{N^*} (m_K^2 - t)} g_{\gamma N^* N}^{(2)} \left\{ -6m_N^3 m_{N^*}^2 \mp 4m_N^3 m_{N^*} m_Y \right. \\ \left. - 8m_N^2 m_{N^*}^2 m_Y + 4m_N^3 m_Y^2 \mp 6m_N^2 m_{N^*} m_Y^2 + 4m_N^3 s + 6m_N m_{N^*}^2 s \right. \\ \left. + 8m_N^2 m_Y s \pm 4m_N m_{N^*} m_Y s + 8m_{N^*}^2 m_Y s - 4m_N m_Y^2 s \pm 6m_{N^*} m_Y^2 s \right. \\ \left. - 4m_N s^2 - 8m_Y s^2 + m_K^2 (-4m_N^3 \pm 6m_N^2 m_{N^*} - 3m_N m_{N^*}^2 \right. \\ \left. + 4m_N s \pm 3m_{N^*} s) + 3m_N m_{N^*}^2 t \mp 3m_{N^*} s t \right. \\ \left. + k^2 [\pm m_K^2 (\mp 2m_N + 3m_{N^*}) + m_Y (-4m_{N^*}^2 \mp 3m_{N^*} m_Y + 4s) \right. \\ \left. + m_N (-3m_{N^*}^2 \mp 2m_{N^*} m_Y + 2(m_Y^2 + s))] \right\} \\ \mp \frac{i}{6m_{N^*} (m_K^2 - t)} g_{\gamma N^* N}^{(3)} \left\{ \mp 6m_N^3 m_{N^*}^2 + 2m_N^3 m_{N^*} m_Y \pm 4m_N^2 m_{N^*}^2 m_Y \right. \\ \left. \mp 2m_N^3 m_Y^2 - 2m_N^2 m_{N^*} m_Y^2 \mp 2m_N^3 s + 4m_N^2 m_{N^*} s \pm 6m_N m_{N^*}^2 s \right. \\ \left. \pm 4m_N^2 m_Y s - 2m_N m_{N^*} m_Y s \mp 4m_{N^*}^2 m_Y s \pm 2m_N m_Y^2 s + 2m_{N^*} m_Y^2 s \right. \\ \left. \pm 2m_N s^2 - 4m_{N^*} s^2 \mp 4m_Y s^2 \pm 12m_N m_{N^*}^2 t - 3m_{N^*} s t \right. \\ \left. + m_K^2 [\pm 2m_N^3 + 2m_N^2 m_{N^*} + m_{N^*} s \mp 2m_N (6m_{N^*}^2 + s)] \right. \\ \left. + k^2 [m_K^2 (\pm m_N + m_{N^*}) \pm 2m_{N^*}^2 m_Y - m_{N^*} m_Y^2 + 2m_{N^*} s \pm 2m_Y s \right. \\ \left. \mp m_N (3m_{N^*}^2 \mp m_{N^*} m_Y + m_Y^2 + s) \right\} \\ + \frac{1}{6m_{N^*} (m_K^2 - t)} g_{\gamma N^* N}^{(4)} \left\{ -6m_N^3 m_{N^*}^2 \mp 6m_N^3 m_{N^*} m_Y - 4m_N^2 m_{N^*}^2 m_Y \right. \\ \left. + 6m_N^3 m_Y^2 \mp 6m_N^2 m_{N^*} m_Y^2 + 6m_N^3 s + 6m_N m_{N^*}^2 s + 4m_N^2 m_Y s \right. \\ \left. \pm 6m_N m_{N^*} m_Y s + 4m_{N^*}^2 m_Y s - 6m_N m_Y^2 s \pm 6m_{N^*} m_Y^2 s - 6m_N s^2 \right. \\ \left. - 4m_Y s^2 + m_K^2 (-6m_N^3 \pm 6m_N^2 m_{N^*} + 6m_N s \mp 3m_{N^*} s) \mp 3m_{N^*} s t \right\}$$

$$+k^2 \left[-3m_K^2(m_N \mp m_{N^*}) \mp 3m_N(\pm m_{N^*}^2 + m_{N^*}m_Y \mp m_Y^2 \mp s) \right. \\ \left. + m_Y(-2m_{N^*}^2 \mp 3m_{N^*}m_Y + 2s) \right] \Bigg\} \Bigg]$$

$$A_6^{N^*(\frac{3}{2}\pm)} = N^{N^*(\frac{3}{2}\pm)} \left[(\pm) \frac{i}{6} g_{\gamma N^* N}^{(1)} \left\{ \pm 3k^2 m_{N^*} - m_K^2(m_N \pm 2m_{N^*}) \right. \right. \\ \left. \mp 4m_N m_{N^*} m_Y + m_N m_Y^2 \pm 5m_{N^*} m_Y^2 - 5m_N s \mp m_{N^*} s + 4m_Y s \right. \\ \left. \mp 3m_{N^*} t \right\} \\ + \frac{1}{12m_{N^*}} g_{\gamma N^* N}^{(2)} \left\{ 3k^2 m_{N^*}^2 + 6m_N^2 m_{N^*}^2 \pm 2m_N^2 m_{N^*} m_Y \right. \\ - 2m_N m_{N^*}^2 m_Y - 2m_N^2 m_Y^2 \mp m_N m_{N^*} m_Y^2 + m_{N^*}^2 m_Y^2 \\ + m_K^2(2m_N^2 \pm m_N m_{N^*} + 2m_{N^*}^2 - 2s) - 2m_{N^*}^2 s \mp m_N m_{N^*} s \\ \left. - 5m_{N^*}^2 s + 2m_Y^2 s + 2s^2 - 3m_{N^*}^2 t \right\} \\ - \frac{i}{6m_{N^*}} g_{\gamma N^* N}^{(3)} \left\{ 3k^2 m_{N^*}^2 - 3m_N^2 m_{N^*}^2 \mp m_N^2 m_{N^*} m_Y + m_N m_{N^*}^2 m_Y \right. \\ + m_N^2 m_Y^2 \pm 3m_N m_{N^*} m_Y^2 + 4m_{N^*}^2 m_Y^2 + m_{N^*}^2 s \mp 6m_N m_{N^*} s - 2m_{N^*}^2 s \\ - 4m_N m_Y s \pm 4m_{N^*} m_Y s + m_Y^2 s + s^2 - 3m_{N^*}^2 t \\ \left. - m_K^2(m_N^2 \pm 3m_N m_{N^*} + m_{N^*}^2 + s) \right\} \\ + \frac{1}{6m_{N^*}} g_{\gamma N^* N}^{(4)} \left\{ 3k^2 m_{N^*}^2 + 9m_N^2 m_{N^*}^2 \pm 3m_N^2 m_{N^*} m_Y - 7m_N m_{N^*}^2 m_Y \right. \\ - 3m_{N^*}^2 m_Y^2 \mp 3m_N m_{N^*} m_Y^2 + 2m_{N^*}^2 m_Y^2 - 3m_{N^*}^2 s - 4m_{N^*}^2 s \\ + m_K^2(3m_N^2 \pm 3m_N m_{N^*} + m_{N^*}^2 - s) + 4m_N m_Y s + m_Y^2 s + s^2 \\ \left. - 3m_{N^*}^2 t \right\} \Bigg]$$

dimana

$$N^{N^*(\frac{3}{2}\pm)} = \frac{g_{KY N^*}}{m_{N^*}^4 M^2 (s - m_{N^*}^2 + i m_{N^*} \Gamma_{N^*})}$$

Amplitudo-amplitudo invarian ($A_1 - A_6$) untuk propagator Pascalsutsa spin 5/2 adalah:

$$\begin{aligned}
A_1^{N^*(\frac{5}{2}\pm)} = N^{N^*(\frac{5}{2}\pm)} & \left[(\pm) \frac{i}{s^2} g_{\gamma N^* N}^{(1)} \left\{ s \left(m_K^4 \left[-m_N^3 (m_Y \pm 3\sqrt{s}) - 3m_Y s^{3/2} + s^2 \right. \right. \right. \right. \\
& + m_N^2 (-3m_Y \sqrt{s} + 3s) + m_N (-3m_Y s + 3s^{3/2}) \left. \right] - m_N^3 (m_Y - \sqrt{s}) \\
& \times \left[m_Y^4 - 2m_Y^2 s + 4m_Y \sqrt{st} + s(s + 6t) \right] + m_N^2 (m_Y - \sqrt{s}) \sqrt{s} \\
& \times \left[m_Y^4 + 4m_Y \sqrt{st} - 2m_Y^2 (s + 2t) + s(s + 10t) \right] \\
& + m_N s \left[m_Y^5 - m_Y^4 \sqrt{s} - 2m_Y^3 (s + 2t) + 2m_Y^2 \sqrt{s} (s + 4t) \right. \\
& + m_Y s (s + 6t) - \sqrt{s} (s^2 + 10st + 10t^2) \left. \right] + s^{3/2} \left[-m_Y^5 + m_Y^4 \sqrt{s} \right. \\
& + 2m_Y^3 (s + 4t) - 2m_Y^2 \sqrt{s} (s + 6t) - m_Y (s^2 + 10st + 10t^2) \\
& + \sqrt{s} (s^2 + 14st + 20t^2) \left. \right] + 2m_K^2 \left\{ m_N s (m_Y^3 - s^{3/2} + 2m_Y t) \right. \\
& + m_N^3 \left[m_Y^3 - 2m_Y^2 \sqrt{s} - 2m_Y s + \sqrt{s} (3s + 2t) \right] \\
& + m_N^2 \sqrt{s} \left[m_Y^3 + 2m_Y t - \sqrt{s} (s + 5t) \right] \\
& + s^{3/2} \left[-3m_Y^3 + 2m_Y^2 \sqrt{s} + 2m_Y (s + 3t) - \sqrt{s} (s + 7t) \right] \left. \right\} \\
& + \left(6m_N^8 + 6m_N^7 (m_Y + \sqrt{s}) + 6m_N^5 (m_Y + \sqrt{s}) (m_Y^2 - s - t) \right. \\
& + 6m_N^6 (m_Y^2 + m_Y \sqrt{s} - s - t) \\
& + 6m_N^4 \sqrt{s} \left[m_Y^3 - m_Y^2 \sqrt{s} + m_Y (s - t) + \sqrt{st} \right] - m_N^2 s \left[m_K^4 + m_Y^4 \right. \\
& - 2m_K^2 (m_Y^2 + m_Y \sqrt{s} - s) + 8m_Y^3 \sqrt{s} - 3s^2 - 6m_Y \sqrt{st} \left. \right] \\
& + 2m_N^3 s \left[-3m_Y^3 + 5m_Y^2 \sqrt{s} + \sqrt{s} (-2m_K^2 - 3s + 3t) + m_Y (s + 3t) \right] \\
& + m_N s \left\{ m_Y^5 + m_K^4 (m_Y - 3\sqrt{s}) - m_Y^4 \sqrt{s} \right. \\
& - 2m_Y^3 s - 2m_Y^2 \sqrt{s} (s - 2t) + s^{3/2} (5s + 14t) - m_Y (12\sqrt{s} + s^2 - 2st) \\
& - 2m_K^2 \left[m_Y^3 - 2m_Y^2 \sqrt{s} - 2m_Y s + \sqrt{s} (s + 2t) \right] \left. \right\} \\
& - s^{3/2} \left\{ m_Y^5 + m_K^4 (-3m_Y + 2\sqrt{s}) - 2m_Y^4 \sqrt{s} + m_Y s (s - 2t) \right. \\
& - 4m_Y^3 (s + t) + 2s^{3/2} (s + 7t) + 2m_Y^2 (6 + s^{3/2} + 6\sqrt{st}) \\
& + 2m_K^2 \left[m_Y^3 + m_Y^2 \sqrt{s} + m_Y (s + 2t) - \sqrt{s} (2s + 7t) \right] \left. \right\} k^2 \\
& + \left(6m_N^6 + 6m_N^5 (m_Y + \sqrt{s}) - 2m_N s^{3/2} (-2m_K^2 + 2m_Y^2 + m_Y \sqrt{s} + 2s) \right. \\
& + s \left[m_K^4 + m_Y^4 + 2m_Y^3 \sqrt{s} + 4m_Y^2 s + 2m_Y s^{3/2} + s^2 \right. \\
& - 2m_K^2 (m_Y^2 + m_Y \sqrt{s} + s) \left. \right] + 6m_N^3 (m_Y + \sqrt{s}) (m_Y^2 - t) \\
& + 6m_N^2 m_Y \sqrt{s} (m_Y^2 - t) + 6m_N^4 (m_Y^2 + m_Y \sqrt{s} - t) \left. \right) k^4 \left. \right\}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{1}{2s^{3/2}} g_{\gamma N^* N}^{(2)} \left\{ -m_N^3 m_Y^5 \sqrt{s} + m_N^3 m_Y^4 s - m_N^2 m_Y^5 s + 2m_N^3 m_Y^3 s^{3/2} \right. \\
& + m_N^2 m_Y^4 s^{3/2} + m_N m_Y^5 s^{3/2} - 2m_N^3 m_Y^2 s^2 + 2m_N^2 m_Y^3 s^2 - m_N m_Y^4 s^2 \\
& + m_Y^5 s^2 - m_N^3 m_Y s^{5/2} - 2m_N^2 m_Y^2 s^{5/2} - 2m_N m_Y^3 s^{5/2} - m_Y^4 s^{5/2} \\
& + m_N^3 s^3 - m_N^2 m_Y s^3 + 2m_N m_Y^2 s^3 - 2m_Y^3 s^3 + m_N^2 s^{7/2} \\
& + m_N m_Y s^{7/2} + 2m_Y^2 s^{7/2} - m_N s^4 + m_Y s^4 - s^{9/2} \\
& - m_K^4 \left[m_N^3 (m_Y \sqrt{s} - 3s) - 3m_Y s^2 + s^{5/2} + m_N^2 (-3m_Y s + 3s^{3/2}) \right. \\
& + 3m_N (m_Y s^{3/2} - s^2) \left. \right] + 4m_N^3 m_Y^2 s t + 4m_N^2 m_Y^3 s t + 2m_N^3 m_Y s^{3/2} t \\
& - 4m_N m_Y^3 s^{3/2} t - 6m_N^3 s^2 t - 2m_N^2 m_Y s^2 t - 8m_Y^3 s^2 t - 2m_N^2 s^{5/2} t \\
& + 2m_N m_Y s^{5/2} t + 4m_Y^2 s^{5/2} t + 2m_N s^3 t + 6m_Y s^3 t - 2s^{7/2} t \\
& + 10m_N s^2 t^2 + 10m_Y s^2 t^2 + 2m_K^2 \left\{ m_N^3 \left[m_Y^3 \sqrt{s} - 2m_Y^2 s - 2m_Y s^{3/2} \right. \right. \\
& + s(3s - 2t) \left. \right] + m_N^2 \left[-m_Y^3 s - 2m_Y s t + s^{3/2}(s + t) \right] \\
& + s^2 \left[3m_Y^3 - 2m_Y^2 \sqrt{s} + \sqrt{s}(s + t) - 2m_Y(s + 3t) \right] \\
& + m_N s^{3/2} \left[m_Y^3 + 2m_Y t - \sqrt{s}(s + 6t) \right] \left. \right\} - \left(2m_N^3 m_Y (m_Y^3 + 2m_Y^2 \sqrt{s} \right. \\
& - 2m_Y s - s^{3/2}) + m_N^2 (2m_Y^5 + m_Y^4 \sqrt{s} + 2m_Y^3 s - 4m_Y^2 s^{3/2} - 2m_Y s^2 \\
& + s^{5/2}) + m_K^4 \left[2m_N^3 + m_N^2 (2m_Y - 3\sqrt{s}) + 5m_Y s - 2s^{3/2} \right. \\
& + m_N (-3m_Y \sqrt{s} + 5s) \left. \right] + m_N \left[-3m_Y^5 \sqrt{s} - m_Y^4 s - 2m_Y^3 s^{3/2} \right. \\
& + s^2 (-3s + 2t) + 6m_Y^2 s(s + 2t) + 3m_Y s^{3/2}(s + 2t) \left. \right] \\
& + s \left[-7m_Y^5 + 2m_Y^4 \sqrt{s} - 2s^{3/2}(s + t) + 2m_Y^2 \sqrt{s}(s + 2t) \right. \\
& + 4m_Y^3 (s + 3t) + m_Y s(s + 6t) \left. \right] - 2m_K^2 \left\{ 2m_N^3 (m_Y^2 + m_Y \sqrt{s} - 2s) \right. \\
& + m_N^2 (2m_Y^3 - m_Y^2 \sqrt{s} - m_Y s - s^{3/2}) - s \left[m_Y^3 - 3m_Y^2 \sqrt{s} \right. \\
& + \sqrt{s}(2s + t) - 3m_Y (s + 2t) \left. \right] + m_N \left[-3m_Y^3 \sqrt{s} + 2m_Y^2 s \right. \\
& + 2m_Y s^{3/2} + s(s + 6t) \left. \right] \left. \right\} k^2 + \left(4m_N^5 + 4m_N^4 m_Y + 2m_Y^5 \right. \\
& + m_K^4 (6m_N + 6m_Y - \sqrt{s}) + 3m_Y^4 \sqrt{s} + 6m_Y^3 s + 4m_Y s^2 - s^{5/2} \\
& + 8m_Y s t + 4m_Y t^2 - 8m_N^3 (s + t) - 8m_N^2 m_Y (s + t) \\
& + 2m_N (m_Y^4 + 2m_Y^3 \sqrt{s} + 2m_Y^2 s + m_Y s^{3/2} + s^2 + 4s t + 2t^2) \\
& + 2m_K^2 \left\{ 4m_N^3 + 4m_N^2 m_Y - 2m_Y^3 - m_Y^2 \sqrt{s} - 5m_Y s + s^{3/2} - 4m_Y t \right. \\
& \left. - 2m_N \left[m_Y^2 + m_Y \sqrt{s} + 2(s + t) \right] \right\} k^4 \left. \right\} \\
& + \frac{-i}{2s^{3/2}} g_{\gamma N^* N}^{(3)} \left\{ -3m_N^7 - 3m_N^6 m_Y - 3m_N^5 m_Y^2 - 3m_N^4 m_Y^3 + 2m_N^4 m_Y^5 \right. \\
& - 2m_N^4 m_Y^4 \sqrt{s} - 2m_N^3 m_Y^5 \sqrt{s} + 3m_N^5 s + 3m_N^4 m_Y s + 3m_N^3 m_Y^2 s
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +3m_N^2 m_Y^3 s - 4m_N^4 m_Y^3 s + 2m_N^3 m_Y^4 s + 4m_N^4 m_Y^2 s^{3/2} + 4m_N^3 m_Y^3 s^{3/2} \\
& +2m_N m_Y^5 s^{3/2} + 2m_N^4 m_Y s^2 - 4m_N^3 m_Y^2 s^2 - 2m_N m_Y^4 s^2 - 2m_Y^5 s^2 \\
& -2m_N^4 s^{5/2} - 2m_N^3 m_Y s^{5/2} - 4m_N m_Y^3 s^{5/2} + 2m_Y^4 s^{5/2} + 2m_N^3 s^3 \\
& +4m_N m_Y^2 s^3 + 4m_Y^3 s^3 + 2m_N m_Y s^{7/2} - 4m_Y^2 s^{7/2} - 2m_N s^4 \\
& -2m_Y s^4 + 2s^{9/2} + 2m_K^4 \left[m_N^4 (m_Y - 3\sqrt{s}) - 3m_Y s^2 + s^{5/2} \right. \\
& + m_N^3 (-m_Y \sqrt{s} + 3s) + m_N (-3m_Y s^{3/2} + 3s^2) \left. \right] + 6m_N^5 t + 6m_N^4 m_Y t \\
& +3m_N^3 m_Y^2 t + 3m_N^2 m_Y^3 t - 3m_N^3 s t - 3m_N^2 m_Y s t - 16m_N^3 m_Y^2 s t \\
& -8m_N^3 m_Y s^{3/2} t + 8m_N^2 m_Y^2 s^{3/2} t - 8m_N m_Y^3 s^{3/2} t + 24m_N^3 s^2 t \\
& +4m_N^2 m_Y s^2 t + 24m_N m_Y^2 s^2 t + 16m_Y^3 s^2 t - 12m_N^2 s^{5/2} t \\
& +16m_N m_Y s^{5/2} t - 24m_Y^2 s^{5/2} t - 32m_N s^3 t - 20m_Y s^3 t + 28s^{7/2} t \\
& -3m_N^3 t^2 - 3m_N^2 m_Y t^2 - 40m_N s^2 t^2 - 20m_Y s^2 t^2 + 40s^{5/2} t^2 \\
& +m_K^2 \left\{ -3m_N^5 + m_N^4 \left[-4m_Y^3 + 8m_Y^2 \sqrt{s} - 12s^{3/2} \right. \right. \\
& +m_Y (-3 + 8s) \left. \right] + 4m_N s^{3/2} \left[m_Y^3 - \sqrt{s}(s - 3t) + 2m_Y t \right] \\
& +m_N^3 \left[4m_Y^3 \sqrt{s} - 8m_Y s^{3/2} + 12s^2 - m_Y^2 (3 + 8s) + 3t + 16st \right] \\
& +m_N^2 (-3m_Y^3 + 3m_Y t - 8s^{3/2} t) - 4s^2 \left[3m_Y^3 - 2m_Y^2 \sqrt{s} \right. \\
& \left. -2m_Y (s + 3t) + \sqrt{s}(s + 7t) \right] \left. \right\} + \left(3m_N^7 + 3m_N^6 m_Y \right. \\
& +2m_K^4 \left[m_N^3 + m_N^2 (-m_Y + \sqrt{s}) - 2m_N s + 3m_Y s - 2s^{3/2} \right] \\
& +3m_N^5 (m_Y^2 - s - 2t) + 2m_N s (-2m_Y^4 - 31m_Y^3 \sqrt{s} + 6s^2 + 12m_Y^2 t \\
& +33m_Y \sqrt{st} + 22st) + 3m_N^4 \left[m_Y^3 - 18s^{3/2} - m_Y (s + 2t) \right] \\
& -2s \left[m_Y^5 - 2m_Y^4 \sqrt{s} + m_Y s (s - 2t) - 4m_Y^3 (s + t) + 2m_Y^2 \sqrt{s} (s + 6t) \right. \\
& \left. +2s^{3/2} (s + 7t) \right] + m_N^3 \left[2m_Y^4 + 4m_Y^3 \sqrt{s} - 50m_Y s^{3/2} + m_Y^2 (5s - 3t) \right. \\
& \left. +3(-6s^2 + st + t^2) \right] + m_N^2 \left[-2m_Y^5 - 2m_Y^4 \sqrt{s} - 50m_Y^2 s^{3/2} \right. \\
& \left. -m_Y^3 (7s + 3t) + 2s^{3/2} (s + 27t) + m_Y (2s^2 + 3st + 3t^2) \right] \\
& +m_K^2 \left\{ 3m_N^5 + 3m_N^4 m_Y + 8m_N s (m_Y^2 + m_Y \sqrt{s} - s - 3t) \right. \\
& -m_N^3 (m_Y^2 + 4m_Y \sqrt{s} + 4s + 3t) + m_N^2 (7m_Y^3 - 4s^{3/2} - 3m_Y t) \\
& \left. -4s \left[m_Y^3 + m_Y^2 \sqrt{s} + m_Y (s + 2t) - \sqrt{s}(2s + 7t) \right] \right\} k^2 \\
& -2 \left(m_K^4 (m_N - \sqrt{s}) - \sqrt{s} (m_Y^4 + 2m_Y^3 \sqrt{s} + 4m_Y^2 s + 2m_Y s^{3/2} + s^2) \right. \\
& +m_N (m_Y^4 + 2m_Y^3 \sqrt{s} + 8m_Y^2 s + 4m_Y s^{3/2} + 5s^2) \\
& \left. -2m_K^2 \left[-\sqrt{s} (m_Y^2 + m_Y \sqrt{s} + s) + m_N (m_Y^2 + m_Y \sqrt{s} + 3s) \right] \right) k^4 \left. \right\}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{1}{2s^{3/2}} g_{\gamma N^* N}^{(4)} \left\{ m_N^5 m_Y^2 + m_N^4 m_Y^3 - 2m_N^4 m_Y^5 + 15m_N^5 \sqrt{s} \right. \\
& + 15m_N^4 m_Y \sqrt{s} + 2m_N^4 m_Y^4 \sqrt{s} - 2m_N^3 m_Y^5 \sqrt{s} + m_N^5 s \\
& + m_N^4 m_Y s - 15m_N^3 m_Y^2 s - 15m_N^2 m_Y^3 s + 4m_N^4 m_Y^3 s + 2m_N^3 m_Y^4 s \\
& - 30m_N^3 s^{3/2} - 30m_N^2 m_Y s^{3/2} - 4m_N^4 m_Y^2 s^{3/2} + 4m_N^3 m_Y^3 s^{3/2} \\
& + 2m_N m_Y^5 s^{3/2} - 15m_N^3 s^2 - 6m_N^5 s^2 - 15m_N^2 m_Y s^2 \\
& - 8m_N^4 m_Y s^2 - 4m_N^3 m_Y^2 s^2 - 2m_N m_Y^4 s^2 + 2m_Y^5 s^2 + 15m_N s^{5/2} \\
& + 2m_N^4 s^{5/2} + 15m_Y s^{5/2} - 2m_N^3 m_Y s^{5/2} - 4m_N m_Y^3 s^{5/2} - 2m_Y^4 s^{5/2} \\
& + 14m_N^3 s^3 + 12m_N^2 m_Y s^3 + 4m_N m_Y^2 s^3 - 4m_Y^3 s^3 + 2m_N m_Y s^{7/2} \\
& + 4m_Y^2 s^{7/2} - 8m_N s^4 - 4m_Y s^4 - 2s^{9/2} \\
& + m_K^4 \left[-2m_N^4 (m_Y - 3\sqrt{s}) + m_N^3 (-2m_Y \sqrt{s} + 6s) \right. \\
& \left. + 3m_N \sqrt{s} (5 - 2m_Y s) + \sqrt{s} (15m_Y - 2s^2) \right] \\
& - 30m_N^3 \sqrt{s} t - 30m_N^2 m_Y \sqrt{s} t + 16m_N^3 m_Y^2 s t + 30m_N s^{3/2} t \\
& + 30m_Y s^{3/2} t + 8m_N^3 m_Y s^{3/2} t + 8m_N^2 m_Y^2 s^{3/2} t - 8m_N m_Y^3 s^{3/2} t \\
& - 12m_N^3 s^2 t + 16m_N^2 m_Y s^2 t - 8m_N m_Y^2 s^2 t - 16m_Y^3 s^2 t \\
& - 12m_N^2 s^{5/2} t + 8m_Y^2 s^{5/2} t + 4m_N s^3 t - 4s^{7/2} t + 15m_N \sqrt{s} t^2 \\
& + 15m_Y \sqrt{s} t^2 + 34m_N s^2 t^2 + 14m_Y s^2 t^2 \\
& - m_K^2 \left\{ m_N^5 + m_N^4 (m_Y - 4m_Y^3 + 8m_Y^2 \sqrt{s} + 8m_Y s - 12s^{3/2}) \right. \\
& + m_N^2 \left[3m_Y (-10\sqrt{s} - 5s + 4s^2) + 8s^{3/2} t \right] + m_N^3 \left[-2(15 + 2m_Y^3) \sqrt{s} \right. \\
& \left. + 8m_Y s^{3/2} + s(-15 + 8m_Y^2 + 16t) \right] \\
& \left. + 2m_N \sqrt{s} \left[-4s^{5/2} + 15t + 12s^{3/2} t + s(15 - 2m_Y^3 - 4m_Y t) \right] \right. \\
& \left. + 2\sqrt{s} \left[-6m_Y^3 s^{3/2} + 4m_Y^2 s^2 - 2s^2 (s + t) + m_Y (15s - 2s^{5/2} + 15t \right. \right. \\
& \left. \left. + 6s^{3/2} t) \right] \right\} - \left(m_N^5 (m_Y^2 + s) + m_N^4 m_Y (m_Y^2 + s) \right. \\
& + m_N^3 \left[6m_Y^4 + m_Y^2 (1 - 23s) + 12m_Y^3 \sqrt{s} + s \right. \\
& \left. - 4m_Y s^{3/2} - 21s^2 \right] + 2m_K^4 \left[3m_N^3 + m_N^2 (m_Y - \sqrt{s}) \right. \\
& \left. + 5m_Y s - 2s^{3/2} + m_N (-4m_Y \sqrt{s} + 6s) \right] \\
& + m_N^2 \left[2m_Y^5 + m_Y^3 (1 - 11s) + 2m_Y^4 \sqrt{s} \right. \\
& \left. - 4m_Y^2 s^{3/2} - 2s^{5/2} + m_Y (s - 17s^2) \right] \\
& - 4m_N \left[2m_Y^5 \sqrt{s} + m_Y^4 s + 2m_Y^3 s^{3/2} + s^2 (s - 5t) - 2m_Y^2 s (2s + 5t) \right. \\
& \left. - m_Y s^{3/2} (2s + 5t) \right] + 2s \left[-7m_Y^5 + 2m_Y^4 \sqrt{s} - 2s^{3/2} (s + t) \right. \\
& \left. + 2m_Y^2 \sqrt{s} (s + 2t) + 4m_Y^3 (s + 3t) + m_Y s (s + 6t) \right]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -m_K^2 \left\{ m_N^5 + m_N^4 m_Y + m_N^3 (1 + 12m_Y^2 + 12m_Y \sqrt{s} - 35s) \right. \\
& + m_N^2 (m_Y + 4m_Y^3 - 15m_Y s - 4s^{3/2}) - 4s [m_Y^3 - 3m_Y^2 \sqrt{s} \\
& + \sqrt{s}(2s + t) - 3m_Y(s + 2t)] + m_N [-16m_Y^3 \sqrt{s} + 8m_Y^2 s \\
& + 8m_Y s^{3/2} + 8s(s + 5t)] \left. \right\} k^2 + \left(4m_Y^5 + m_K^4 (6m_N + 4m_Y - 2\sqrt{s}) \right. \\
& + 6m_Y^4 \sqrt{s} + 12m_Y^3 s - 2s^{5/2} + m_N^3 (m_Y^2 + s) \\
& + m_N^2 m_Y (m_Y^2 + s) + 2m_N (3m_Y^4 + 6m_Y^3 \sqrt{s} + 8m_Y^2 s + 4m_Y s^{3/2} - s^2) \\
& - m_K^2 [m_N^3 + m_N^2 m_Y + 4m_N (3m_Y^2 + 3m_Y \sqrt{s} + s) \\
& \left. + 4(2m_Y^3 + m_Y^2 \sqrt{s} + m_Y s - s^{3/2}) \right] k^4 \left. \right\} \\
A_2^{N^*(\frac{5}{2}\pm)} &= N^{N^*(\frac{5}{2}\pm)} \left[\frac{-i}{s^2(m_K^2 - t)} g_{\gamma N^* N}^{(1)} \left\{ -2 \left(-2(m_N - \sqrt{s}) [m_K^4 s^{3/2} (2m_N^2 + 3s) \right. \right. \right. \\
& + t \left\{ -m_N^5 + m_N^4 (-\sqrt{s} + 3m_Y s) + m_N^3 (-m_Y^2 + 3m_Y s^{3/2} + t) \right. \\
& + m_N^2 \sqrt{s} [m_Y s^{3/2} - 3s^2 + m_Y^2 (-1 + 2s) + t] \\
& + s^{5/2} (-2m_Y^2 - m_Y \sqrt{s} + 3s + 5t) \left. \right\} + m_K^2 \left\{ m_N^5 + m_N^4 (\sqrt{s} - 3m_Y s) \right. \\
& + s^{5/2} (2m_Y^2 + m_Y \sqrt{s} - 3s - 8t) + m_N^3 (m_Y^2 - 3m_Y s^{3/2} - t) \\
& \left. - m_N^2 \sqrt{s} [m_Y s^{3/2} - 3s^2 + m_Y^2 (-1 + 2s) + t + 2st] \right\} \left. \right. \\
& + k^2 \left[2m_N^6 - 6m_N^5 m_Y s + 2m_N^3 (-2m_K^2 + 2m_Y^2 + 4m_Y \sqrt{s} - 3s) s^{3/2} \right. \\
& + m_N^4 [2m_Y^2 - 2t + s(-2 - m_K^2 + t)] + 2m_N s^2 [-2m_Y^3 + m_Y (s + 2t) \\
& + \sqrt{s} (-m_K^2 + s + 5t)] + s^2 [m_Y^4 + 10m_Y^3 \sqrt{s} + 5s^2 \\
& + m_K^2 (m_Y^2 + 4m_Y \sqrt{s} - 5s - t) + 9st + 2t^2 \\
& - m_Y^2 (8s + 3t) - 2m_Y \sqrt{s} (4s + 7t)] - m_N^2 s \left\{ m_Y^4 + 6m_Y^3 \sqrt{s} \right. \\
& + 7m_K^2 s + s^2 - 2t + st + t^2 - 2m_Y^2 (-1 + 2s + t) \\
& \left. \left. - 2m_Y \sqrt{s} [m_K^2 + 2(s + t)] \right\} \right] \left. \right) \\
& + \left(k^2 \left\{ 4m_N^6 + 12m_N^3 m_Y s + 4m_N s^{3/2} (-2m_K^2 + 2m_Y^2 \right. \right. \\
& + m_Y \sqrt{s} + 2s) - m_N^4 (4 + m_K^2 - 4m_Y^2 + 4s + 3t) \\
& + s [-2m_Y^4 - 12m_Y^3 \sqrt{s} + 10s^2 \\
& + m_K^2 (3m_Y^2 + 8m_Y \sqrt{s} - 10s - 3t) + m_Y^2 t + 2st + t^2 \\
& + 4m_Y \sqrt{s} (-4s + t)] + m_N^2 [-m_Y^2 (4 + m_K^2 + 4s - t) \\
& \left. + (4 + 3s - t)t + m_K^2 (s + t)] \right\} + 2 \left[m_K^4 s (m_N^2 - 4m_N \sqrt{s} + 7s) \right.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +t\left[2m_N^6 + 6m_N^3m_Ys + 2m_N(-2m_Y^2 + m_Y\sqrt{s} - 2s)s^{3/2}\right. \\
& + m_N^4(-2 + 2m_Y^2 - s - 2t) + s^2(5m_Y^2 + 7s + 2t) \\
& + m_N^2(-2m_Y^2 + 4m_Ys^{3/2} - s^2 + 2t + st)\left. + m_K^2\left\{-2m_N^6\right.\right. \\
& - 6m_N^3m_Ys + m_N^4(2 - 2m_Y^2 + s + 2t) - s^2(5m_Y^2 + 7s + 9t) \\
& + m_N^2(2m_Y^2 - 4m_Ys^{3/2} + s^2 - 2t - 2st) + 2m_Ns^{3/2}\left[2m_Y^2 - m_Y\sqrt{s}\right. \\
& + 2(s + t)\left.\left.\right]\right\}k^2 + \left(-2m_K^4s + k^2(m_K^2 + 4m_N^2 - t)(m_N^2 + m_Y^2 - t)\right. \\
& - t\left[-3m_N^4 - m_N^2(3m_Y^2 + s - 3t) + s(m_Y^2 + 4m_Y\sqrt{s} + 2s + t)\right] \\
& + m_K^2\left[-3m_N^4 - m_N^2(3m_Y^2 + s - 3t) + s(m_Y^2 + 4m_Y\sqrt{s}\right. \\
& + 2s + 3t)\left.\left.\right]k^4 - (m_K^2 - t)(m_N^2 + m_Y^2 - t)k^6\right\} \\
& + \frac{1}{4s^2(m_K^2 - t)}g_{\gamma N^*N}^{(2)}\left\{-k^2\left(-21m_N^9s^2 + 2m_N^6(5m_Y^2 + 4s)\right.\right. \\
& + 2m_K^4(2m_N^4 + 3m_N^3\sqrt{s} + 6m_N^2s + 25m_Ns^{3/2} + 8s^2) \\
& + 21m_N^7s^2(4s + t) + m_N^4\left[-36m_Ys^{3/2} + 4m_Y^2(-4s + t)\right. \\
& + 2s(55s + 3t)\left. + 2s^2\left[-10m_Y^4 - 4m_Y^3\sqrt{s} - 4m_Ys^{3/2} + 11s^2\right.\right. \\
& + 19st - 2t^2 + 4m_Y^2(2s + 5t)\left. + 2m_N^2s\left[6m_Y^4 + 4m_Y^3\sqrt{s}\right.\right. \\
& + 3m_Y^2s + 22m_Ys^{3/2} - 2s(37s + 30t)\left. + m_Ns^{3/2}\left[-16m_Y^4\right.\right. \\
& - 16m_Y^3\sqrt{s} + 20s^2 - 21s^{9/2} + 54st - 21s^{7/2}t + 28t^2 \\
& + 4m_Y\sqrt{s}(11s + 4t) + m_Y^2(32s + 38t)\left. - m_K^2\left[10m_N^6 + 2m_N^2(12m_Y^2\right.\right. \\
& + 4m_Y\sqrt{s} - 65s) + 21m_N^7s^2 - 8m_Ys^{5/2} + 38s^3 - 63m_N^5s^3 \\
& + m_N^3\sqrt{s}(14m_Y^2 + 16m_Y\sqrt{s} - 90s + 63s^{7/2} - 2t) + 32s^2t \\
& + 2m_N^4(2m_Y^2 - 5s + 2t) + m_Ns^{3/2}(6m_Y^2 + 70s - 21s^{7/2} + 94t)\left.\left.\right]\right. \\
& + m_N^3\sqrt{s}\left[8m_Y^4 + 16m_Y^3\sqrt{s} - 80m_Ys^{3/2} - 2m_Y^2(8s + t)\right. \\
& + s(-56s + 84s^{7/2} - 58t + 63s^{5/2}t)\left.\left.\right]\right. \\
& + m_N^5\left[36m_Ys - 7(-4s^{3/2} + 18s^4 + 9s^3t)\right]\left.\right\} \\
& + 2m_N(m_N + \sqrt{s})\left(m_K^4(-m_N^4 + m_N^3\sqrt{s} + m_N^2s\right. \\
& + 7m_Ns^{3/2} + 12s^2) + t\left[m_N^2(m_Y^2 + 6m_Y\sqrt{s} - 19s)s\right. \\
& - m_N^4(m_Y^2 + s) + m_N^3\sqrt{s}(m_Y^2 + s) \\
& + m_Ns^{3/2}(7m_Y^2 - 2m_Y\sqrt{s} + 7s) + 4s^2(-2m_Y^2 - m_Y\sqrt{s} + 3s + 5t)\left.\right] \\
& + m_K^2\left\{4s^2(2m_Y^2 + m_Y\sqrt{s} - 3s - 8t)\right. \\
& - m_N^2s(m_Y^2 + 6m_Y\sqrt{s} - 19s + t) + m_N^4(m_Y^2 + s + t)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -m_N^3\sqrt{s}(m_Y^2 + s + t) - m_N s^{3/2} [7m_Y^2 - 2m_Y\sqrt{s} + 7(s + t)] \Big\} \\
& + \left(-2 \left[m_K^4(m_N^4 + m_N^3\sqrt{s} - 5m_N^2s - 9m_N s^{3/2} + 4s^2) \right. \right. \\
& + t \left[m_N^4(m_Y^2 + 2s) + m_N^3\sqrt{s}(m_Y^2 - 18m_Y\sqrt{s} + 15s) \right. \\
& + s^2(21m_Y^2 + 6m_Y\sqrt{s} + 4s - 17t) + m_N s^{3/2}(5m_Y^2 + 22m_Y\sqrt{s} \\
& - 9s - 14t) - m_N^2s(4m_Y^2 + 12m_Y\sqrt{s} - 12s + t) \Big] \\
& - m_K^2 \left\{ m_N s^{3/2}(5m_Y^2 + 22m_Y\sqrt{s} - 9s - 23t) \right. \\
& + s^2(21m_Y^2 + 6m_Y\sqrt{s} + 4s - 13t) + m_N^4(m_Y^2 + 2s + t) \\
& + m_N^3\sqrt{s}(m_Y^2 - 18m_Y\sqrt{s} + 15s + t) \\
& \left. \left. - 2m_N^2s(2m_Y^2 + 6m_Y\sqrt{s} - 6s + 3t) \right\} \right] \\
& + k^2 \left[63m_N^7s^2 + 10m_K^4(m_N\sqrt{s} + 2s) - 2m_N^4(11m_Y^2 + 10s) \right. \\
& - 63m_N^5s^2(3s + t) - 2m_N^2s(-10m_Y^2 - 24m_Y\sqrt{s} + 12s + t) \\
& + m_K^2 \left[22m_N^4 - 18m_N^2s + 8(-5m_Y^2 + m_Y\sqrt{s} - 5s)s \right. \\
& + 63m_N^5s^2 - 126m_N^3s^3 - m_N\sqrt{s}(18m_Y^2 + 16m_Y\sqrt{s} \\
& + 30s - 63s^{7/2} + 2t) \Big] + 2s \left[10m_Y^4 - 4m_Y^3\sqrt{s} + 7m_Y^2s - 10m_Y s^{3/2} \right. \\
& + s(10s + 21t) \Big] + m_N\sqrt{s} \left[8m_Y^4 + 16m_Y^3\sqrt{s} \right. \\
& + 44m_Y s^{3/2} + 2m_Y^2(8s + t) + s(20s - 63s^{7/2} + 30t \\
& \left. \left. - 63s^{5/2}t) \right] + m_N^3 \left\{ -36m_Ys + 7(-4s^{3/2} + 27s^4 + 18s^3t) \right\} \right] \Big\} k^2 \\
& + \left(k^2 \left[63m_N^5s^2 - 14m_N^2(m_Y^2 + s) + 4s(m_Y^2 + 3m_Y\sqrt{s} + s) \right. \right. \\
& + m_K^2(14m_N^2 - 4s + 63m_N^3s^2 - 63m_N s^3) + 63m_N s^3(s + t) \\
& \left. \left. - 63m_N^3s^2(2s + t) \right] - 2 \left\{ m_K^4(3m_N^2 + m_N\sqrt{s} - 3s) \right. \right. \\
& + t \left[m_N\sqrt{s}(m_Y^2 - 18m_Y\sqrt{s} + s) + m_N^2(3m_Y^2 + 4s) \right. \\
& \left. \left. - s(2m_Y^2 + 6m_Y\sqrt{s} + 3s + t) \right] - m_K^2 \left[m_N\sqrt{s}(m_Y^2 - 18m_Y\sqrt{s} \right. \right. \\
& + s + t) + m_N^2(3m_Y^2 + 4s + 3t) - s(2m_Y^2 + 6m_Y\sqrt{s} + 3s + 4t) \Big] \Big\} \Big\} k^4 \\
& + \left(-2(m_K^2 - m_Y^2 - s)(m_K^2 - t) + k^2 \left\{ -2m_Y^2 + m_K^2(2 + 21m_N s^2) \right. \right. \\
& \left. \left. - s \left[2 - 21m_N^3s \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left. + 21m_N s(s + t) \right] \right\} \right) k^6 \Big\} \\
& + \left(\frac{i}{s^2(m_K^2 - t)} \right) g_{\gamma N^* N}^{(3)} \left\{ \sqrt{s} \left(4(2m_N - \sqrt{s})s \left[-m_N^2(2m_Y^2 + m_Y\sqrt{s} \right. \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left. - 3s) + m_K^2(2m_N^2 + 3s) + s(2m_Y^2 + m_Y\sqrt{s} - 3s - 5t) \right] (m_K^2 - t) \right. \right.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +k^2 \left\{ -5m_N^7 + 5m_N^6 m_Y + 3m_K^4 m_N^2 \sqrt{s} \right. \\
& + m_K^2 \left[-7m_N^5 - 2m_N^3 (m_Y \sqrt{s} - 8s) + 4m_N^4 \sqrt{s} \right. \\
& + 4m_Y s^2 + 10s^{5/2} + m_N (2m_Y s^{3/2} - s^2) \\
& + m_N^2 \sqrt{s} (-3m_Y^2 - 8m_Y \sqrt{s} + 15s - 3t) \left. \right] + m_N^5 (15s + 7t) \\
& - m_N^3 \left[2m_Y^4 + 4m_Y^3 \sqrt{s} - 3s^2 + m_Y^2 (8s - 4t) \right. \\
& + 2m_Y \sqrt{s} (2s - 3t) + 12st + 2t^2 \left. \right] \\
& + m_N^4 \left[5m_Y^3 - 4\sqrt{st} - 5m_Y (2s + t) \right] \\
& + m_N^2 \sqrt{s} \left[4m_Y^4 - 2m_Y^3 \sqrt{s} + 5m_Y \sqrt{s} (s + 2t) \right. \\
& + t(s + 4t) - m_Y^2 (8s + 5t) \left. \right] + m_N s \left[4m_Y^4 + 16m_Y^3 \sqrt{s} + s^2 \right. \\
& - 19st + 4t^2 - 8m_Y^2 (s + t) - 2m_Y \sqrt{s} (4s + 9t) \left. \right] + s^{3/2} \left[-2m_Y^4 \right. \\
& - 15m_Y^3 \sqrt{s} + 4m_Y^2 (4s + t) + m_Y \sqrt{s} (12s + 11t) \\
& \left. - 2(5s^2 + 9st + t^2) \right] \left. \right\} - \left(k^2 \left\{ 20m_N^6 + 10m_N^5 \sqrt{s} \right. \right. \\
& + 2m_K^4 s - m_N^3 \sqrt{s} (20s + 11t) + m_N^4 \left[20m_Y^2 + 7m_Y \sqrt{s} \right. \\
& - 40(s + t) \left. \right] + m_N \sqrt{s} \left[-2m_Y^4 - 4m_Y^3 \sqrt{s} + m_Y^2 (-16s + t) \right. \\
& + t(12s + t) + 2m_Y \sqrt{s} (-4s + 3t) \left. \right] + m_K^2 \left[20m_N^4 \right. \\
& + 11m_N^3 \sqrt{s} + m_N \sqrt{s} (3m_Y^2 - 2m_Y \sqrt{s} - 3t) \\
& + 20m_N^2 (m_Y^2 - s - t) + 4s(-6m_Y^2 - 2m_Y \sqrt{s} + 2s + 5t) \left. \right] \\
& + m_N^2 \left[7m_Y^3 \sqrt{s} - 20m_Y^2 (2s + t) - m_Y \sqrt{s} (17s + 7t) \right. \\
& + 20(s^2 + 3st + t^2) \left. \right] + s \left[2m_Y^4 - 5m_Y^3 \sqrt{s} + 20m_Y^2 (s + t) \right. \\
& \left. + m_Y \sqrt{s} (16s + 13t) - 10(s^2 + 2st + 2t^2) \right] \left. \right\} \\
& + \sqrt{s} \left\{ m_K^4 (2m_N^3 - m_N^2 \sqrt{s} + 20m_N s - 14s^{3/2}) \right. \\
& + m_K^2 \left[-2m_N^5 + 4m_N^4 \sqrt{s} + m_N^3 (-4m_Y^2 \right. \\
& - 6m_Y \sqrt{s} + 2s) - m_N^2 \sqrt{s} (-5m_Y^2 + s + 3t) + 2s^{3/2} (6m_Y^2 + 4m_Y \sqrt{s} \\
& + 7s + 8t) - 2m_N s (8m_Y^2 - 3m_Y \sqrt{s} + 10s + 12t) \left. \right] \\
& + t \left[2m_N^5 - 4m_N^4 \sqrt{s} - 2s^{3/2} (6m_Y^2 + 4m_Y \sqrt{s} + 7s + t) \right. \\
& + m_N^2 \sqrt{s} (-5m_Y^2 + s + 4t) + m_N^3 \left[4m_Y^2 + 6m_Y \sqrt{s} - 2(s + t) \right] \\
& \left. + 2m_N s \left[8m_Y^2 - 3m_Y \sqrt{s} + 2(5s + t) \right] \right] \left. \right\} k^2 \\
& + \left(-k^2 \left[20m_N^4 + 5m_N^3 \sqrt{s} + m_K^2 \left[20m_N^2 + 5m_N \sqrt{s} \right. \right. \right. \\
& \left. \left. + 4(5m_Y^2 + 3m_Y \sqrt{s} - 5t) \right] - 5m_N \sqrt{s} (s + t) + 4m_N^2 \left[5m_Y^2 + 6m_Y \sqrt{s} \right. \right. \right.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -5(s+2t)] + 4[3m_Y^3\sqrt{s} - 5m_Y^2(s+t) + 5t(s+t) \\
& -3m_Y\sqrt{s}(s+2t)] + \sqrt{s}[2m_K^4m_N + t[-m_N^3 - 4m_Ys \\
& + m_N(m_Y^2 + 6m_Y\sqrt{s} + 2s + t)] \\
& + m_K^2[m_N^3 + 4m_Ys - m_N(m_Y^2 + 6m_Y\sqrt{s} + 2s + 3t)]]k^4 \Big\} \\
& + \frac{1}{s^2(m_K^2 - t)} g_{\gamma N^* N}^{(4)} \Big\{ \sqrt{s} \left(2\sqrt{s} \left\{ 2m_K^4(4m_N^3\sqrt{s} + 2m_N^2s + 6m_Ns^{3/2} \right. \right. \right. \\
& + 3s^2) + t[m_N^6 + 4m_N^3(2m_Y^2\sqrt{s} + m_Ys - 3s^{3/2}) \\
& + m_N^4(m_Y^2 - s - t) + m_N^2s(3m_Y^2 + 2m_Y\sqrt{s} - 6s + t) \\
& + 4m_Ns^{3/2}(-2m_Y^2 - m_Y\sqrt{s} + 3s + 5t) \\
& + 2s^2(-2m_Y^2 - m_Y\sqrt{s} + 3s + 5t)] \\
& - m_K^2[m_N^6 + m_N^4(m_Y^2 - s - t) + 4m_N^3\sqrt{s}(2m_Y^2 + m_Y\sqrt{s} - 3s + 2t) \\
& + m_N^2s(3m_Y^2 + 2m_Y\sqrt{s} - 6s + 5t) \\
& + 4m_Ns^{3/2}(-2m_Y^2 - m_Y\sqrt{s} + 3s + 8t) + 2s^2(-2m_Y^2 - m_Y\sqrt{s} \\
& + 3s + 8t)] \Big\} + k^2 \Big\{ 2m_N^6\sqrt{s} - 2m_K^4(m_N^3 + 2m_N^2\sqrt{s} \\
& + 5m_Ns + 4s^{3/2}) + m_N^2(-4m_Y^4\sqrt{s} - 8m_Y^3s + 6m_Y^2s^{3/2} + 4m_Ys^2) \\
& + 3m_N^5t - 2m_N^4\sqrt{s}(-m_Y^2 + s + t) \\
& + 2s^{3/2}[5m_Y^4 + 2m_Y^3\sqrt{s} + s^2 + st + t^2 \\
& - 2m_Y^2(4s + 5t)] + m_N^3[-6m_Y^4 - 12m_Y^3\sqrt{s} + 4m_Ys^{3/2} + 6s^2 \\
& + st - 3t^2 + m_Y^2(8s + 7t)] + m_K^2[-3m_N^5 + 2m_N^2(4m_Y^2\sqrt{s} \\
& + 4m_Ys - 7s^{3/2}) + m_N^3(5m_Y^2 + 12m_Y\sqrt{s} - 21s - t) \\
& + 2s^{3/2}(-2m_Y\sqrt{s} + 3s + 8t) + m_Ns(m_Y^2 + 6s + 19t)] \\
& + m_Ns[12m_Y^4 + 16m_Y^3\sqrt{s} + 4s^2 - 2st + 3t^2 \\
& - 8m_Y\sqrt{s}(s+2t) - m_Y^2(24s + 25t)] \Big\} \Big) \\
& + \sqrt{s} \left(-2m_K^4(2m_N^3 + 9m_Ns + 7s^{3/2}) \right. \\
& + m_K^2[3m_N^5 - 2m_N^4\sqrt{s} - 2m_N^2\sqrt{s}(m_Y^2 + s - t) \\
& + m_N^3(7m_Y^2 + s + t) + 2s^{3/2}(6m_Y^2 - 2m_Y\sqrt{s} + 7s + 8t) \\
& + m_Ns(15m_Y^2 + 4m_Y\sqrt{s} + 18s + 21t)] + t \Big\{ -3m_N^5 + 2m_N^4\sqrt{s} \\
& - m_N^3(7m_Y^2 + s - 3t) + 2m_N^2\sqrt{s}(m_Y^2 + s - t) \\
& - 2s^{3/2}(6m_Y^2 - 2m_Y\sqrt{s} + 7s + t) \\
& \left. - m_Ns[15m_Y^2 + 4m_Y\sqrt{s} + 3(6s + t)] \Big\} \right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +k^2 \left\{ 5m_K^4(m_N + 2\sqrt{s}) + 2m_N^4\sqrt{s} - 2\sqrt{s}(-5m_Y^4 + 2m_Y^3\sqrt{s} \right. \\
& - 8m_Y^2s + s^2) - m_K^2 \left[3m_N^3 + 20m_Y^2\sqrt{s} - 4m_Ys + 8s^{3/2} \right. \\
& + m_N(14m_Y^2 + 3s - 4t) \left. \right] + 2m_N^2\sqrt{s}(m_Y^2 - t) + 3m_N^3t \\
& + m_N \left[6m_Y^4 + 12m_Y^3\sqrt{s} - 2s^2 + 4m_Y\sqrt{s}(2s - 3t) - st - 3t^2 \right. \\
& \left. \left. + 2m_Y^2(8s + t) \right] \right\} k^2 + \left[m_N\sqrt{s}(m_K^2 + 3m_N^2 + 2m_Y^2 - 12m_Y\sqrt{s} \right. \\
& - s - 3t) + k^2(m_N^2 + m_Y^2 - t) \left. \right] (m_K^2 - t)k^4 - \\
& \left. (m_K^2 - t)(m_N^2 + m_Y^2 - t)k^6 \right\}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_3^{N^*(\frac{5}{2}\pm)} &= N^{N^*(\frac{5}{2}\pm)} \left[\frac{i}{s^2} g_{\gamma N^* N}^{(1)} \left\{ s \left(4m_N^4(2m_Y^2\sqrt{s} + m_Ys - 3s^{3/2}) \right. \right. \right. \\
& - m_K^4(m_N^3 + 3m_N^2\sqrt{s} + 3m_Ns + 3s^{3/2}) \\
& - m_N^3(m_Y^4 + 6m_Y^3\sqrt{s} + 12m_Y^2s - 6m_Ys^{3/2} - 13s^2) \\
& + 2m_K^2 \left[-4m_N^4\sqrt{s} + m_N^3(m_Y^2 + 3m_Y\sqrt{s} + 4s) \right. \\
& + m_N^2\sqrt{s}(m_Y^2 - 2m_Y\sqrt{s} - 9s + 2t) + m_Ns(m_Y^2 + 3m_Y\sqrt{s} \\
& + 8s + 2t) + s^{3/2}(-3m_Y^2 - 4m_Y\sqrt{s} + s + 6t) \left. \right] \\
& + s^{3/2} \left[-m_Y^4 - 6m_Y^3\sqrt{s} + s^2 - 4m_Y^2(s - 2t) - 2st - 10t^2 \right. \\
& + 2m_Y\sqrt{s}(5s + 7t) \left. \right] + m_Ns \left[m_Y^4 + 6m_Y^3\sqrt{s} \right. \\
& + 4m_Y^2(3s - t) - 6m_Y\sqrt{s}(s + 2t) - s(13s + 24t) \left. \right] \\
& + m_N^2\sqrt{s} \left[m_Y^4 + 6m_Y^3\sqrt{s} - 4m_Y^2(s + t) \right. \\
& \left. \left. - 2m_Y\sqrt{s}(7s + t) + s(11s + 26t) \right] \right\} + \left\{ -6m_N^7 - 6m_N^6\sqrt{s} \right. \\
& + m_Ns \left[m_K^4 + m_Y^4 + 6m_Y^3\sqrt{s} + 16m_Y^2s + 6m_Ys^{3/2} + 11s^2 \right. \\
& - 2m_K^2(m_Y^2 + 3m_Y\sqrt{s} + 6s) \left. \right] - 6m_N^3s(-m_Y^2 + 2m_Y\sqrt{s} + t) \\
& + 6m_N^5(-m_Y^2 + s + t) + 6m_N^4\sqrt{s}(-m_Y^2 + s + t) \\
& - 2m_N^2s^{3/2}(-6m_K^2 + 3m_Y^2 + 3m_Y\sqrt{s} + s + 3t) \\
& - s^{3/2} \left[-3m_K^4 + m_Y^4 + 10m_Y^3\sqrt{s} - 4m_Y^2(2s + t) \right. \\
& + 2m_K^2(m_Y^2 - 4m_Y\sqrt{s} - s + 2t) + s(5s + 6t) \\
& + 2m_Y(-6 + 6s^{3/2} - \sqrt{st}) \left. \right\} k^2 + \left[-6m_N^5 - 6m_N^4\sqrt{s} \right. \\
& + 2s^{3/2}(-2m_K^2 + 2m_Y^2 + m_Y\sqrt{s} + 2s) - 6m_N^3(m_Y^2 - t) \\
& \left. + 6m_N^2\sqrt{s}(-m_Y^2 + t) \right] k^4 \left. \right\}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{1}{2s^{3/2}} g_{\gamma N^* N}^{(2)} \left\{ -m_N^3 m_Y^4 \sqrt{s} - 8m_N^4 m_Y^2 s + 2m_N^3 m_Y^3 s \right. \\
& - m_N^2 m_Y^4 s - 4m_N^4 m_Y s^{3/2} + 4m_N^3 m_Y^2 s^{3/2} + 2m_N^2 m_Y^3 s^{3/2} \\
& + m_N m_Y^4 s^{3/2} + 12m_N^4 s^2 - 10m_N^3 m_Y s^2 + 20m_N^2 m_Y^2 s^2 \\
& - 2m_N m_Y^3 s^2 + m_Y^4 s^2 + 5m_N^3 s^{5/2} - 2m_N^2 m_Y s^{5/2} \\
& - 4m_N m_Y^2 s^{5/2} - 2m_Y^3 s^{5/2} - 19m_N^2 s^3 + 10m_N m_Y s^3 \\
& - 12m_Y^2 s^3 - 5m_N s^{7/2} + 6m_Y s^{7/2} + 7s^4 \\
& + m_K^4 (-m_N^3 \sqrt{s} + 3m_N^2 s - 3m_N s^{3/2} + 3s^2) \\
& + 4m_N^2 m_Y^2 s t + 2m_N^2 m_Y s^{3/2} t - 4m_N m_Y^2 s^{3/2} t - 26m_N^2 s^2 t \\
& + 8m_N m_Y s^2 t - 8m_Y^2 s^2 t - 4m_N s^{5/2} t + 6m_Y s^{5/2} t \\
& + 22s^3 t + 10s^2 t^2 + 2m_K^2 [m_N^3 (m_Y^2 - m_Y \sqrt{s} - 2s) \sqrt{s} \\
& + 4m_N^4 s - m_N^2 s (m_Y^2 + 2m_Y \sqrt{s} - 3s + 2t) \\
& + m_N s^{3/2} (m_Y^2 - 3m_Y \sqrt{s} + 4s + 2t) - s^2 (-3m_Y^2 + 2m_Y \sqrt{s} \\
& + 5s + 6t)] - (-m_N (m_Y - \sqrt{s})^2 \sqrt{s} (3m_Y^2 + 5s) \\
& + m_K^4 (2m_N^2 - 3m_N \sqrt{s} + 5s) \\
& + 2m_N^2 (m_Y^4 + 2m_Y^3 \sqrt{s} - 2m_Y^2 s - m_Y s^{3/2} - 10s^2) \\
& - 2m_K^2 [2m_N^2 (m_Y^2 + m_Y \sqrt{s} - 2s) \\
& + m_N (-3m_Y^2 \sqrt{s} + 3m_Y s - 4s^{3/2}) + s (-m_Y^2 + 4m_Y \sqrt{s} + 9s + 6t)] \\
& + s [-7m_Y^4 + 2m_Y^3 \sqrt{s} + 12m_Y^2 t + 6m_Y \sqrt{s} (2s + t) + s (13s + 22t)] \Big) k^2 \\
& + 2 \left(3m_K^4 + 2m_N^4 + m_Y^4 + 2m_Y^3 \sqrt{s} + 6m_Y^2 s + 3m_Y s^{3/2} \right. \\
& + 5s^2 + 4st + 2t^2 - 4m_N^2 (s + t) + m_K^2 [4m_N^2 \\
& \left. - 2(m_Y^2 + m_Y \sqrt{s} + 4s + 2t)] \right) k^4 \Big\} \\
& + \left(\frac{-i}{2s^{3/2}} \right) g_{\gamma N^* N}^{(3)} \left\{ -3m_N^6 - 3m_N^4 m_Y^2 + 2m_N^4 m_Y^4 + 4m_N^4 m_Y^3 \sqrt{s} \right. \\
& - 2m_N^3 m_Y^4 \sqrt{s} + 3m_N^4 s + 3m_N^2 m_Y^2 s + 24m_N^4 m_Y^2 s \\
& - 20m_N^3 m_Y^3 s + 12m_N^4 m_Y s^{3/2} - 40m_N^3 m_Y^2 s^{3/2} + 8m_N^2 m_Y^3 s^{3/2} \\
& + 2m_N m_Y^4 s^{3/2} - 42m_N^4 s^2 + 28m_N^3 m_Y s^2 - 16m_N^2 m_Y^2 s^2 \\
& + 20m_N m_Y^3 s^2 - 2m_Y^4 s^2 + 34m_N^3 s^{5/2} - 32m_N^2 m_Y s^{5/2} \\
& + 40m_N m_Y^2 s^{5/2} - 12m_Y^3 s^{5/2} + 40m_N^2 s^3 - 28m_N m_Y s^3 - 8m_Y^2 s^3 \\
& - 34m_N s^{7/2} + 20m_Y s^{7/2} + 2s^4 + 2m_K^4 (m_N^4 - m_N^3 \sqrt{s} \\
& \left. - 3m_N s^{3/2} - 3s^2) + 6m_N^4 t + 3m_N^2 m_Y^2 t - 3m_N^2 s t - 8m_N m_Y^2 s^{3/2} t \right\}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +80m_N^2s^2t - 44m_Nm_Ys^2t + 16m_Y^2s^2t - 68m_Ns^{5/2}t \\
& +28m_Ys^{5/2}t - 4s^3t - 3m_N^2t^2 - 20s^2t^2 \\
& +m_K^2\left\{4m_N^3\sqrt{s}(m_Y^2 + 5m_Y\sqrt{s} + 7s) \right. \\
& -m_N^4(3 + 4m_Y^2 + 4m_Y\sqrt{s} + 20s) \\
& -m_N^2(3m_Y^2 + 8m_Ys^{3/2} + 60s^2 - 3t) \\
& +4s^2(-3m_Y^2 - 4m_Y\sqrt{s} + s + 6t) \\
& \left. +4m_Ns^{3/2}[m_Y^2 + 6m_Y\sqrt{s} + 2(5s + t)]\right\} \\
& -\left(-3m_N^6 + 2m_K^4(m_N^2 - 3s) + 54m_N^3s^{3/2} \right. \\
& +m_N^4(-3m_Y^2 + 3s + 6t) + m_K^2[-3m_N^4 + 4m_N(6m_Ys + 7s^{3/2}) \\
& -m_N^2(7m_Y^2 + 4m_Y\sqrt{s} + 36s - 3t) \\
& +4s(m_Y^2 - 4m_Y\sqrt{s} - s + 2t)] \\
& +m_N^2[2m_Y^4 + 4m_Y^3\sqrt{s} + 20m_Ys^{3/2} + 14s^2 - 3st - 3t^2 \\
& +m_Y^2(43s + 3t)] + 2s[m_Y^4 + 10m_Y^3\sqrt{s} + 2m_Y\sqrt{s}(6s - t) \\
& -4m_Y^2(2s + t) + s(5s + 6t)] - 2m_Ns[12m_Y^3 - 7m_Y^2\sqrt{s} \\
& +14m_Ys + \sqrt{s}(14s + 27t)]\left.)k^2 \right\} \\
& +4s(-2m_K^2 + 2m_Y^2 + m_Y\sqrt{s} + 2s)k^4\left\{ \right. \\
& +\frac{1}{2s^{3/2}}g_{\gamma N^*N}^{(4)}\left\{-m_N^4m_Y^2 - 2m_N^4m_Y^4 + 15m_N^4\sqrt{s} - 4m_N^4m_Y^3\sqrt{s} \right. \\
& -2m_N^3m_Y^4\sqrt{s} - m_N^4s + 15m_N^2m_Y^2s - 24m_N^4m_Y^2s \\
& +12m_N^3m_Y^3s - 30m_N^2s^{3/2} - 12m_N^4m_Ys^{3/2} + 24m_N^3m_Y^2s^{3/2} \\
& +8m_N^2m_Y^3s^{3/2} + 2m_Nm_Y^4s^{3/2} + 15m_N^2s^2 + 36m_N^4s^2 \\
& -36m_N^3m_Ys^2 + 48m_N^2m_Y^2s^2 - 12m_Nm_Y^3s^2 + 2m_Y^4s^2 + 15s^{5/2} \\
& +2m_N^3s^{5/2} - 24m_Nm_Y^2s^{5/2} - 4m_Y^3s^{5/2} - 44m_N^2s^3 \\
& +36m_Nm_Ys^3 - 24m_Y^2s^3 - 2m_Ns^{7/2} + 12m_Ys^{7/2} + 8s^4 \\
& \left. -m_K^4(2m_N^4 - 15\sqrt{s} + 2m_N^3\sqrt{s} + 6m_Ns^{3/2}) \right. \\
& -30m_N^2\sqrt{s}t + 30s^{3/2}t - 8m_Nm_Y^2s^{3/2}t - 68m_N^2s^2t \\
& +36m_Nm_Ys^2t - 16m_Y^2s^2t + 12m_Ns^{5/2}t + 12m_Ys^{5/2}t \\
& +32s^3t + 15\sqrt{s}t^2 + 14s^2t^2 \\
& \left. +m_K^2\left\{4m_N^3(m_Y^2 - 3m_Y\sqrt{s} - 5s)\sqrt{s} \right. \right. \\
& +m_N^4(1 + 4m_Y^2 + 4m_Y\sqrt{s} + 20s) \\
& \left. \left. +m_N^2(30\sqrt{s} - 15s - 8m_Ys^{3/2} + 24s^2) \right\} \right\}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -2\sqrt{s}[15s + 4m_Y s^2 + 4s^{5/2} - 6s^{3/2}(m_Y^2 - t) + 15t] \\
& + 4m_N s^{3/2} [m_Y^2 - 6m_Y \sqrt{s} + 2(s + t)] \Big\} \\
& + \left\{ m_N^4 (m_Y^2 + s) - 2m_K^4 (m_N^2 - 4m_N \sqrt{s} + 5s) \right. \\
& + m_N^2 (m_Y^2 - 2m_Y^4 - 4m_Y^3 \sqrt{s} + s + 9m_Y^2 s + 12m_Y s^{3/2} + 35s^2) \\
& + 4m_N (2m_Y^4 \sqrt{s} - 6m_Y^3 s + 2m_Y^2 s^{3/2} - 9m_Y s^2 + s^{5/2}) \\
& - m_K^2 [m_N^4 + m_N^2 (1 - 4m_Y^2 - 4m_Y \sqrt{s} + 13s) \\
& + 4m_N (4m_Y^2 \sqrt{s} - 6m_Y s + 3s^{3/2}) + 4s(m_Y^2 - 4m_Y \sqrt{s} - 9s - 6t)] \\
& \left. - 2s [-7m_Y^4 + 2m_Y^3 \sqrt{s} + 12m_Y^2 t + 6m_Y \sqrt{s}(2s + t) + s(13s + 22t)] \right\} k^2 \\
& + \left[4m_K^4 - m_N^2 (m_Y^2 + s) + 4(m_Y^4 + 2m_Y^3 \sqrt{s} + 6m_Y^2 s + 3m_Y s^{3/2} + 3s^2) \right. \\
& \left. + m_K^2 [m_N^2 - 8(m_Y^2 + m_Y \sqrt{s} + 2s)] \right] k^4 \Big\}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_4^{N^*(\frac{5}{2}\pm)} &= N^{N^*(\frac{5}{2}\pm)} \left[\frac{-i}{s^2} g_{\gamma N^* N}^{(1)} \left\{ s \left(m_N^3 (m_Y - \sqrt{s})^2 (m_Y^2 + 8m_Y \sqrt{s} + 7s) \right. \right. \right. \\
& + m_K^4 (m_N^3 + 3m_N^2 \sqrt{s} + 3m_N s + 3s^{3/2}) \\
& - 2m_K^2 [m_N^3 (m_Y^2 + 3m_Y \sqrt{s} - 6s) + m_N s (m_Y^2 + 3m_Y \sqrt{s} - 2s + 2t) \\
& + m_N^2 \sqrt{s} (m_Y^2 - 2m_Y \sqrt{s} + 3s + 2t) + s^{3/2} (-3m_Y^2 - 4m_Y \sqrt{s} \\
& + 5s + 6t)] - m_N^2 (m_Y - \sqrt{s}) \sqrt{s} [m_Y^3 + 7m_Y^2 \sqrt{s} \\
& - m_Y (s + 4t) - \sqrt{s} (7s + 6t)] \\
& \left. + s^{3/2} [m_Y^4 + 6m_Y^3 \sqrt{s} + 7s^2 + 22st + 10t^2 - 8m_Y^2 (s + t) \right. \\
& \left. - 2m_Y \sqrt{s} (3s + 7t)] - m_N (m_Y - \sqrt{s}) s [m_Y^3 + 7m_Y^2 \sqrt{s} - m_Y (s + 4t) \right. \\
& \left. - \sqrt{s} (7s + 16t)] \right\} - \left\{ 6m_N^7 + 6m_N^6 \sqrt{s} \right. \\
& + m_N s [m_K^4 + m_Y^4 - 2m_K^2 (m_Y^2 + 3m_Y \sqrt{s} - 4s) + 6m_Y^3 \sqrt{s} \\
& - 4m_Y^2 s + 6m_Y s^{3/2} - 9s^2] - 2m_N^2 s^{3/2} (2m_K^2 + m_Y^2 \\
& - m_Y \sqrt{s} + 3s - 3t) + 6m_N^5 (m_Y^2 - s - t) + 6m_N^3 s (-m_Y^2 + 2m_Y \sqrt{s} + t) \\
& - 6m_N^4 \sqrt{s} (-m_Y^2 + s + t) + s^{3/2} [3m_K^4 - m_Y^4 - 10m_Y^3 \sqrt{s} \\
& + 4m_Y^2 (s + t) - 2m_K^2 (m_Y^2 - 4m_Y \sqrt{s} + 7s + 2t) + s(11s + 14t) \\
& \left. - 2m_Y (6 + 2s^{3/2} - \sqrt{st}) \right\} k^2 + [-6m_N^5 - 6m_N^4 \sqrt{s} \\
& + 2s^{3/2} (-2m_K^2 + 2m_Y^2 + m_Y \sqrt{s} + 2s) - 6m_N^3 (m_Y^2 - t) \\
& \left. + 6m_N^2 \sqrt{s} (-m_Y^2 + t)] k^4 \right\}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{1}{2s^{3/2}} g_{\gamma N^* N}^{(2)} \left\{ -m_N^3 m_Y^4 \sqrt{s} + 2m_N^3 m_Y^3 s - m_N^2 m_Y^4 s \right. \\
& + 2m_N^2 m_Y^3 s^{3/2} + m_N m_Y^4 s^{3/2} - 2m_N^3 m_Y s^2 - 2m_N m_Y^3 s^2 + m_Y^4 s^2 \\
& + m_N^3 s^{5/2} - 2m_N^2 m_Y s^{5/2} - 2m_Y^3 s^{5/2} + m_N^2 s^3 + 2m_N m_Y s^3 \\
& - m_N s^{7/2} + 2m_Y s^{7/2} - s^4 + m_K^4 (-m_N^3 \sqrt{s} + 3m_N^2 s \\
& - 3m_N s^{3/2} + 3s^2) + 4m_N^2 m_Y^2 s t + 2m_N^2 m_Y s^{3/2} t - 4m_N m_Y^2 s^{3/2} t \\
& - 6m_N^2 s^2 t + 8m_N m_Y s^2 t - 8m_Y^2 s^2 t - 4m_N s^{5/2} t \\
& + 6m_Y s^{5/2} t + 2s^3 t + 10s^2 t^2 + 2m_K^2 \left\{ m_N^3 (m_Y^2 \sqrt{s} - m_Y s) \right. \\
& - m_N^2 s (m_Y^2 + 2m_Y \sqrt{s} - 3s + 2t) - s^2 (-3m_Y^2 + 2m_Y \sqrt{s} + s + 6t) \\
& \left. + m_N s^{3/2} [m_Y^2 - 3m_Y \sqrt{s} + 2(s + t)] \right\} \\
& + \left\{ m_K^4 (-2m_N^2 + 3m_N \sqrt{s} - 5s) + m_N (m_Y - \sqrt{s})^2 \sqrt{s} (3m_Y^2 + s) \right. \\
& - 2m_N^2 m_Y (m_Y^3 + 2m_Y^2 \sqrt{s} - 2m_Y s - s^{3/2}) \\
& + s [7m_Y^4 - 2m_Y^3 \sqrt{s} + s(3s - 2t) - 4m_Y^2 (s + 3t) - 2m_Y \sqrt{s} (2s + 3t)] \\
& + 2m_K^2 [2m_N^2 (m_Y^2 + m_Y \sqrt{s} - 2s) + m_N (-3m_Y^2 \sqrt{s} + 3m_Y s - 2s^{3/2}) \\
& + s(-m_Y^2 + 4m_Y \sqrt{s} + s + 6t)] \left. \right\} k^2 + 2 \left(3m_K^4 + 2m_N^4 + m_Y^4 + 2m_Y^3 \sqrt{s} \right. \\
& + 2m_Y^2 s + m_Y s^{3/2} + s^2 + 4st + 2t^2 - 4m_N^2 (s + t) \\
& \left. + m_K^2 \left\{ 4m_N^2 - 2[m_Y^2 + m_Y \sqrt{s} + 2(s + t)] \right\} \right) k^4 \left. \right\} \\
& + \left(\frac{i}{2s^{3/2}} \right) g_{\gamma N^* N}^{(3)} \left\{ 3m_N^6 + 3m_N^4 m_Y^2 - 2m_N^4 m_Y^4 - 4m_N^4 m_Y^3 \sqrt{s} \right. \\
& + 2m_N^3 m_Y^4 \sqrt{s} - 3m_N^4 s - 3m_N^2 m_Y^2 s + 8m_N^4 m_Y^2 s \\
& + 20m_N^3 m_Y^3 s + 4m_N^4 m_Y s^{3/2} - 24m_N^3 m_Y^2 s^{3/2} - 8m_N^2 m_Y^3 s^{3/2} \\
& - 2m_N m_Y^4 s^{3/2} - 6m_N^4 s^2 - 20m_N^3 m_Y s^2 + 8m_N^2 m_Y^2 s^2 \\
& - 20m_N m_Y^3 s^2 + 2m_Y^4 s^2 + 22m_N^3 s^{5/2} + 8m_N^2 m_Y s^{5/2} \\
& + 24m_N m_Y^2 s^{5/2} + 12m_Y^3 s^{5/2} - 8m_N^2 s^3 + 20m_N m_Y s^3 \\
& - 16m_Y^2 s^3 - 22m_N s^{7/2} - 12m_Y s^{7/2} + 14s^4 \\
& + m_K^4 (-2m_N^4 + 2m_N^3 \sqrt{s} + 6m_N s^{3/2} + 6s^2) \\
& - 6m_N^4 t - 3m_N^2 m_Y^2 t + 3m_N^2 s t + 8m_N m_Y^2 s^{3/2} t + 44m_N m_Y s^2 t \\
& - 16m_Y^2 s^2 t - 52m_N s^{5/2} t - 28m_Y s^{5/2} t + 44s^3 t + 3m_N^2 t^2 \\
& + 20s^2 t^2 + m_K^2 \left\{ m_N^4 (3 + 4m_Y^2 + 4m_Y \sqrt{s} - 12s) \right. \\
& - 4m_N^3 (m_Y^2 + 5m_Y \sqrt{s} - 9s) \sqrt{s} + 4s^2 (3m_Y^2 + 4m_Y \sqrt{s} - 5s - 6t) \\
& \left. - 4m_N s^{3/2} (m_Y^2 + 6m_Y \sqrt{s} - 4s + 2t) + m_N^2 [3m_Y^2 \right.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +8m_Y s^{3/2} - 3(4s^2 + t)] \Big\} + \left(-3m_N^6 \right. \\
& +2m_K^4(m_N^2 - 3s) + 54m_N^3 s^{3/2} + 2m_N s \left[-12m_Y^3 + 35m_Y^2 \sqrt{s} - 10m_Y s \right. \\
& +\sqrt{s}(14s - 27t) \Big] + m_N^4(-3m_Y^2 + 3s + 6t) \\
& +m_N^2 \left[2m_Y^4 + 4m_Y^3 \sqrt{s} - 4m_Y s^{3/2} + 6s^2 \right. \\
& -3st - 3t^2 + m_Y^2(-5s + 3t) \Big] + m_K^2 \left[-3m_N^4 + 4m_N(6m_Y s - 7s^{3/2}) \right. \\
& +4s(m_Y^2 - 4m_Y \sqrt{s} + 7s + 2t) + m_N^2(-7m_Y^2 - 4m_Y \sqrt{s} + 12s + 3t) \Big] \\
& +2s \left[m_Y^4 + 10m_Y^3 \sqrt{s} + 2m_Y \sqrt{s}(2s - t) - 4m_Y^2(s + t) - s(11s + 14t) \right] \Big) k^2 \\
& +4s(-2m_K^2 + 2m_Y^2 + m_Y \sqrt{s} + 2s) k^4 \Big\} \\
& +\frac{1}{2s^{3/2}} g_{\gamma N^* N}^{(4)} \left\{ m_N^4 m_Y^2 - 2m_N^4 m_Y^4 + 15m_N^4 \sqrt{s} - 4m_N^4 m_Y^3 \sqrt{s} \right. \\
& -2m_N^3 m_Y^4 \sqrt{s} + m_N^4 s - 15m_N^2 m_Y^2 s + 8m_N^4 m_Y^2 s \\
& +12m_N^3 m_Y^3 s - 30m_N^2 s^{3/2} + 4m_N^4 m_Y s^{3/2} - 8m_N^3 m_Y^2 s^{3/2} \\
& +8m_N^2 m_Y^3 s^{3/2} + 2m_N m_Y^4 s^{3/2} - 15m_N^2 s^2 - 12m_N^4 s^2 \\
& -12m_N^3 m_Y s^2 - 8m_N^2 m_Y^2 s^2 - 12m_N m_Y^3 s^2 + 2m_Y^4 s^2 + 15s^{5/2} \\
& +10m_N^3 s^{5/2} - 8m_N^2 m_Y s^{5/2} + 8m_N m_Y^2 s^{5/2} - 4m_Y^3 s^{5/2} \\
& +20m_N^2 s^3 + 12m_N m_Y s^3 - 10m_N s^{7/2} + 4m_Y s^{7/2} - 8s^4 \\
& -m_K^4(2m_N^4 - 15\sqrt{s} + 2m_N^3 \sqrt{s} + 6m_N s^{3/2}) \\
& -30m_N^2 \sqrt{s} t + 30s^{3/2} t - 8m_N m_Y^2 s^{3/2} t + 12m_N^2 s^2 t \\
& +36m_N m_Y s^2 t - 16m_Y^2 s^2 t - 28m_N s^{5/2} t + 12m_Y s^{5/2} t \\
& -8s^3 t + 15\sqrt{s} t^2 + 14s^2 t^2 + m_K^2 \left\{ m_N^4(-1 + 4m_Y^2 + 4m_Y \sqrt{s} - 12s) \right. \\
& +4m_N^3 \sqrt{s}(m_Y^2 - 3m_Y \sqrt{s} + 3s) + m_N^2(30\sqrt{s} + 15s - 8m_Y s^{3/2}) \\
& +2\sqrt{s}[-15s - 4m_Y s^2 + 4s^{5/2} + 6s^{3/2}(m_Y^2 - t) - 15t] \\
& +4m_N s^{3/2}(m_Y^2 - 6m_Y \sqrt{s} + 4s + 2t) \Big\} \\
& -\left\{ m_N^4(m_Y^2 + s) + 2m_K^4(m_N^2 - 4m_N \sqrt{s} + 5s) \right. \\
& +m_N^2 \left[2m_Y^4 + m_Y^2(1 - 23s) + 4m_Y^3 \sqrt{s} + s - 4m_Y s^{3/2} - 9s^2 \right] \\
& -4m_N(2m_Y^4 \sqrt{s} - 6m_Y^3 s + 4m_Y^2 s^{3/2} - 3m_Y s^2 + 3s^{5/2}) \\
& +2s \left[-7m_Y^4 + 2m_Y^3 \sqrt{s} + s(-3s + 2t) + 4m_Y^2(s + 3t) \right. \\
& +2m_Y \sqrt{s}(2s + 3t) \Big] - m_K^2 \left[m_N^4 + m_N^2(1 + 4m_Y^2 + 4m_Y \sqrt{s} - 27s) \right. \\
& \left. \left. -4m_N(4m_Y^2 \sqrt{s} - 6m_Y s + 5s^{3/2}) + 4s(-m_Y^2 + 4m_Y \sqrt{s} + s + 6t) \right] \right\} k^2
\end{aligned}$$

$$+ \left\{ 4m_K^4 - m_K^2 [m_N^2 + 8m_Y(m_Y + \sqrt{s})] + m_N^2(m_Y^2 + s) + 4(m_Y^4 + 2m_Y^3\sqrt{s} + 2m_Y^2s + m_Ys^{3/2} - s^2) \right\} k^4 \Bigg\}$$

$$A_5^{N^*(\frac{5}{2}\pm)} = N^{N^*(\frac{5}{2}\pm)} \left[\frac{-i}{2s^2(m_K^2 - t)} g_{\gamma N^* N}^{(1)} \left\{ -2 \left(-2 \left\{ -2m_N^8 + 6m_N^7 m_Y s + m_K^4 s(m_N^4 + 6m_N^3\sqrt{s} + 6m_N^2s + 5m_Ns^{3/2} + 2s^2) + m_N^6(-2m_Y^2 + 4s + 3t) + m_N^5s(-4m_Y^2\sqrt{s} - 14m_Ys + 6s^{3/2} - 3m_Yt) + m_N^4[m_Y^4s + 6m_Y^3s^{3/2} - 2s^2 - 4m_Ys^{5/2} + s^3 - 5st - t^2 + m_Y^2(4s - 4s^2 + t)] + m_Ns^{5/2}[-4m_Y^3\sqrt{s} + 2s^2 - 10m_Y^2t + 15st + 15t^2 + m_Y\sqrt{s}(2s + 5t)] + s^3[m_Y^4 + 10m_Y^3\sqrt{s} + 5s^2 + 11st + 5t^2 - 4m_Y^2(2s + t) - m_Y\sqrt{s}(8s + 17t)] + m_N^3s^{3/2}[4m_Y^3\sqrt{s} + 6m_Y\sqrt{s}(s + t) + m_Y^2(4s + 6t) - s(8s + 19t)] + m_N^2s[-2m_Y^4s - 16m_Y^3s^{3/2} - 6s^3 + 2st - 7s^2t + t^2 + 3m_Ys^{3/2}(4s + 3t) + m_Y^2(-2s + 12s^2 - t + 8st)] - m_K^2[m_N^6 - m_N^5(3m_Ys + 4s^{3/2}) - m_N^4[s - 6m_Ys^{3/2} + 8s^2 - m_Y^2(1 + 2s) + t] + m_N^3s^{3/2}(6m_Y^2 + 10m_Y\sqrt{s} - 7s + 6t) + s^3(-2m_Y^2 - 7m_Y\sqrt{s} + 7s + 6t) + m_Ns^{5/2}(-10m_Y^2 + m_Y\sqrt{s} + 7s + 20t) + m_N^2s[-7m_Ys^{3/2} + 5s^2 + m_Y^2(-1 + 4s) + t + 8st] \right\} + k^2 \left\{ 2m_N^6 - 6m_N^5 m_Y s + 2m_N^3(-2m_K^2 + 2m_Y^2 + 4m_Y\sqrt{s} - 3s)s^{3/2} + m_N^4[2m_Y^2 - 2t + s(-2 - m_K^2 + t)] + 2m_Ns^2[-2m_Y^3 + m_Y(s + 2t) + \sqrt{s}(-m_K^2 + s + 5t)] + s^2[m_Y^4 + 10m_Y^3\sqrt{s} + 5s^2 + m_K^2(m_Y^2 + 4m_Y\sqrt{s} - 5s - t) + 9st + 2t^2 - m_Y^2(8s + 3t) - 2m_Y\sqrt{s}(4s + 7t)] - m_N^2s(m_Y^4 + 6m_Y^3\sqrt{s} + 7m_K^2s + s^2 - 2t + st + t^2 - 2m_Y^2(-1 + 2s + t) - 2m_Y\sqrt{s}[m_K^2 + 2(s + t)]) \right\} + \left(k^2 [4m_N^6 + 12m_N^3 m_Y s + 4m_Ns^{3/2}(-2m_K^2 + 2m_Y^2 + m_Y\sqrt{s} + 2s) - m_N^4(4 + m_K^2 - 4m_Y^2 + 4s + 3t) + s[-2m_Y^4 - 12m_Y^3\sqrt{s} + 10s^2 + m_K^2(3m_Y^2 + 8m_Y\sqrt{s} - 10s - 3t) + m_Y^2t + 2st + t^2 + 4m_Y\sqrt{s}(-4s + t)] + m_N^2 \left\{ -m_Y^2(4 + m_K^2 + 4s - t) + (4 + 3s - t)t \right. \right.$$

$$\begin{aligned}
& +m_K^2(s+t)\} \Big] - 2\left\{-4m_N^8 - 12m_N^5m_Ys \right. \\
& +m_K^4s(m_N^2 + 12m_N\sqrt{s} + 3s) + m_N^6(4 - 4m_Y^2 + 8s + 6t) \\
& +s^2[-2m_Y^4 - 12m_Y^3\sqrt{s} + 10s^2 + 7m_Y^2t + 5st \\
& -2t^2 - 4m_Y\sqrt{s}(4s+t)] + m_N^3[-8m_Y^2s^{3/2} - 8s^{5/2} + 2m_Ys(4s+3t)] \\
& +2m_Ns^{3/2}[m_Y\sqrt{s}(2s+t) + 2s(2s+3t) + m_Y^2(4s+6t)] \\
& +m_N^4[-4s^2 - 2t(3+t) + 2m_Y^2(2+4s+t) - s(4+11t)] \\
& -m_K^2[2m_N^6 + m_N^3(6m_Ys - 8s^{3/2}) + m_N^4(-2 + 2m_Y^2 - 3s - 2t) \\
& +s^2(3m_Y^2 - 16m_Y\sqrt{s} + 13s + 3t) + 2m_Ns^{3/2}(6m_Y^2 + m_Y\sqrt{s} + 10s \\
& +6t) + m_N^2(-2m_Y^2 + 8m_Ys^{3/2} - 7s^2 + 2t + 2st)] \\
& +m_N^2(2m_Y^4s + 12m_Y^3s^{3/2} - 10s^3 + 4m_Ys^{3/2}(4s-t) + 5s^2t + 2t^2 \\
& +st(4+3t) - 2m_Y^2[2s^2+t+2s(1+t)]) \Big\} k^2 \\
& +\left(8m_N^6 + 8m_N^4m_Y^2 - 2m_K^4s - 8m_N^4s - 8m_N^2m_Y^2s \right. \\
& +k^2(m_K^2 + 4m_N^2 - t)(m_N^2 + m_Y^2 - t) - 13m_N^4t - 5m_N^2m_Y^2t \\
& +9m_N^2st - m_Y^2st - 4m_Ys^{3/2}t - 2s^2t + 5m_N^2t^2 - st^2 \\
& \left. +m_K^2[5m_N^4 + m_N^2(5m_Y^2 - s - 5t) + s(m_Y^2 + 4m_Y\sqrt{s} + 2s + 3t)]\right) k^4 \\
& - (m_K^2 - t)(m_N^2 + m_Y^2 - t)k^4 \Big\} \\
& +\frac{1}{8s^2(m_K^2 - t)} g_{\gamma N^* N}^{(2)} \left\{-\left(k^2[-21m_N^9s^2 + 2m_N^6(5m_Y^2 + 4s) \right. \right. \\
& +2m_K^4(2m_N^4 + 3m_N^3\sqrt{s} + 6m_N^2s + 25m_Ns^{3/2} + 8s^2) \\
& +21m_N^7s^2(4s+t) + m_N^4[-36m_Ys^{3/2} + 4m_Y^2(-4s+t) + 2s(55s+3t)] \\
& +2s^2[-10m_Y^4 - 4m_Y^3\sqrt{s} - 4m_Ys^{3/2} + 11s^2 + 19st - 2t^2 \\
& +4m_Y^2(2s+5t)] + 2m_N^2s[6m_Y^4 + 4m_Y^3\sqrt{s} + 3m_Y^2s + 22m_Ys^{3/2} \\
& -2s(37s+30t)] + m_Ns^{3/2}[-16m_Y^4 - 16m_Y^3\sqrt{s} + 20s^2 - 21s^{9/2} + 54st \\
& -21s^{7/2}t + 28t^2 + 4m_Y\sqrt{s}(11s+4t) + m_Y^2(32s+38t)] \\
& -m_K^2[10m_N^6 + 2m_N^2(12m_Y^2 + 4m_Y\sqrt{s} - 65s)s + 21m_N^7s^2 - 8m_Ys^{5/2} \\
& +38s^3 - 63m_N^5s^3 + m_N^3\sqrt{s}(14m_Y^2 + 16m_Y\sqrt{s} - 90s + 63s^{7/2} - 2t) \\
& +32s^2t + 2m_N^4(2m_Y^2 - 5s + 2t) + m_Ns^{3/2}(6m_Y^2 + 70s - 21s^{7/2} + 94t)] \\
& +m_N^3\sqrt{s}[8m_Y^4 + 16m_Y^3\sqrt{s} - 80m_Ys^{3/2} - 2m_Y^2(8s+t) \\
& +s(-56s + 84s^{7/2} - 58t + 63s^{5/2}t)] \\
& \left. +m_N^5\{36m_Ys - 7(-4s^{3/2} + 18s^4 + 9s^3t)\}\right) \Big]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +2\left(21m_N^1s^2 - 2m_N^8(5m_Y^2 + 4s) + m_K^4[m_N^6 - 12m_N^4s - 31m_N^2s^2 \right. \\
& + 21m_N^7s^2 + 22s^3 - m_N^5(8\sqrt{s} + 63s^3) + m_N^3(-44s^{3/2} + 63s^4) \\
& + m_N(32s^{5/2} - 21s^5)] - 21m_N^9s^2(5s + 2t) \\
& + m_N^6[36m_Ys^{3/2} + m_Y^2(26s + t) - 3s(34s + t)] \\
& - 2m_N^4s[6m_Y^4 + 4m_Y^3\sqrt{s} - 129s^2 - 75st - t^2 + m_Y^2(11s + t) \\
& + m_Y\sqrt{s}(40s + 3t)] + 2s^3[-10m_Y^4 - 4m_Y^3\sqrt{s} - 4m_Ys^{3/2} + 11s^2 \\
& + 22st + t^2 + 4m_Y^2(2s + 5t)] + m_Ns^{5/2}[-16m_Y^4 - 16m_Y^3\sqrt{s} \\
& + 20s^2 - 21s^{9/2} + 36st - 42s^{7/2}t + 8t^2 - 21s^{5/2}t^2 + 8m_Y^2(4s + 5t) \\
& + 4m_Y\sqrt{s}(11s + 14t)] + m_N^3s^{3/2}[24m_Y^4 + 32m_Y^3\sqrt{s} - 76s^2 \\
& + 105s^{9/2} - 92st + 168s^{7/2}t - 28t^2 + 63s^{5/2}t^2 - 8m_Y^2(6s + 5t) \\
& - 4m_Y\sqrt{s}(31s + 23t)] + m_N^2s^2[32m_Y^4 + 16m_Y^3\sqrt{s} - 170s^2 - 191st \\
& - 24t^2 + 2m_Y\sqrt{s}(26s + 3t) - m_Y^2(10s + 39t)] \\
& + m_N^7s[-36m_Y + 7(-4\sqrt{s} + 30s^3 + 24s^2t + 3st^2)] \\
& + m_N^5[-8m_Y^4\sqrt{s} - 16m_Y^3s + 16m_Y^2s^{3/2} + 4m_Ys(29s + 9t) \\
& - 7(-12s^{5/2} + 30s^5 - 8s^{3/2}t + 36s^4t + 9s^3t^2)] \\
& + m_K^2[10m_N^8 + 42m_N^9s^2 - 42m_N^7s^2(4s + t) - m_N^6(m_Y^2 + 23s + t) \\
& - 2m_N^4s(-13m_Y^2 - 7m_Y\sqrt{s} + 72s + t) \\
& + m_N^2s^2(-25m_Y^2 - 22m_Y\sqrt{s} + 201s + 87t) \\
& - 2m_Ns^{5/2}(4m_Y^2 + 20m_Y\sqrt{s} + 26s - 21s^{7/2} + 28t - 21s^{5/2}t) \\
& - 2m_N^3s^{3/2}(4m_Y^2 - 30m_Y\sqrt{s} - 70s + 84s^{7/2} - 48t + 63s^{5/2}t) \\
& + 2m_N^5(8m_Y^2\sqrt{s} - 10m_Ys - 44s^{3/2} + 126s^4 + 63s^3t) \\
& + 4s^3\{2m_Y\sqrt{s} - 11(s + t)\}] \\
& + \left(k^2[63m_N^7s^2 + 10m_K^4(m_N\sqrt{s} + 2s) - 2m_N^4(11m_Y^2 + 10s) \right. \\
& - 63m_N^5s^2(3s + t) - 2m_N^2s(-10m_Y^2 - 24m_Y\sqrt{s} + 12s + t) \\
& + m_K^2[22m_N^4 - 18m_N^2s + 8(-5m_Y^2 + m_Y\sqrt{s} - 5s)s + 63m_N^5s^2 \\
& - 126m_N^3s^3 - m_N\sqrt{s}(18m_Y^2 + 16m_Y\sqrt{s} + 30s - 63s^{7/2} + 2t)] \\
& + 2s[10m_Y^4 - 4m_Y^3\sqrt{s} + 7m_Y^2s - 10m_Ys^{3/2} + s(10s + 21t)] \\
& + m_N\sqrt{s}[8m_Y^4 + 16m_Y^3\sqrt{s} + 44m_Ys^{3/2} + 2m_Y^2(8s + t) \\
& + s(20s - 63s^{7/2} + 30t - 63s^{5/2}t)] \\
& \left. + m_N^3\{-36m_Ys + 7(-4s^{3/2} + 27s^4 + 18s^3t)\}\right]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +2 \left[63m_N^9 s^2 - 2m_N^6 (11m_Y^2 + 10s) + m_K^4 [5m_N^4 + 19m_N^2 s - 24s^2 \right. \\
& + 63m_N^5 s^2 + m_N^3 (7\sqrt{s} - 126s^3) + m_N (-11s^{3/2} + 63s^4) \left. \right] \\
& - 126m_N^7 s^2 (2s + t) + s^2 \left[-20m_Y^4 + 8m_Y^3 \sqrt{s} - 20s^2 - 7m_Y^2 (2s - 3t) \right. \\
& - 46st - 25t^2 + 2m_Y \sqrt{s} (10s + 3t) \left. \right] + m_N^2 s \left[20m_Y^4 - 8m_Y^3 \sqrt{s} + 44s^2 \right. \\
& + 68st + 3t^2 - 2m_Y^2 (3s + 2t) - 4m_Y \sqrt{s} (17s + 3t) \left. \right] \\
& + m_N^4 \left[48m_Y s^{3/2} - 4s^2 + m_Y^2 (42s + 5t) \right] \\
& - m_N s^{3/2} \left[8m_Y^4 + 16m_Y^3 \sqrt{s} + 20s^2 - 63s^{9/2} + m_Y^2 (16s - 11t) + 31st \right. \\
& - 126s^{7/2} t + 14t^2 - 63s^{5/2} t^2 + 2m_Y \sqrt{s} (22s + 25t) \left. \right] \\
& + m_N^3 \left[8m_Y^4 \sqrt{s} + 16m_Y^3 s + 48s^{5/2} - 252s^5 + m_Y^2 \sqrt{s} (16s - t) \right. \\
& + 41s^{3/2} t - 378s^4 t - 126s^3 t^2 + 2m_Y s (40s + 27t) \left. \right] \\
& + m_K^2 \left[22m_N^6 + 126m_N^7 s^2 - 126m_N^5 s^2 (3s + t) \right. \\
& - 2m_N^2 s (18m_Y^2 - 10m_Y \sqrt{s} + 23s + t) - m_N^4 (5m_Y^2 + 42s + 5t) \\
& + s^2 (19m_Y^2 - 14m_Y \sqrt{s} + 44s + 29t) + m_N s^{3/2} (5m_Y^2 + 66m_Y \sqrt{s} \\
& + 31s - 126s^{7/2} + 17t - 126s^{5/2} t) + m_N^3 \sqrt{s} (-15m_Y^2 - 70m_Y \sqrt{s} \\
& - 41s + 378s^{7/2} + t + 252s^{5/2} t) \left. \right] \\
& + m_N^5 s \left\{ -36m_Y + 7(-4\sqrt{s} + 54s^3 + 54s^2 t + 9st^2) \right\} \Big] k^2 \\
& + \left(k^2 \left\{ 63m_N^5 s^2 - 14m_N^2 (m_Y^2 + s) + 4s(m_Y^2 + 3m_Y \sqrt{s} + s) \right. \right. \\
& + m_K^2 (14m_N^2 - 4s + 63m_N^3 s^2 - 63m_N s^3) + 63m_N s^3 (s + t) \\
& - 63m_N^3 s^2 (2s + t) \left. \left. \right\} + 2 \left[63m_N^7 s^2 - 14m_N^4 (m_Y^2 + s) \right. \right. \\
& + m_K^4 \left[3m_N^2 - s + 63m_N^3 s^2 - m_N (\sqrt{s} + 63s^3) \right] - 63m_N^5 s^2 (3s + 2t) \\
& + 63m_N^3 s^2 (3s^2 + 4st + t^2) - m_N (63s^5 + m_Y^2 \sqrt{s} t - 18m_Y st \\
& + s^{3/2} t + 126s^4 t + 63s^3 t^2) - s \left[4s^2 + st - t^2 + 2m_Y^2 (2s + t) \right. \\
& + 6m_Y \sqrt{s} (2s + t) \left. \right] + m_N^2 \left[12m_Y s^{3/2} + 3m_Y^2 (6s + t) + 2s(9s + t) \right] \\
& + m_K^2 \left\{ 14m_N^4 + 126m_N^5 s^2 + s(2m_Y^2 + 6m_Y \sqrt{s} + 5s) \right. \\
& - 126m_N^3 s^2 (2s + t) - m_N^2 (3m_Y^2 + 20s + 3t) \\
& + m_N \sqrt{s} \left[m_Y^2 - 18m_Y \sqrt{s} + (1 + 126s^{5/2})(s + t) \right] \left. \right\} \Big] k^4 \\
& + \left(k^2 \left[-2m_Y^2 + m_K^2 (2 + 21m_N s^2) - s \left[2 - 21m_N^3 s + 21m_N s (s + t) \right] \right] \right. \\
& + 2 \left\{ 21m_N^5 s^2 - 2m_N^2 (m_Y^2 + s) + m_K^4 (1 + 21m_N s^2) \right. \\
& \left. \left. - 42m_N^3 s^2 (s + t) + 21m_N s^2 (s + t)^2 + (m_Y^2 + s)(2s + t) \right\} \right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + m_K^2 \left[2m_N^2 - m_Y^2 - 3s + 42m_N^3 s^2 - t - 42m_N s^2 (s+t) \right] \Big\} k^6 \Big\} \\
& + \left(\frac{i}{2s^2(m_K^2 - t)} \right) g_{\gamma N^* N}^{(3)} \left\{ \sqrt{s} \left(k^2 \left[-5m_N^7 + 5m_N^6 m_Y + 3m_K^4 m_N^2 \sqrt{s} \right. \right. \right. \\
& + m_K^2 \left[-7m_N^5 - 2m_N^3 (m_Y \sqrt{s} - 8s) + 4m_N^4 \sqrt{s} + 4m_Y s^2 + 10s^{5/2} \right. \\
& + m_N (2m_Y s^{3/2} - s^2) + m_N^2 \sqrt{s} (-3m_Y^2 - 8m_Y \sqrt{s} + 15s - 3t) \Big] \\
& + m_N^5 (15s + 7t) - m_N^3 \left[2m_Y^4 + 4m_Y^3 \sqrt{s} - 3s^2 + m_Y^2 (8s - 4t) \right. \\
& + 2m_Y \sqrt{s} (2s - 3t) + 12st + 2t^2 \Big] + m_N^4 \left[5m_Y^3 - 4\sqrt{s}t \right. \\
& - 5m_Y (2s + t) \Big] + m_N^2 \sqrt{s} \left[4m_Y^4 - 2m_Y^3 \sqrt{s} + 5m_Y \sqrt{s} (s + 2t) \right. \\
& + t(s + 4t) - m_Y^2 (8s + 5t) \Big] + m_N s \left[4m_Y^4 + 16m_Y^3 \sqrt{s} + s^2 \right. \\
& - 19st + 4t^2 - 8m_Y^2 (s + t) - 2m_Y \sqrt{s} (4s + 9t) \Big] \\
& + s^{3/2} \left[-2m_Y^4 - 15m_Y^3 \sqrt{s} + 4m_Y^2 (4s + t) + m_Y \sqrt{s} (12s + 11t) \right. \\
& \left. \left. - 2(5s^2 + 9st + t^2) \right] \right\} - 2 \left[5m_N^9 - 5m_N^8 m_Y + m_K^4 (7m_N^5 - 4m_N^4 \sqrt{s} \right. \\
& - 24m_N^3 s - 14m_N^2 s^{3/2} - 11m_N s^2 - 4s^{5/2}) - 5m_N^6 m_Y (m_Y^2 - 3s - t) \\
& - 10m_N^7 (2s + t) + 2m_N^3 s \left[-3m_Y^4 - 10m_Y^3 \sqrt{s} + s^2 + 2m_Y \sqrt{s} (s - t) \right. \\
& - 4m_Y^2 t + 11st - 5t^2 \Big] + m_N^5 (2m_Y^4 + 4m_Y^3 \sqrt{s} + 8m_Y^2 s + 4m_Y s^{3/2} \\
& + 12s^2 + 30st + 5t^2) + m_N^4 \left[-4m_Y^4 \sqrt{s} + 7m_Y^3 s + 8m_Y^2 s^{3/2} \right. \\
& \left. - 15m_Y s (s + t) \right] + m_N^2 s^{3/2} \left[6m_Y^4 + 13m_Y^3 \sqrt{s} + 10s (s + t) \right. \\
& - 4m_Y^2 (6s + 5t) + m_Y \sqrt{s} (-7s + 9t) \Big] + m_N s^2 \left[4m_Y^4 + 16m_Y^3 \sqrt{s} + s^2 \right. \\
& \left. - 30st - 35t^2 - 4m_Y \sqrt{s} (2s + 5t) + m_Y^2 (-8s + 20t) \right] \\
& + 2m_K^2 \left[5m_N^7 + 4m_N^4 (m_Y^2 + m_Y \sqrt{s} - 2s) \sqrt{s} \right. \\
& - m_N^5 (2m_Y^2 + 2m_Y \sqrt{s} + 17s + 5t) + s^{5/2} (-2m_Y^2 - 5m_Y \sqrt{s} \\
& + 7s + 6t) + m_N^2 s^{3/2} (4m_Y^2 - 11m_Y \sqrt{s} + 7s + 10t) \\
& + m_N^3 s (10m_Y^2 + 12m_Y \sqrt{s} + s + 14t) + m_N s^2 (-14m_Y^2 + 2m_Y \sqrt{s} \\
& + 5s + 25t) \Big] + s^{5/2} \left\{ -2m_Y^4 - 15m_Y^3 \sqrt{s} + 8m_Y^2 (2s + t) \right. \\
& \left. + m_Y \sqrt{s} (12s + 25t) - 2(5s^2 + 11st + 5t^2) \right\} \Big\} \\
& - \left(40m_N^8 + 40m_N^6 m_Y^2 + 20m_N^7 \sqrt{s} + 14m_N^6 m_Y \sqrt{s} + 14m_N^4 m_Y^3 \sqrt{s} \right. \\
& - 4m_N^3 m_Y^4 \sqrt{s} - 120m_N^6 s - 120m_N^4 m_Y^2 s - 8m_N^3 m_Y^3 s + 4m_N^2 m_Y^4 s \\
& - 60m_N^5 s^{3/2} - 48m_N^4 m_Y s^{3/2} - 32m_N^3 m_Y^2 s^{3/2} - 24m_N^2 m_Y^3 s^{3/2} \\
& + 4m_N m_Y^4 s^{3/2} + 120m_N^4 s^2 - 16m_N^3 m_Y s^2 + 120m_N^2 m_Y^2 s^2 \\
& \left. + 8m_N m_Y^3 s^2 - 4m_Y^4 s^2 + 40m_N^3 s^{5/2} + 66m_N^2 m_Y s^{5/2} + 32m_N m_Y^2 s^{5/2} \right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +10m_Y^3s^{5/2} - 60m_N^2s^3 + 16m_Nm_Ys^3 - 40m_Y^2s^3 - 32m_Ys^{7/2} + 20s^4 \\
& +m_K^4(18m_N^3\sqrt{s} + 3m_N^2s + 20m_Ns^{3/2} + 6s^2) - 80m_N^6t - 40m_N^4m_Y^2t \\
& -38m_N^5\sqrt{st} - 14m_N^4m_Y\sqrt{st} + 4m_N^3m_Y^2\sqrt{st} + 196m_N^4st + 6m_N^3m_Yst \\
& +75m_N^2m_Y^2st + 78m_N^3s^{3/2}t + 48m_N^2m_Ys^{3/2}t + 32m_Nm_Y^2s^{3/2}t \\
& -159m_N^2s^2t + 2m_Nm_Ys^2t - 28m_Y^2s^2t - 4m_Ns^{5/2}t - 50m_Ys^{5/2}t \\
& +50s^3t + 40m_N^4t^2 + 18m_N^3\sqrt{st}^2 - 76m_N^2st^2 - 16m_Ns^{3/2}t^2 + 38s^2t^2 \\
& +m_K^2[40m_N^6 + 38m_N^5\sqrt{s} - 10m_Ns^{3/2}(4m_Y^2 + m_Y\sqrt{s} + 2s) \\
& +m_N^4(40m_Y^2 - 76s - 40t) + 2s^2(18m_Y^2 + 20m_Y\sqrt{s} - 13s - 24t) \\
& +2m_N^3\sqrt{s}(2m_Y^2 + m_Y\sqrt{s} - 27s - 20t) \\
& +m_N^2s(-83m_Y^2 - 24m_Y\sqrt{s} + 55s + 77t)] \\
& +k^2[20m_N^6 + 10m_N^5\sqrt{s} + 2m_K^4s - m_N^3\sqrt{s}(20s + 11t) \\
& +m_N^4[20m_Y^2 + 7m_Y\sqrt{s} - 40(s + t)] + m_N\sqrt{s}[-2m_Y^4 - 4m_Y^3\sqrt{s} \\
& +m_Y^2(-16s + t) + t(12s + t) + 2m_Y\sqrt{s}(-4s + 3t)] \\
& +m_K^2[20m_N^4 + 11m_N^3\sqrt{s} + m_N\sqrt{s}(3m_Y^2 - 2m_Y\sqrt{s} - 3t) \\
& +20m_N^2(m_Y^2 - s - t) + 4s(-6m_Y^2 - 2m_Y\sqrt{s} + 2s + 5t)] \\
& +m_N^2[7m_Y^3\sqrt{s} - 20m_Y^2(2s + t) - m_Y\sqrt{s}(17s + 7t) \\
& +20(s^2 + 3st + t^2)] + s\{2m_Y^4 - 5m_Y^3\sqrt{s} + 20m_Y^2(s + t) \\
& +m_Y\sqrt{s}(16s + 13t) - 10(s^2 + 2st + 2t^2)\}k^2 \\
& -\left(40m_N^6 + 40m_N^4m_Y^2 + 8m_K^4m_N\sqrt{s} + 10m_N^5\sqrt{s} + 48m_N^4m_Y\sqrt{s} \right. \\
& +24m_N^2m_Y^3\sqrt{s} - 80m_N^4s - 80m_N^2m_Y^2s - 20m_N^3s^{3/2} - 72m_N^2m_Ys^{3/2} \\
& -24m_Y^3s^{3/2} + 40m_N^2s^2 + 40m_Y^2s^2 + 10m_Ns^{5/2} + 24m_Ys^{5/2} - 80m_N^4t \\
& -40m_N^2m_Y^2t - 19m_N^3\sqrt{st} - 48m_N^2m_Y\sqrt{st} - m_Nm_Y^2\sqrt{st} + 120m_N^2st \\
& -6m_Nm_Yst + 40m_Y^2st + 18m_Ns^{3/2}t + 52m_Ys^{3/2}t - 40s^2t \\
& +40m_N^2t^2 + 9m_N\sqrt{st}^2 - 40st^2 + m_K^2[40m_N^4 + 19m_N^3\sqrt{s} \\
& +m_N\sqrt{s}(m_Y^2 + 6m_Y\sqrt{s} - 18s - 17t) - 4s(10m_Y^2 + 7m_Y\sqrt{s} - 10t) \\
& +8m_N^2\{5m_Y^2 + 3m_Y\sqrt{s} - 5(s + t)\}] + k^2[20m_N^4 + 5m_N^3\sqrt{s} \\
& +m_K^2\{20m_N^2 + 5m_N\sqrt{s} + 4(5m_Y^2 + 3m_Y\sqrt{s} - 5t)\} \\
& -5m_N\sqrt{s}(s + t) + 4m_N^2\{5m_Y^2 + 6m_Y\sqrt{s} - 5(s + 2t)\} \\
& \left. +4\{3m_Y^3\sqrt{s} - 5m_Y^2(s + t) + 5t(s + t) - 3m_Y\sqrt{s}(s + 2t)\}\right)k^4\}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{1}{2s^2(m_K^2 - t)} g_{\gamma N^* N}^{(4)} \left\{ \sqrt{s} \left(-2 \left[-2m_N^8 \sqrt{s} + 2m_N^5 (3m_Y^4 + 6m_Y^3 \sqrt{s} \right. \right. \right. \\
& - 4m_Y^2 s - 2m_Y s^{3/2} - 3s^2) + m_K^4 (6m_N^5 + 4m_N^4 \sqrt{s} + 6m_N^3 s \\
& + 6m_N^2 s^{3/2} - 8m_N s^2 - 4s^{5/2}) + m_N^6 \sqrt{s} (-2m_Y^2 + 4s + 3t) \\
& - m_N^4 \sqrt{s} \left[-4m_Y^4 - 8m_Y^3 \sqrt{s} + 4m_Y s^{3/2} + 2s^2 + m_Y^2 (4s - t) \right. \\
& + 5st + t^2 \left. \right] + 2s^{5/2} \left[5m_Y^4 + 2m_Y^3 \sqrt{s} + s^2 - m_Y \sqrt{st} + 3st + 5t^2 \right. \\
& - 4m_Y^2 (2s + 3t) \left. \right] + 2m_N^3 s \left[-9m_Y^4 - 14m_Y^3 \sqrt{s} + 6m_Y \sqrt{s} (s + t) \right. \\
& + s(s + 2t) + 4m_Y^2 (4s + 3t) \left. \right] + m_K^2 \left\{ -4m_N^5 (3m_Y^2 + 3m_Y \sqrt{s} - 5s) \right. \\
& - m_N^6 \sqrt{s} + m_N^2 s^{3/2} (9m_Y^2 + 2m_Y \sqrt{s} - 14s - 21t) \\
& + 4m_N^3 s (3m_Y^2 + 4m_Y \sqrt{s} - 7s - 6t) \\
& + m_N^4 \sqrt{s} (-9m_Y^2 - 8m_Y \sqrt{s} + 17s + t) \\
& + 2s^{5/2} (2m_Y^2 - m_Y \sqrt{s} + s + 2t) \\
& + 4m_N s^2 (-m_Y^2 + m_Y \sqrt{s} + s + 5t) \left. \right\} \\
& + 4m_N s^2 \left[3m_Y^4 + 4m_Y^3 \sqrt{s} + s^2 - m_Y \sqrt{s} (2s + 5t) - m_Y^2 (6s + 5t) \right] \\
& + m_N^2 s^{3/2} \left\{ -14m_Y^4 - 12m_Y^3 \sqrt{s} - 2s^2 - 8st + t^2 + 2m_Y \sqrt{s} (2s + 5t) \right. \\
& + m_Y^2 (22s + 19t) \left. \right\} + k^2 \left[2m_N^6 \sqrt{s} - 2m_K^4 (m_N^3 + 2m_N^2 \sqrt{s} + 5m_N s \right. \\
& + 4s^{3/2}) + m_N^2 (-4m_Y^4 \sqrt{s} - 8m_Y^3 s + 6m_Y^2 s^{3/2} + 4m_Y s^2) + 3m_N^5 t \\
& - 2m_N^4 \sqrt{s} (-m_Y^2 + s + t) + 2s^{3/2} \left[5m_Y^4 + 2m_Y^3 \sqrt{s} + s^2 + st + t^2 \right. \\
& - 2m_Y^2 (4s + 5t) \left. \right] + m_N^3 \left[-6m_Y^4 - 12m_Y^3 \sqrt{s} + 4m_Y s^{3/2} + 6s^2 \right. \\
& + st - 3t^2 + m_Y^2 (8s + 7t) \left. \right] + m_K^2 \left[-3m_N^5 + 2m_N^2 (4m_Y^2 \sqrt{s} + 4m_Y s \right. \\
& - 7s^{3/2}) + m_N^3 (5m_Y^2 + 12m_Y \sqrt{s} - 21s - t) \\
& + 2s^{3/2} (-2m_Y \sqrt{s} + 3s + 8t) + m_N s (m_Y^2 + 6s + 19t) \left. \right] \\
& + m_N s \left\{ 12m_Y^4 + 16m_Y^3 \sqrt{s} + 4s^2 - 2st + 3t^2 - 8m_Y \sqrt{s} (s + 2t) \right. \\
& \left. - m_Y^2 (24s + 25t) \right\} \left. \right) \\
& + \sqrt{s} \left(12m_N^3 m_Y^4 + 4m_N^6 \sqrt{s} \right. \\
& + 4m_N^4 m_Y^2 \sqrt{s} + 24m_N^3 m_Y^3 \sqrt{s} + 20m_N^2 m_Y^4 \sqrt{s} + 32m_N^3 m_Y^2 s \\
& - 8m_N^2 m_Y^3 s - 12m_N m_Y^4 s - 4m_N^4 s^{3/2} + 16m_N^3 m_Y s^{3/2} \\
& + 28m_N^2 m_Y^2 s^{3/2} - 24m_N m_Y^3 s^{3/2} - 20m_Y^4 s^{3/2} - 4m_N^3 s^2 - 32m_N m_Y^2 s^2 \\
& + 8m_Y^3 s^2 - 4m_N^2 s^{5/2} - 16m_N m_Y s^{5/2} - 32m_Y^2 s^{5/2} + 4m_N s^3 \\
& + 4s^{7/2} + 2m_K^4 (4m_N^3 + 10m_N^2 \sqrt{s} - 7m_N s - 5s^{3/2}) - 3m_N^5 t \\
& \left. - 7m_N^3 m_Y^2 t - 6m_N^4 \sqrt{st} - 2m_N^2 m_Y^2 \sqrt{st} - m_N^3 st + m_N m_Y^2 st \right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +6m_N^2s^{3/2}t + 4m_Nm_Ys^{3/2}t + 12m_Y^2s^{3/2}t - 2m_Ns^2t - 4m_Ys^2t \\
& +10s^{5/2}t + 3m_N^3t^2 + 2m_N^2\sqrt{st}^2 - 3m_Nst^2 - 2s^{3/2}t^2 \\
& +m_K^2\left[3m_N^5 + 2m_N^4\sqrt{s} + 2s^{3/2}(14m_Y^2 - 2m_Y\sqrt{s} + 3s - 4t)\right. \\
& +m_N^3(-17m_Y^2 - 24m_Y\sqrt{s} - 7s + t) - 2m_N^2\sqrt{s}(19m_Y^2 - 4m_Y\sqrt{s} \\
& +9s + t) + m_Ns\{23m_Y^2 + 20m_Y\sqrt{s} + 5(2s + t)\}\left. \right] \\
& +k^2\left[5m_K^4(m_N + 2\sqrt{s}) + 2m_N^4\sqrt{s} - 2\sqrt{s}(-5m_Y^4 + 2m_Y^3\sqrt{s}\right. \\
& -8m_Y^2s + s^2) - m_K^2\left[3m_N^3 + 20m_Y^2\sqrt{s} - 4m_Ys + 8s^{3/2}\right. \\
& +m_N(14m_Y^2 + 3s - 4t)\left. \right] + 2m_N^2\sqrt{s}(m_Y^2 - t) + 3m_N^3t \\
& +m_N\{6m_Y^4 + 12m_Y^3\sqrt{s} - 2s^2 + 4m_Y\sqrt{s}(2s - 3t) - st - 3t^2 \\
& +2m_Y^2(8s + t)\}\left. \right]k^2 + \left[m_N\sqrt{s}(m_K^2 + 3m_N^2 + 2m_Y^2\right. \\
& -12m_Y\sqrt{s} - s - 3t) + k^2(m_N^2 + m_Y^2 - t)\left. \right](m_K^2 - t)k^4 \\
& - (m_K^2 - t)(m_N^2 + m_Y^2 - t)k^6\left. \right\}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_6^{N^*(\frac{5}{2}\pm)} &= N^{N^*(\frac{5}{2}\pm)}\left[\frac{i}{s^2}g_{\gamma N^*N}^{(1)}\left\{s\left(m_N^3(m_Y - \sqrt{s})^2(m_Y^2 + 8m_Y\sqrt{s} + 7s)\right.\right.\right. \\
& +m_K^4(m_N^3 - 3m_N^2\sqrt{s} - m_Ns - 3s^{3/2}) - 2m_K^2\left[m_N^3(m_Y^2 + 3m_Y\sqrt{s}\right. \\
& -6s) + m_Ns(-3m_Y^2 + 3m_Y\sqrt{s} - 6s + 2t) - s^{3/2}(m_Y^2 - 4m_Y\sqrt{s} \\
& +s + 2t) + m_N^2\sqrt{s}(-5m_Y^2 + 6m_Y\sqrt{s} + 5s + 2t)\left. \right] \\
& -m_N^2(m_Y - \sqrt{s})\sqrt{s}\left[7m_Y^3 - 3m_Y^2\sqrt{s} + 3\sqrt{s}(s - 2t) - m_Y(7s + 4t)\right] \\
& +s^{3/2}\left[11m_Y^4 - 10m_Y^3\sqrt{s} + s^2 + 6st + 10t^2 - 12m_Y^2(s + 2t)\right. \\
& +2m_Y\sqrt{s}(5s + 9t)\left. \right] - m_N(m_Y - \sqrt{s})s\left[5m_Y^3 + 11m_Y^2\sqrt{s}\right. \\
& -m_Y(5s + 4t) - \sqrt{s}(11s + 16t)\left. \right] - \left(6m_N^7 + 6m_N^6\sqrt{s}\right. \\
& +m_Ns\left[m_K^4 + m_Y^4 - 2m_K^2(m_Y^2 + 3m_Y\sqrt{s} - 4s) + 6m_Y^3\sqrt{s}\right. \\
& -4m_Y^2s + 6m_Ys^{3/2} - 9s^2\left. \right] - 2m_N^2s^{3/2}(2m_K^2 + m_Y^2 - m_Y\sqrt{s} \\
& +3s - 3t) + 6m_N^5(m_Y^2 - s - t) + 6m_N^3s(-m_Y^2 + 2m_Y\sqrt{s} + t) \\
& -6m_N^4\sqrt{s}(-m_Y^2 + s + t) + s^{3/2}\left[-3m_K^4 - 7m_Y^4 + 6m_Y^3\sqrt{s}\right. \\
& +2m_K^2(5m_Y^2 - 4m_Y\sqrt{s} - s - 2t) + 4m_Y^2(-4s + t) \\
& +s(5s + 14t) + 2m_Y(-6 + 6s^{3/2} + \sqrt{st})\left. \right]k^2 + \left[-6m_N^5 - 6m_N^4\sqrt{s}\right. \\
& +2s^{3/2}(-2m_K^2 + 2m_Y^2 + m_Y\sqrt{s} + 2s) - 6m_N^3(m_Y^2 - t)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +6m_N^2\sqrt{s}(-m_Y^2 + t)]k^4 \Big\} \\
& + \frac{1}{2s^2} g_{\gamma N^* N}^{(2)} \left\{ -2m_N^7 m_Y^2 - m_N^5 m_Y^4 + 2m_N^4 m_Y^4 \sqrt{s} - 2m_N^7 s \right. \\
& + 6m_N^5 m_Y^2 s + 4m_N^4 m_Y^3 s - 8m_N^4 m_Y^2 s^{3/2} + 6m_N^3 m_Y^3 s^{3/2} \\
& - 9m_N^2 m_Y^4 s^{3/2} + 7m_N^5 s^2 - 4m_N^4 m_Y s^2 - 4m_N^3 m_Y^2 s^2 \\
& - 2m_N^2 m_Y^3 s^2 + m_N m_Y^4 s^2 + 6m_N^4 s^{5/2} - 6m_N^3 m_Y s^{5/2} \\
& + 20m_N^2 m_Y^2 s^{5/2} - 6m_N m_Y^3 s^{5/2} + 7m_Y^4 s^{5/2} - 4m_N^3 s^3 \\
& + 2m_N^2 m_Y s^3 - 2m_Y^3 s^3 - 11m_N^2 s^{7/2} + 6m_N m_Y s^{7/2} - 12m_Y^2 s^{7/2} \\
& - m_N s^4 + 2m_Y s^4 + 5s^{9/2} + m_K^4 (m_N^5 + 2m_N^4 \sqrt{s} \\
& - 6m_N^3 s + 3m_N^2 s^{3/2} + m_N s^2 + s^{5/2}) + 2m_N^5 m_Y^2 t + 2m_N^5 s t \\
& - 6m_N^3 m_Y^2 s t + 12m_N^2 m_Y^2 s^{3/2} t - 6m_N^3 s^2 t + 6m_N^2 m_Y s^2 t \\
& - 18m_N^2 s^{5/2} t + 8m_N m_Y s^{5/2} t - 16m_Y^2 s^{5/2} t + 2m_Y s^3 t + 14s^{7/2} t \\
& + 10s^{5/2} t^2 + 2m_K^2 [m_N^7 - 2m_N^4 (m_Y^2 + m_Y \sqrt{s} - 3s) \sqrt{s} \\
& - m_N m_Y (m_Y + \sqrt{s}) s^2 + s^{5/2} (m_Y^2 - 3s - 2t) - m_N^5 (4s + t) \\
& + m_N^3 s (3m_Y^2 - 3m_Y \sqrt{s} + 5s + 3t) \\
& - m_N^2 s^{3/2} (-3m_Y^2 + 2m_Y \sqrt{s} + s + 6t)] + (-2m_N^5 (m_Y^2 + s) \\
& + m_K^4 (m_N^3 - 2m_N^2 \sqrt{s} - m_N s - s^{3/2}) - 2m_N^2 \sqrt{s} (m_Y^4 + 2m_Y^3 \sqrt{s} \\
& + 2m_Y^2 s + m_Y s^{3/2} - 6s^2) + m_N s [3m_Y^4 - 2m_Y^3 \sqrt{s} - 6m_Y s^{3/2} \\
& + s(s - 4t) + 4m_Y^2 (s - t)] - m_N^3 (m_Y^2 + s) (m_Y^2 - 5s - 2t) \\
& - s^{3/2} [-3m_Y^4 - 2m_Y^3 \sqrt{s} + 2m_Y \sqrt{s} (2s + t) + m_Y^2 (-8s + 4t) \\
& + s(9s + 14t)] + 2m_K^2 [m_N^5 + 2m_N^2 (m_Y^2 \sqrt{s} + m_Y s) \\
& - m_N^3 (3s + t) + s^{3/2} (-m_Y^2 + 5s + 2t) + m_N (-m_Y^2 s + m_Y s^{3/2} \\
& + 2st)] \Big\} k^2 + 2\sqrt{s} [2m_K^4 + 2m_N^4 + 2m_Y^2 s + m_Y s^{3/2} + 4s^2 \\
& + m_K^2 (4m_N^2 - 6s - 4t) + 4st + 2t^2 - 4m_N^2 (s + t)] k^4 \Big\} \\
& + \left(\frac{-i}{2s^{3/2}} \right) g_{\gamma N^* N}^{(3)} \left\{ -3m_N^7 - 3m_N^6 m_Y - 3m_N^5 m_Y^2 - 3m_N^4 m_Y^3 \right. \\
& - 4m_N^4 m_Y^4 + 2m_N^4 m_Y^5 - 8m_N^4 m_Y^3 \sqrt{s} + 12m_N^3 m_Y^4 \sqrt{s} \\
& - 2m_N^4 m_Y^4 \sqrt{s} - 2m_N^3 m_Y^5 \sqrt{s} + 3m_N^5 s + 3m_N^4 m_Y s \\
& + 3m_N^3 m_Y^2 s - 16m_N^4 m_Y^2 s + 3m_N^2 m_Y^3 s + 24m_N^3 m_Y^3 s \\
& - 4m_N^4 m_Y^3 s - 8m_N^2 m_Y^4 s + 2m_N^3 m_Y^4 s - 8m_N^4 m_Y s^{3/2} \\
& \left. + 16m_N^3 m_Y^2 s^{3/2} + 4m_N^4 m_Y^2 s^{3/2} + 16m_N^2 m_Y^3 s^{3/2} + 4m_N^3 m_Y^3 s^{3/2} \right\}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -24m_N m_Y^4 s^{3/2} + 2m_N m_Y^5 s^{3/2} + 36m_N^4 s^2 - 32m_N^3 m_Y s^2 \\
& + 2m_N^4 m_Y s^2 + 8m_N^2 m_Y^2 s^2 - 4m_N^3 m_Y^2 s^2 - 24m_N m_Y^3 s^2 \\
& + 24m_Y^4 s^2 - 2m_N m_Y^4 s^2 - 2m_Y^5 s^2 - 20m_N^3 s^{5/2} - 2m_N^4 s^{5/2} \\
& + 8m_N^2 m_Y s^{5/2} - 2m_N^3 m_Y s^{5/2} + 8m_N m_Y^2 s^{5/2} - 8m_Y^3 s^{5/2} \\
& - 4m_N m_Y^3 s^{5/2} + 2m_Y^4 s^{5/2} - 24m_N^2 s^3 + 2m_N^3 s^3 + 32m_N m_Y s^3 \\
& - 16m_Y^2 s^3 + 4m_N m_Y^2 s^3 + 4m_Y^3 s^3 + 8m_N s^{7/2} + 2m_N m_Y s^{7/2} \\
& - 4m_Y^2 s^{7/2} - 2m_N s^4 - 2m_Y s^4 + 2s^{9/2} \\
& + 2m_K^4 \left[m_N^4 (-2 + m_Y - 3\sqrt{s}) + m_N^3 (6 - m_Y + 3\sqrt{s})\sqrt{s} - 4m_N^2 s \right. \\
& \left. + m_N (4 - 3m_Y + 3\sqrt{s})s^{3/2} - 3m_Y s^2 + s^{5/2} \right] + 6m_N^5 t + 6m_N^4 m_Y t \\
& + 3m_N^3 m_Y^2 t + 3m_N^2 m_Y^3 t - 3m_N^3 s t - 3m_N^2 m_Y s t - 16m_N^3 m_Y^2 s t \\
& - 8m_N^3 m_Y s^{3/2} t + 32m_N m_Y^2 s^{3/2} t + 8m_N^2 m_Y^2 s^{3/2} t - 8m_N m_Y^3 s^{3/2} t \\
& - 80m_N^2 s^2 t + 24m_N^3 s^2 t + 56m_N m_Y s^2 t + 4m_N^2 m_Y s^2 t \\
& - 64m_Y^2 s^2 t + 24m_N m_Y^2 s^2 t + 16m_Y^3 s^2 t + 32m_N s^{5/2} t - 12m_N^2 s^{5/2} t \\
& + 8m_Y s^{5/2} t + 16m_N m_Y s^{5/2} t - 24m_Y^2 s^{5/2} t + 16s^3 t \\
& - 32m_N s^3 t - 20m_Y s^3 t + 28s^{7/2} t - 3m_N^3 t^2 - 3m_N^2 m_Y t^2 \\
& + 40s^2 t^2 - 40m_N s^2 t^2 - 20m_Y s^2 t^2 + 40s^{5/2} t^2 \\
& + m_K^2 \left[-3m_N^5 + m_N^4 (-4m_Y^3 + 8m_Y^2 (1 + \sqrt{s}) + 8s - 12s^{3/2}) \right. \\
& \left. + m_Y [-3 + 8\sqrt{s} + 8s] + 4m_N s^{3/2} (4m_Y^2 + m_Y^3 - 8m_Y \sqrt{s} - 4s \right. \\
& \left. - s^{3/2} - 8t + 2m_Y t + 3\sqrt{s}t) + m_N^3 [4m_Y^3 \sqrt{s} - 8m_Y (3 + \sqrt{s})s \right. \\
& \left. + 8s^{3/2} + 12s^2 - m_Y^2 (3 + 24\sqrt{s} + 8s) + 3t + 16st] \right. \\
& \left. + m_N^2 (-3m_Y^3 + 16m_Y^2 s - 16m_Y s^{3/2} + 32s^2 + 3m_Y t - 8s^{3/2}t) \right. \\
& \left. - 4s^2 \{ 3m_Y^3 - 2m_Y^2 (2 + \sqrt{s}) + s^{3/2} + 4t + 7\sqrt{s}t - 2m_Y (s + 3t) \} \right] \\
& + \left(3m_N^7 + 3m_N^6 m_Y + 2m_K^4 [m_N^3 + m_N^2 (2 - m_Y + \sqrt{s}) + 3m_Y s \right. \\
& \left. - 2s^{3/2} - 2m_N (2\sqrt{s} + s)] + 3m_N^5 (m_Y^2 - s - 2t) \right. \\
& \left. + 3m_N^4 [m_Y^3 - 18s^{3/2} - m_Y (s + 2t)] \right. \\
& \left. - 2m_N [m_Y^3 (16 + 31\sqrt{s})s - 2s^2 (-2\sqrt{s} + 3s + 11t) \right. \\
& \left. + 2m_Y^4 (2\sqrt{s} + s) + 4m_Y^2 (5s^{3/2} - 3st) + m_Y (16s^2 - 33s^{3/2}t) \right. \\
& \left. - 2s [m_Y^5 - 2m_Y^4 (4 + \sqrt{s}) - 4m_Y^3 (\sqrt{s} + s + t) \right. \\
& \left. + 2m_Y^2 (-4s + s^{3/2} + 4t + 6\sqrt{s}t) + m_Y (s^2 + 4\sqrt{s}t - 2st) \right. \\
& \left. + 2(s^{5/2} + 4st + 7s^{3/2}t) \right] + m_N^3 [2m_Y^4 + 4m_Y^3 \sqrt{s} - 50m_Y s^{3/2} \\
& + m_Y^2 (5s - 3t) + 3(-6s^2 + st + t^2)] + m_N^2 [-2m_Y^5 - 2m_Y^4 (-2 + \sqrt{s})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +m_Y^2(32s - 50s^{3/2}) + m_Y^3(8\sqrt{s} - 7s - 3t) + 2s^{3/2}(10\sqrt{s} + s + 27t) \\
& + m_Y(16s^{3/2} + 2s^2 + 3st + 3t^2) + m_K^2 \left[3m_N^5 + 3m_N^4 m_Y \right. \\
& - m_N^3(m_Y^2 + 4m_Y\sqrt{s} + 4s + 3t) - 4s \left[m_Y^3 + m_Y^2(4 + \sqrt{s}) \right. \\
& - 2s^{3/2} - 4t - 7\sqrt{st} + m_Y(s + 2t) \left. \right] + m_N^2 \left[-8m_Y^2 + 7m_Y^3 \right. \\
& - 4(6 + \sqrt{s})s - m_Y(8\sqrt{s} + 3t) \left. \right] + 8m_N \{ m_Y(4 + \sqrt{s})s \\
& + m_Y^2(2\sqrt{s} + s) - s(-2\sqrt{s} + s + 3t) \} \left. \right] k^2 \\
& - 2 \left(m_K^4(m_N - \sqrt{s}) - \sqrt{s}(m_Y^4 + 2m_Y^3\sqrt{s} + 4m_Y^2s + 2m_Ys^{3/2} + s^2) \right. \\
& + m_N(m_Y^4 + 2m_Y^3\sqrt{s} + 8m_Y^2s + 4m_Ys^{3/2} + 5s^2) \\
& \left. - 2m_K^2 \left[-\sqrt{s}(m_Y^2 + m_Y\sqrt{s} + s) + m_N(m_Y^2 + m_Y\sqrt{s} + 3s) \right] \right) k^4 \left. \right\} \\
& + \frac{1}{2s^{3/2}} g_{\gamma N^* N}^{(4)} \left\{ -m_N^4 m_Y^2 + 6m_N^4 m_Y^4 + 15m_N^4 \sqrt{s} + 12m_N^4 m_Y^3 \sqrt{s} \right. \\
& - 14m_N^3 m_Y^4 \sqrt{s} - m_N^4 s + 15m_N^2 m_Y^2 s - 24m_N^4 m_Y^2 s + 20m_N^3 m_Y^3 s \\
& - 24m_N^2 m_Y^4 s - 30m_N^2 s^{3/2} - 12m_N^4 m_Y s^{3/2} + 8m_N^3 m_Y^2 s^{3/2} \\
& - 8m_N^2 m_Y^3 s^{3/2} + 18m_N m_Y^4 s^{3/2} + 15m_N^2 s^2 + 12m_N^4 s^2 - 20m_N^3 m_Y s^2 \\
& + 56m_N^2 m_Y^2 s^2 - 20m_N m_Y^3 s^2 + 14m_Y^4 s^2 + 15s^{5/2} + 6m_N^3 s^{5/2} \\
& + 8m_N^2 m_Y s^{5/2} - 16m_N m_Y^2 s^{5/2} - 4m_Y^3 s^{5/2} - 20m_N^2 s^3 + 20m_N m_Y s^3 \\
& - 24m_Y^2 s^3 - 2m_N s^{7/2} + 4m_Y s^{7/2} + 4s^4 + m_K^4(6m_N^4 + 15\sqrt{s} \\
& - 14m_N^3 \sqrt{s} + 8m_N^2 s - 6m_N s^{3/2} - 4s^2) - 30m_N^2 \sqrt{st} \\
& + 32m_N^2 m_Y^2 st + 30s^{3/2}t + 16m_N^2 m_Y s^{3/2}t - 24m_N m_Y^2 s^{3/2}t \\
& - 36m_N^2 s^2t + 28m_N m_Y s^2t - 32m_Y^2 s^2t - 4m_N s^{5/2}t + 4m_Y s^{5/2}t \\
& + 16s^3t + 15\sqrt{st}t^2 + 14s^2t^2 + m_K^2 \left[-30s^{3/2} + m_N^4(1 - 12m_Y^2 \right. \\
& - 12m_Y\sqrt{s} + 36s) + 4m_N^3(7m_Y^2\sqrt{s} - 5m_Ys - 3s^{3/2}) - 30\sqrt{st} \\
& + 4s^2(m_Y^2 + t) + 4m_N s^{3/2}(-3m_Y^2 - 2m_Y\sqrt{s} + 2s + 6t) \\
& \left. - m_N^2 \{ -30\sqrt{s} + 8m_Y s^{3/2} + 8s^2 + s(15 - 16m_Y^2 + 32t) \} \right] \\
& + \left(m_N^4(m_Y^2 + s) - 2m_K^4(3m_N^2 - 4m_N\sqrt{s} + s) \right. \\
& + m_N^2(m_Y^2 - 6m_Y^4 - 12m_Y^3\sqrt{s} + s - 23m_Y^2s - 4m_Ys^{3/2} + 15s^2) \\
& + 4m_N(2m_Y^4\sqrt{s} - 2m_Y^3s + 4m_Y^2s^{3/2} - 5m_Ys^2 + s^{5/2}) \\
& - m_K^2 \left[m_N^4 - m_N^2(-1 + 12m_Y^2 + 12m_Y\sqrt{s} + 11s) \right. \\
& + 4m_N(4m_Y^2\sqrt{s} - 2m_Ys + 3s^{3/2}) + 4s(m_Y^2 - 5s - 2t) \left. \right] \\
& \left. - 2s \left[-3m_Y^4 - 2m_Y^3\sqrt{s} + 2m_Y\sqrt{s}(2s + t) + m_Y^2(-8s + 4t) \right] \right\}
\end{aligned}$$

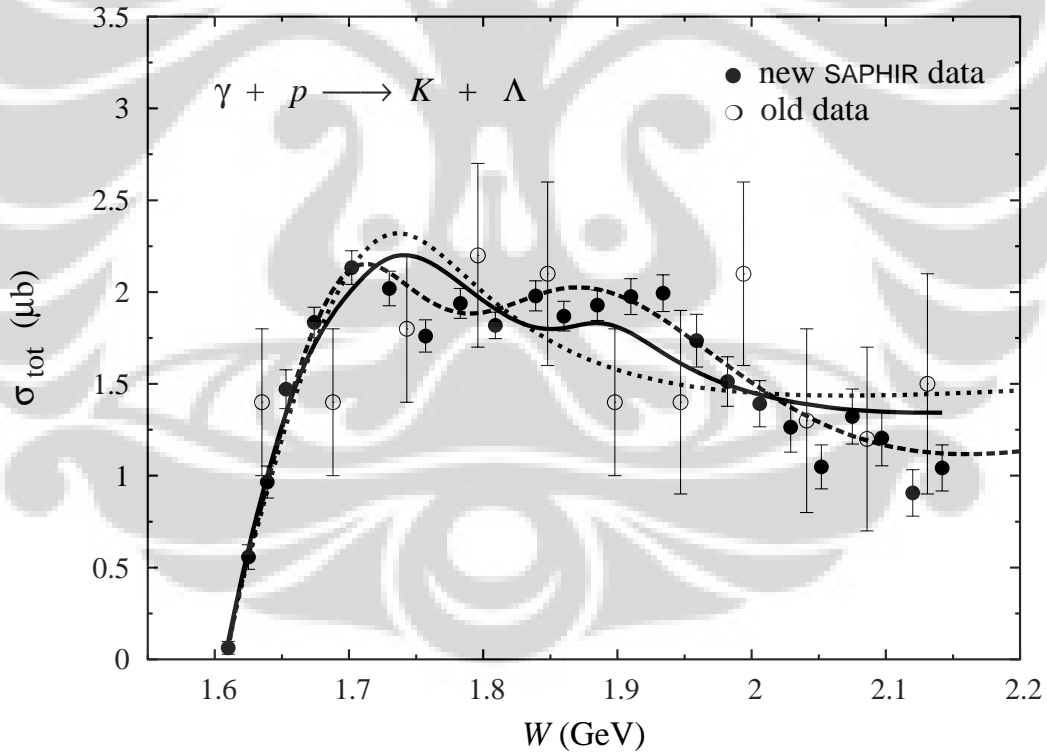
$$\left. \left. \left. \left. +s(9s + 14t) \right] \right) k^2 + \left[m_K^2(m_N^2 - 8s) - m_N^2(m_Y^2 + s) \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. + 4s(2m_Y^2 + m_Y\sqrt{s} + 2s) \right] k^4 \right\} \right]$$

dimana

$$N^{N^*(\frac{5}{2}\pm)} = \frac{g_{KYN^*}}{40m_{N^*}^2 M^2 (s - m_{N^*}^2 + i m_{N^*} \Gamma_{N^*})}$$

dengan m_N , m_K , dan M_Y masing-masing adalah massa nukleon, kaon dan hyperon. Khusus untuk proses fotoproduksi amplitudo A_5 dan A_6 tidak memberikan kontribusi hanya $A_1 - A_4$ karena syarat untuk fotoproduksi suku k^2 dan $k \cdot \epsilon$ sama nol.

Konstanta-konstanta $g_{\gamma N^* N}^{(1)}$, $g_{\gamma N^* N}^{(2)}$, $g_{\gamma N^* N}^{(3)}$, dan $g_{\gamma N^* N}^{(4)}$ pada formula di atas menunjukkan empat kemungkinan kopling elektromagnetik pada verteks $N^* N \gamma(\frac{3}{2}\pm)$. Konstanta-konstanta kopling ini akan ditentukan oleh 'pencocokan' terhadap besaran yang teramati dalam produksi kaon.



Gambar 4.1: Penampang lintang total untuk proses fotoproduksi kaon.

Tabel 4.1: Kumpulan-kumpulan konstanta kopling, kumpulan I diperoleh dari data Kaon MAID, kumpulan II diperoleh dari *fitting* semua data yang sesuai dengan produksi Kaon.

Konstanta Kopling	I	II
$G_{KAN}/\sqrt{4\pi}$	-3.8000	-3.8000
$G_{K\Sigma N}/\sqrt{4\pi}$	1.2000	1.2000
θ_G	90.000	132.30
ϕ_G	180.00	89.554
$G_{N_4^*}/\sqrt{4\pi}$	-0.13322	-0.13767
$G_{N_5^*}^1/\sqrt{4\pi}$	1.1013	-0.49584E-01
$G_{N_5^*}^2/\sqrt{4\pi}$	0.63458	-0.21390
$G_{N_5^*}^3/\sqrt{4\pi}$	-	0.38048E-01
$G_{N_5^*}^4/\sqrt{4\pi}$	-	0.85978E-01
$G_{N_6^*}/\sqrt{4\pi}$	-0.25750	-0.44202E-01
$G_{K_1}^V$	3.8104	0.49475E-01
$G_{K_1}^T$	-2.4078	-1.5463
$G_{N_7^*}^1/\sqrt{4\pi}$	0.46317E-01	-0.83292E-01
$G_{N_7^*}^2/\sqrt{4\pi}$	0.61399	-0.79064E-01
$G_{N_7^*}^3/\sqrt{4\pi}$	-	-0.79796E-01
$G_{N_7^*}^4/\sqrt{4\pi}$	-	-0.22774E-01
Λ_{Born} (GeV)	0.63661	0.88720
Λ_{res} (GeV)	1.0340	1.6554
$M_{N_5^*}$ (GeV)	1.8953	1.8929
$\Gamma_{N_5^*}$ (GeV)	0.37228	0.10771

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penghitungan, kita mendapat formula umum untuk mencari amplitudo invarian untuk spin $3/2$ dan $5/2$ yang kemudian kita bisa juga mendapat besaran-besaran yang lain. Amplitudo invarian untuk spin- $5/2$ jelas lebih panjang hasilnya dikarenakan propagator yang juga semakin banyak variabelnya. Amplitudo ini dapat juga digunakan pada produksi kaon dengan proton maupun neutron karena keduanya termasuk nukleon.

Model propagator Pascalutsa merupakan model yang banyak digunakan pada produksi kaon dikarenakan hanya mengandung suku-suku untuk spin $3/2$ saja tanpa melibatkan spin yang lebih rendah seperti model-model lain. Selain itu verteks yang digunakan invarian tera.

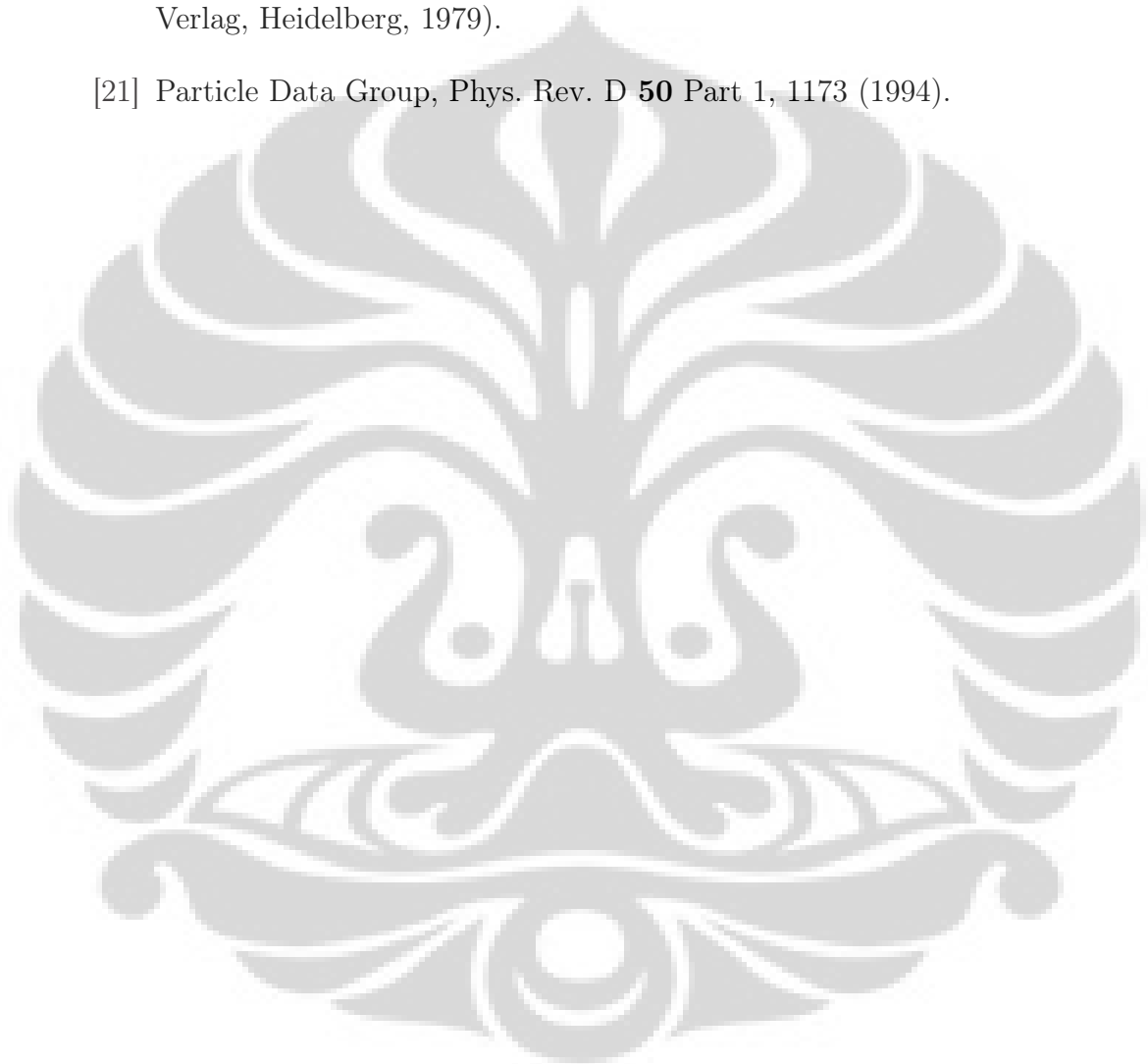
Dari hasil pencocokan data menggunakan fortran, konstanta-konstanta kopling untuk $g_{\gamma N^* N}^{(1)}$, $g_{\gamma N^* N}^{(2)}$, $g_{\gamma N^* N}^{(3)}$, dan $g_{\gamma N^* N}^{(4)}$ memiliki simpangan yang cukup jauh dengan data Kaon MAID. Hasil kurva penampang lintang (garis penuh) dengan propagator Pascalutsa ternyata kurang baik untuk menjelaskan resonan pada produksi kaon. Kemungkinan ini terjadi karena adanya perbedaan nilai yang cukup signifikan pada konstanta-konstanta kopling.

Oleh karena itu hasil ini akan lebih baik lagi jika dilakukan pemeriksaan kembali terutama pada amplitudo-amplitudo invarian sehingga bisa diperoleh hasil yang lebih baik lagi.

DAFTAR ACUAN

- [1] F. Halzen and A. D. Martin, *Quarks and Leptons: An Introductory Course in Modern Particle Physics*, John Wiley & Sons, New York, 1984.
- [2] T. Mart, Ph.D. Disertasi, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, 1996.
- [3] R. E. Behrends and Fronsdal, *Phys. Rev.* **106**, 345 (1957).
- [4] L. M. Nath, B. Etemadi, and J. D. Kimel, *Phys. Rev. D* **3**, 2153 (1971).
- [5] H. T. Williams, *Phys. Rev. C* **31**, 2297 (1984).
- [6] M. Benmerrouche, R. M. Davidson, and N. C. Mukhopadhyay, *Phys. Rev. C* **39**, 2339 (1989).
- [7] Helmut Haberzettl, Report No. 9812043, nucl-th@xxx.lanl.gov.
- [8] V. Pascalutsa, *Phys. Rev. D* **58**, 096002 (1998).
- [9] J. D. Bjorken and Drell, *Relativistic Quantum Mechanics*, Mc Graw-Hill, New York, 1964.
- [10] Jutri Taruna, Tesis S2, Universitas Indonesia, 2000.
- [11] E. Merzbacher, *Quantum Mechanics*, John Wiley & Sons, New York and London, 1961.
- [12] R. A. Adelseck, C. Bennhold, and L. E. Wright, *Phys. Rev. C* **32**, 5 (1985).
- [13] R. A. Adelseck and L. E. Wright, *Phys. Rev. C* **38**, 4 (1988).
- [14] Vladimir Pascalutsa and Rob Timmermans, *Phys. Rev. C* **60**, 042201 (1999).
- [15] B. B. Deo and A. K. Bisoi, *Phys. Rev. D* **9**, 288 (1974).
- [16] P. Dennery, *Phys. Rev.* **124**, 2000 (1961).

- [17] V. Pascalutsa, *Phys. Lett. B* **503**, 85-90 (2001).
- [18] V. Shklyar, G. Penner, and U. Mossel, *Eur. Phys. J. A* **21**, 445-454 (2004).
- [19] A. Donnachie, in *High Energy Physics*, **Vol. 5**, edited by E. H. S. Burhop (Academic Press, New York, 1972) p.1.
- [20] E. Amaldi, S. Fubini, and G. Furlan, *Pion Electroproduction* (Springer-Verlag, Heidelberg, 1979).
- [21] Particle Data Group, *Phys. Rev. D* **50** Part 1, 1173 (1994).



LAMPIRAN A

MEKANIKA KUANTUM RELATIVISTIK

A.1 Satuan

Sistem satuan yang digunakan penulis adalah sistem satuan alami (*natural system of units*), di mana didefinisikan $\hbar = c = 1$ dan tidak berdimensi. Energi, massa, dan momentum, seluruhnya berdimensi energi, yakni dengan satuan MeV. Dengan demikian, dimensi panjang dan luas masing-masing menjadi energi⁻¹ dan energi⁻². Untuk mendapatkan nilai dan mengembalikan dimensi besaran yang ingin diketahui, digunakan konversi berikut [21]:

$$\hbar = 6.58212233(49) \times 10^{-22} \text{ MeV s} \quad (\text{A.1})$$

$$\hbar c = 197.327053(59) \text{ MeV fm} \quad (\text{A.2})$$

$$(\hbar c)^2 = 0.38937966(23) \text{ GeV}^2 \text{ mbarn} \quad (\text{A.3})$$

Vektor-empat kontravarian didefinisikan sebagai

$$x^\mu \equiv (x^0, x^1, x^2, x^3) \equiv (t, \mathbf{x}) \equiv (t, x, y, z) \quad (\text{A.4})$$

dan vektor-empat kovarian dinyatakan dengan

$$x_\mu \equiv (x_0, x_1, x_2, x_3) \equiv (t, -\mathbf{x}) \equiv (t, -x, -y, -z) \quad (\text{A.5})$$

$$= g_{\mu\nu} x^\nu \quad (\text{A.6})$$

dengan matriks transformasi

$$g_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \quad (\text{A.7})$$

Untuk momentum-empat kontravarian

$$p^\mu \equiv (p^0, p^1, p^2, p^3) \equiv (E, \mathbf{p}) \quad (\text{A.8})$$

dan operator momentumnya

$$\hat{p}^\mu \equiv i\partial^\mu \equiv i\frac{\partial}{\partial x_\mu} = \left(i\frac{\partial}{\partial t}, -i\nabla \right) \quad (\text{A.9})$$

serta perkalian skalar antara dua momentum-empat diberikan oleh

$$p \cdot q \equiv p^\mu q_\mu \equiv E_p E_q - \mathbf{p} \cdot \mathbf{q} \quad (\text{A.10})$$

A.2 Aljabar Dirac

Matriks Dirac yang digunakan adalah:

$$\gamma^\mu \equiv (\gamma^0, \gamma^i), \quad \gamma^{0\dagger} = \gamma^0, \quad \gamma^{\mu\dagger} = \gamma^0 \gamma^\mu \gamma^0. \quad (\text{A.11})$$

memiliki representasi matriks

$$\gamma_0 = \gamma^0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad \gamma^i = \begin{bmatrix} 0 & \sigma^i \\ -\sigma^i & 0 \end{bmatrix}. \quad (\text{A.12})$$

di mana ketiga matriks Pauli, σ^i dinyatakan oleh

$$\sigma^1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad \sigma^2 = \begin{bmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{bmatrix}, \quad \sigma^3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad (\text{A.13})$$

yang memenuhi hubungan antikomutatif

$$\{\sigma^i, \sigma^j\} \equiv \sigma^i \sigma^j + \sigma^j \sigma^i = 2\delta_{ij}, \quad (\text{A.14})$$

(sambungan)

dan hubungan komutatif

$$[\sigma^i, \sigma^j] \equiv \sigma^i \sigma^j - \sigma^j \sigma^i = 2i \varepsilon_{ijk} \sigma^k, \quad (\text{A.15})$$

di mana ε_{ijk} merupakan bentuk nonkovarian tensor antisimetrik Levi-Civita yang didefinisikan kemudian pada Pers. (A.25).

Matriks Dirac γ memenuhi hubungan antikomutatif berikut

$$\{\gamma^\mu, \gamma^\nu\} \equiv \gamma^\mu \gamma^\nu + \gamma^\nu \gamma^\mu = 2g^{\mu\nu}, \quad (\text{A.16})$$

dan hubungan komutatif

$$[\gamma^\mu, \gamma^\nu] \equiv \gamma^\mu \gamma^\nu - \gamma^\nu \gamma^\mu \equiv -2i \sigma^{\mu\nu}, \quad (\text{A.17})$$

Pada hubungan ini, kita mempunyai

$$\sigma^{ij} = \begin{bmatrix} \sigma^k & 0 \\ 0 & \sigma^k \end{bmatrix} \quad \text{dan} \quad \sigma^{0i} = i \begin{bmatrix} 0 & \sigma^i \\ \sigma^i & 0 \end{bmatrix}. \quad (\text{A.18})$$

Kombinasi lainnya yang berguna adalah

$$\gamma^5 \equiv i\gamma^0\gamma^1\gamma^2\gamma^3 = \gamma_5 = \frac{1}{24} i \varepsilon_{\mu\nu\rho\sigma} \gamma^\mu \gamma^\nu \gamma^\rho \gamma^\sigma = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad (\text{A.19})$$

$$\gamma^{\mu\nu} = \frac{1}{2} [\gamma^\mu, \gamma^\nu] = \gamma^\mu \gamma^\nu - g^{\mu\nu}, \quad (\text{A.20})$$

$$\gamma^{\mu\nu\rho} = \frac{1}{2} \{\gamma^{\mu\nu}, \gamma^\rho\} = i \varepsilon^{\mu\nu\rho\sigma} \gamma_\sigma \gamma_5, \quad (\text{A.21})$$

$$i \varepsilon^{\mu\nu\rho\sigma} = \frac{1}{2} \gamma_5 [\gamma^{\mu\nu\rho}, \gamma^\sigma], \quad (\text{A.22})$$

$$i \varepsilon^{\mu\nu\rho\sigma} \gamma_\mu = \gamma_5 (-\gamma^\nu \gamma^\rho \gamma^\sigma + g^{\nu\rho} \gamma^\sigma + g^{\rho\sigma} \gamma^\nu - g^{\nu\sigma} \gamma^\rho), \quad (\text{A.23})$$

$$\gamma_5 \gamma_\sigma = -\gamma_\sigma \gamma_5 = \frac{1}{6} i \varepsilon_{\mu\nu\rho\sigma} \gamma^\mu \gamma^\nu \gamma^\rho, \quad (\text{A.24})$$

tensor antisimetrik Levi-Civita didefinisikan sebagai

$$\varepsilon_{\mu\nu\rho\sigma} = \begin{cases} +1 & \text{untuk permutasi siklik (misalnya } 0, 1, 2, 3) \\ -1 & \text{untuk permutasi anti-siklik (misalnya } 1, 0, 2, 3) \\ 0 & \text{jika ada dua atau lebih indeks yang sama.} \end{cases} \quad (\text{A.25})$$

Identitas matriks Dirac yang bermanfaat dalam penghitungan:

$$\gamma^\mu \gamma_\mu = 4, \quad (\text{A.26})$$

(sambungan)

$$\gamma^\mu \gamma_\nu \gamma_\mu = -2\gamma_\nu, \quad (\text{A.27})$$

$$\gamma^\mu \gamma_\nu \gamma_\rho \gamma_\mu = 4g_{\nu\rho}, \quad (\text{A.28})$$

$$\gamma^\mu \gamma_\nu \gamma_\rho \gamma_\sigma \gamma_\mu = -2\gamma_\sigma \gamma_\rho \gamma_\nu. \quad (\text{A.29})$$

Perkalian skalar antara matriks γ dan momentum-empat ditulis sebagai

$$\gamma^\mu p_\mu = \gamma^0 p^0 - \boldsymbol{\gamma} \cdot \mathbf{p} \equiv \not{p} \quad (\text{A.30})$$

Spinor Dirac untuk partikel bebas memiliki bentuk

$$u = \left(\frac{E+m}{2m} \right)^{\frac{1}{2}} \begin{bmatrix} \chi_s \\ \frac{\boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{p}}{E+m} \chi_s \end{bmatrix}, \quad (\text{A.31})$$

dan

$$v = \left(\frac{E+m}{2m} \right)^{\frac{1}{2}} \begin{bmatrix} -\frac{\boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{p}}{E+m} \chi_s \\ \chi_s \end{bmatrix}, \quad (\text{A.32})$$

dimana $E = E_p = \sqrt{m^2 + \mathbf{p}^2}$ dan χ_s adalah dua komponen spinor Pauli yang berbentuk

$$\chi_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \chi_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (\text{A.33})$$

Spinor-spinor Dirac ini ternormalisasi

$$\bar{u}(p, s) u(p, s) = 1, \quad (\text{A.34})$$

$$\bar{v}(p, s) v(p, s) = -1, \quad (\text{A.35})$$

$$(\text{A.36})$$

dengan spinor *adjoint* didefinisikan oleh

$$\bar{u}(p, s) = u^\dagger \gamma^0, \quad (\text{A.37})$$

$$\bar{v}(p, s) = v^\dagger \gamma^0. \quad (\text{A.38})$$

$$(\text{A.39})$$

Dengan menggunakan spinor Dirac u dan v , persamaan Dirac dapat ditulis

(sambungan)

dalam bentuk

$$(\not{p} - m)u(p, s) = 0 , \quad (\text{A.40})$$

$$(\not{p} + m)v(p, s) = 0 , \quad (\text{A.41})$$

$$(\text{A.42})$$

dan dalam bentuk spinor *adjoint* menjadi

$$\bar{u}(p, s)(\not{p} - m) = 0 , \quad (\text{A.43})$$

$$\bar{v}(p, s)(\not{p} + m) = 0 . \quad (\text{A.44})$$



LAMPIRAN B

METODE PENGHITUNGAN

B.1 Program Mathematica

Pada bagian ini, kami akan memberikan contoh penghitungan matriks transisi pada spin 3/2 hanya untuk konstanta kopling $g_{\gamma N^* N}^{(1)}$ menggunakan program Mathematica. Untuk $g_{\gamma N^* N}^{(2)}$, $g_{\gamma N^* N}^{(3)}$, dan $g_{\gamma N^* N}^{(4)}$ cukup mengganti bagian verteks elektromagnetiknya saja. Sementara untuk spin 5/2 semua verteks dan propagator diganti sesuai dengan propagatornya dan tabel verteks seperti yang tercantum dalam Bab 3.

Mula-mula kita panggil paket FeynCalc sebelum memulai penghitungan.

```
<<HighEnergyPhysics`FeynCalc`
```

Menguraikan bentuk verteks hadronik (masih dikalikan $g_{KYN}/(4 \cdot m_N^2)$), di sini m_N = massa partikel resonan = m_{N^*} .

```
gama =  
GA5.(GA[μ, ν, ρ, σ] - MT[μ, ν].GA[ρ, σ] + GA[ρ, μ, ν, σ] -  
GA[ρ].MT[μ, ν].GA[σ] - GA[σ, μ, ν, ρ] +  
GA[σ].MT[μ, ν].GA[ρ] - GA[σ, ρ, μ, ν] +  
GA[σ, ρ].MT[μ, ν]).FourVector[pp, ν].GA5.GA[ρ].  
FourVector[q, σ]; [Enter]  
gamamuhad = Calc[gama]; [Enter]
```

Menguraikan bentuk verteks elektromagnetik untuk kopling g_1 (masih dikalikan kopling g_1/M^2).

```

ganu =
(-I/4)*
GA5.(GA[ν, μ, ρ, σ] - MT[ν, μ].GA[ρ, σ] + GA[ρ, ν, μ, σ] -
GA[ρ].MT[ν, μ].GA[σ] - GA[σ, ν, μ, ρ] +
GA[σ].MT[ν, μ].GA[ρ] - GA[σ, ρ, ν, μ] +
GA[σ, ρ].MT[ν, μ]).FourVector[p, σ].
(FourVector[k, μ].FourVector[ε, ρ] -
FourVector[k, ρ].FourVector[ε, μ]);           [Enter]
ganuem = Calc[ganu];                           [Enter]

```

Mengalikan semua verteks dengan propagator (k = momentum foton, p = momentum nukleon, q = momentum Kaon, $pp=p'$ = momentum hyperon, $mn = m_N$ = massa nukleon, $mK = m_K$ = massa Kaon, $mY = m_Y$ = massa hyperon).

```

ps = k + p;                                     [Enter]
q = k + p - pp;                                 [Enter]
ScalarProduct[p, p] = mn^2;                    [Enter]
ScalarProduct[pp, pp] = mY^2;                  [Enter]
S32 = (GS[ps] + mN).
(-MT[μ, ν] + GA[μ, ν]/3 +
(GA[μ].FourVector[ps, ν] - GA[ν].FourVector[ps, μ])/
(3 * mN) +
2 * FourVector[ps, μ].FourVector[ps, ν]/(3 * mN^2)); [Enter]
Mfi = gamamuhad.S32.ganuem;                     [Enter]
Mfi1 = Calc[Mfi];                               [Enter]
Mfi2 = DiracOrder[Mfi1, {pp, ε, k, p}];         [Enter]
Mfi3 = DiracSimplify[
SpinorUBar[pp, mY].Mfi2.SpinorU[p, mn]];       [Enter]
Mfi4 =
Mfi3/.
(Spinor[Momentum[pp], mY, 1].DiracGamma[Momentum[ε]].
DiracGamma[Momentum[k]].DiracGamma[5].
Spinor[Momentum[p], mn, 1]) →
(Spinor[Momentum[pp], mY, 1].DiracGamma[5].
Spinor[Momentum[p], mn, 1])*
Pair[Momentum[k], Momentum[ε]] +

```

(sambungan)

```

Spinor[Momentum[pp], mY, 1].M1.
Spinor[Momentum[p], mn, 1]);           [Enter]
Mfi5 = Calc[Mfi4];                       [Enter]
Mfires = Collect2[Mfi5, {M1, Dot}, Factoring → Factor]; [Enter]

```

Hasil akhir ini masih harus dikalikan dengan konstanta-konstanta yang tidak dimasukkan di awal penghitungan.

$$\begin{aligned}
& \text{Hasil} = gKYN * Mfires / (4 * mN^2 * M^2 * P^2) \\
& \frac{1}{4M^2 mN^2 P^2} \left(gKYN \left(-\frac{8}{3} i M1 \varphi(\mathbf{pp}, mY) \cdot \varphi(p, mn) (2mYmn^3 + 2mNmYmn^2 - \right. \right. \\
& k \cdot \mathbf{pp}mn^2 + 2p \cdot \mathbf{pp}mn^2 + 2mYk^2mn + 4mYk \cdot \mathbf{p}mn + \\
& 2mNk \cdot \mathbf{pp}mn + 2mNp \cdot \mathbf{pp}mn + 2mNmYk \cdot p - k \cdot \mathbf{pk} \cdot \mathbf{pp} + \\
& 3k^2p \cdot \mathbf{pp} + 5k \cdot \mathbf{pp} \cdot \mathbf{pp}) - \\
& \frac{8}{3} i \varphi(\mathbf{pp}, mY) \cdot (\gamma \cdot \epsilon) \cdot \gamma^5 \cdot \varphi(p, mn) \\
& (3k \cdot \mathbf{pp}mn^3 + 2mYk \cdot \mathbf{p}mn^2 + 3mNk \cdot \mathbf{pp}mn^2 + 2mNmYk^2mn + \\
& 2mNmYk \cdot \mathbf{p}mn + 2k^2k \cdot \mathbf{pp}mn + 5k \cdot \mathbf{pk} \cdot \mathbf{pp}mn - \\
& k^2p \cdot \mathbf{pp}mn - k \cdot \mathbf{pp} \cdot \mathbf{pp}mn + 4mYk \cdot p^2 + 2mYk^2k \cdot p + \\
& 5mNk \cdot \mathbf{pk} \cdot \mathbf{pp} - 3mNk^2p \cdot \mathbf{pp} - mNk \cdot \mathbf{pp} \cdot \mathbf{pp}) + \\
& \frac{8}{3} i \varphi(\mathbf{pp}, mY) \cdot (\gamma \cdot k) \cdot \gamma^5 \cdot \varphi(p, mn) (3\mathbf{pp} \cdot \epsilon mn^3 + 2mYp \cdot \epsilon mn^2 + \\
& 3mN\mathbf{pp} \cdot \epsilon mn^2 + 2mNmYk \cdot \epsilon mn - k \cdot \mathbf{pp}k \cdot \epsilon mn - \\
& k \cdot \epsilon p \cdot \mathbf{pp}mn + 2mNmYp \cdot \epsilon mn - k \cdot \mathbf{ppp} \cdot \epsilon mn - \\
& p \cdot \mathbf{ppp} \cdot \epsilon mn + 3k^2\mathbf{pp} \cdot \epsilon mn + 6k \cdot \mathbf{ppp} \cdot \epsilon mn - \\
& 3mNk \cdot \epsilon p \cdot \mathbf{pp} + 2mYk^2p \cdot \epsilon + 4mYk \cdot \mathbf{pp} \cdot \epsilon + \\
& 2mNk \cdot \mathbf{ppp} \cdot \epsilon - mNp \cdot \mathbf{ppp} \cdot \epsilon + 3mNk \cdot \mathbf{ppp} \cdot \epsilon) + \\
& \left. \frac{8}{3} i \varphi(\mathbf{pp}, mY) \cdot \gamma^5 \cdot \varphi(p, mn) (-3k \cdot \mathbf{ppp} \cdot \epsilon mn^2 + 3k \cdot \mathbf{ppp} \cdot \epsilon mn^2 - \right. \\
& 3mNk \cdot \mathbf{pp}k \cdot \epsilon mn - 3mNk \cdot \mathbf{ppp} \cdot \epsilon mn + 3mNk^2\mathbf{pp} \cdot \epsilon mn + \\
& 3mNk \cdot \mathbf{ppp} \cdot \epsilon mn + 2mNmYk \cdot \mathbf{pk} \cdot \epsilon - k \cdot \mathbf{pk} \cdot \mathbf{pp}k \cdot \epsilon - \\
& k \cdot \mathbf{pk} \cdot \epsilon p \cdot \mathbf{pp} - 2mNmYk^2p \cdot \epsilon - 2k^2k \cdot \mathbf{ppp} \cdot \epsilon - 6k \cdot p \\
& \left. k \cdot \mathbf{ppp} \cdot \epsilon + k^2p \cdot \mathbf{ppp} \cdot \epsilon + 6k \cdot p^2\mathbf{pp} \cdot \epsilon + 3k^2k \cdot \mathbf{ppp} \cdot \epsilon) \right)
\end{aligned}$$

(sambungan)

B.2 Bentuk-bentuk Invarian

Dalam penghitungan menggunakan Mathematica ini, kita diharapkan mendapat bentuk-bentuk invarian seperti tercantum di bawah ini agar kita dapat memperoleh amplitudo-amplitudo invarian yang diinginkan.

$$(p \cdot \epsilon \not{k} - p \cdot k \not{\epsilon}) \gamma_5 = \frac{1}{2} \left\{ (m_N + m_Y) M_1 + M_3 + M_4 + M_6 \right\} \quad (\text{B.1})$$

$$(p' \cdot \epsilon \not{k} - p' \cdot k \not{\epsilon}) \gamma_5 = \frac{1}{2} \left\{ (m_N + m_Y) M_1 - M_3 + M_4 - M_6 \right\} \quad (\text{B.2})$$

$$(p \cdot \epsilon k^2 - p \cdot k k \cdot \epsilon) \gamma_5 = \frac{1}{2(t - m_K^2)} \left\{ 2k^2 M_2 + [k^2 - 2(s - m_N^2)] M_5 \right\} \quad (\text{B.3})$$

$$(p' \cdot \epsilon k^2 - p' \cdot k k \cdot \epsilon) \gamma_5 = \frac{1}{2(t - m_K^2)} \left\{ 2k^2 M_2 + [k^2 - 2(s - m_N^2)] M_5 \right\} - M_5 \quad (\text{B.4})$$

$$(p' \cdot k p \cdot \epsilon - p \cdot k p' \cdot \epsilon) \gamma_5 = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{k^2}{(t - m_K^2)} \right) M_2 - \frac{1}{4} \left(1 + \frac{2(s - m_N^2) - k^2}{(t - m_K^2)} \right) M_5 \quad (\text{B.5})$$

dimana $M_1 - M_6$ ditentukan oleh pers. (3.11).

LAMPIRAN C

FORMULA DALAM REAKSI ELEMENTER

C.1 Kinematika

Di dalam reaksi elemeter, momentum-4 dari partikel-partikel yang berinteraksi didefinikan sebagai

$$\begin{aligned} k_1^\mu &= (\epsilon_1, \mathbf{k}_1) & k_2^\mu &= (\epsilon_2, \mathbf{k}), \\ k^\mu &= (k_0, \mathbf{k}) & p^\mu &= (E_N, \mathbf{p}_1), \\ q^\mu &= (E_K, \mathbf{q}_1) & p'^\mu &= (E_Y, \mathbf{p}'_1). \end{aligned} \quad (\text{C.1})$$

Dalam sistem pusat momentum, momentum-4 pada verteks hadronik menjadi

$$k^\mu = (k_0, \mathbf{k}), \quad p^\mu = (E_N, -\mathbf{k}), \quad q^\mu = (E_K, \mathbf{q}), \quad p'^\mu = (E_Y, -\mathbf{q}), \quad (\text{C.2})$$

sementara dalam kerangka laboratorium

$$\tilde{k}^\mu = (\tilde{k}_0, \tilde{\mathbf{k}}), \quad \tilde{p}^\mu = (m_N, \mathbf{0}), \quad \tilde{q}^\mu = (\tilde{E}_K, \tilde{\mathbf{q}}), \quad \tilde{p}'^\mu = (\tilde{E}_Y, \tilde{\mathbf{k}} - \mathbf{q}), \quad (\text{C.3})$$

Variabel-variabel Mandelstam boleh dinyatakan dalam variabel-variabel pusat massa

$$\begin{aligned} s &= (k_0 + E_N)^2 = W^2, \\ t &= k^2 + m_K^2 - 2(k_0 E_K - |\mathbf{k}| |\mathbf{q}| \cos \theta_K), \\ u &= k^2 + m_Y^2 - 2(k_0 E_Y + |\mathbf{k}| |\mathbf{q}| \cos \theta_K), \end{aligned} \quad (\text{C.4})$$

atau dalam variabel-variabel kerangka laboratorium

$$\begin{aligned} s &= k^2 + m_N^2 + 2\tilde{k}_0 m_N, \\ t &= m_N^2 + m_Y^2 - 2\tilde{E}_N m_N, \\ u &= m_N^2 + m_K^2 - 2\tilde{E}_K m_N. \end{aligned} \quad (\text{C.5})$$

Untuk tujuan penghitungan numerik, relasi berikut yang melibatkan variabel-variabel pusat massa bisa digunakan

$$\begin{aligned} E_N &= \frac{s + m_N^2 - k^2}{2W}, \\ E_Y &= \frac{s + m_Y^2 - m_K^2}{2W}, \\ k_0 &= W - E_N, \\ E_K &= W - E_Y, \\ |\mathbf{k}|^2 &= k_0^2 - k^2, \\ |\mathbf{q}|^2 &= E_K^2 - m_K^2. \end{aligned} \quad (\text{C.6})$$

Pers. (C.6) bisa dinyatakan dalam kerangka laboratorium dengan menghitung \tilde{k}_0 , \tilde{E}_Y , dan \tilde{E}_K dari pers. (C.5) dan dengan catatan $\tilde{E}_N = m_N$. Dengan menggunakan pers. (C.6) dan hasil kali invarian $k \cdot q$, bisa ditunjukkan bahwa

$$\tilde{k}_0 = k_0 \frac{W}{m_N} - \frac{k^2}{m_N}, \quad (\text{C.7})$$

dan

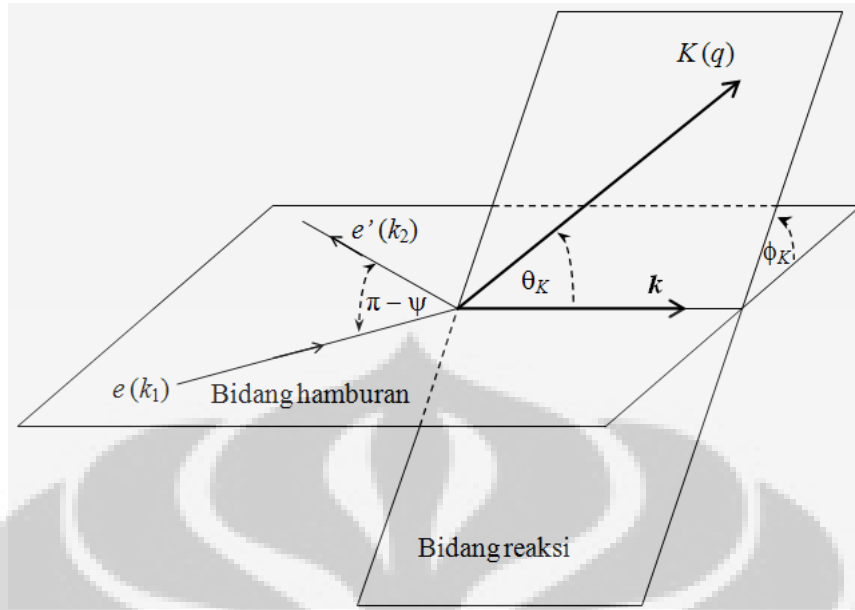
$$\cos \tilde{\theta}_K = \cos \theta_K \left[\frac{|\mathbf{k}| |\mathbf{q}|}{|\tilde{\mathbf{k}}| |\tilde{\mathbf{q}}|} \left(\frac{\tilde{k}_0 \tilde{E}_K - k \cdot q}{k_0 E_K - k \cdot q} \right) \right]. \quad (\text{C.8})$$

Pers. (C.7) dan (C.8) berguna untuk transformasi dari pusat massa ke sistem laboratorium.

C.2 Penampang Lintang

Penampang lintang elementer untuk foto- dan elektroproduksi ditentukan dalam banyak acuan, misalnya [19, 20]. Formula juga diberikan dalam acuan [15] untuk kasus tanpa suku-suku resonan (tanpa amplitudo imajiner).

Menurut notasi Bjorken and Drell [9], penampang lintang diferensial dari



Gambar C.1: Variabel-variabel kinematika untuk elektroproduksi kaon pada nukleon.

elektroproduksi bisa ditulis sebagai

$$d\sigma = \frac{m_e^2 m_N m_Y}{(2\pi)^5 [(k_1 \cdot p)^2 - m_e^2 m_N^2]^{1/2}} |\mathcal{M}|^2 \frac{d^3 \mathbf{k}_2}{\epsilon_2} \frac{d^3 \mathbf{p}}{E_N} \frac{d^3 \mathbf{q}}{2E_K} \delta^4(k_1 + p - k_2 - p' - q) \quad (\text{C.9})$$

dimana matriks transisi $|\mathcal{M}|^2$ diperoleh dengan menjumlahkan dan merata-ratakan pers. (3.11) terhadap seluruh spin awal dan akhir dari elektron dan hadron.

Dengan melakukan integrasi dalam ruang fase dengan menggunakan fungsi delta dalam pers. (C.9), kita dapat menyatakan penampang lintang dalam suku penampang lintang diferensial *fivefold*

$$\frac{d^5 \sigma}{d\epsilon_2 d\Omega_e d\Omega_K} = \left(\frac{\alpha \epsilon_2 s - m_N^2}{2\pi^2 \epsilon_1} \frac{1}{2m_N} \frac{1}{k^2(\epsilon - 1)} \right) \frac{d\sigma_v}{d\Omega_K}, \quad (\text{C.10})$$

dimana suku di dalam kurung diartikan sebagai fluks foton virtual dan $\frac{d\sigma_v}{d\Omega_K}$ menunjukkan penampang lintang diferensial untuk produksi kaon oleh foton virtual. Kuantitas ϵ menjelaskan polarisasi linear transversal dari foton virtual yang nilainya

$$\epsilon = \left(1 - \frac{2\tilde{\mathbf{k}}^2}{k^2} \tan^2(\psi/2) \right)^{-1}, \quad (\text{C.11})$$

dengan ψ adalah sudut hamburan elektron.

(sambungan)

Penampang lintang diferensial $\frac{d\sigma_v}{d\Omega_K}$ bisa ditulis sebagai jumlah empat suku

$$\frac{d\sigma_T}{d\Omega_K} = \frac{d\sigma_v}{d\Omega_K} + \epsilon \frac{d\sigma_L}{d\Omega_K} + \epsilon \frac{d\sigma_{TT}}{d\Omega_K} \cos 2\phi_K + \left[\frac{1}{2}\epsilon(1 + \epsilon) \right]^{1/2} \frac{d\sigma_{LT}}{d\Omega_K} \cos \phi_K, \quad (C.12)$$

dimana ϕ_K adalah sudut azimut antara bidang hamburan elektron dan hadron dalam sistem laboratorium (lihat Gambar C.1). Indeks bawah T, L, TT, dan LT menunjukkan foton tidak terpolarisasi, polarisasi longitudinal, interferensi komponen-komponen polarisasi transversal, dan interferensi antara polarisasi transversal dan longitudinal. Setiap suku dapat dinyatakan dengan amplitudo helisitas H_i

$$\frac{d\sigma_T}{d\Omega_K} = \frac{|\mathbf{q}|W}{(s - m_N^2)} (H_1 H_1^* + H_2 H_2^* + H_3 H_3^* + H_4 H_4^*), \quad (C.13)$$

$$\frac{d\sigma_L}{d\Omega_K} = \frac{2|\mathbf{q}|W k^2}{(s - m_N^2) k_0^2} (H_5 H_5^* + H_6 H_6^*), \quad (C.14)$$

$$\frac{d\sigma_{TT}}{d\Omega_K} = \frac{|\mathbf{q}|W}{s - m_N^2} (H_2 H_3^* + H_2^* H_3 - H_1 H_4^* - H_1^* H_4), \quad (C.15)$$

$$\frac{d\sigma_{LT}}{d\Omega_K} = \frac{|\mathbf{q}|W}{(s - m_N^2)} \frac{(-8 k^2)^{1/2}}{2k_0} [(H_4 - H_1) H_5^* + (H_4^* - H_1^*) H_5^* \quad (C.16)$$

$$-(H_3 + H_2) H_6^* - (H_3^* + H_2^*) H_6], \quad (C.17)$$

dengan

$$H_1 = -\frac{1}{\sqrt{2}}(f_3 + f_4) \sin \theta_K \cos \frac{1}{2}\theta_K, \quad (C.18)$$

$$H_2 = -\sqrt{2}(f_1 - f_2) \cos \frac{1}{2}\theta_K + H_3, \quad (C.19)$$

$$H_3 = \frac{1}{\sqrt{2}}(f_3 - f_4) \sin \theta_K \sin \frac{1}{2}\theta_K, \quad (C.20)$$

$$H_4 = \sqrt{2}(f_1 + f_2) \sin \frac{1}{2}\theta_K - H_1, \quad (C.21)$$

$$H_5 = -(f_5 + f_6) \cos \frac{1}{2}\theta_K, \quad (C.22)$$

$$H_6 = -(f_5 - f_6) \sin \frac{1}{2}\theta_K, \quad (C.23)$$

$$(C.24)$$

$$f_{1,2} = \frac{1}{8\pi W} [(E_N \pm m_N)(E_Y \pm m_Y)]^{1/2} [\pm(W \mp m_N)A_1 \quad (C.25)$$

$$+ q \cdot k(A_3 - A_4) + (W \mp m_N)(W \mp m_Y)A_4 - k^2 A_6], \quad (C.26)$$

$$f_{3,4} = \frac{|\mathbf{q}| |\mathbf{k}|}{8\pi W} \left(\frac{E_Y \pm m_Y}{E_N \pm m_N} \right)^{1/2} [\pm(s - m_N^2)A_2 \quad (C.27)$$

$$\mp \frac{1}{2}k^2(A_2 - 2A_5) + (W \mp m_N)(A_3 - A_4)], \quad (C.28)$$

(sambungan)

$$\begin{aligned}
f_{5,6} = & \frac{k_0}{8\pi W} [(E_N \pm m_N)(E_Y \pm m_Y)]^{1/2} \left[\pm A_1 + (W \mp m_Y)A_4 \right. \\
& - (W \mp m_N)A_6 - \frac{1}{E_N \pm m_N} \{ \pm W(|\mathbf{k}|^2 - 2\mathbf{q} \cdot \mathbf{k})A_2 \\
& \pm (\mathbf{q} \cdot \mathbf{k} k_0 - E_K k^2)(A_5 - \frac{3}{2}A_2) \\
& \left. - [E_K(W \pm m_N) - \mathbf{q} \cdot \mathbf{k}](A_3 - A_4) \right]. \tag{C.29}
\end{aligned}$$

Formula lain yang berguna untuk menyatakan penampang lintang dalam bentuk $d\sigma/dt$ adalah

$$\frac{d\sigma}{dt} = \frac{\pi}{|\mathbf{k}||\mathbf{q}|} \frac{d\sigma}{d\Omega_K}, \tag{C.30}$$

atau dalam kerangka laboratorium

$$\frac{d\sigma}{d\tilde{\Omega}_K} = \frac{|(m_N + \tilde{k}_0)|\tilde{\mathbf{q}}| - \tilde{E}_K|\mathbf{k}| \cos \tilde{\theta}_K ||\tilde{\mathbf{q}}|}{|\tilde{\mathbf{q}}|^2 W} \frac{d\sigma}{d\Omega_K}. \tag{C.31}$$

Catatan: Semua kuantitas dalam pers. (C.31), kecuali q , dihitung dalam kerangka laboratorium [lihat pers. (C.3) - (C.8)].