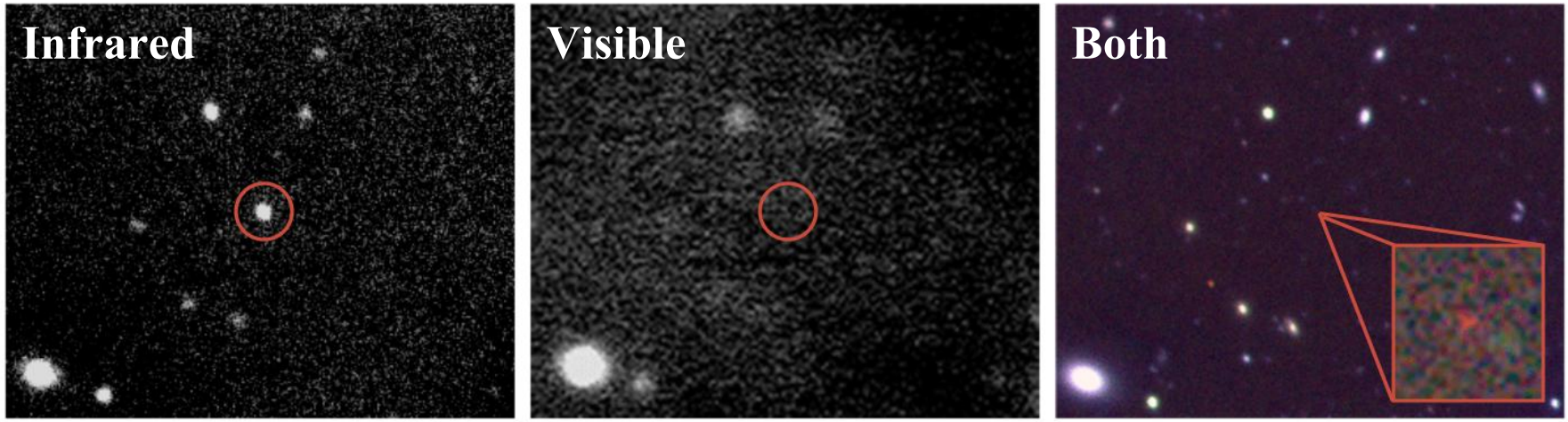
Discovery and Identification of the Very High Redshift Afterglow of GRB 050904

J. Hailsip, M. Nysewander, D. Reichart, A. Levan, N. Tavir, S. B. Cenko, D. Fox, et al.

Accepted to Nature
(astro-ph/0509660)

THE UNIVERSITY
of NORTH CAROLINA
at CHAPEL HILL

GRB 050904: A Red Afterglow



4.1m SOAR *0.41m PROMPT* *8.1m Gemini South*

telescopes detected nothing at visible wavelengths

High Redshift ***or*** **High Extinction**

$\mathbf{6 < z < 8} \longrightarrow \mathbf{z \approx 6}$

NIR spectral index $\beta = -1.25 + 0.15$ *but* NIR to visible $\beta < -5.9$ (3σ)

A Global Campaign

J. B. Haislip[1], M. C. Nysewander[1], D. E. Reichart[1], A. Levan[2], N. Tanvir[2], S. B. Cenko[3], D. B. Fox[4], P. A. Price[5], A. J. Castro-Tirado[6], J. Gorosabel[6], C. R. Evans[1], E. Figueredo[7,8], C. L. MacLeod[1], J. R. Kirschbrown[1], M. Jelinek[6], S. Guziy[6], A. de Ugarte Postigo[6], E. S. Cypriano[8,9], A. LaCluyze[1], J. Graham[10], R. Priddey[2], R. Chapman[2], J. Rhoads[11], A. S. Fruchter[11], D. Q. Lamb[12], C. Kouveliotou[13], R. A. M. J. Wijers[14], M. B. Bayliss[1,12], B. P. Schmidt[15], A. M. Soderberg[3], S. R. Kulkarni[3], F. A. Harrison[16], D. S. Moon[3], A. Gal-Yam[3], M. M. Kasliwal[3], R. Hudec[17], S. Vitek[18], P. Kubanek[19], J. A. Crain[1], A. C. Foster[1], J. C. Clemens[1], J. W. Bartelme[1], R. Canterna[20], D. H. Hartmann[21], A. A. Henden[22], S. Klose[23], H.-S. Park[24], G. G. Williams[25], E. Rol[26], P. O'Brien[26], D. Bersier[27], F. Prada[6], S. Pizarro[8], D. Maturana[8], P. Ugarte[8], A. Alvarez[8], A. J. M. Fernandez[6], M. J. Jarvis[28], M. Moles[6], E. Alfaro[6], K. M. Ivarsen[1], N. D. Kumar[1], C. E. Mack[1], C. M. Zdarowicz[1], N. Gehrels[29], S. Barthelmy[29], D. N. Burrows[4]

A Global Campaign

J. B. Haislip[1], M. C. Nysewander[1], D. E. Reichart[1], A. Levan[2], N. Tanvir[2], S. B. Cenko[3], D. B. Fox[4], P. A. Price[5], A. J. Castro-Tirado[6], J. Gorosabel[6], C. R. Evans[1], E. Figueredo[7,8], C. L. MacLeod[1], J. R. Kirschbrown[1], M. Jelinek[6], S. Guziy[6], A. de Ugarte Postigo[6], E. S. Cypriano[8,9], A. LaCluyze[1], J. Graham[10], R. Priddey[2], R. Chapman[2], J. Rhoads[11], A. S. Fruchter[11], D. Q. Lamb[12], C. Kouveliotou[13], R. A. M. J. Wijers[14], M. B. Bayliss[1,12], B. P. Schmidt[15], A. M. Soderberg[3], S. R. Kulkarni[3], F. A. Harrison[16], D. S. Moon[3], A. Gal-Yam[3], M. M. Kasliwal[3], R. Hudec[17], S. Vitek[18], P. Kubanek[19], J. A. Crain[1], A. C. Foster[1], J. C. Clemens[1], J. W. Bartelme[1], R. Canterna[20], D. H. Hartmann[21], A. A. Henden[22], S. Klose[23], H.-S. Park[24], G. G. Williams[25], E. Rol[26], P. O'Brien[26], D. Bersier[27], F. Prada[6], S. Pizarro[8], D. Maturana[8], P. Ugarte[8], A. Alvarez[8], A. J. M. Fernandez[6], M. J. Jarvis[28], M. Moles[6], E. Alfaro[6], K. M. Ivarsen[1], N. D. Kumar[1], C. E. Mack[1], C. M. Zdarowicz[1], N. Gehrels[29], S. Barthelmy[29], D. N. Burrows[4]

SOAR

A Global Campaign

J. B. Haislip[1], M. C. Nysewander[1], D. E. Reichart[1], A. Levan[2], N. Tanvir[2], S. B. Cenko[3], D. B. Fox[4], P. A. Price[5], A. J. Castro-Tirado[6], J. Gorosabel[6], C. R. Evans[1], E. Figueredo[7,8], C. L. MacLeod[1], J. R. Kirschbrown[1], M. Jelinek[6], S. Guziy[6], A. de Ugarte Postigo[6], E. S. Cypriano[8,9], A. LaCluyze[1], J. Graham[10], R. Priddey[2], R. Chapman[2], J. Rhoads[11], A. S. Fruchter[11], D. Q. Lamb[12], C. Kouveliotou[13], R. A. M. J. Wijers[14], M. B. Bayliss[1,12], B. P. Schmidt[15], A. M. Soderberg[3], S. R. Kulkarni[3], F. A. Harrison[16], D. S. Moon[3], A. Gal-Yam[3], M. M. Kasliwal[3], R. Hudec[17], S. Vitek[18], P. Kubanek[19], J. A. Crain[1], A. C. Foster[1], J. C. Clemens[1], J. W. Bartelme[1], R. Canterna[20], D. H. Hartmann[21], A. A. Henden[22], S. Klose[23], H.-S. Park[24], G. G. Williams[25], E. Rol[26], P. O'Brien[26], D. Bersier[27], F. Prada[6], S. Pizarro[8], D. Maturana[8], P. Ugarte[8], A. Alvarez[8], A. J. M. Fernandez[6], M. J. Jarvis[28], M. Moles[6], E. Alfaro[6], K. M. Ivarsen[1], N. D. Kumar[1], C. E. Mack[1], C. M. Zdarowicz[1], N. Gehrels[29], S. Barthelmy[29], D. N. Burrows[4]

UKIRT

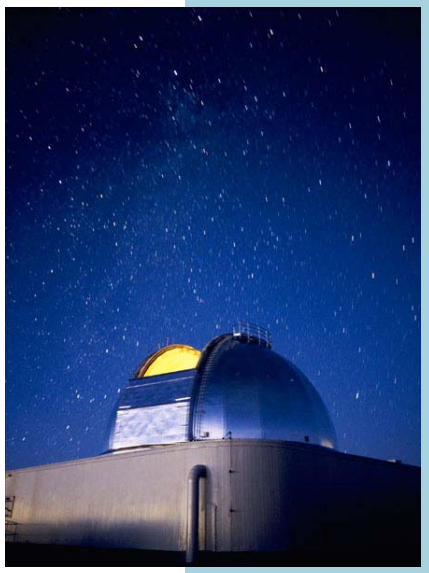
A Global Campaign

J. B. Haislip[1], M. C. Nysewander[1], D. E. Reichart[1], A. Levan[2], N. Tanvir[2], S. B. Cenko[3], D. B. Fox[4], P. A. Price[5], A. J. Castro-Tirado[6], J. Gorosabel[6], C. R. Evans[1], E. Figueredo[7,8], C. L. MacLeod[1], J. R. Kirschbrown[1], M. Jelinek[6], S. Guziy[6], A. de Ugarte Postigo[6], E. S. Cypriano[8,9], A. LaCluyze[1], J. Graham[10], R. Priddey[2], R. Chapman[2], J. Rhoads[11], A. S. Fruchter[11], D. Q. Lamb[12], C. Kouveliotou[13], R. A. M. J. Wijers[14], M. B. Bayliss[1,12], B. P. Schmidt[15], A. M. Soderberg[3], S. R. Kulkarni[3], F. A. Harrison[16], D. S. Moon[3], A. Gal-Yam[3], M. M. Kasliwal[3], R. Hudec[17], S. Vitek[18], P. Kubanek[19], J. A. Crain[1], A. C. Foster[1], J. C. Clemens[1], J. W. Bartelme[1], R. Canterna[20], D. H. Hartmann[21], A. A. Henden[22], S. Klose[23], H.-S. Park[24], G. G. Williams[25], E. Rol[26], P. O'Brien[26], D. Bersier[27], F. Prada[6], S. Pizarro[8], D. Maturana[8], P. Ugarte[8], A. Alvarez[8], A. J. M. Fernandez[6], M. J. Jarvis[28], M. Moles[6], E. Alfaro[6], K. M. Ivarsen[1], N. D. Kumar[1], C. E. Mack[1], C. M. Zdarowicz[1], N. Gehrels[29], S. Barthelmy[29], D. N. Burrows[4]

Palomar

A Global Campaign

J. B. Haislip[1], M. C. Nysewander[1], D. E. Reichart[1], A. Levan[2], N. Tanvir[2], S. B. Cenko[3], D. B. Fox[4], P. A. Price[5], A. J. Castro-Tirado[6], J. Gorosabel[6], C. R. Evans[1], E. Figueredo[7,8], C. L. MacLeod[1], J. R. Kirschbrown[1], M. Jelinek[6], S. Guziy[6], A. de Ugarte Postigo[6], E. S. Cypriano[8,9], A. LaCluyze[1], J. Graham[10], R. Priddey[2], R. Chapman[2], J. Rhoads[11], A. S. Fruchter[11], D. Q. Lamb[12], C. Kouveliotou[13], R. A. M. J. Wijers[14], M. B. Bayliss[1,12], B. P. Schmidt[15], A. M. Soderberg[3], S. R. Kulkarni[3], F. A. Harrison[16], D. S. Moon[3], A. Gal-Yam[3], M. M. Kasliwal[3], R. Hudec[17], S. Vitek[18], P. Kubanek[19], J. A. Crain[1], A. C. Foster[1], J. C. Clemens[1], J. W. Bartelme[1], R. Canterna[20], D. H. Hartmann[21], A. A. Henden[22], S. Klose[23], H.-S. Park[24], G. G. Williams[25], E. Rol[26], P. O'Brien[26], D. Bersier[27], F. Prada[6], S. Pizarro[8], D. Maturana[8], P. Ugarte[8], A. Alvarez[8], A. J. M. Fernandez[6], M. J. Jarvis[28], M. Moles[6], E. Alfaro[6], K. M. Ivarsen[1], N. D. Kumar[1], C. E. Mack[1], C. M. Zdarowicz[1], N. Gehrels[29], S. Barthelmy[29], D. N. Burrows[4]



IRTF

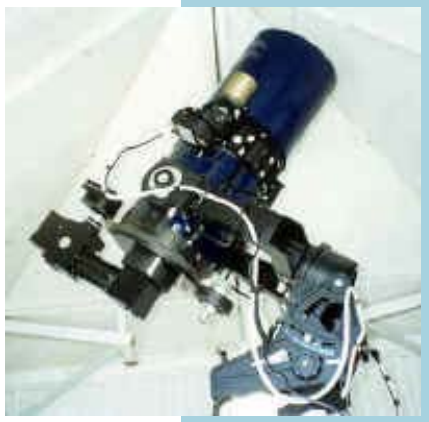
A Global Campaign

J. B. Haislip[1], M. C. Nysewander[1], D. E. Reichart[1], A. Levan[2], N. Tanvir[2], S. B. Cenko[3], D. B. Fox[4], P. A. Price[5], A. J. Castro-Tirado[6], J. Gorosabel[6], C. R. Evans[1], E. Figueredo[7,8], C. L. MacLeod[1], J. R. Kirschbrown[1], M. Jelinek[6], S. Guziy[6], A. de Ugarte Postigo[6], E. S. Cypriano[8,9], A. LaCluyze[1], J. Graham[10], R. Priddey[2], R. Chapman[2], J. Rhoads[11], A. S. Fruchter[11], D. Q. Lamb[12], C. Kouveliotou[13], R. A. M. J. Wijers[14], M. B. Bayliss[1,12], B. P. Schmidt[15], A. M. Soderberg[3], S. R. Kulkarni[3], F. A. Harrison[16], D. S. Moon[3], A. Gal-Yam[3], M. M. Kasliwal[3], R. Hudec[17], S. Vitek[18], P. Kubanek[19], J. A. Crain[1], A. C. Foster[1], J. C. Clemens[1], J. W. Bartelme[1], R. Canterna[20], D. H. Hartmann[21], A. A. Henden[22], S. Klose[23], H.-S. Park[24], G. G. Williams[25], E. Rol[26], P. O'Brien[26], D. Bersier[27], F. Prada[6], S. Pizarro[8], D. Maturana[8], P. Ugarte[8], A. Alvarez[8], A. J. M. Fernandez[6], M. J. Jarvis[28], M. Moles[6], E. Alfaro[6], K. M. Ivarsen[1], N. D. Kumar[1], C. E. Mack[1], C. M. Zdarowicz[1], N. Gehrels[29], S. Barthelmy[29], D. N. Burrows[4]

PROMPT

A Global Campaign

J. B. Haislip[1], M. C. Nysewander[1], D. E. Reichart[1], A. Levan[2], N. Tanvir[2], S. B. Cenko[3], D. B. Fox[4], P. A. Price[5], A. J. Castro-Tirado[6], J. Gorosabel[6], C. R. Evans[1], E. Figueredo[7,8], C. L. MacLeod[1], J. R. Kirschbrown[1], M. Jelinek[6], S. Guziy[6], A. de Ugarte Postigo[6], E. S. Cypriano[8,9], A. LaCluyze[1], J. Graham[10], R. Priddey[2], R. Chapman[2], J. Rhoads[11], A. S. Fruchter[11], D. Q. Lamb[12], C. Kouveliotou[13], R. A. M. J. Wijers[14], M. B. Bayliss[1,12], B. P. Schmidt[15], A. M. Soderberg[3], S. R. Kulkarni[3], F. A. Harrison[16], D. S. Moon[3], A. Gal-Yam[3], M. M. Kasliwal[3], R. Hudec[17], S. Vitek[18], P. Kubanek[19], J. A. Crain[1], A. C. Foster[1], J. C. Clemens[1], J. W. Bartelme[1], R. Canterna[20], D. H. Hartmann[21], A. A. Henden[22], S. Klose[23], H.-S. Park[24], G. G. Williams[25], E. Rol[26], P. O'Brien[26], D. Bersier[27], F. Prada[6], S. Pizarro[8], D. Maturana[8], P. Ugarte[8], A. Alvarez[8], A. J. M. Fernandez[6], M. J. Jarvis[28], M. Moles[6], E. Alfaro[6], K. M. Ivarsen[1], N. D. Kumar[1], C. E. Mack[1], C. M. Zdarowicz[1], N. Gehrels[29], S. Barthelmy[29], D. N. Burrows[4]



BOOTES

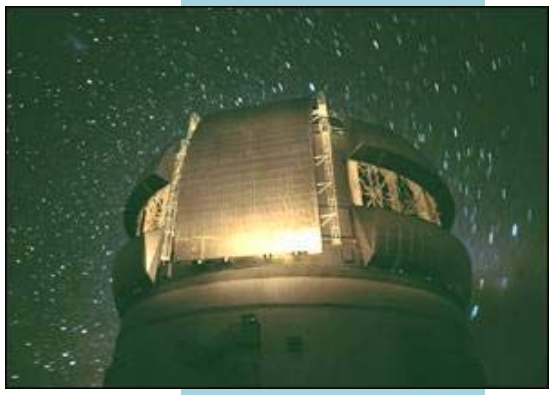
A Global Campaign

J. B. Haislip[1], M. C. Nysewander[1], D. E. Reichart[1], A. Levan[2], N. Tanvir[2], S. B. Cenko[3], D. B. Fox[4], P. A. Price[5], A. J. Castro-Tirado[6], J. Gorosabel[6], C. R. Evans[1], E. Figueredo[7,8], C. L. MacLeod[1], J. R. Kirschbrown[1], M. Jelinek[6], S. Guziy[6], A. de Ugarte Postigo[6], E. S. Cypriano[8,9], A. LaCluyze[1], J. Graham[10], R. Priddey[2], R. Chapman[2], J. Rhoads[11], A. S. Fruchter[11], D. Q. Lamb[12], C. Kouveliotou[13], R. A. M. J. Wijers[14], M. B. Bayliss[1,12], B. P. Schmidt[15], A. M. Soderberg[3], S. R. Kulkarni[3], F. A. Harrison[16], D. S. Moon[3], A. Gal-Yam[3], M. M. Kasliwal[3], R. Hudec[17], S. Vitek[18], P. Kubanek[19], J. A. Crain[1], A. C. Foster[1], J. C. Clemens[1], J. W. Bartelme[1], R. Canterna[20], D. H. Hartmann[21], A. A. Henden[22], S. Klose[23], H.-S. Park[24], G. G. Williams[25], E. Rol[26], P. O'Brien[26], D. Bersier[27], F. Prada[6], S. Pizarro[8], D. Maturana[8], P. Ugarte[8], A. Alvarez[8], A. J. M. Fernandez[6], M. J. Jarvis[28], M. Moles[6], E. Alfaro[6], K. M. Ivarsen[1], N. D. Kumar[1], C. E. Mack[1], C. M. Zdarowicz[1], N. Gehrels[29], S. Barthelmy[29], D. N. Burrows[4]

Calar Alto

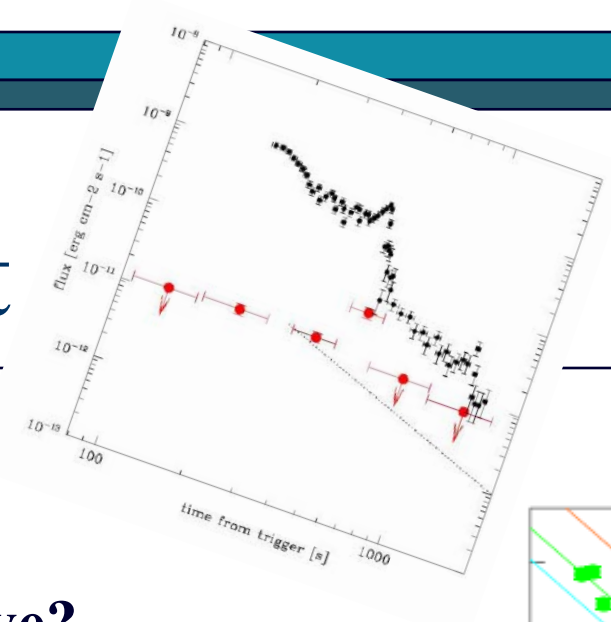
A Global Campaign

J. B. Haislip[1], M. C. Nysewander[1], D. E. Reichart[1], A. Levan[2], N. Tanvir[2], S. B. Cenko[3], D. B. Fox[4], P. A. Price[5], A. J. Castro-Tirado[6], J. Gorosabel[6], C. R. Evans[1], E. Figueredo[7,8], C. L. MacLeod[1], J. R. Kirschbrown[1], M. Jelinek[6], S. Guziy[6], A. de Ugarte Postigo[6], E. S. Cypriano[8,9], A. LaCluyze[1], J. Graham[10], R. Priddey[2], R. Chapman[2], J. Rhoads[11], A. S. Fruchter[11], D. Q. Lamb[12], C. Kouveliotou[13], R. A. M. J. Wijers[14], M. B. Bayliss[1,12], B. P. Schmidt[15], A. M. Soderberg[3], S. R. Kulkarni[3], F. A. Harrison[16], D. S. Moon[3], A. Gal-Yam[3], M. M. Kasliwal[3], R. Hudec[17], S. Vitek[18], P. Kubanek[19], J. A. Crain[1], A. C. Foster[1], J. C. Clemens[1], J. W. Bartelme[1], R. Canterna[20], D. H. Hartmann[21], A. A. Henden[22], S. Klose[23], H.-S. Park[24], G. G. Williams[25], E. Rol[26], P. O'Brien[26], D. Bersier[27], F. Prada[6], S. Pizarro[8], D. Maturana[8], P. Ugarte[8], A. Alvarez[8], A. J. M. Fernandez[6], M. J. Jarvis[28], M. Moles[6], E. Alfaro[6], K. M. Ivarsen[1], N. D. Kumar[1], C. E. Mack[1], C. M. Zdarowicz[1], N. Gehrels[29], S. Barthelmy[29], D. N. Burrows[4]



Gemini South

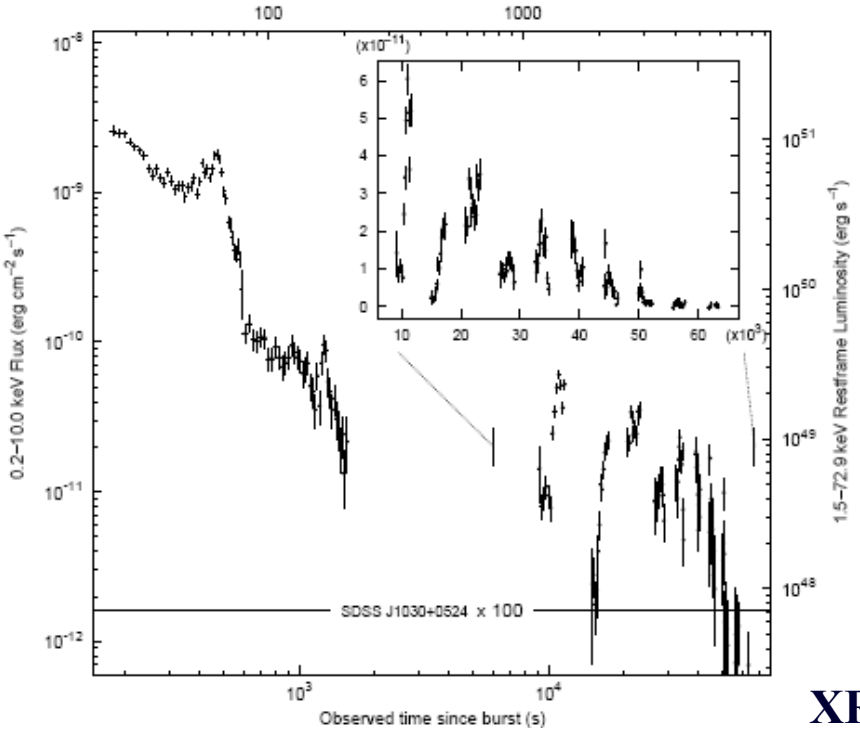
The Light

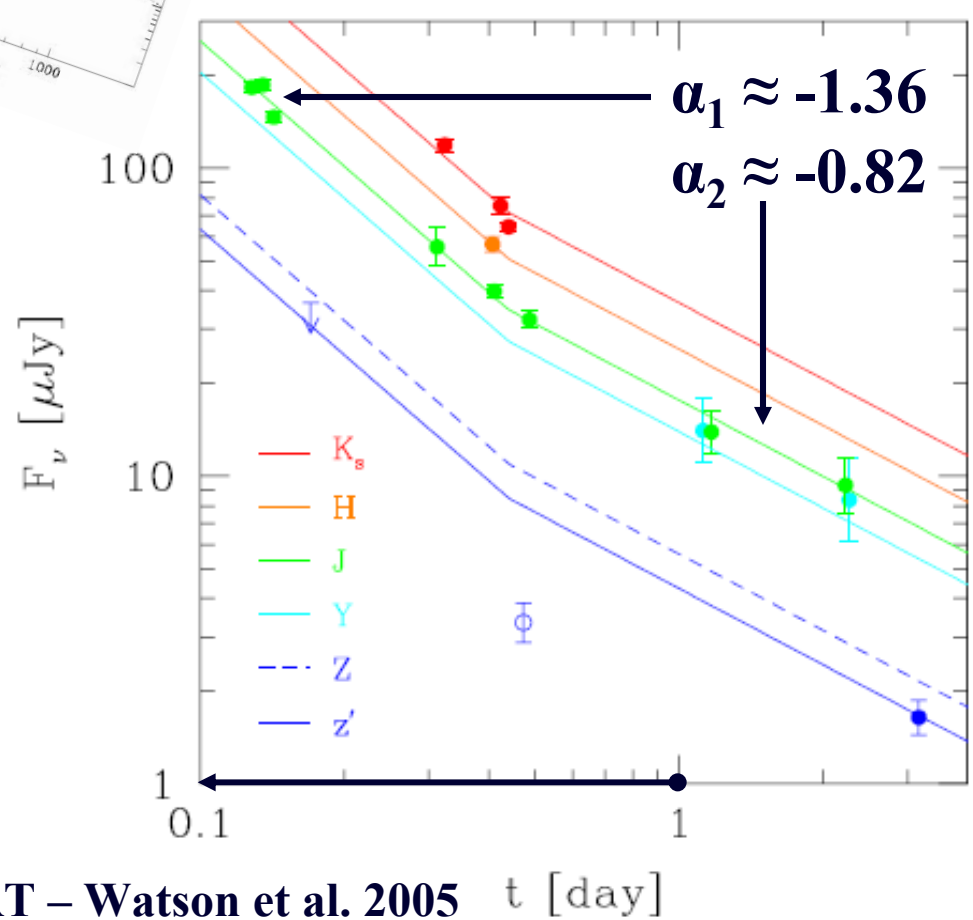


TAROT – Boer et al. 2005

Reverse Shock?

Undersampling a variable lightcurve?





XRT – Watson et al. 2005

Photometric Redshift

Assuming negligible emission blueward of Lyα:

z = 6.39 ± 0.12

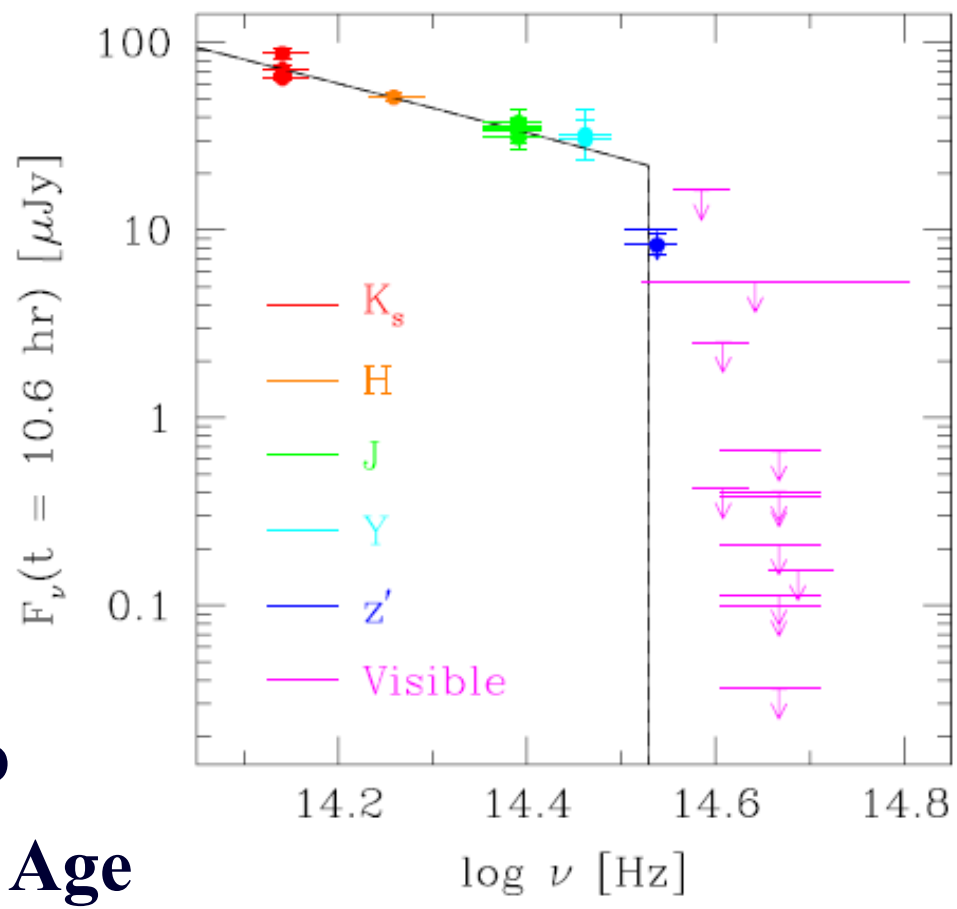
Consistent with spectroscopy (Kawai et al. 2005):

z = 6.295 ± 0.002

For WMAP cosmology:

12.8 Billion Years Ago

Universe 6% Current Age



Proof of Concept

Lamb & Reichart 2000:

- The first stars probably formed when the universe was only about 1% of its current age
- Since massive stars live short lives, the first GRBs should also have occurred around this time

Furthermore:

- The gamma rays should be detectable, even from these distances
- The afterglows should also be detectable from these distances
- They should occur in great enough numbers for sensitive GRB satellites coupled with ground-based observations to break the distance record about once per year

GRBs as Probes

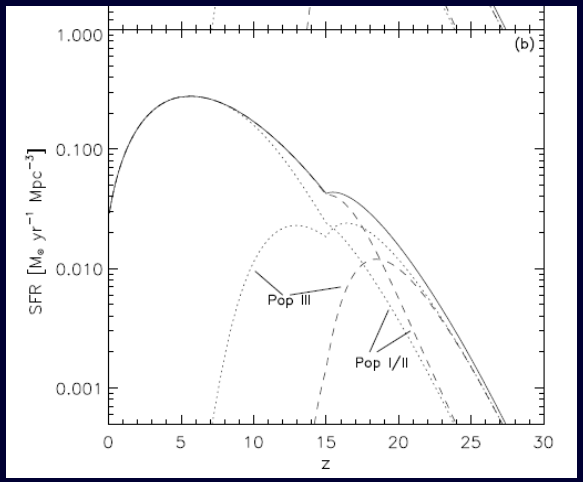
1. Star-formation history of the universe

2. Metallicity history of the universe.

3. Extinction curves as a function of redshift

4. Epoch of reionization

5. High-redshift galaxies.



Bromm & Loeb 2005

GRBs as Probes

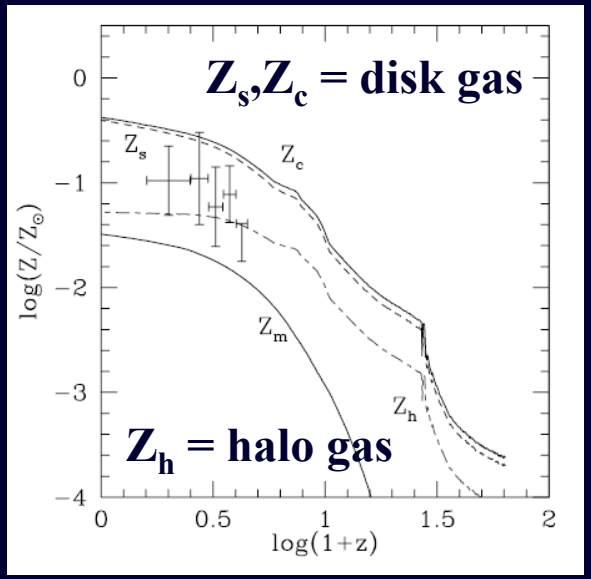
1. Star-formation history of the universe

2. Metallicity history of the universe.

3. Extinction curves as a function of redshift

4. Epoch of reionization

5. High-redshift galaxies.



Valageas & Silk 1999

GRBs as Probes

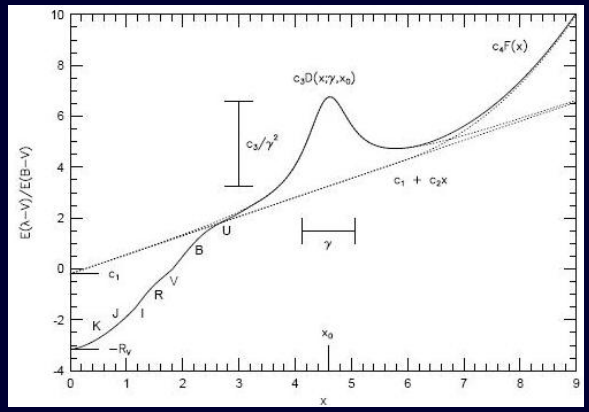
1. Star-formation history of the universe

2. Metallicity history of the universe.

3. Extinction curves as a function of redshift

4. Epoch of reionization

5. High-redshift galaxies.



Reichart et al. 2001

GRBs as Probes

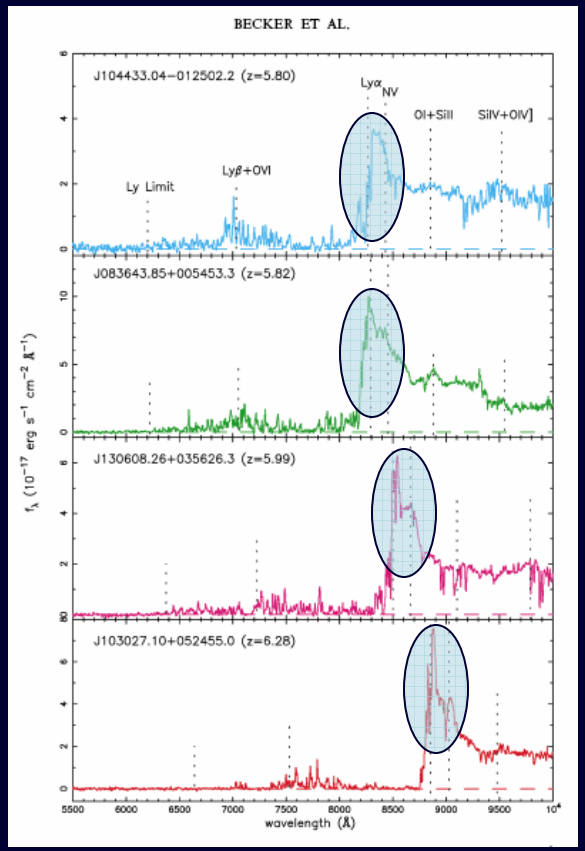
1. Star-formation history of the universe

2. Metallicity history of the universe.

3. Extinction curves as a function of redshift

4. Epoch of reionization

5. High-redshift galaxies.



Becker et al. 2001

GRBs as Probes

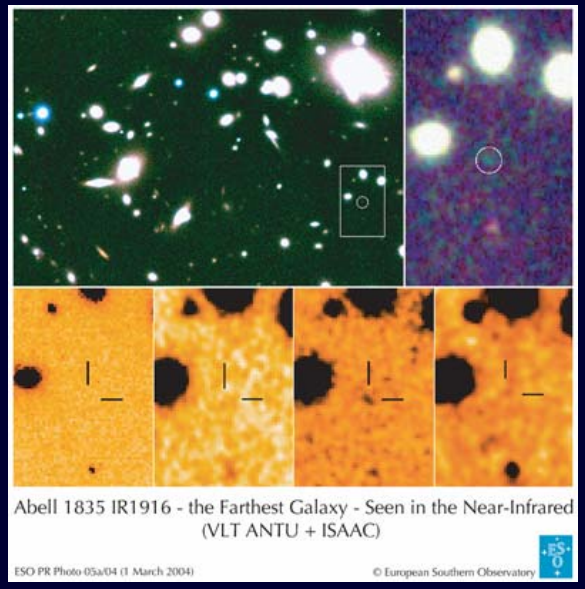
1. Star-formation history of the universe

2. Metallicity history of the universe.

3. Extinction curves as a function of redshift

4. Epoch of reionization

5. High-redshift galaxies.

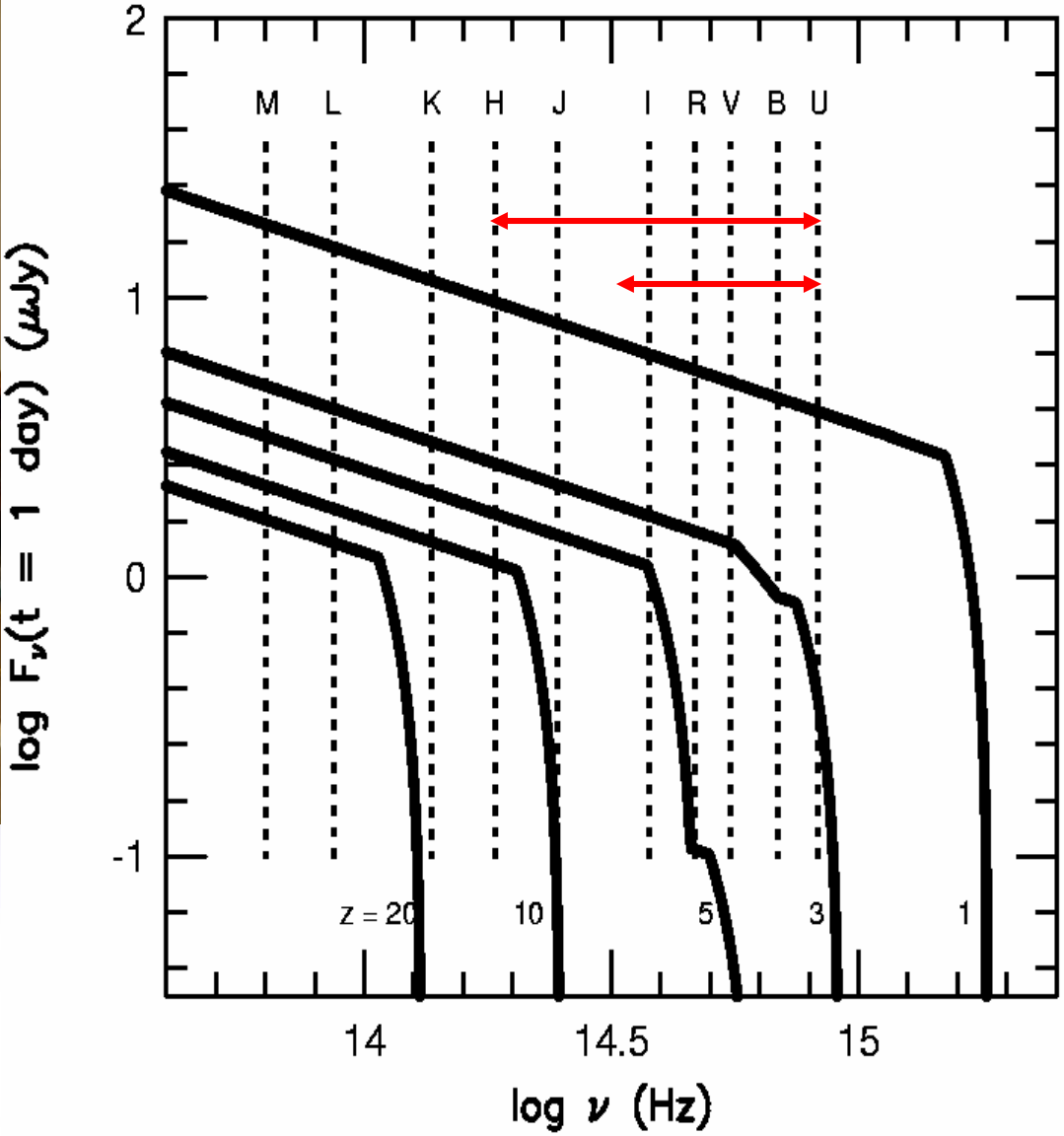


z ~ 10?

Pelló et al. 2004

UNC GRB TELESCOPES

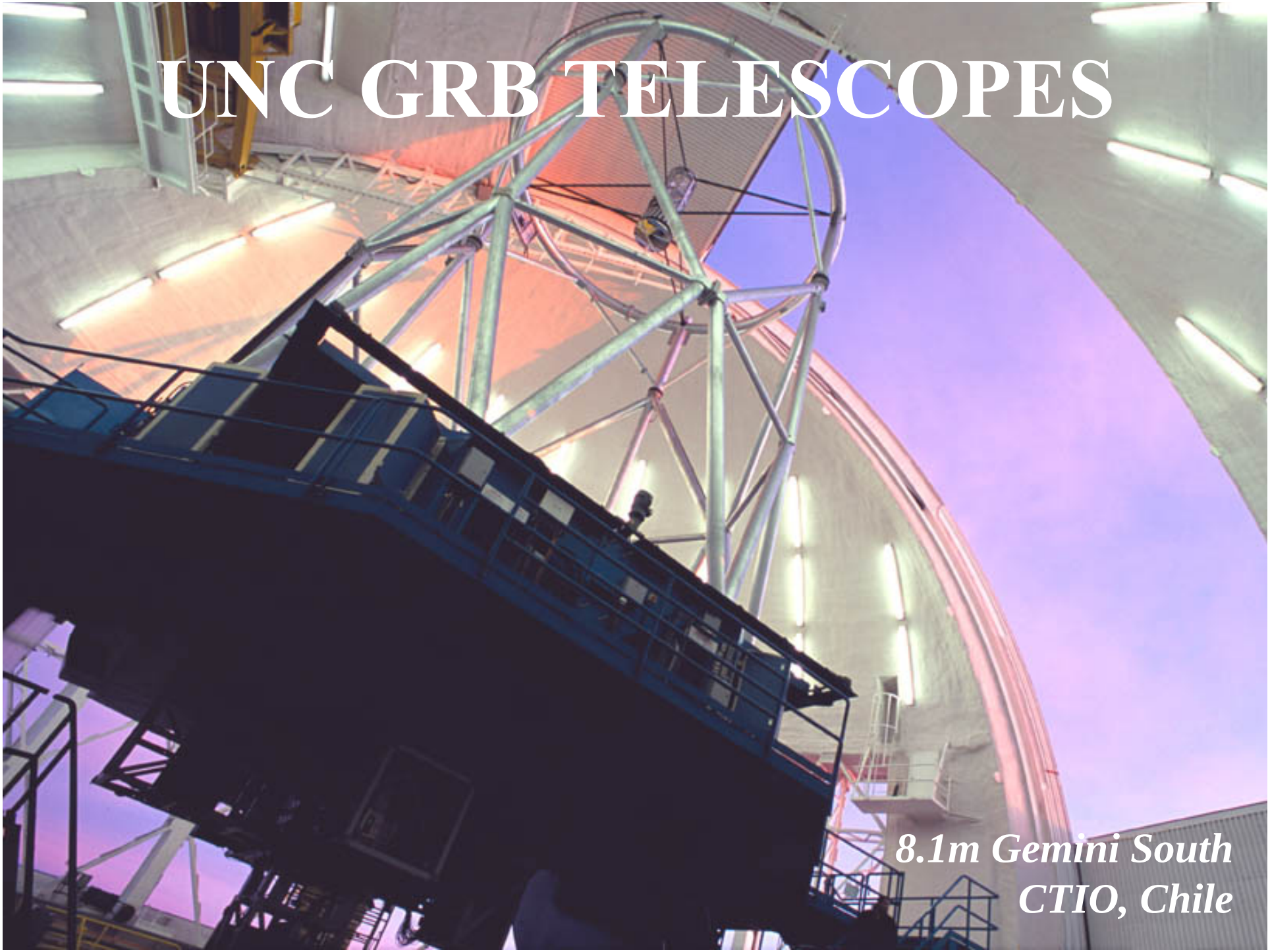
6 × 0.41m PROMPT
CTIO, Chile



Lamb & Reichart 2000

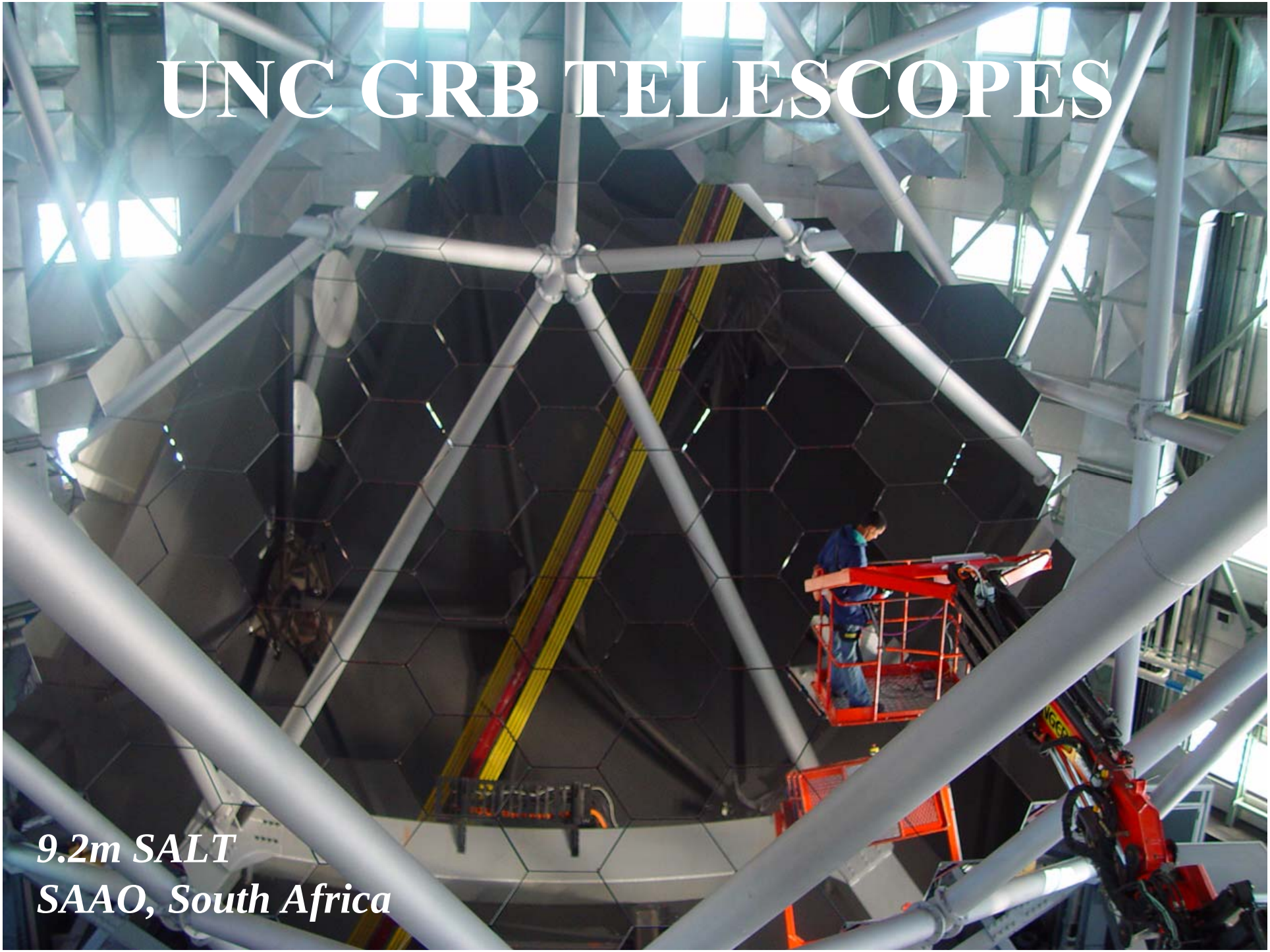
UNC GRB TELESCOPES

UNC GRB TELESCOPES



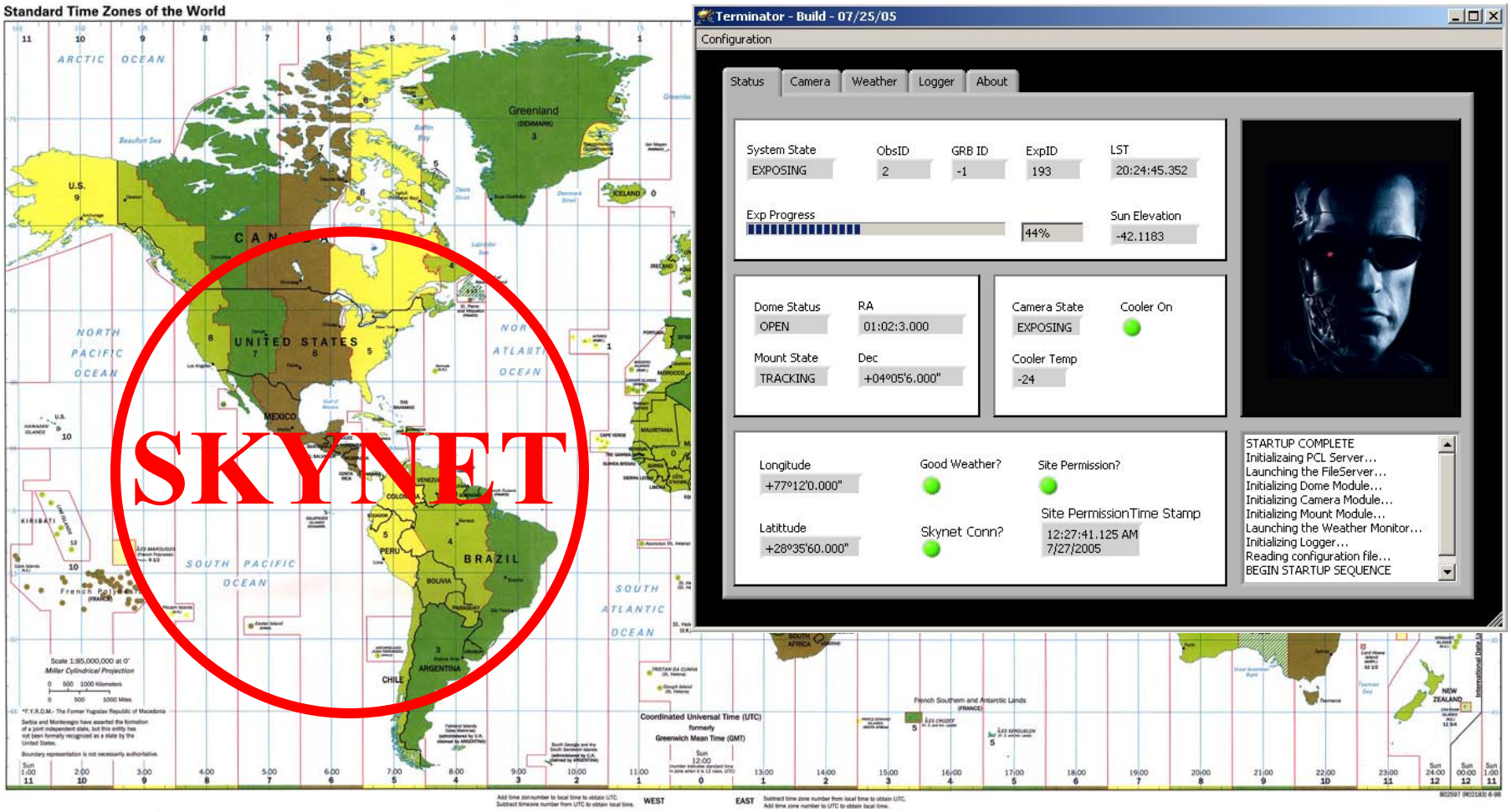
8.1m Gemini South
CTIO, Chile

UNC GRB TELESCOPES



9.2m SALT
SAAO, South Africa

FUN GRB TELESCOPES



The "Follow-Up Network for Gamma-Ray Bursts" Collaboration

Conclusion

- GRB 050904: Proof of concept, but *failure* in terms of same-night spectroscopy.
- However, we are still building. With the completion of PROMPT we will be much quicker.
- Southern Hemisphere: Same-site combination of PROMPT + SOAR + Gemini South with SALT for follow up
- Northern Hemisphere: Many FUN GRB telescopes soon to be joined by SKYNET robotic telescope network